



Ankara Agatının mineralojisi ve bantlı yapının kökeni

Mineralogy of the Ankara Agate and origin of its banded structure

Murat Hatipoğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Taş ve Metal İşletmeciliği Teknikerliği Programı, 35160, Buca, İZMİR

O. Özcan DORA

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İZMİR

Öz

Ankara (Çubuk) bölgesi agatları, Miyosen yaşı volkanik seride ait riyolit ve andezit içerisinde bulunmaktadır. Andezit içerisindeki agatlar, yanal devamlı yarık ve çatlak boşlukları içerisinde, açık boşluk dolguları olarak yataklanmış olup, yataklanma şekli katmansıdır. Bu agatlar konsantrik tabakalı (eş eksenli) bantlar içerirler, ancak paralel yatay tabakalı Uruguay türü bantlara rastlanmaz. Riyolit içerisindeki agatlar ise, çeperleri düzenli, ya da düzensiz gözeneklerde boşluk dolguları olarak yataklanmışlardır. Yerleşme şekilleri yumrusaldır. Hem konsantrik tabakalı, hem de yatay tabakalı bantlara sahiptirler. Ankara agatı, düşük basınç-sıcaklık koşulları altında, hidrotermal sirkülasyonun varlığında, yüksek kolloidal silis konsantrasyonunda ve pH 7-9'da meydana gelmişlerdir. Agatlar içerisindeki bantların makroskopik ve mikroskopik (polarizan, elektron) görüntüleri birbirine benzemez. Konsantrik tabakalı bantlar küresel lif demetleri kapsar. Lifler tek kristal olmayıp, bir jel evresinden geçerek oluşabilmektedirler. Yatay paralel bantlar ise, göreceli olarak daha iri silis taneciklerinin yer çekiminin etkisiyle çökeliminin bir sonucudur.

Anahtar kelimeler: Agat, gemoloji, mineralojii, süstaşı.

ABSTRACT

The agates at Ankara (Çubuk) are found in the rhyolites and andesites which belong to the volcanic sequence of Miocene age. The agates in the andesites were deposited as open-space fillings, in crevice- and fissure-vein cavities. Their settling positions are stratiform. They include concentric (equiaxial) bands, but parallel-horizontal Uruguay-type bands are not encountered. However, the agates in the rhyolites were deposited as cavity fillings, in regular or irregular vesicles. Their settling positions are nodular. They have both concentric and horizontal bands. The Ankara agates have occurred under low pressure and temperature conditions, in the presence of hydrothermal circulation, in higher concentration of the colloidal silica, and at pH of 7-9. Macroscopic and microscopic (polarizing, electron) morphologies of the bands in the agates are dissimilar. The concentric bands consist of spherulitic bundles of fibres. The fibres are not single crystal, and could be formed passing from a gel-stage. The horizontally parallel bands are due to the precipitation of relatively coarse silica grains by gravitation.

Key words: Agate, gemmology, mineralogy, gemstone.

GİRİŞ

Agat mineraline insanlık tarihi boyunca büyük değer verilmiştir. Oysa agat Dünyada çok ender bulunan süstaşlarından değildir. Agata gösterilen ilginin nedeni, henüz tam çözüm-

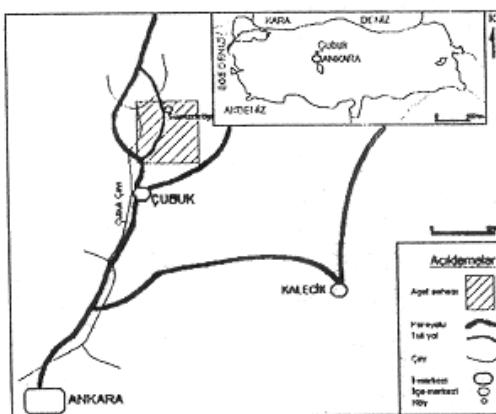
lenmemiş olan oluşum mekanizmasında yattır. Günümüzde 2500'den fazla mineral bilinmektedir ve bunların tamamına yakını sentetik olarak yapılabilmektedir. Sentezi mümkün olmayan örneklerden biri de agattır. Çünkü bir mineralin sentetik imalatında, o mineralin

doğal oluşum mekanizması takip edilir. Agatlar, Dünyada ekonomik boyutta Almanya, A.B.D., Meksika, Uruguay, Brezilya, Hindistan ve Türkiye'de bulunur.

Agat oluşumuyla ilgili bilimsel hipotezler 1700'lü yılların sonundan beri değişik araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur. Ancak Peltö (1956), Oehler (1976), Frondel (1978), Shaub (1983) ve Landmesser (1984, 1992, 1995) gibi araştırmacıların öne sürdüğü ve agatların kolloidal bir silis çözeltisinden oluşanluğu görüşü, bilimsel verilerle daha uyumludur. Bu çalışma kapsamında da, genel olarak agatların ve bantlanmaların oluşum mekanizması, Ankara (Çubuk) agatı örneğinde arazi ve laboratuar (polarizan ve elektron mikroskop) incelemeleri esas alınarak bir modelde dayandırılmaya çalışılmıştır.

ANKARA (ÇUBUK) BÖLGESİNİN JEOLOJİSİ

Agatların en fazla bulunduğu bölge, Ankara ili Çubuk ilçesi kuzyeyinde, 1/25000 ölçekli Çankırı H30a3 ve a4 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu bölgede, agatları içeren volkanitler üzerinde ayrıntılı, volkanik birimleri çevreleyen diğer birimlerde ise genel litolojik inceleme yapılmıştır (Hatipoğlu, 1996). Belirtilen paftaları

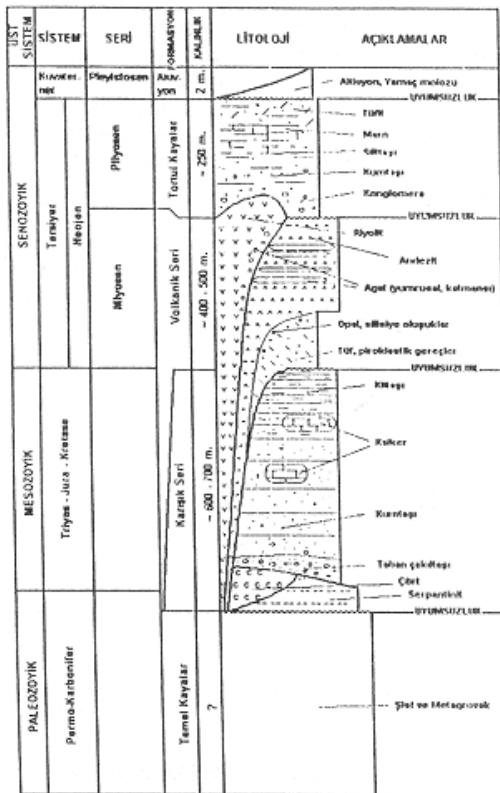


Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası
Figure 1. Location map of the investigated area

da içine alan bölgedeki litolojik birimlerin, daha önceden yapılan farklı amaçlı araştırmalar sırasında (Tatlı, 1975; Suludere, 1976; Akyürek vd., 1980) geniş kapsamlı olarak saptanmış olduğu ve birbirinden farklı formasyon isimleri ile adlandırıldığı belirlenmiştir. Ancak hem çalışmanın amacını daha iyi yansıtacağı, hem

de bölge hakkında bilgi vereceği düşünülerek sadece yukarıda bahsedilen paftalarda yer alan ve özellikle agat içeren volkanik birimler ile bu volkanitleri altlayan ve üstleyen birimler, litolojik seriler halinde, oluşum yaşları ve içerdikleri kayaç grupları esas alınarak özel isimlerle adlandırılmıştır (Hatipoğlu, 1996). Buna göre; Tabanda Paleozoik yaşı başlıca şist ve metagrovakdan oluşan kayaçlar 'Temel Kayalar' olarak, üzerinde uyumsuzlukla Mesozoyik yaşı tortul, metamorfik ve volkanik kayaçların oluşturduğu melanj özelliğine sahip birim de 'Karışık Seri' olarak adlandırılmıştır. Bu birimlerin üzerinde uyumsuzlukla gelen silisi oluşumlara sahip tüfler ve piroklastik malzemeler, katmansı agat yığışı içeren andezitik lavlar ve yumrusal şekilli agat içeren riyolitik domaların oluşturduğu Miyosen yaşı birimler ise 'Volkanik Seri' olarak adlandırılmıştır. Bunların üzerinde uyumsuzlukla yer alan Pliyosen yaşı konglomera, kumtaşı, silttaşlı, marn ve tüfetten oluşmuş seri de 'Tortul Seri' olarak isimlendirilmiştir. En üstte ise uyumsuzlukla güncel yaşı alüvyon, örtü olarak yer almaktadır (Şekil 2).

Bölgedeki Paleozoik yaşı temel kayaçlar aslinde oldukça tartışımadır ve henüz tam olarak, tüm ayrıntısıyla açıklığa kavuşturulmamıştır. Erol (1968), şist ve grovaklardan oluşan kayalara Dikmen Grovakları ismini vermiştir. Ünsal (1973), temel kayalarını şiddetli metamorfik şist ve grovaklar ile az metamorfik koyu renkli şistler olarak ikiye ayırmıştır. Tatlı (1975), Paleozoik temel olarak isimlendirdiği kayaların yeşil renkli şistten ve bundan ayrılamayan grovak ve spilitlerden oluşduğunu belirtmiştir. Akyürek vd. (1980), Alt Triyas yaşı olarak ayırtladıkları formasyonlar içerisinde Paleozoik'e ait Karbonifer ve Permiyen yaşı bloklar bulmuşlardır. Helvacı vd. (1989), bölgenin temelini oluşturan metamorfik kayaların Paleozoik yaşı olduğunu söylemişlerdir. Yapılan genel incelemede bu kayaların, alttan üste doğru yeşil renkli şistler, siyah renkli şistler ve meta-grovalardan oluşturduğu saptanmıştır. Mesozoyik yaşı karışık seri, başlıca serpantinit, çört, çakıltaşlı, kumtaşı, kiltaşı, kireçtaşlı ve yer yer içerisinde volkanizma ürünlerini (lav, tuf, aglomera vb.) barındırmaktadır. Değişik araştırmacılar bu karışık seriyi daha ayrıntılı görüldüğü civar bölgelerdeki verilerine göre farklı formasyon isimleri altında ayırtlamışlardır. Tatlı (1975), bu seri içerisindeki karmaşık birimlere Karacakaya Formasyonu, Kapaklı Kireçtaşlı, Mesozoyik Ofiyolit, ve de Yaşmeşe Formasyonu isimlerini vermiştir. Suludere (1976), bu



Şekil 2. Ankara (Çubuk) bölgesinin kuzey kısmının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti-ölkексiz (Tatlı, 1975; Suludere, 1976; Akyürek vd. 1980'den bireleştirilerek oluşturulmuştur)

Figure 2. Generalized stratigraphic columnar section of the northern part of Ankara (Çubuk) area-not to scale (Reconstructed as a whole after Tatlı, 1975; Suludere, 1976; Akyürek et al. 1980)

seri içerisinde çok çeşitli birimlerin bulunduğu, bunları ayrıntılı ayrıtlamadan Karacakaya Formasyonu adı altında topladığını belirtmiştir. Akyürek vd. (1980), bu seriyi kapsayan birimler üzerinde en detaylı çalışmayı yapmışlardır. Araştırmacıların ayrıtladıkları formasyonlar; Kösrelilik, Yağızalı, Elmalı, Yeniçôte, Karabogaç, Mart, Kurşunluduş Formasyonları ile Eldivan Ofiyolitli Melanjidir. Miyosen yaşı birimlerin yer aldığı ve bu çalışmanın kapsamında volkanik seri olarak adlandırılan kayaçlar da, oldukça karmaşık özelliktedir. Volkanizma faaliyetlerinin bolca ve yaklaşık birbirine yakın zamanlarda olması, değişik kökenli volkanizma ürünlerinin yanal geçişler göstermesiyle sonuç-

lanmıştır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan agat mineralinin içinde geliştiği bu seri, agat oluşumuna ışık tutacağı için ayrıntılı olarak irdelemiştir. Ankara bölgesindeki volkanizma faaliyetleri çok yaygındır. Genel ve büyük ölçekte tümü, Ankara volkanitleri içerisinde değerlendirilir. Geniş alanlara yayılması birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve farklı bölgelerdeki farklı amaçlı incelemeler, volkanik birimlerin de içerisinde bulunduğu değişik formasyonların ortaya atılmasına sebep olmuştur; Erol (1968) ve Ünsal (1973) genel anlamda Volkanik Seri ismini kullanırken, Tatlı (1975) ve Suludere (1976) bu volkanitleri ve yer yer graft halde bulunan tortulları Pazar Formasyonu adı altında toplamışlardır. Akyürek vd. (1980) ise, volkanik seriyi Kurtısvrısı Volkanitleri ve Aydos Bazaltı olarak iki formasyona ayırmışlardır. Tankut vd. (1998) bölgedeki volkanizmanın Erken ve Geç Miyosen olmak üzere iki dönemde faaliyet gösterdiğini, Erken Miyosen evresinin ilk aşamasında andezitik karakterli lavların yayılarak kاتlaşmasından sonra riyolitik magmanın yüzeye çıktıığını, Geç Miyosen evrenin ise bazaltlarla temsil edildiğini belirtmektedirler. Bu çalışmaya elde edilen bulgulardan da, Ankara bölgesinde daha yaşlı bir volkanizma faaliyetinin geliştiği ve bunlara ait ürünlerin Mesozoyik yaşı karışık seri içerisinde yer aldığı gözlenmiştir. Ancak bunlar, Çubuk kuzeyinde geniş alanlarda yüzlek veren ve Miyosen yaşı olan andezitik birimlerden, ya da domlar halindeki yükseltileri oluşturan riyolitik birimlerden farklı ürünlerdir. Ayrıca, bu volkanik ürünlerin Ankara bölgesinde Jura'dan Neojen sonuna kadar etkili olan volkanizma faaliyetinin son aşamasını oluşturmazı da ayrı bir önem taşımaktadır. Çubuk kuzeyindeki bu volkanik seri; andezitik karakterli lav akıntıları, riyolitik karakterli domlar ve asit-nötr bileşimli tuf ile piroklastik malzemelerden oluşmaktadır. Genelede kayaçların dış yüzeyleri ayrılmış ve kayaçlar yer yer ilksel karakterlerini kaybetmişlerdir. Özellikle riyolitler içerisinde atmosfer koşullarında ani basınç düşmesi sonucu kaçışan gazların bırakıldığı pek çok sayıda küçük boşluklar bulunur. Bu volkanik birimlerde camsı yapılı perlitik ve silisik oluşuklarla, bantlı agat, çubuklu agat, agat-jeod ve opal oluşumları yer almaktadır. Pliyosen yaşı tortul seri de başlıca konglomera, kumtaşısı, silttaşısı, marn ve tüfitlerden oluşmaktadır. Birimlerin çakılları volkanik ürünler, kireçtaşları, serpentinit ve az olarak da sıstlerden meydana gelmektedir. Bu seriyi Tatlı (1975), Pazar ve Sinap Formasyonları olarak iki kısımda

incelemesine karşın, Suludere (1976) tortul serisi Sinap Formasyonu adı altında toplamıştır. Akyürek vd. (1980), bu seri için Büyükyakalı Formasyonu ismini kullanmışlardır. Güncel yaşlı alüvyon da yukarıda bahsedilen birimlerin ayrık malzemeleri olarak kuru ve sulu dere yataklarında, yamaç molozu şeklinde yer almaktadır.

ANKARA (ÇUBUK) BÖLGESİ AGATININ GEMOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Agat Örneklerinin Makroskopik Özellikleri

İstanbul (Çubuk) kuzeyindeki bölgede bulunan agat örnekleri, andezit ve riyolit gibi başlıca iki tip çevre kayacı içerisinde görülmektedir. Andezit içerisinde bulunan agatlar, açık boşluk dolguları (çatlak ve yarık dolguları) olarak yataklanmıştır. Bu agatların büyümeye şekilleri DÜNYADA sıkça rastlanan ve alışlagelmiş şekil olan yumrusal yerine, katmansıdır. Agat yiğisimi içeren bu katmanlar, andezit içerisinde genelde paralel olmayan damar dolguları olarak uzanır. Bu damarların genişliği 1 mm'den 10 cm'ye, agat içeren çatlak zonunun uzunluğu ise yaklaşık 1 km'ye kadar erişir. Andezitik kayacın mekanik parçalanmasıyla katmansı boşluklarında bulunan ve mekanik ayırmaya daha dirençli olduğu için ayırmadan serbest kalan agatlar, sahada düzensiz bloklar halinde geniş bir bölgede yayılmışlardır. Andezitik kayacın boşluk çeperlerinden kopmuş agat bloklarının çeperleri üzerinde yeşil renkli bir tabaka olarak gözlenen ancak buradan yapılmış ince kesitin polarizan mikroskopuya incelemesinde klorit mineralindenoluştuğu belirgincetespit edilen ve bu yüzden klorit zonu olarak adlandırılan (Hatipoğlu, 1996) yeşil renkli bir kuşak mevcuttur. Hatta bu yeşil kuşak, agat oluşumuna uygun olmayan çok ince çatlak damarlarını, tümüyle doldurmuştur. Andezit içerisindeki agatlar, konsantrik (eş eksenli) tabakalı bantlanmaya sahip olup, hiçbir örnek yatay tabakalı (tabana paralel) bantlanma (Uruguay bantlanması) göstermez. Bu agatlar, dikdörtgen prizma şekilli, prizma uzunluğuna paralel ince damarlar içeren, tümüyle silislesmiş çubuksu yapılar halinde, ancak orijinal kristal şeklini korumuş (psödomorf kristaller) kapanımlara

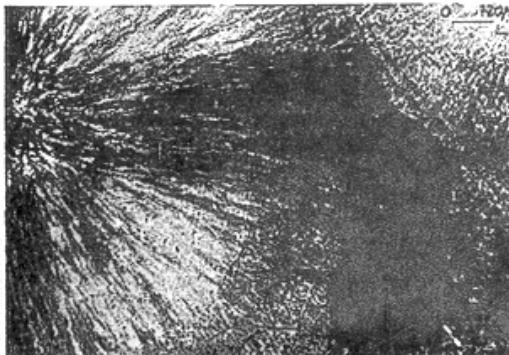
sahiptir (Hatipoğlu, 1996; Hatipoğlu ve Dora, 1998). Bundan dolayı, bu cins agat DÜNYADA bugüne kadar ilk kez ve sadece bu bölgede gözlendiğinden, özel olarak 'Çubuklu Agat' ismi ve yapısı olarak adlandırılmıştır (Hatipoğlu, 1996 ve 1998). Bu tür özgün kapanımlara sahip agatlar DÜNYADA oldukça enderdir.

Riyolit içerisindeki agat örnekleri, dış kenarları düzenli ya da düzensiz DÜNYADAKI benzer örneklerine uygun olarak yumru şekilli gözenekler içerisinde, boşluk dolguları olarak yataklanmıştır. Bu nedenle büyümeye şekilleri yumrusaldır. Yumruların çoğu yaklaşık 7.5 ile 20 cm'lik bir çapa sahiptir. Bu agatlarda hem konsantrik tabakalı hem de yatay tabakalı bantlanma gözlenir. Ayrıca birçok örnekte işansal şekilli çatlı, ya da yosun benzeri dendritik kapanımlar (özellikle büyümüş silikat yapıları) bulunur. Çokça örneklerde merkezi bir boşluk yer alır ve bu boşluk kısmen, ya da tümüyle kristalin kuvars ile doldurulmuştur (agat jeodalar) (Hatipoğlu, 1996 ve 1998).

Agat Bantlarının Polarizan Mikroskop Özellikleri

Ankara (Çubuk) agat örneklerinin ince kesitleri üzerinde yapılan incelemeler, içerdikleri masif kısmın ve konsantrik tabakalı bant bölgelerinin tümüyle silis liflerinden meydana geldiğini, yatay tabakalı bant bölgelerinin dolgu ya da astar şeklinde, merkezde kalan kristalin bölgelerin ise silis tanelerinden oluştuğunu göstermektedir. Bu nedenle Çubuk agat örnekleri DÜNYADAKI diğer agat örneklerine uygun olarak hem lifsi (tipik kalsedonik doku) (Şekil 3), hem de taneli (tipik jasperik doku) (Şekil 4) dokuya sahiptir.

İnce kesiti yapılan örneklerde polarizan mikroskopuya görülen lifler genelde birkaç mikronla, birkaç yüz mikron uzunluğa sahip olup, hem düzgün, hem de dalgalı sönme gösterirler. Ayrıca lifsi topluluklarda genel olarak paralel veya küresel yiğşim olmak üzere, iki ana yiğşim modeli gözlenmiştir. İnce kesitlerde küresel yiğşim gösteren bazı lif demetleri fan şeklinde, ya da tahıl samanlarının yiğilmiş halini anımsatan desteler şeklinde görülür. Lifler, optik



Şekil 3. Ankara agatı içerisindeki lifsi doku ve işinsal liflerden oluşan kürecikler (+N, x16)

Figure 3. Fibrous texture in the Ankara agate and spherulites formed from the radial fibres (+N, x16)



Şekil 4. Ankara agatı içerisindeki taneli doku (+N, x16)

Figure 4. Granular texture in the Ankara agate (+N, x16)

uzun eksende yayılan ışığın hızına göre iki gruba ayrılmaktadır. En büyük indikatriksi gama (γ), a-ekseni üzerinde olan lifler (length-fast); en büyük indikatriksi gama (γ), c-ekseni üzerinde olan lifler (length-slow). Bunlardan ilki 'lifsi kalsedon', ikincisi ise 'lifsi kuvars (kuvarzin)' olarak adlandırılmıştır. İnce kesitlerdeki lifsi gruplarda görülen ana yığışım modeli, küresel şekillenmedir. Bu küresel yapı tek bir merkezden yayılan işinsal liflerden oluşmuştur. İşinsal lifler tümüyle kalsedon veya kuvarzinden meydana gelebildikleri gibi, karışık olarak da bulunabilirler. Çubuk agatını oluşturan mikroskopik lifsi küreciklerin yığışmalarında genelde üç durum gözlenmiştir: 1) çeper üzerinde tek bir noktada başlayan çekirdeklenme, genelde birbirinden ayrı işinsal yarı-kürecikler oluşturur (Şekil 5a ve 6); 2) düz bir çeper yüzeyi üzerinde birbirine yakın birçok noktada başlayan çekir-

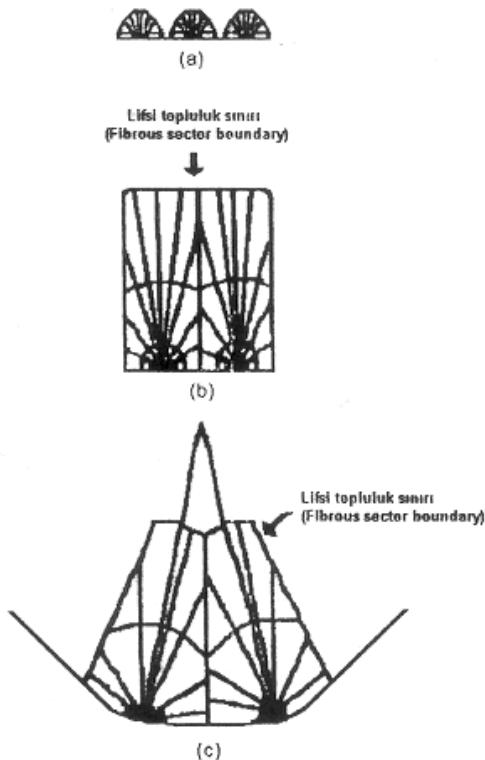
deklenme, lifsi küreciklerin birbirine çok bitişik olması nedeniyle yaklaşık tabana paralel bir kabuk meydana getirir (Şekil 5b ve 7); 3) genel olarak iç bükey, ya da düzensiz bir çeperden başlayan çekirdeklenme, içe doğru aynı noktaya yaklaşan bir yığışım oluşturur ve en üst düzey böbrek ya da soğansı şekilli bir görünüş kazanır (Şekil 5c ve 8). Bu son durum genelde merkez kısmı boş kalmış örneklerde görülmektedir.

Çubuk bölgesinde gözenek, ya da damar boşluğu dolgusu şeklinde olmuş agatların bantlı yapıları dışında genel bir özelliği de kuvars kristalleriyle doldurulmuş, ya da astarlanmış merkezi bir boşluk kapsamalarıdır. Boşluk bölgelerinin polarizan mikroskopu altında belirgin silis taneleriyle doldurulduğu görülür. Yatay tabakalı bantların bulunduğu bölgeler de belli belirsiz tanelerin oluşturduğu bir morfoloji gösterir.

Agat Bantlarının Elektron Mikroskop Özellikleri

Konsantrik tabakalı ve damar çeperlerine paralel Uruguay türü yatay tabakalı bantların taramalı elektron mikroskopu (SEM) altında çok yüksek büyütmelerde görülen morfolojileri, polarizan mikroskopu ile belirlenen dokudan oldukça farklıdır. Makroskopik olarak farklı renklerde ve kalınlıklarda görülen konsantrik tabakalı ve yatay tabakalı bantların, ilk aşamada farklı maddelerin değişik zamanlardaki birikiminden oluşturduğu düşünülebilir. Ancak elektron mikroskopik incelemelerden agat karakterize eden bu yapıların, gerçekte eş zamanda oluşan işinsal lifsi topluluklarından ve işinsal lifleri meydana getiren farklı boyutlardaki çok küçük silis tanelerinin dizilimlerinden, kısaca dokusal farklılıklarla ileri geldiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle agatların gerçek dokusunu elektron mikroskopu ile anlaşılmaktadır.

Konsantrik tabakalı bantlanmayı ortaya çıkartan temel işlem, lifsi dokunun gelişimidir. Polarizan mikroskopu altında görülen işinsal lifler (bknz. Şekil 3); taramalı elektron mikroskopünün düşük büyütmelerinde de gözlenebilir. Daha yüksek büyütmelerde bu görüntünün aldatıcı olduğu, özellikle 3500 kez büyütülmüş resimlerde, işinsal liflerin gerçekte farklı boyuttaki çok küçük silis taneciklerindenoluştugu ve aralarında boşluklar bulunduğu ortaya çıkmaktadır. İşinsal iri bir feno-lifin tek kristal olmadığı, çok küçük ($<1\mu\text{m}$) lifçiklerdenoluştugu, lifçiklerin

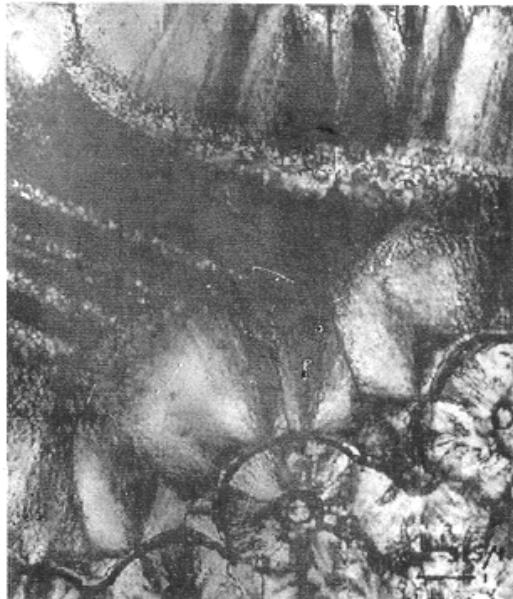


Şekil 5. Agatlar içerisindeki küreciklerin oluşumu: (a), (b) pürüzsüz ve düz bir yüzey üzerindeki paralel yiğisimlerin ve (c) içbükey bir yüzey üzerinde küreciklerin oluşumu (Frondel, 1978'den)

Figure 5. Formation of spherulites in the agates: formation of spherulites parallel fibre aggregates on a smooth and flat surface (a), (b), and on an inwardly-convergent surface (c) (after Frondel, 1978)

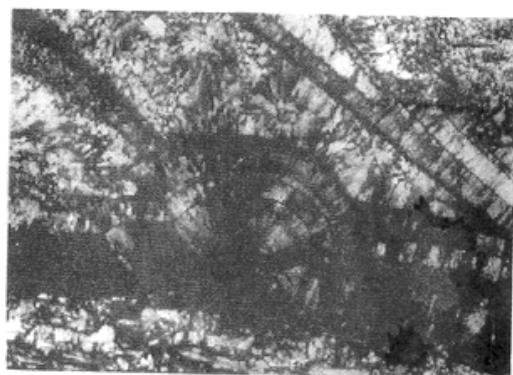
bükük yapısından da anlaşılmaktadır (Şekil 9). Lifçiklerden oluşan tabakalarla, aradaki boşluklu kısımların meydana getirdiği tabakaların bir-biriyle ardalanması sonucu, Çubuk agatındaki tipik bantlı yapı meydana gelmiştir. Dünyadaki pek çok agat örneğini inceleyen Landmesser (1984) de, bantlı yapının oluşumu için aynı görüşü ileri sürmektedir. Makroskopik olarak farklı renklerde, ya da aynı rengin farklı tonlarında gözlenen 'geniş konsantrik tabakalı bantlar', elektron mikroskopuya incelendiğinde, bant sınırlarının büyük oranda doku farkından ileri geldiği görülmektedir. İşnsal liflerin uzunluğuna dik yönde uzanan 'dar konsantrik tabakalı bantların' da (Şekil 10) değişik boyutlu silis

taneciklerinin ve aralarındaki boşlukların ritmik yinelenmesi sonucu, ışığı farklı kırmına uğratmalarından kaynaklandığı, elektron mikroskopunun yüksek dereceli büyütmelerinde görülen morfolojiden anlaşılmaktadır (Şekil 11). Bant sınırlarının aşırı gözenekli bölgelerinin yabancı elementlerle (pigmentler) doldurulması ve böylece bant sınırlarının daha belirgin hale



Şekil 6. Ayrik işnsal yarı kürecikler (+N, x6.3)

Figure 6. Separated fibrous semi-spherulites (+N, x6.3)



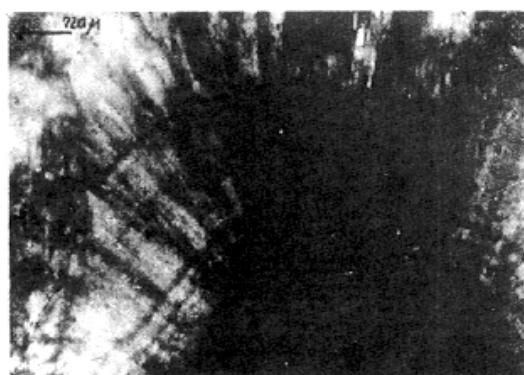
Şekil 7. Düz bir çeper üzerinde içice büyümüş lifsi yiğism (+N, x6.3)

Figure 7. Interwoven fibrous aggregate on the flat wall (+N, x6.3)



Şekil 8. İçbükey boşluk çepeli üzerinde yarı küreciklerin yiğisi (+N, x6.3)

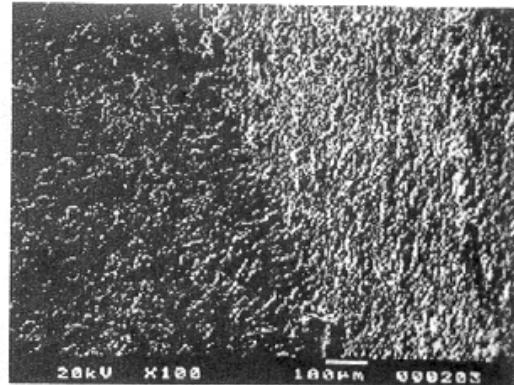
Figure 8. Aggregate of the semi-spheres on the wall of inwardly-convergent cavity surface (+N, x6.3)



Şekil 9. Yarı küreciklere dik olarak yayılan dar konsantrik tabakalı bantlar (+N, x16)

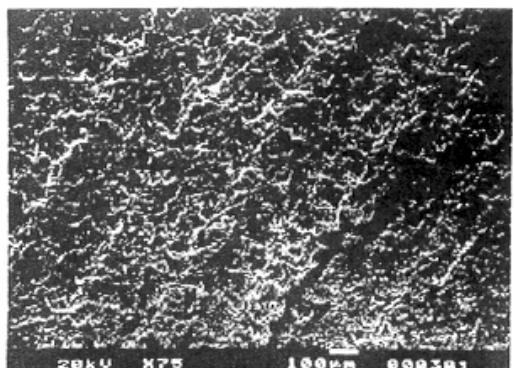
Figure 9. Narrow concentric bands running perpendicular to hemispherical fibres (+N, x16)

gelme olasılığı da bulunmaktadır. Şekil 12'deki hem dar konsantrik tabakalı bantlar arasındaki geniş boşluklarda, hem de geniş konsantrik tabakalı bantları ayıran sınırlarda koyu renkte görülen bölgeler büyük olasılıkla yabancı mazemenin birliği yerlerdir. Literatüre göre pigmentler, genelde demir ve bakır gibi maddelelerden oluşmaktadır (Frondel, 1978; Landmesser, 1984; Sukow, 1987). Ankara agatındaki pigmentlerin kesin varlığı ve türü, kullanılan elektron mikroskoplarının geçirme (transmisyon) özelliğinin bulunmaması nedeniyle, saptanamamıştır.



Şekil 10. Agat içerisindeki konsantrik tabakalı bantlanmayı oluşturan açık ve koyu bölgelerin sınırlarında belirgin şekilde görülen bükülmüş lifler

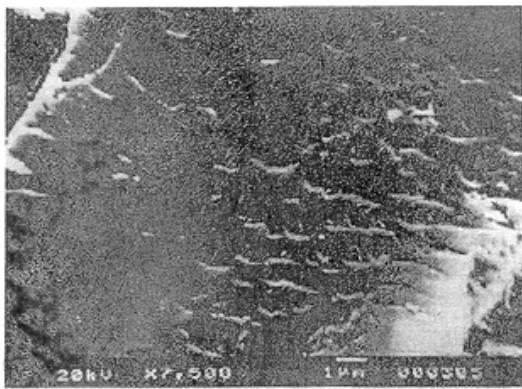
Figure 10. Contorted fibres which are clearly seen at the boundaries of the regions of dark and light hues which form the concentric banding in the agate



Şekil 11. Agat içerisindeki konsantrik tabakalı dar bantlanma

Figure 11. The concentric narrow banding in the agate

Bununla birlikte, mevcut kimyasal analiz olanakları ölçüsünde, arazinin farklı noktalardan derlenen çubuk yapılı agatlardan, silis-leşmiş psödomorf çubuklardan ve bu çubukların üzerindeki artıklardan toplam 10 örneğin iz element analizi yapılmıştır (Hatipoğlu, 1996; Hatipoğlu ve Dora, 1998). Elde edilen bulgulara göre; Fe, Pb ve Zn, her örnekte bol ve birbirine



Şekil 12. Pigmentlerin çökeldiği bölgeleri simgeleyen bantlar arasındaki yiv

Figure 12. The striae between bands, signified the regions where pigments precipitated

yakın orandadır. Cu ve Ni, çubuk yapılı agatlarda göreceli olarak az iken, silislesmiş çubuklar ve üzerlerindeki artıklarda oldukça boldur. Rb, çubuk yapılı örneklerde hiç yoktur, ancak silislesmiş çubuklarda az, buna karşın çubuklar üzerindeki kalıntılarında oldukça boldur. Aynı sonuç, Ga ve Nb için de geçerlidir. Zr, çubuk yapılı agatlarda çok bol bulunurken, silislesmiş çubuklar üzerindeki artıklarda oldukça az, silislesmiş çubuklarda ise çok daha az oranlardadır. Y, çubuk yapılı agatlarda bulunurken, silislesmiş çubuklarda ve üzerlerindeki artıklarda hiç yoktur. Sr ve Ba, çubuk yapılı agatlarda ve silislesmiş çubuklarda göreceli olarak aynı oranlarda bulunurken, silislesmiş çubuklar üzerindeki artıklarda oldukça bollaşmıştır.

Yatay tabakalanma gösteren agat bantları, hem polarizan hem de elektron mikroskobunda, konsantrik tabaklı bantlanmadan farklı doku göstermektedir. Elektron mikroskopunda 3620 kez büyütmede, yatay tabaklı bantların yaklaşık homojen boyutta oldukça iri silis taneciklerinden ve boşluklardan meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca dar, ya da geniş bantlanmayı oluşturan silis taneciklerinin boyutları da birbirinden farklıdır. Elektron mikroskopu ile saptanan görüntülerde, lifsi dokudan farklı bir dokunun görülmesi, yatay tabaklı bantların konsantrik tabaklı bant oluşumundan farklı bir mekanizmayla ortaya çıktılarını düşündürmektedir.

Agat Oluşumunun Mekanizması

Agatın oluşumunun modellenmesinde; silisin çözülmesi, taşınması ve çökelmesi olayları devreye girer. Agatları oluşturan silis, esas olarak çevre kayaçlardaki silikat minerallerinin ayrışmasından açığa çıkar. Bölgede gözlenen agatlar andezit ve riyolit birimlerinin dokanağına yakın zondaki çatlak boşluklarında bulunduğu için, silisin bu kayaları oluşturan silikat minerallerinin ayrışmasından açığa çıktıgı düşünülmektedir. Bölgedeki volkanik faaliyetin siğ bir gölgesel ortam içerisinde geliştiği bilinmektedir (Helvacı vd., 1989, Tankut vd., 1998). Andezitik lavların yayılmasıından sonra, aynı bölgede riyolitik domların yükselmesi, andezitin dokanağında ve bu dokanağa yakın kesimlerde katmansı bir çatlak zonunun oluşumuna da sebep olmuştur. Bu zondan alınan örneklerin ince kesitlerinde, dış çeperden merkeze doğru; Tremolit (aktinolit) → klorit → silisleşmiş işinsal psödomorflar (muhtemelen zeolit) → agat zonlanması, saptanmıştır (Hatipoğlu ve Dora, 1998). Ayrıca bölgedeki volkanik birimlerde büyük oranda ikincil mineraller ve ayrışma ürünleri (kısım kloritleşmiş hornblend, Ünsal (1973); limonit sızmaları, Tatlı (1975); silisleşme ve analsimleşme, Suludere (1976); killeşme, Akyürek vd. (1980); plajiyoklastan serisitleşme ve yer yer kalsitle ornatılma, piroksenlerden kloritleşme, killeşmiş hamur içerisindeki boşluklarda zeolit ve klorit ile doldurulma (Tankut, 1985) gözlenmiştir. Bu veriler, bölgede agat oluşumundan önce hidrotermal alterasyonun meydana geldiğini, bu alterasyonun agat oluşumu için gerekli silisi çevre kayaçlardan çözüdüğünü ve çatlak zonu boyunca da sirküle ederek, silili çözeltilerin agat oluşumuna uygun gözenek ve çatlaklara ulaşmasını sağladığını düşündürmektedir. Buna göre Çubuk bölgesinin jeolojik tarihçesi, agatların içinde bulunduğu kayaç birimleri ve agatların yataklanma şekilleri ile ayrışma ürünleri göz önüne alındığında; Ankara agatının, hidrotermal alterasyonu izleyen evrede ve hidrotermal sirkülasyonun eşliğinde kolloidal silis çözeltilerinden çökeldiği düşünülebilir.

Geniş anlamda silikatların ayrışması, ayrıstiği çözeltiyi alkalin yapan, ya da en azından asiditeyi azaltan bir hidroliz reaksiyonudur. Ayrışan silisin büyük kısmı, silisik asit olarak çözülür.



Su (H_2O), silisin çözülmesi, taşınması ve birikiminde; agat oluşturan sistemlerin sıcaklık, basınç, pH ve konsantrasyon gibi ortamal koşullarının düzenlenmesinde doğrudan, ya da dolaylı rol oynar. Krauskopf (1982)'a göre silis, silisik asit olarak hidrotermal çözelti içerisinde çatlak zonu boyunca doğrudan, kapalı gözeneklere de difüzyon yoluyla girerek, kayayı yıkar. Çökelmek için uygun boşluklar ve ortamal koşullar bulunduğuunda koloidal formda çözeltiden ayrılarak,



SiO_2 pihtalarını oluşturur. Silisin yüksek konsantrasyonlarda serbest kaldığı yerlerde, ya da ayrısan çözeltilerin yersel olarak yoğunlaştığı kesimlerde, silisin bir kısmi koloidal, ya da amorf SiO_2 olarak ayrılır. Daha sonra bu kolloitler jelatinsi bir çökelte meydana getirir. Pihtlaşmaya elektrolitler de yardımcı olur (Krauskopf, 1982). Dünyanın diğer bölgelerindeki agat çökelimlerinde olduğu gibi, yukarıda bahsedilen makroskopik ve mikroskopik bulgular ışığında (çevre kayacın cinsi ve mineralojiksel özellikleri, agat içeren katmansı boşluklardaki kloritik zon, ve diğer hidrotermal alterasyon ürünlerinin varlığı, agatların polarizan mikroskopta gözlenen lifsi dokusunun özellikleri ve yiğşim şekli, agatların elektron mikroskopta gözlenen kristalin olmayan yapısı, liflerin büükülmesi, tane ve boşluklardan oluşan dizilişi, agat ve tortularından elde edilen iz elementler ve oranları, silisin hidrotermal ortamındaki karakteristik davranışları), Ankara agatlarının da benzer bir süreçten geçerek çökeldikleri düşünülebilir.

Kimyasal olarak, koloidal sistemlerin öncelikle bir jel oluşturdukları ve bu jelin yeterince doygunlaştığında pekleştiği bilinmektedir. Koloidal silis parçacıkları anyonları tutar ve negatif yüklü olur. Çözeltideki silis parçacıklarının tümü aynı elektrik yüküne sahip olduğu için, bunlar birbirlerini iterler ve pihtlaşmayı önlerler. Ancak silis çözeltisine bir elektrolit eklenirse, koloidal parçacıklar nötr hale geçerler ve lifsi kristalcikler oluştururlar. Bir jel formundaki silis kolloitlerinin en göze batan özelliği, silis jeli içerisinde difüzyon yoluyla bir elektrolit girdiği zaman belirginleşen renkli difüzyon bantlarının gelişmesidir. Konsantrasyon arttıkça, ya da sıcaklık düştükçe daha küçük tanecikler pihtlaşacaktır. Çünkü küçük tanelerin ergime sıcaklıkları, büyük tane-

lerinkinden biraz daha düşüktür. Aşırı doygun bir çözeltideki silis kolloitlerinin pekleşme şekli, kriptokristalin olarak gerçekleşir. Sonuç olarak, agatlar kolloit sistemlerinin özelliklerini taşırlar. Bu nedenle kriptokristalin dokulu, genel olarak böbrek, ya da soğansı dış yüzeylere sahip, bellî belirsiz renk bantlanmaları gösteren oluşumlar, genelde kolloidal bir kökene işaret eder. Ankara agatının dokusal özellikleri de, kolloidal bir oluşum aşamasından geçerek bugünkü şekillerini kazandıklarını göstermektedir.

Dünyadaki tüm agatların 100-200°C sıcaklık aralığında oluşturukları bilinmektedir (Landmesser, 1984, 1992 ve 1995). 100°C'nin altındaki değerlerde, amorf yapılı opal, 200°C'nin üzerinde ise agatların merkezi boşluğunda da bulunan kuvars kristalleşmektedir. Kriptokristalin silis çökelimi için gerekli silisik asit konsantrasyonun 200°C'nin üzerinde kaybolduğu ve bunun yerine hızlı bir şekilde kristalin kuvars olduğu belirtilmektedir (Landmesser, 1992). Ayrıca, agat oluşumu için sıcaklıkla orantılı olarak yüzey koşullarına yakın bir basınç değeri düşünülmekle birlikte, tüm dünyadaki örneklerde olduğu gibi, Ankara agatı için de kesin basınç değerleri vermek henüz mümkün değildir. Bu bilgiler ışığında, Ankara agatında kristalin kuvars aşamasına ancak yumrusal, ya da katmansı agat yiğisimlerinin (sıcaklığın göreceli olarak yüksek derecelere çıktığı ve uzun süre korunduğu) orta kısımlarında ullaşıldığından, oluşum koşulları olarak 100-200°C sıcaklık ve düşük basınç değerleri düşünülebilir.

Diğer taraftan, yüzey koşullarına yakın değerlerdeki mineral oluşumları, öncelikle uygun pH değerlerindeki çözeltilere bağlı gelişmektedir. Agat oluşumunda genelde 9'un altındaki pH değerleri geçerlidir. Çünkü pH'ın 9 ve daha yüksek değerlerinde bu kez silisik asit duraylıdır. Buna göre, Ankara agatının aşırı doygun silis çözeltisinde, 7-9 arasındaki pH değerlerinde oluşturukları ileri sürülebilir.

Konsantrik tabakalı bantlanmanın kökeni

Dünyanın değişik bölgelerindeki agatların oluşum mekanizmaları üzerine ileri sürülen, silisik asitçe zengin (bir miktar koloidal silis ile birlikte) çözeltilerin, agat oluşumu için uygun ortamlara (damar ya da gözenek boşlukları gibi) ullaştığından ve silisik asit konsantrasyonu zenginleştiğinde, bünyesindeki silisi koloidal şekilde açığa

çıkarttığı, elektrolitlerin yardımıyla pihtlaşan çok küçük kolloidal zerrelerin bir jel oluşturduğu, zerrelerin mikroskopik boyutta lifler halinde büyüerek küresel şekillerdeki lif demetlerini meydana getirdiği düşüncesi, Ankara agatına ait yukarıda bahsedilen ve aşağıda ayrıntılı yorumlanan polarizan ve elektron mikroskop bulgularıyla da desteklenmektedir. Ayrıca, yelpaze görünümünde büyuyen işinsal liflerin, heterojen boyutlu tanelerle aralarındaki boşulların ritmik dizilimini yansıtışı, bu görünümün de konsantrik tabakalı bantların elektron mikroskopu ile saptanan süngerimsi-gözenekli dokusunu oluşturduğu, Dünyadaki diğer örneklerde olduğu gibi, Ankara agatı üzerinde yapılan bu çalışmada da ortaya çıkmıştır. Sonuçta, küçük tanecikler ve boşullar ile daha büyük tanelerin ve boşulların ardalanmalı olarak lif uzunluğuna dik yöndeki dizilimleri, ışığı farklı oranlarda geçiriceğinden ve kıracağından, agatların dar bant yapısını oluşturur. Bazen bu dar bantları ayıran zonda derin yivler oluşur ve jel içeresine difüze olan pigmentler buralarda birikir. İşinsal lif demetlerinin bittiği ara yüzeyde yeni lif demetlerini oluşturacak çekirdeklenmeler meydana gelir. Ancak bu bölgede çekirdeklerin birbirinden uzak olması nedeniyle mikroskopik boyutta büyük boşullar oluşur. Böylece her bir ara yüzey ile bu ara yüzeyler içindeki lif demetleri arasında boşluk boyutlarının çok farklı olması, makroskopik ölçekte agatlarda görülen geniş bant yapısını oluşturur. Hem bantları ayıran yüzeylerde, hem de işinsal liflere dik yönde uzanan yivlerin içine, başta demir olmak üzere değişik pigmentler girebilir. Bu pigmentler, hem dar ve geniş bantların belirginleşmesine, hem de farklı renklerdeki bantların görülmesine sebep olurlar. Bu oluşum modeli de Ankara agatında aynen ortaya çıkmaktadır. Önceden yapılan çalışmalarında, Landmesser (1984) agat bantları arasında Fe elementinin bulunduğu bölgeleri geçirme (transmisyon) elektron mikroskopu aracılığıyla göstermiştir. Sukow (1987) da Lake Superior agatlarında Cu bileşiklerinin varlığını ve bu bileşiklerin renkli bantların oluşumunda etken olduğunu kanıtlamıştır. Hatipoğlu (1988) kuvars ve kalsedonun renklenmesinde Fe, Sb, Zr, Na, K elementlerinin rolünü saptamıştır. Ayrıca, Ankara agatı üzerine yapılan ve yukarıda göreceli oranları belirtilen iz element analizlerinde, başta Fe olmak üzere Zn, Cu, Ni, Zr elementlerinin varlığı belirlenmiştir (Hatipoğlu, 1996, Hatipoğlu ve Dora, 1998). Sonuç olarak, Dünyadaki diğer örneklerine benzer şekilde Ankara agatındaki konsantrik tabakalı bantların yelpaze görünümü

işinsal liflerden meydana geldiği ve bir jel safhasından geçtiği ifade edilebilir. Ayrıca elektron mikroskopunda bazı liflerin eğilmiş olarak görülmesi, bunların tek kristal olmadıklarına işaret etmektedir.

Yatay tabakalı bantlanmanın kökeni

Agatlarda görülen bu cins bantlanma hem makroskopik, hem de mikroskopik (polarizan ve elektron) olarak, konsantrik tabakalı bantlanmadan farklı bir görüntüye sahiptir. Bu yapı, göreceli olarak daha iri silis tanelerinin yer çekiminin etkisiyle yatay olarak çökelimi ile açıklanmaktadır (Landmesser, 1984). Ankara agatındaki yatay tabakalı bantların taramalı elektron mikroskopuyla saptanan görüntüsü hem gerçek çözeltilerden, hem de kolloidal çözeltilerden oluşabilen kolloform bir dokuyu anımsatmaktadır. Bu nedenle hem kolloidal, hem de gerçek çözeltilerin özelliğini taşıyan bu tür çözeltiler yarı kolloitler olarak isimlendirilebilir. Yatay tabakalı bant oluşumları da, bu tür çözeltiden çökelebilirler. Sonuç olarak, seyreltik sulu silis çözeltisinden oluşan iri silis taneleri, yer çekiminin etkisiyle boşluk tabanında yatay olarak birikebilirler. Ankara agatının paralel yatay tabakalı Uruguay türü bantlar da, açıklanan bu model çerçevesinde meydana gelmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Anadolu'da agatların bolca bulunduğu Çubuk kuzeyindeki bölgeden alınan örneklerin mineralojik incelemesine göre, bölge agatları sadece Miyosen yaşı volkanik seri içerisindeki riyolit domlarının andezitle olan dokanağına yakın kesimlerindeki gaz boşullarında ve andezitin riyolitik domlara yakın kesimlerinde gelişmiş çatlaklıarda yer alırlar. Bu nedenle riyolit içerisindeki agatlar düzenli, ya da düzensiz boşluk dolguları olarak yataklanmışlardır. Yerleşme şekilleri yumrusaldır. Yumrular, konsantrik tabakalı ve yatay tabakalı (Uruguay türü) bantlanmalar ile işinsal büyümüş çali, ya da yosun benzeri dendritik yapılar içerir. Buna karşın, andezit içerisindeki agatlar açık boşluk dolguları olarak yataklanmışlardır ve katmansı bir yapı sunarlar. Yalnızca konsantrik tabakalı bantlanma gösterirler ve özgün çubuk şekilli kristalin kapanımlara sahiptirler.

Agatlardaki bantlanmamış masif kısım ve konsantrik tabakalı bantlı kesimler tümüyle silis

liflerinden meydana gelmiştir. Bu lifler genelde yelpaze görünümündedir ve her bir lif, ya da lif grubu optik karakter bakımından kalsedon, ya da kuvarzindir. Yatay tabakalı bantlar ve dolgu, ya da astar şeklinde merkezde kalan kristalin bölgeler tümüyle silis tanelerinden oluşmuştur. Bu nedenle Ankara agatı hem lifsi, hem de taneli dokuya sahiptir.

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile belirlenen doku, polarizan mikroskopta görülen dokudan oldukça farklıdır. Bu nedenle agatların gerçek dokusu, ancak elektron mikroskopuya saptanabilmektedir. Buna göre konsantrik tabakalı bantlanmayı oluşturan lifler farklı boyutta çok küçük taneciklerin ve boşlukların meydana getirdiği düzeylerin ardalanmalı dizilimden oluşurlar. Ayrıca bu lifler tek kristal olmayıp, eğilme ve büükülme gösterirler. Yatay tabakalı bantlardan oluşan bölgeler ise, yaklaşık homojen boyutta oldukça iri silis taneleri ve boşlukları içerir.

Agat oluşum modelinin kurulmasında; silisin çözülmesi, taşınması ve çökelimi söz konusudur. Bölge agatları, hidrotermal alterasyonu ve silis sirkülasyonunu izleyen evrede, kolloidal silis sisteminde oluşmuşlardır. Bu nedenle kolloid sistemlerin kriptokristalin özelliklerini taşırlar. Ankara agatının 100-200°C sıcaklıkta, yüzey koşullarına yakın bir basınçta, kolloidal silisçe yüksek konsantrasyonda ve 7-9 arasındaki pH değerinde oluşu düşündürmektedir. Konsantrik tabakalı bantlar, yelpaze görünümlü işinsal liflerden meydana gelmiştir ve bir jel evresinden geçmiştir. Yatay tabakalı bantlar ise, göreceli olarak daha iri silis tanelerinin ve yerçekiminin etkisiyle oluşur.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmaya literatür desteği sağlayan ve yapıçı önerilerde bulunan Herrn Dipl. Min. Michael LANDMESSER'e (Mainz Üniversitesi) ve mali destekte bulunan Dokuz Eylül Üniversitesi, Araştırma İnceleme Fonu Başkanlığına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Akyürek, B., Bilginer, E., Dağer, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O., 1980. Eldivan-Şabanözü (Çankırı), Hasayaz-Çandır (Kalecik/Ankara) civarının jeolojisi. MTA Rapor No: 6142. 65s. (yayınlanmamış).

- Erol, O., 1968. Ankara çevresinde Paleozoyik arazi-nın bölgeleri ve Paleozoyik-Mesozoyik sınırı hakkında. TJK Bülteni, 1, 1-20.
- Frondel, C., 1978. Characters of quartz fibres. American Mineralogist, 63, 17-27.
- Hatipoğlu, M., 1988. Minerallerin ve süstaşlarının doğal ve yapay renklenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Yüksek Mühendislik Tezi, 94s (yayınlanmamış).
- Hatipoğlu, M., 1996. Mineralogical and gemological investigation of barred and agates of Çubuk (Ankara) area. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Doktora Tezi, 128s (yayınlanmamış).
- Hatipoğlu, M., Dora, O., Ö., 1998. Ankara-Çubuk agatları ve kapanımların mineralojisi ve oluşumlarının incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Adana, Yerbilimleri Dergisi, 32, 167-190.
- Hatipoğlu, M. 1998. Çubuk (Ankara) bölgesindeki agatların sınıflandırılması ve tanımlanması. Jeoloji Mühendisliği Dergisi., Ankara, 53, 13-21
- Helvacı, C., İnci, U. and Yağmurlu, F., 1989. Geology and Neogene trona deposits of the Beypazarı region, Turkey. Doğa, 13, 2.
- Krauskopf, K. B. 1982. Introduction to Geochemistry. Mc Graw Hill Book Company, Singapore, Second Edition, 465pp.
- Landmesser, M., 1984. Das Problem der Achatgenese. Mitt. Pollicchia, Bed Dürheim, 45, 5-137.
- Landmesser, M., 1992. Zur Geothermometric und Theorie der Achate. Mitt. Pollicchia, Bed Dürheim, 79, 159-201.
- Landmesser, M., 1995. Mobility by Metastability: Silica Transport and Accumulation at Low Temperatures. Chemical Erde, 55, 149-176.
- Oehler, J. H., 1976. Hydrothermal crystallization of silica gel. Geological Society of American Bulletin, 87, 1143-1152.
- Pelto, C. H., 1956. A study of chalcedony. American Journal of Science, 254, 32-50.
- Shaub, B. M., 1983. The origin of agates, thunder-eggs, Bruneau jasper, septeria and butterfly agates. The Agates Publishing

- Company, North Hampton, 108pp.
- Sukow, W. W., 1987. Inside Lake Superior agates. Lapidary Journal, January, 50-56.
- Suludere, Y., 1976. Meşeli - Aşağıemirler - Dedeler (Çubuk/Ankara) civarının jeolojisi. MTA Rapor No: 6030, 17s. (yayınlanmamış).
- Tankut, A., 1985. Ankara dolaylarındaki Neojen yaşı volkaniklerin jeokimyası. TJK Bülteni, 28,55-66.
- Tankut, A., Wilson, M. and Tadesse, Y., 1998. Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güven area. Anatolia, Turkey. Jour. of Volcan. and Geotherm. Res. Pub and Volcanology in Anatolia, (in print).
- Tatlı, G., 1975. Çubuk-Melikşah alanının jeolojisi ve jeotermal olanakları. MTA Rapor No: 6172, 40s (yayınlanmamış).
- Ünsal, Y., 1973. Ankara ili Çubuk ilçesi Uluağaç köyü çevresine ve Çankırı ili Orta ilçesi Kalfat köyü çevresine ait perlit raporu. MTA Rapor No: 6172, 47s (yayınlanmamış).