

MAKROSKOPİK GÖRÜNÜŞLERİ VE MİKROSKOPİK YAPILARINA GÖRE DOĞAL FOSİLLEŞMİŞ AĞAÇLARIN (SiO₂) SINIFLANDIRILMASI; GÜDÜL- ANKARA BÖLGESİ FOSİL AĞAÇ ORMANI ÖRNEĞİ

Murat HATİPOĞLU*

Özet

Organik kökenli silisleşmiş ağaçlar, ebatlı kesildikten ve cilalandıktan sonra, binalarda dekoratif iç yüzey kaplama taşları ve/veya dekoratif süstaşı objeleri olarak tüm dünyada yaygınca kullanılmaktadırlar. Türkiye’de yaklaşık 20-12 Milyon yıl önceki dönemlerde silisleşerek taşlaşmış büyük bir fosil ağaç ormanı, Ankara ilinin Çamlıdere ve Güdül ilçeleri arasında Çeltikçi beldesi yakınlarında yer almaktadır. Oldukça büyük bir fosilleşmiş ağaç rezervine sahip bu alandan elde edilen malzemelerin sağlamlık, duraylılık ve ağırlıkça heterojen bir yapıya sahip olması, bu tür malzemelerin standartlaştırılmasında önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Ham malzemenin kesilip cilalanmadan evvel standartlaştırılması için, kendi içerisinde belirgin özelliklerine göre gruplandırılması (bir örnek yapılması) da gerekmektedir. Bu bağlamda sadece gövde rengine ve dış görünüşüne göre fosilleşmiş ağaçları sınıflandırmak yetersiz olup, bunlara ilaveten bölgedeki fosilleşmiş ağaçların gruplandırılmasında, malzemenin silisleşmesi sürecinde oluşan en önemli parametreler olan kristalin derecesi ve buna bağlı silis tanecik boyutlarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Türkiye’deki fosilleşmiş ağaçlar üzerinde yapılan bu çalışmada, Güdül-Ankara (Çeltikçi civarı) bölgesinden toplanan örnekler; Birinci olarak renklenme ve özgül ağırlık değerlerine göre beş farklı gruba ayrılmışlardır. İkinci olarak da, kristalin derecesi ve buna bağlı silis parçacık boyutuna ve de kalsedonik ve opalin kuvars mineral türlerine göre fosilleşmiş ağaçlar üç alt grupta toplanmışlardır. Böylece, ağırlık, sağlamlık ve duraylılık derecelendirmesinde, fosilleşmiş ağaçlardan birinci alt gruptakiler ağır, sağlam ve dayanıklı, ikinci alt gruptakiler orta ağır, yarı sağlam ve orta dayanıklı ve son olarak üçüncü alt gruptakiler de hafif, kırılğan ve düşük dayanımlı malzemeler olarak derecelendirilmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Fosilleşmiş ağaçlar, malzeme derecelendirmesi, homojenizasyon, Güdül-Ankara bölgesi.

CLASSIFICATION OF THE NATURAL FOSSILIZED WOODS (SiO₂) ACCORDING TO THEIR MACROSCOPIC APPEARANCES AND MICROSCOPIC STRUCTURES; A CASE OF THE FOSSILIZED WOOD FOREST IN THE GÜDÜL-ANKARA REGION

Abstract

The silicified woods with organic origin are widely used worldwide as decorative tiles in the buildings and /or decorative gemstone objects after they are cut and polished. There is a great fossil forest which petrified substituting by silica during 20-12 Ma near the Çeltikçi area within the Çamlıdere and

* Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İMYO Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Bölümü, murat.hatipoglu@deu.edu.tr
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğal Yapı Taşları ve Süstaşları Anabilim Dalı

Güdül districts of the Ankara province. Because of heterogeneous structure with regard to toughness, durability, and weight of the materials obtained from this area where there is a large reserve of silicified woods, there arises as an important outstanding problem in the petrifying of these kinds of materials. To standardize the raw material before they are cut and polished, they should be grouped according to their characteristics. Therefore, classification of fossilized wood only according to their body colors and appearances is insufficient. In addition, the crystallinity degree and related silica particle sizes, which they are the most important parameters during silicification of the material, should also be considered in grouping fossilized woods in the area for purposes the classification.

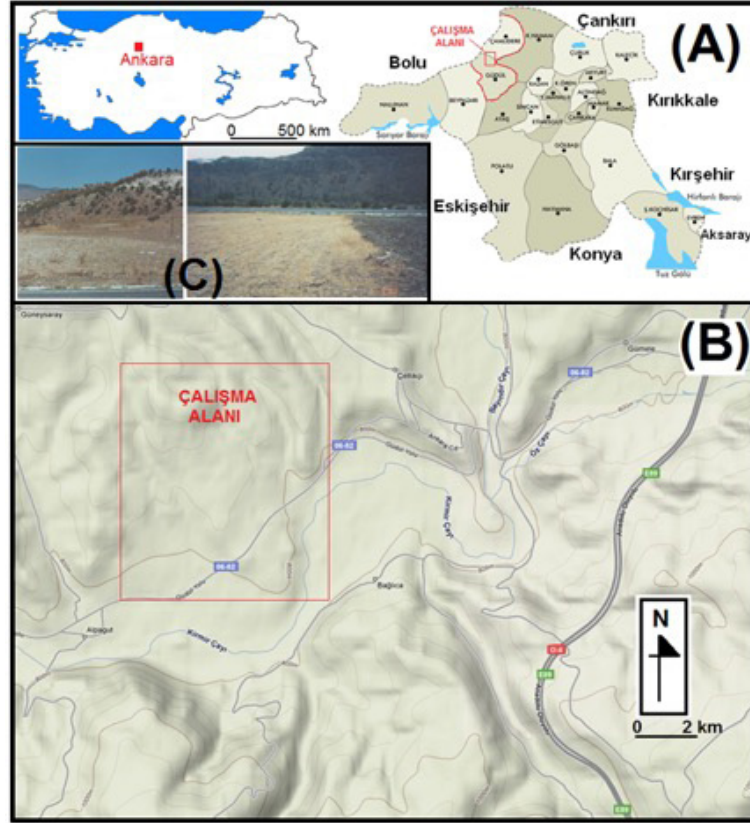
This is study made on the properties of fossilized woods in Turkey. The samples taken from the Güdül-Ankara (Çeltikçi area) region have been firstly grouped into five different representative samples concerning their colorations and specific gravity values. Secondly, they were subdivided into three sub-groups with regard to their crystallinity degrees and related silica particle sizes, and also chalcedonic and opalline quartz mineral species. So, in the weight, toughness and durability gradations, the fossilized woods were graded as weight, tough and resistance material for first sub-group, mid-weight, semi-tough and quasi-resistance material for second sub-group, and light, brittle and weak material for third sub-group.

Keywords: Fossilized woods, Material gradations, Homogenization, Güdül-Ankara region.

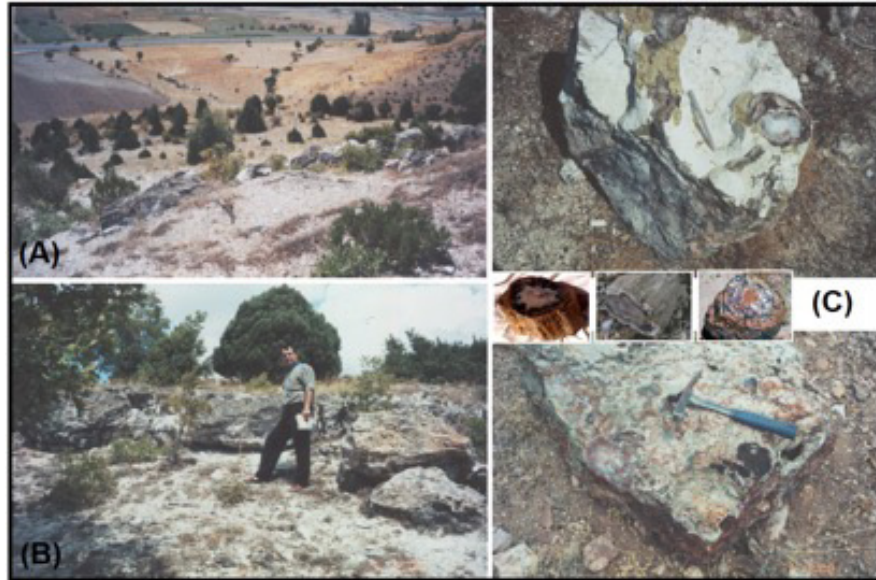
Giriş

Doğada fosilleşme, silişleşme ya da taşlaşma olayı, büyük oranda karbonlu türevlerden (C-H-O) oluşmuş organik bir ağacın genel iskeletinin veya odunsu dokularının, silişçe zengin (H_4SiO_4) inorganik hidrotermal sular tarafından ornatılması sonucu oluşur ve genel olarak psödomorfizm (yalancı şekillenme) olarak adlandırılır (Akahane vd., 2004; Krauskopf, 1982; Scurfield ve Segnit, 1984) [1-3].

Milyonlarca yılda gerçekleşen bu harikulade fosilleşme olayı, Türkiye’de Ankara ilinin kuzeybatısında bulunan Çamlidere ve Güdül ilçeleri arasındaki geniş bir bölgede (Şekil 1), Miyosen ve Pliyosen dönemlerinde (Senozoik) (yaklaşık 22-10 milyon yıllar öncesi) meydana gelmiştir. Bölgede, Galatya volkanik karmaşığı denilen (Tankut vd., 1998; Hatipoğlu ve Türk, 2009; Wilson vd., 1997) [4-6] kayaların üzerine daha sonradan faaliyete geçen ikinci bir volkanizma tarafından püskürtülmüş tuf ve küllerle örtüldükten sonra gömülmüş, kozalaklı-iğne yapraklı çam ve meşe cinsi ağaçlardan oluşan orman (Paicheler, 1978; Yavuz-Işık, 2008; Akkemik vd., 2017) [7-9] bütünüyle fosilleşmiştir (Şekil 2). Böylece, bu bölgede milyarlarca tonluk fosilleşmiş ağaç rezervi oluşmuştur.



Şekil 1. Malzeme olarak sınıflandırılan fosilleşmiş ağaç örneklerinin toplandığı bölge Ankara ilinin Çamlıdere ve Güdül ilçeleri arasındadır (A). Örneklerin toplandığı çalışma alanı ise tam olarak Çeltikçi ilçesinin batısında ve Kirmir Çayı'nın hemen kuzeyindedir (B) ve (C).



Şekil 2. Güdül-Ankara bölgesi fosilleşmiş ağaç ormanı (A) ve (B). Fosilleşmiş ağaçların bulunuş şekilleri (C).

Uzun yıllar içerisinde pekleşerek çekici bir görünüm kazanmış ve insan sağlığına zararı olmayan bu doğal malzemenin binalarda iç dekorasyon kaplama malzemesi ve/veya dekoratif süstaşı objeleri olarak kullanımları tüm dünyada rağbet görmekte ve kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin endüstriyel kullanımda fire oranlarını düşürmek ve kullanım yerlerini tam belirlemek için kendi çersinde gruplandırılması ve derecelendirilmesi gerekir.

Bu çalışma, Çeltikçi (Güdül-Ankara) bölgesindeki fosilleşmiş ağaçların malzeme olarak kullanılabilirliği için fiziksel ve mineralojik özelliklerine göre homojen gruplara ayrılmasını amaçlamaktadır. Bunun için, seçilmiş özgün fosilleşmiş ağaç örnekleri; öncelikle gövde renklerine ve özgül ağırlık değerlerine göre gruplandırılmış, daha sonra da her bir grup kristalinite derecesine, içyapı tanecik boyutuna ve kalsedonik kuvars mineral türlerine göre sınıflandırılıp, böylece ağırlık, sağlamlık ve duraylılık bakımından fosilleşmiş ağaçların örnek gruplarına ayırarak, onların standartlaştırılması hedeflenmiştir.

Fosilleşmiş Ağaçların Mineralojik Özellikleri Bakımından Sınıflandırılmaları

Fosilleşmiş ağaçlar farklı taksonomik bitki cinslerinden kökenlendikleri ve değişik korunma ortamlarında oluştuklarından dolayı (Akahane vd., 2004; Scurfield ve Segnit, 1984; Akkemik vd., 2017) [1,3,9], ağırlık, sağlamlık ve dayanım özellikleri de birbirlerine göre farklılık göstermektedirler. Çeltikçi (Güdül-Ankara) bölgesi fosilleşmiş ağaçların değişik özellikleri dikkate alınarak aşağıda önerilen sınıflandırmalara tabi tutulabilirler.

1. Fiziksel Sınıflandırma

Fosilleşmiş ağaç örnekleri, öncelikle renksel görünüşlerine ve özgül ağırlık değerlerine göre 5 (beş) farklı gruba ayrılmıştır. (Şekil 3). Her bir örnek grubunun özgül ağırlık değerleri, hidrostatik terazi metodu kullanılarak tespit edilmiştir. Buna göre; örnek-1 (kahverengi-sarı renkli ve 2.60), örnek-2 (kırmızımsı renkli ve 2.56), örnek-3 (siyahımsı-gri renkli ve 2.54), örnek-4 (kahverengi-portakal renkli ve 2.42) ve örnek-5 (beyazımsı-sarı renkli ve 2.18).



Şekil 3. Güdül-Ankara bölgesi taşlanmış ağaç örneklerinin renksel görünüşleri; örnek-1 (A), örnek-2 (B), örnek-3 (C), örnek-4 (D) ve örnek-5 (E).

2. Kristalin Yapı Sınıflandırması

2.1. Kalsedonik ve Opallin Silis Yapıcı Fazlara Göre Sınıflandırma

Fosilleşmiş ağaçların jeolojik oluşumu yüzey koşullarına yakın basınç ve sıcaklıklarda meydana geldiği için, ağacın ornatılma sürecinde etkili olan silisli hidrothermal sularda, düşük P-T koşullarını simgeleyen kalsedonik ve opallin silis fazları bulunur. Bunlar genelde mikrokristalin yapıli silis fazları olarak adlandırılırlar. Bununla beraber, kalsedon, moganit ve *ortorombik*-silis kriptokristalin yapıyı, opal-CT (düşük ısıda oluşan kristobalit ve tridimit biraradalığı) ve Opal-C (düşük ısıda oluşan kristobalit) ise zayıfça kristalin yapıyı temsil ederler (Scurfield ve Segnit, 1984; Frondel, 1985; Heaney, 1993; Jones ve Segnit, 1971; Lynne ve Campbell, 2003; Miehe vd., 1984; Murashov ve Svishchev, 1998) [3, 10-16]. Buna göre, fosilleşmiş ağaç örneklerinde bulunabilecek başlıca silis (SiO_2) fazları ve tanımsal özellikleri şöyledir;

***Kalsedon**; Polarizan mikroskop altında çoğunlukla ışınal-lifsi demetsel ender olarak da levhamsı bir yapı gösterir. Uzun kristal eksenini kuvarsın pozitif elangasyonu verir. X-ray saçınım grafiklerinde gözlenen en belirgin üç önemli XRD pik değerleri şunlardır;

$$d=3.34 \text{ \AA} (\%100) \quad d=4.26 \text{ \AA} \quad d=1.82 \text{ \AA}$$

***Moganit**; Polarizan mikroskop altında ışınal-lifsi ve levhasal bir yapı gösterir. Uzun kristal eksenini kuvarsın negatif elangasyonu verir. X-ray saçınım grafiklerinde gözlenen en belirgin üç önemli XRD pik değerleri şunlardır;

$$d=3.33 \text{ \AA} (\%100) \quad d=3.39 \text{ \AA} \quad d=1.37 \text{ \AA}$$

***Ortorombik-silis**; Polarizan mikroskop altında çoğunlukla levhasal ve nadiren ışınal-lifsi bir yapı gösterir. Uzun kristal eksenini kuvarsın negatif elangasyonu verir. X-ray saçınım grafiklerinde gözlenen en belirgin üç önemli XRD pik değerleri şunlardır;

$$d=3.28 \text{ \AA} (\%100) \quad d=3.32 \text{ \AA} \quad d=2.79 \text{ \AA}$$

***Opal-CT**; Polarizan mikroskop altında taneli bir yapı gösterir. Uzun kristal eksenini tridimitin negatif elangasyonu verir. Bazen de dalgalı sönme gösterir. X-ray saçınım grafiklerinde gözlenen en belirgin üç önemli XRD pik değerleri şunlardır;

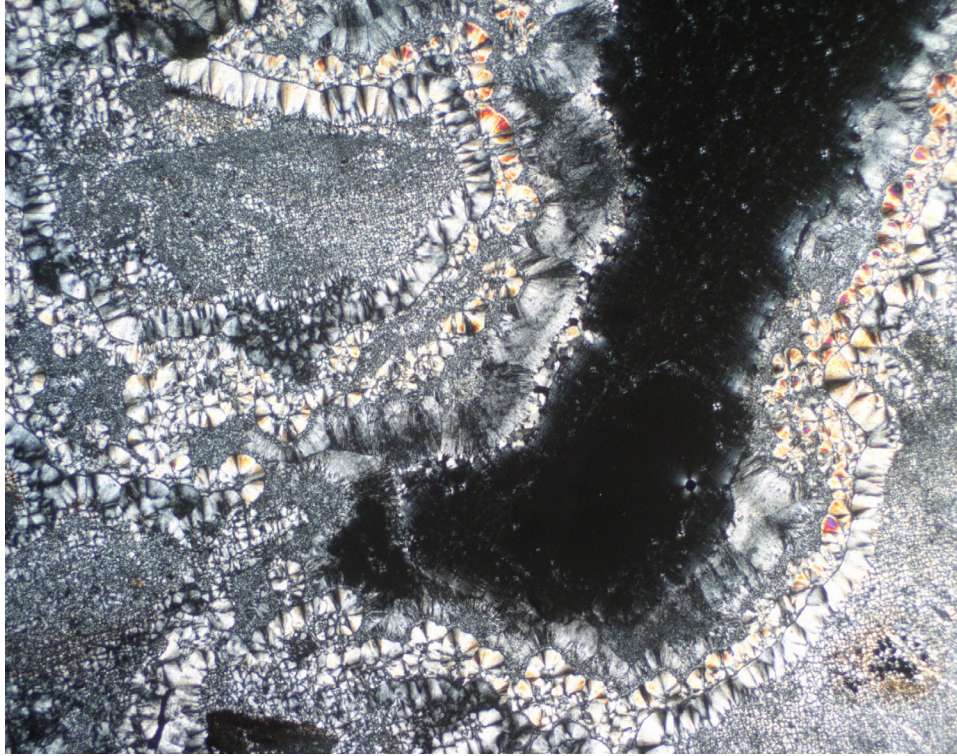
$$d=4.10 \text{ \AA} (\%100) \quad d=4.33 \text{ \AA} \quad d=3.82 \text{ \AA}$$

***Opal-C**; Polarizan mikroskop altında taneli bir yapı gösterir. Uzun kristal eksenini kristobalitin negatif elangasyonu verir. Bazen de dalgalı sönme gösterir. X-ray saçınım grafiklerinde gözlenen en belirgin üç önemli XRD pik değerleri o şunlardır;

$$d=2.51 \text{ \AA} (\%100) \quad d=1.63 \text{ \AA} \quad d=1.44 \text{ \AA}$$

2.1.1. Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Fosilleşmiş ağaç örneklerinin kristalinite dereceleri ve onları oluşturan silis fazlarının neler olduğunu ortaya çıkartmak için, önce örneklerinin ince kesitleri hazırlanmış ve bu kesitler, polarizan mikroskop altında incelenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Fosilleşmiş ağaçların polarizan mikroskupu altındaki (2X / +N) mikroskopik yapılarının tipiksel görüntüsü. Taneli ve ışımsal lifsi demetler, levhamsı ve taneli şekiller, kalsedonik ve opalin kuvars türlerini oluşturan silis fazlarını temsil eder.

Taşlaşmış ağaçların polarizan mikroskobu altındaki incelenmelerinde ışımsal-lifsi demetsel, levhamsı ve taneli yapıların, düşük sıcaklık değerlerindeki oluşumlarını simgeleyen silis fazlarından dolayı oluştuğu ve ayrıca her bir örnek grubunda, bunların oransal dağılımının farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Bu yapılar göre fosilleşmiş ağaçların sınıflandırması Çizelge 1’de sunulmuştur.

Mikrokristalin Yapılı		----Zayıfça Kristalin Yapılı-----	
-----Kripto Kristalin Yapılı-----			
<i>Taneli</i>	<i>Işımsal-Lifsi, Levhamsı</i>	<i>Taneli</i>	
Kalsedon		Opal-CT	
Moganit		Opal-C	
<i>Ortorombik-silis</i>			
-----		-----	
örnek-1, -2, -3			
-----		-----	
örnek-4			
-----		-----	
		örnek-5	

Çizelge 1. Fosilleşmiş ağaçların polarizan mikroskop altındaki görünüşlerine göre sınıflandırması.

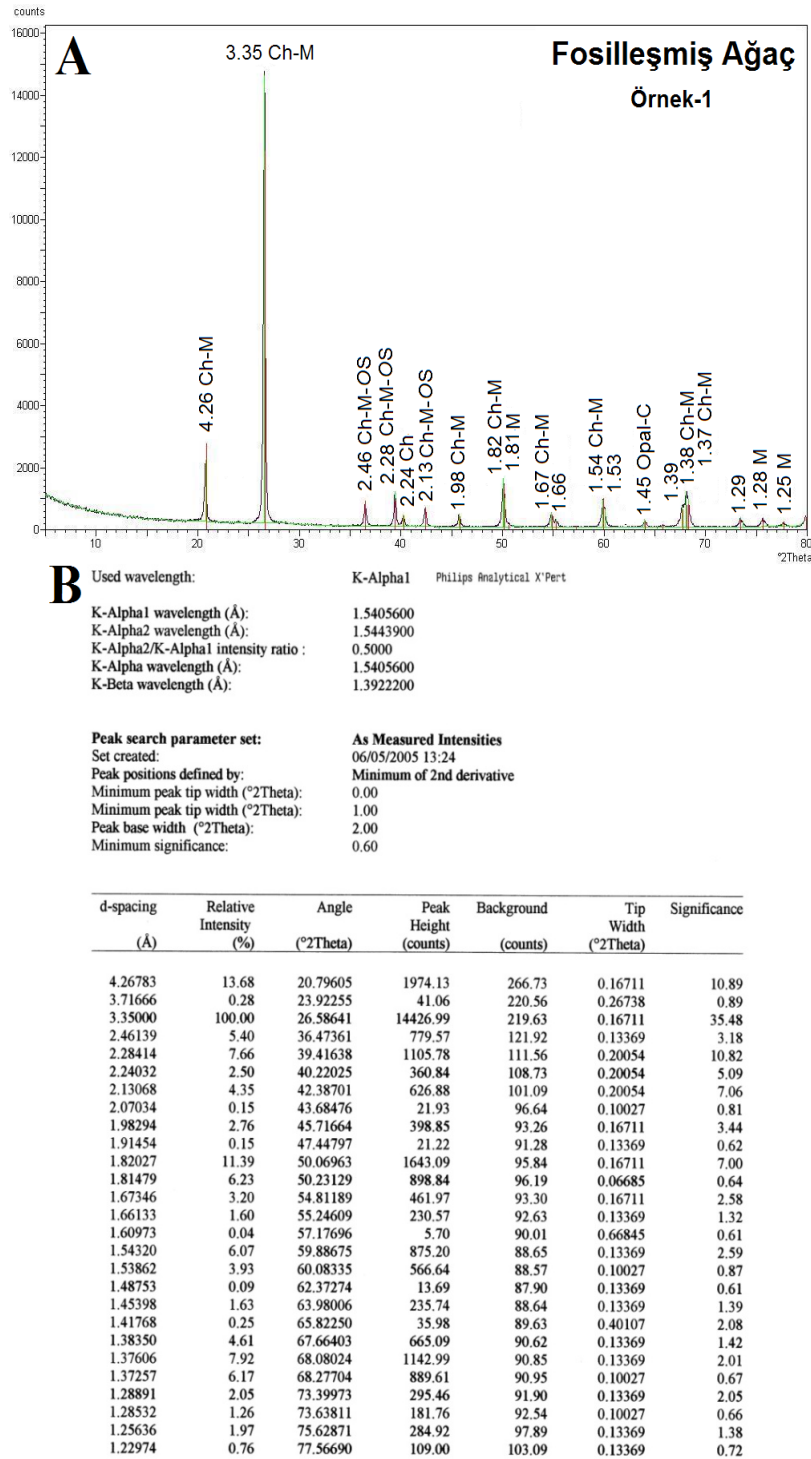
Ancak polarizan mikroskobu altında (Şekil 4) beş farklı silis fazının, genelde benzer görünüş ve elengasyon değeri vermelerinden dolayı, silis fazlarının kesin ayrımının sadece polarizan mikroskop altındaki görünüşlerine göre yapılmasının yetersiz olduğu belirgindir.

2.1.2. X-Işını Saçınım Grafiklerinin (XRD) İncelemesi

Bu amaçla her bir özgün örneğin X-ışını saçınım grafikleri ve bu grafikleri oluşturan sayısal değerler, Philips X'Pert Pro XRD cihazı kullanılarak elde edilmiştir (Şekiller 5, 6, 7, 8 ve 9). Bu grafiklerin “kıyaslamalı eşleştirme tekniği” (Smith, 1998) [16] kullanarak yapılan değerlendirmeleri sonucunda; örnek-1, -2 ve -3'ün başlıca kalsedon ve moganit, örnek-4'ün *ortorombik-silis* ve moganit, örnek-5'in de başlıca opal-CT ve opal-C olarak bilinen silis fazlarından meydana geldiği tespit edilmiştir (Çizelge 2). Böylece başlangıçta renksel görünüş ve özgül ağırlık değerlerine göre 5 (beş) gruba ayrılan fosilleşmiş ağaç örnekleri, hem polarizan hem de daha belirleyici olan X-ışınları saçınım grafiklerinden elde edilen veriler doğrultusunda, 3 (üç) alt grupta toplanabilecekleri ortaya çıkmıştır.

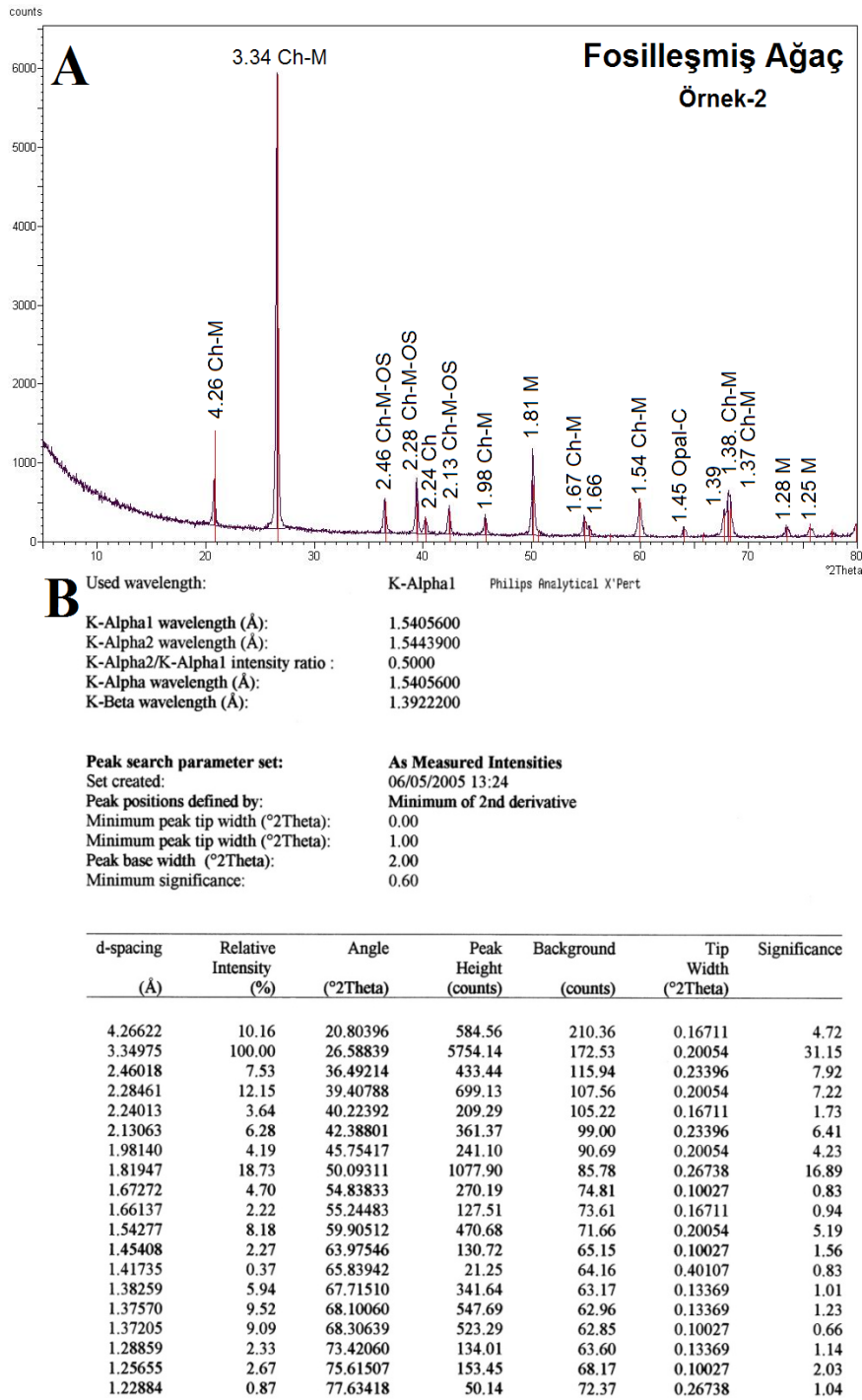
Mikrokristalin Yapılı				
-----Kripto Kristalin Yapılı-----			----Zayıfça Kristalin Yapılı-----	
Kalsedon (Ch)	Moganit (Mo)	<i>Ortorombik-silis</i>	Opal-CT	Opal-C
örnek-1, -2, -3				
		örnek-4		
			örnek-5	

Çizelge 2. Fosilleşmiş ağaçların X-ışını saçınım grafiklerinden elde edilen ve içerdikleri başlıca düşüş P-T koşullarını simgeleyen silis fazlarına göre sınıflandırılması.



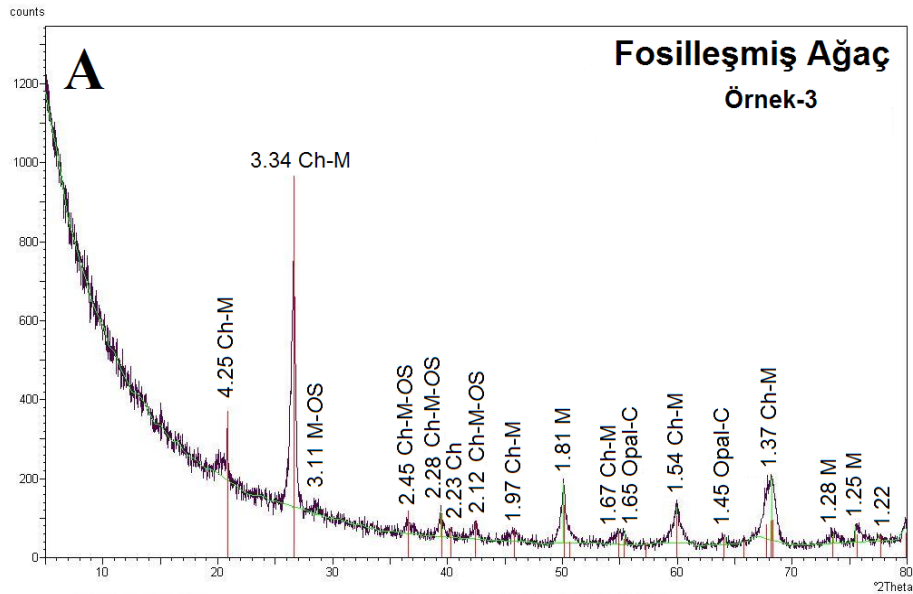
Şekil 5. Fosilleşmiş ağaç (örnek-1) örneğinin X-ışını saçınım grafiği (A) ve bu grafiği oluşturan sayısal değerler (B). Etiketlenmiş piklerin simgelediği silis fazları şunlardır;

Ch=Kalsedon M=Moganit OS=Ortorombik-silis Opal-C= Opal-kristobalit. Eşleştirilmemiş bazı pikler ise boş bırakılmıştır.



Şekil 6. Fosilleşmiş ağaç (örnek-2) örneğinin X-ışını saçınım grafiği (A) ve bu grafiği oluşturan sayısal değerler (B). Etiketlenmiş piklerin simgelediği silis fazları şunlardır;

Ch=Kalsedon M=Moganit OS=Ortorombik-silis Opal-C= Opal-kristobalit. Eşleştirilmemiş bazı pikler ise boş bırakılmıştır.



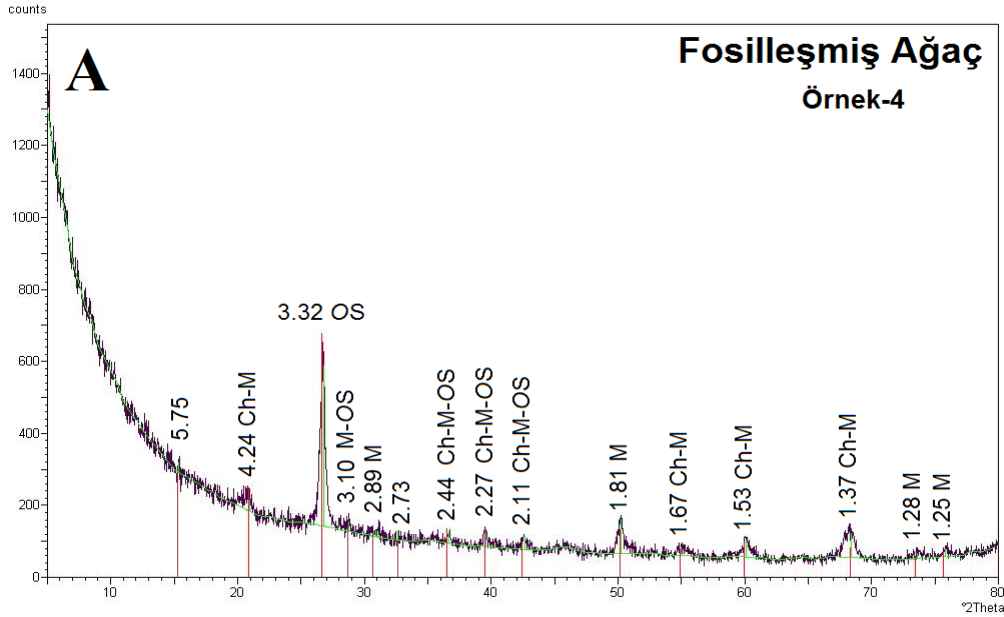
B Used wavelength: K-Alpha Philips Analytical X'Pert
K-Alpha1 wavelength (Å): 1.5405600
K-Alpha2 wavelength (Å): 1.5443900
K-Alpha2/K-Alpha1 intensity ratio : 0.5000
K-Alpha wavelength (Å): 1.5405600
K-Beta wavelength (Å): 1.3922200

Peak search parameter set:
Set created: 06/05/2005 13:24
Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative
Minimum peak tip width (°2Theta): 0.00
Minimum peak tip width (°2Theta): 1.00
Peak base width (°2Theta): 2.00
Minimum significance: 0.60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts)	Background (counts)	Tip Width (°2Theta)	Significance
4.25813	12.75	20.84394	73.63	196.81	0.10027	1.07
3.34501	100.00	26.62678	577.73	128.26	0.23396	6.35
3.11286	3.11	28.65347	17.95	109.54	0.53476	0.68
2.45626	5.42	36.55243	31.34	61.33	0.26738	0.61
2.28265	10.69	39.44312	61.77	52.85	0.10027	0.61
2.23652	3.89	40.29165	22.45	51.17	0.26738	0.80
2.12804	6.78	42.44205	39.18	46.89	0.20054	1.02
1.97838	4.15	45.82786	23.95	41.85	0.53476	1.21
1.81978	26.18	50.08401	151.22	36.80	0.20054	2.06
1.67159	6.22	54.87832	35.92	33.64	0.26738	0.73
1.65637	5.68	55.42593	32.80	32.79	0.20054	0.85
1.54288	15.66	59.90050	90.47	36.97	0.26738	0.98
1.45004	2.93	64.17478	16.92	33.48	0.40107	0.85
1.37295	27.71	68.25571	160.09	44.55	0.33423	1.49
1.28638	4.29	73.56785	24.80	36.30	0.66845	1.71
1.25816	6.94	75.50172	40.12	39.09	0.10027	0.64
1.22966	1.82	77.57237	10.53	42.09	0.26738	0.62

Şekil 7. Fosilleşmiş ağaç (örnek-3) örneğinin X-ışını saçınım grafiği (A) ve bu grafiği oluşturan sayısal değerler (B). Etiketlenmiş piklerin simgelediği silis fazları şunlardır;

Ch=Kalsedon M=Moganit OS=Ortorombik-silis Opal-C= Opal-kristobalit. Eşleştirilmemiş bazı pikler ise boş bırakılmıştır.



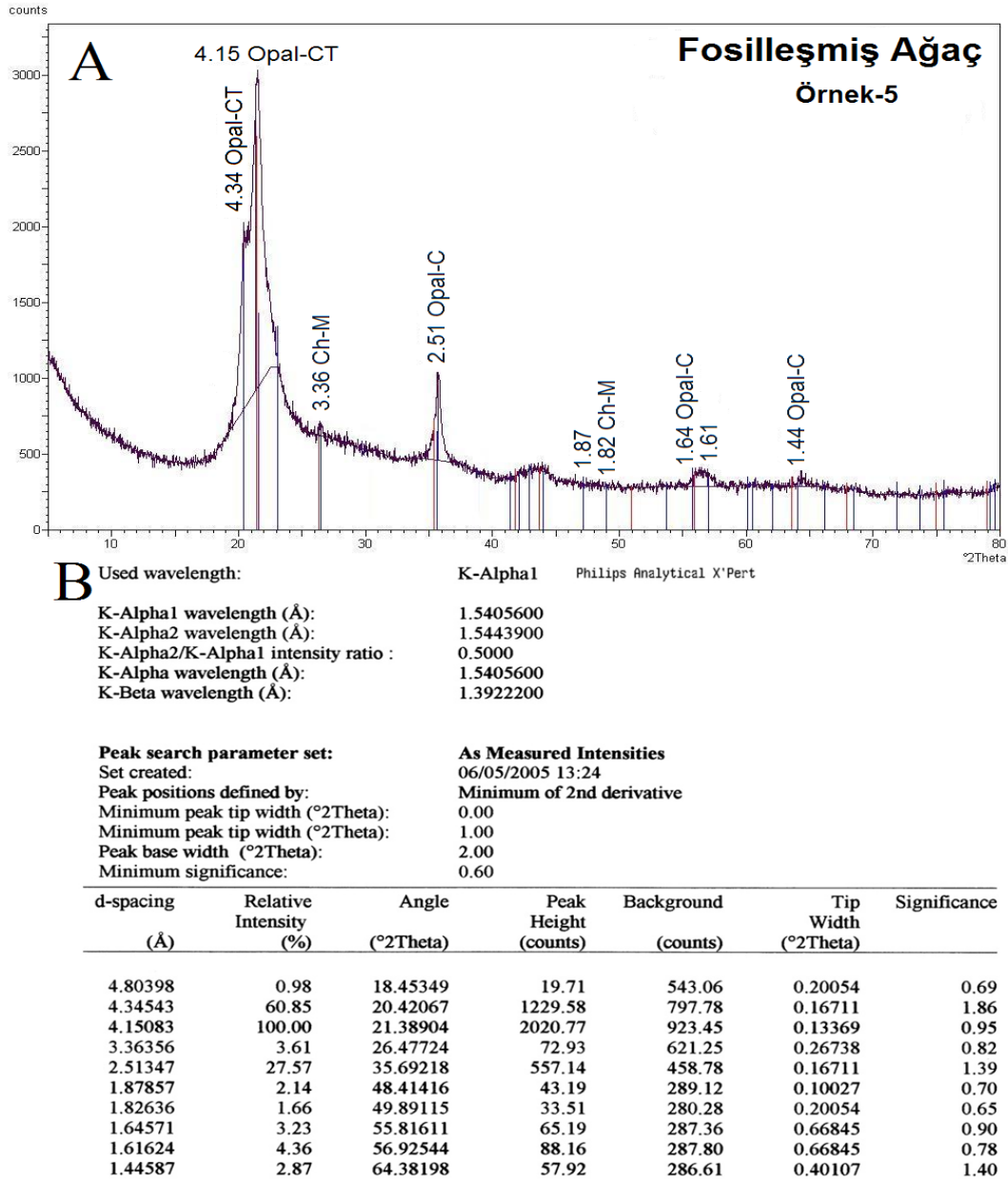
B Used wavelength: K-Alpha Philips Analytical X'Pert
K-Alpha1 wavelength (Å): 1.5405600
K-Alpha2 wavelength (Å): 1.5443900
K-Alpha2/K-Alpha1 intensity ratio : 0.5000
K-Alpha wavelength (Å): 1.5405600
K-Beta wavelength (Å): 1.3922200

Peak search parameter set: As Measured Intensities
Set created: 06/05/2005 13:24
Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative
Minimum peak tip width (°2Theta): 0.00
Minimum peak tip width (°2Theta): 1.00
Peak base width (°2Theta): 2.00
Minimum significance: 0.60

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts)	Background (counts)	Tip Width (°2Theta)	Significance
5.75913	5.93	15.37261	26.36	291.27	0.10027	0.85
4.24954	11.30	20.88657	50.27	184.38	0.40107	1.86
3.32355	100.00	26.80193	444.80	142.27	0.23396	4.61
3.10170	5.70	28.75877	25.36	128.07	0.20054	0.65
2.89423	3.48	30.86978	15.47	113.26	0.80214	1.06
2.73837	7.33	32.67460	32.62	103.64	0.10027	0.76
2.44777	7.04	36.68379	31.34	95.06	0.20054	0.93
2.27845	10.02	39.51891	44.57	85.11	0.26738	1.23
2.11941	8.47	42.62337	37.68	77.17	0.26738	0.67
1.81406	21.42	50.25280	95.29	66.51	0.33423	2.02
1.67219	4.12	54.85719	18.33	60.77	0.53476	0.66
1.53892	10.30	60.07067	45.82	56.63	0.33423	1.32
1.37059	15.23	68.38955	67.75	55.03	0.93583	7.24
1.28618	3.24	73.58095	14.39	52.46	0.80214	1.58
1.25416	4.35	75.78446	19.34	58.26	0.40107	1.33

Şekil 8. Fosilleşmiş ağaç (örnek-4) örneğinin X-ışını saçınım grafiği (A) ve bu grafiği oluşturan sayısal değerler (B). Etiketlenmiş piklerin simgelediği silis fazları şunlardır;

Ch=Kalsedon M=Moganit OS=Ortorombik-silis Opal-C= Opal-kristobalit. Eşleştirilmemiş bazı pikler ise boş bırakılmıştır.



Şekil 9. Fosilleşmiş ağaç (örnek-5) örneğinin X-ışını saçınım grafiği (A) ve bu grafiği oluşturan sayısal değerler (B). Etiketlenmiş piklerin simgelediği silis fazları şunlardır;

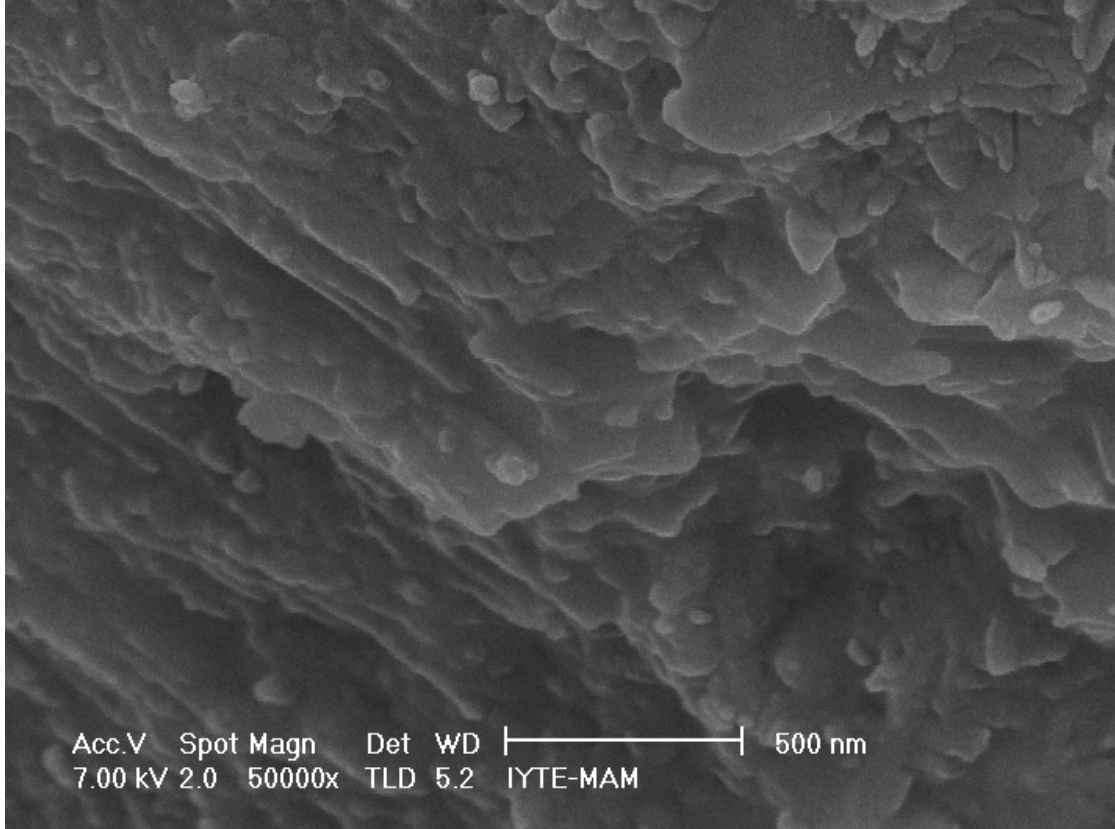
Ch=Kalsedon M=Moganit Opal-CT=Opal-kristobalit ve tridimit

Opal-C= Opal-kristobalit. Eşleştirilmemiş bazı pikler ise boş bırakılmıştır.

2.2. Kalsedonik ve Opallin Silis Danecik Boyutlarına Göre Sınıflandırma

2.2.1. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Görüntülerinin İncelemesi

Bu çalışma kapsamında, fosilleşmiş ağaçlara daha ileri bir sınıflandırma yapmak için, şimdiye kadar kullanılan iki yönteme ilave olarak, taramalı elektron mikroskobu görüntüleri de değerlendirilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Fosilleşmiş ağaçların taramalı elektron mikroskobu (SEM) altındaki mikroskopik dane boyutlarının tipiksel görüntüsü. Bu görüntülerin değerlendirilmesinde; örnek-1, -2 ve -3'ün 200-800 nm aralığında, örnek-4'ün 100-400 nm aralığında, örnek-5'in ise 60-120 nm aralığındaki dane boyutlarına sahip oldukları belirlenmiştir.

Bu amaçla her bir özgün örneğin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile x100.000'e kadar olan büyütmelelerdeki görüntüleri, Philips XL 30S FEG (Field Transmission Gun) scanning electron microscope (SEM) cihazı yardımıyla elde edilmiştir.

Bu görüntülerin değerlendirilmesinde; örnek-1, -2 ve -3'ün 200-800 nm aralığında, örnek-4'ün 100-400 nm aralığında, örnek-5'in ise 60-120 nm aralığındaki dane boyutlarına sahip oldukları görülmektedir. Buna göre; örnek-1, -2, -3, ve -4'ün mikronaltı boyutlu [10], örnek-5'in ise nano boyutlu (Fritsch vd., 2006) [17] silis danelerinden meydana geldiği ortaya çıkartılmıştır. Böylece başlangıçta 5 (beş) ana gruba ayrılan fosilleşmiş ağaç örneklerinin, polarizan mikroskobu ve X-ışını saçınım spektroskopisinden elde edilen verilerde olduğu gibi, taramalı elektron mikroskop verilerine göre de 3 (üç) alt grupta toplanabilecekleri ortaya çıkmıştır (Çizelge 3).

Mikrokristalin Yapılı			
-----Kripto Kristalin Yapılı-----			-----Zayıfça Kristalin Yapılı-----
<i>Mikron boyutlu</i>	<i>Mikron boyutlu</i>	<i>Mikron boyutlu</i>	<i>Nano-boyutlu</i>
(≤ 1000 nm)	(1000-500 nm)	(500-100 nm)	(< 100 nm)
	örnek-1, -2, -3 (800-200 nm)	örnek-4 (400-100 nm)	örnek-5 (120-60 nm)

Çizelge 3. Fosilleşmiş ağaçların taramalı elektron mikroskopu (SEM) mikroskop altındaki görünüşlerine göre sınıflandırması.

2.3. Kalsedonik ve Opalin Kuvars Mineral Türlerine Göre Sınıflandırma

Yukarıda bahsedilen silis fazlarının düşük P-T koşullarında oluşturduğu SiO₂ bileşimli ve mikrokristalin yapıları kalsedonik ve opalin kuvars mineral türlerinin dış şekli, yumrusaldır. Bu tür mikrokristalin kuvars mineralleri başlıca dört grup altında toplanırlar (Back, 2008; Pretola, 2001) [18, 19].

-Çört -Flint -Kalsedon -Opal

Bunlar arasında flint hariç diğer üç mineral grubunun da alt türleri bulunmaktadır. Bunlar göre; Çört (jasper ve pras), kalsedon (agatlar, krizopras, karneol, heliotrop, oniks ve sardoniks) ve opal (ateş opalleri, dentritli opaller) (Pretola, 2001) [18]. Mikrokristalin yapıları kuvars mineral türlerinden çört, flint ve kalsedon “kriptokristalin yapıları”, opal ise “zayıfça kristalin, psödokristalin veya parakristalin yapıları” olarak iki alt gruba içerisinde değerlendirilirler (Heaney, 1993; Lynne B ve Campbell, 2003; Smith, 1998) [11, 13, 16].

Bu tanımlamalara göre fosilleşmiş ağaçların, örnek-1, -2, ve -3’ün kuvarsın kriptokristalin yapıları flint ve kalsedon türlerini, örnek-4 ve -5’in ise kuvarsın kriptokristalin yapıları kalsedon türünü ve zayıfça kristalin yapıları opal türünü temsil ettiği ortaya çıkmaktadır (Çizelge 4). Bu gruplama sonucu, başlangıçta 5 (beş) grupta sınıflandırılan fosilleşmiş ağaç örneklerinin, içerdiği kalsedonik ve opalin kuvars mineral türlerine göre 2 (iki) alt grupta toplanabilecekleri belirlenmiştir.

Mikrokristalin Yapılı			
-----Kripto Kristalin Yapılı-----		-----Zayıfça Kristalin Yapılı-----	
Çört	Flint	Kalsedon	Opal
Taneli	Taneli	Işınsal-Lifsi-(Levhamsı)	Masif-(Taneli)
Çört	Flint	Kalsedon	Ateş Opalleri
Jasper		Agat	Dentritli Opaller
Pras		Krizopras	
		Karneol	
		Heliotrop	
		Oniks	
		Sardoniks	
-----		-----	
örnek-1, -2, -3		örnek-4 ve -5	

Çizelge 4. Fosilleşmiş ağaçların içerdiği kalsedonik ve opalin kuvars mineral türlerine göre sınıflaması.

3. Fosilleşmiş Ağaçların Malzeme Özellikleri Bakımından Sınıflandırılmaları

Fosilleşmiş ağaçların mineralojik özellikleri göz önüne alınarak yapılan kombine sınıflandırması Çizelge 5’de sunulmuştur. Bu sınıflandırmada, esas olarak fosilleşmiş ağaçların mineralojik özellikleri ile kristalinite dereceleri arasındaki ilişkinin korelasyonu yapılmıştır (Miehe vd., 1984; Fritsch vd., 2006; Pretola, 2001) [14, 17, 19].

Grup	Kristalinite	Mikroskobik Şekil	Kalsedonik ve Opalin Kuvars Mineral Yapıcı Silis Fazları	Silis Tanecik Boyutu (nm)	Kalsedonik ve Opalin Mineral Türleri
Birinci Grup	Kaba Kristalin	Taneli Işınsal-Lifsi Levhamsı	Kalsedon (Ch) Moganit (M)	200-800	Flint-Kalsedon
İkinci Grup	İnce Kristalin	Işınsal-Lifsi Levhamsı	Ortorombik-Silis (OS) Moganit (M)	100-400	Kalsedon-Opal
Üçüncü Grup	Nano Kristalin	Taneli	Opal-CT Opal-C	60-120	

Çizelge 5. Fosilleşmiş ağaçların fiziksel ve mineralojik özelliklerinden yararlanılarak oluşturulan sınıflandırması.

İkinci olarak, fosilleşmiş ağaçların dekorasyon malzemeleri olarak kullanılabilmeleri için, malzeme özellikleri bakımından sınıflandırılarak homojen gruplara ayrılmaları Çizelge 6’da sunulmuştur. Bu sınıflandırmada, fosilleşmiş ağaçların içerdiği SiO₂ bileşimli mineral türlerinin kristalinite derecesi ile özgül ağırlık değerleri ve renkleri arasında bir korelasyon yapılarak elde edilen, malzeme sınıflandırması için baz olarak alınmıştır (Smith, 1998; Pretola, 2001) [16, 19].

TEORİKSEL			FOSİLLEŞMİŞ AĞAÇLAR				
No	Özgül Ağırlık	Kristalinite	Grup	Ağırlık Sağlamlık Dayanıklılık	Örnek	Renklenme	Özgül Ağırlık
I	2.65	Kristalin					
II	2.64-2.50	Kaba Kristalin	Birinci Grup	Ağır Sağlam Dayanımlı	Örnek-1 Örnek-2 Örnek-3	Kahverengimsi-Sarı Kırmızimsı Siyahımsı-Gri	2.60 2.56 2.54
III	2.49-2.25	İnce Kristalin	İkinci Grup	Orta Ağır Yarı Sağlam Dayanımlı	Örnek-4	Kahverengimsi-Portakal	2.42
IV	2.24-2.10	Nano Kristalin	Üçüncü Grup	Hafif Kırılgan Düşük Dayanımlı	Örnek-5	Beyazımsı-Sarı	2.18
V	<2.10	Nano Kristalin Amorf					

Çizelge 6. Fosilleşmiş ağaçların fiziksel özellikleri dikkate alınarak, malzeme özellikleri bakımından sınıflandırılması.

Örnek-1, -2 ve -3'ü temsil eden birinci grupta, 200-800 nm aralığında tanecik boyutuna sahip başlıca kalsedon ve moganit silis fazlarını içeren fosilleşmiş ağaçlar, kaba kristalin yapılı olarak sınıflandırılmışlardır. Özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2.60, 2.56 ve 2.54 olduğu için, bu gruptaki fosilleşmiş ağaçlar aynı zamanda ağır, sağlam ve dayanıklı bir dekoratif malzeme olarak gruplanmışlardır.

Örnek-4'ü temsil eden ikinci grupta, 100-400 nm aralığında tanecik boyutuna sahip başlıca *ortorombik*-silis ve moganit silis fazlarını içeren fosilleşmiş ağaç, ince kristalin yapılı olarak sınıflandırılmıştır. Özgül ağırlık değeri 2.42 olduğu için, bu gruptaki fosilleşmiş ağaç aynı zamanda orta ağır, yarı sağlam ve oldukça dayanıklı bir dekoratif malzeme olarak gruplanmıştır.

Örnek-5'i temsil eden üçüncü grupta, 60-120 nm aralığında tanecik boyutuna sahip başlıca opal-CT ve opal-C silis fazlarını içeren fosilleşmiş ağaç, nano kristalin yapılı olarak sınıflandırılmıştır. Özgül ağırlık değeri 2.18 olduğu için, bu gruptaki fosilleşmiş ağaç aynı zamanda hafif, kırılgan ve dayanımsız bir dekoratif malzeme olarak gruplanmıştır.

Sonuçlar

Türkiye'de Ankara ilinin Çamlıdere ve Güdül ilçeleri arasında tüflerle kaplanmış milyarlarca tonluk malzeme içeren bir fosil ağaç ormanı bulunmaktadır.

Çeltikçi (Güdül-Ankara) bölgesinden toplanan fosilleşmiş ağaç örnekleri, standartlaştırılmış dekorasyon malzemesi olarak kullanılmalari amacıyla, ilk defa bu çalışmada fiziksel ve mineralojik özellikleri dikkate alınarak malzeme olabilirliği bakımından sınıflandırılmışlardır.

Fosilleşmiş ağaçlar öncelikle renklerine (kahverengi-sarı, kırmızımsı, siyahımsı-gri, kahverengi-portakal ve beyazımsı-sarı) ve özgül ağırlık değerlerine (2.60, 2.56, 2.54, 2.42 ve 2.18) dayanan beş ana grup olarak sınıflandırılmışlardır.

Ancak, mineralojik bulgular ışığında fosilleşmiş ağaç örneklerinin, ağırlık, sağlamlık ve duraylılık özelliklerine göre üç alt grupta toplanabilecekleri ortaya çıkmıştır. Buna göre, özgül ağırlığı yüksek fosilleşmiş ağaçlar (örnek-1, -2 ve -3) kalsedon ve flinti, özgül ağırlığı düşük fosilleşmiş ağaçlar (örnek-4 ve -5) ise kalsedon ve opali türü SiO₂ bileşimli mineralleri simgelerler. Bu yüzden birinci grup fosilleşmiş ağaçlar malzeme olarak ağır, sağlam ve dayanımlıdır. İkinci grup fosilleşmiş ağaçlar malzeme olarak orta ağır, yarı sağlam ve orta dayanımlıdır. Üçüncü grup fosilleşmiş ağaçlar ise malzeme olarak hafif, kırılğan ve düşük dayanımlıdır.

Bu yüzden fosilleşmiş ağaçların dekoratif amaçlı kullanımlarında ekonomiklik ve malzeme firesini azaltmak için öncelikle birinci daha sonra da ikinci grup fosilleşmiş ağaçlar tercih edilmelidir. Üçüncü grup malzemelerin hafif kırılğan ve dayanımsız olması nedeniyle kullanımı tavsiye edilmez.

Nihai olarak, fosilleşmiş ağaçların malzeme özelliklerinin sınıflandırıldığı Çizelge 6'nın pratik amaçlar için kullanımı önerilir.

Kaynaklar

- [1] Akahane H, Furuno T, Miyajima H, Yoshikawa T ve Yamamoto, S, "Rapid wood silicification in hot spring water: an explanation of silicification of wood during the Earth's history" *Sediment. Geol.* Vol. 169, 219–228 (2004).
- [2] Krauskopf, K. B., "Introduction to Geochemistry", 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., Sydney (1982).
- [3] Scurfield G ve Segnit E R, "Petrification of wood by silica minerals" *Sediment. Geol.* Vol. 39, 149–167 (1984).
- [4] Tankut A, Wilson M ve Yihunie T, "Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem area, Anatolia, Turkey" *J. Volcanol. Geotherm. Res.* Vol. 85, 285-301 (1998).
- [5] Hatipoğlu M ve Türk N, "A combined polarizing microscope, XRD, SEM, and specific gravity study of the petrified woods of volcanic origin from the Çamlıdere-Çeltikçi-Güdül fossil forest, in Ankara, Turkey" *J. Afr. Earth Sci.* doi:10.1016/j.jafrearsci.2009.01.001 (2009).
- [6] Wilson M, Tankut A ve Güleç N, "Tertiary volcanism of the Galatia province, north-west Central Anatolia, Turkey" *Lithos*, Vol. 42, 105-121 (1997).
- [7] Paicheler J C, "Beşkonak (Kuzey Anadolu-Türkiye) Tersiyer Gölünde volkanik paleoortam ve tortul katkı örnekleri" *TJK Bülteni*, Cilt 21, 11-26 (1978).
- [8] Yavuz-Işık N. "Güvem Havzası (Orta Anadolu) Alt Miosen Gölsel Sedimanlarının Palinolojisi", *61. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 337 (2008).
- [9] Akkemik, Ü., Acarca, N. N., Hatipoğlu, M., The first Glyptostroboxylon from the Miocene of Turkey. *IAWA Journal*, 38(4), 561-570. (2017). DOI: 10.1163/22941932-20170181

- [10] Frondel C, "Systematic compositional zoning in the quartz fibres of agates" *Am. Mineral.* Vol. 70, 975-979 (1985).
- [11] Heaney P J, "A proposed mechanism for the growth of chalcedony" *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 115, 66-74 (1993).
- [12] Jones J B and Segnit E R, "The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases" *Aust. J. Earth Sci.* Vol. 18, 57-68 (1971).
- [13] Lynne B Y ve Campbell K A, "Diagenetic transformation (opal-A to quartz) of low- and mid-temperature microbial textures in siliceous hot-spring deposits, Taupo Volcanic Zone, New Zealand" *Can. J. Earth Sci.* Vol. 40, 1679-1696 (2003).
- [14] Mieke G, Graetsch H ve Flörke O W, "Crystal structure and growth fabric of length-fast chalcedony" *Phys. Chem. Miner.* Vol. 10, 197-199 (1984).
- [15] Murashov V V, ve Svishchev I M, "Quartz family of silica polymorphs: Comparative simulation study of quartz, moganite, and orthorhombic silica, and their phase transformations" *Phys. Rev. B: Condens. Matter.* Vol. 57, 5639-5646 (1998).
- [16] Smith D K, "Opal, cristobalite, and tridymite; noncrystallinity versus crystallinity nomenclature of the silica minerals and bibliography" *Powder Diffr.* Vol. 13, 2-19 (1998).
- [17] Fritsch E, Gaillou E, Rondeau R, Barreau A, Albertini D ve Ostrooumov M, 2006. "The Nanostructure of fire opal" *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 352, 3957-3960 (2006).
- [18] Back, M., Mandarino, J., "Fleischer's Glossary of Mineral Species", 10th Ed., The Mineralogical Record, Inc., Tucson (2008).
- [19] Pretola J P, "A feasibility study using silica polymorph ratios for sourcing chert and chalcedony lithic materials" *J. Archaeol. Sci.* Vol. 28, 721-739 (2001).