

Bu yazı, Eşref Atabey. 2009. Türkiye’de Asbest, Eriyonit, Kuvars ve Diğer Mineral Tozları ve Etkileri. MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi: 6, 191s. ISBN:978-605-4075-44-7. Kitabı sayfa 7-24 arası aynen alınmıştır.

ASBEST

TANIMI, ÇEŞİTLERİ, ÖZELLİKLERİ, MİNEROLOJİSİ, OLUŞUMLARI

DR. EŞREF ATABEY

Jeoloji Yüksek Mühendisi /Tıbbi Jeoloji Uzmanı

Giriş

Asbest mineralleri, mafik (az silisli) ve ultramafik (çok silisli) kayalar içinde damar ve ağ şeklinde bulunabilirler. Serpantin grubundan başlıca lifsi krizotil ile amfibol grubuna bağlı; antofillit, tremolit, aktinolit, amosit, krosidolit mineralleri sayılabilir (Atabey, 2005a, 2007b).

Asbest mineral lifleri ve tozlarının solunumuna bağlı akciğer hastalıklarının Türkiye’de önemli bir sağlık sorunu olduğu bilinmektedir. Barış (1987, 1994, 2003a, 2005) tarafından yapılan tıbbi araştırmalarda asbest liflerinin iç ve dış ortam yoluyla solunması sonucu akciğer zarında kireçlenme ve kalınlaşma, su toplanması, malign mezotelyomanın yanı sıra karın zarı kanserine neden olduğu da ortaya konmuştur. Özellikle amfibol asbest grubu minerallerden aktinolit, tremolit, antofillit ve krosidolit liflerinin, krizotil asbest liflerine göre çok daha kanserojen olduğu da belirtilmektedir.

Asbest tanımı

Asbest terimi; magnezyum silikat, kalsiyum-magnezyum silikat, demir-magnezyum silikat veya sodyum-demir silikat bileşimindeki, ateşe, asitlere ve darbeye dayanımlı, iletkenlik özelliği olmayan bir kısım doğal, lifsi silikat mineralleri için kullanılan genel bir ifadedir. Hepsinin ortak özelliği lifsel yapıya sahip olmalarıdır. Asbest, Yunanca “kirliletemeyen” anlamına gelen “amiantos” kelimesinden türetilen amyant ismiyle de anılmaktadır. Bu adla anılma nedeni, liflerden yapılan dokumanın ateşe maruz bırakıldığında orijinal halinden daha beyaz ve temiz bir görünüm kazanmasındandır. Birinci asır başlarında Strabon, bu mineralden “Karystios Lithos” olarak söz etmektedir. Bu isim, mineralin Yunanistan’da Karystos yakınlarında bulunmasına bağlı olarak verilmiştir. Halk dilinde asbest amyant, çorak toprak, çelpek toprak, geren toprağı, ak toprak, kaya yünü gibi adlarla anılmaktadır.

Asbest çeşitleri

Asbest mineralleri iki gruba ayrılmaktadır.

Serpantin grubu asbest mineralleri: Krizotil, lizardit ve antigorit.

Amfibol grubu asbest mineralleri: Krosidolit, amosit, antofillit, tremolit ve aktinolit.

Serpantin grubu asbest mineralleri

Krizotil

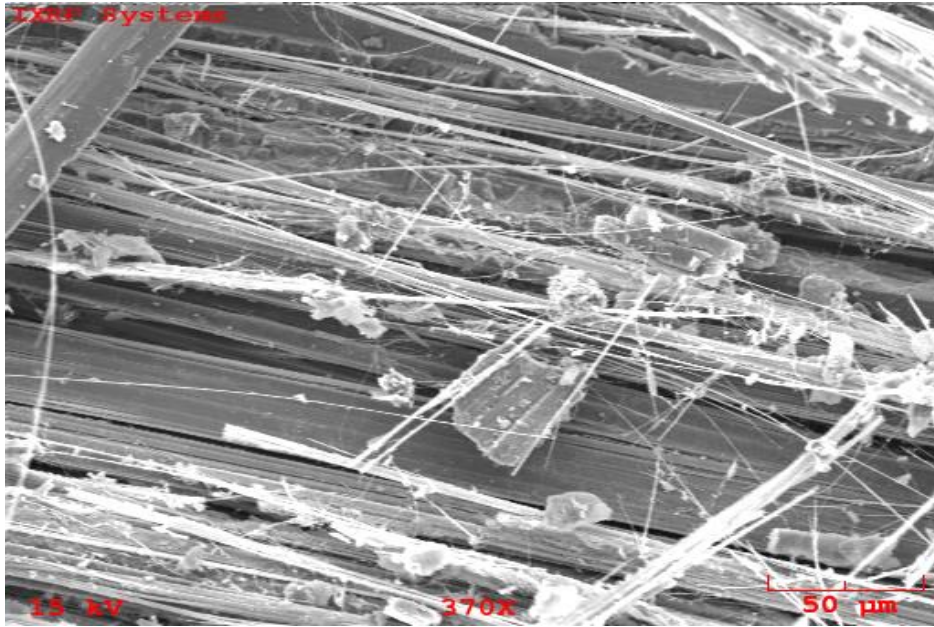
Beyaz renkli, lifsi yapıda, yumuşak ve ipeksi parlaklıkta sulu magnezyum silikattır (Şekil 2, 3). Mineral $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ bileşimindedir (Skinner, 2002). Çizelge 3’de krizotil asbestin genel özellikleri verilmiştir (Sinclair, 1955).



A

B

Şekil 2- A-Bantlı görünümü krizotil asbest lifleri (beyaz kısımlar), B-Lifler (Atabey, 2008a).



Şekil 3- Krizotil asbest liflerinin taramalı elektron mikroskopisi (SEM) görüntüsü (Atabey, 2008a).

Çizelge 3- Krizotil asbestin genel özellikleri (Sinclair, 1955).

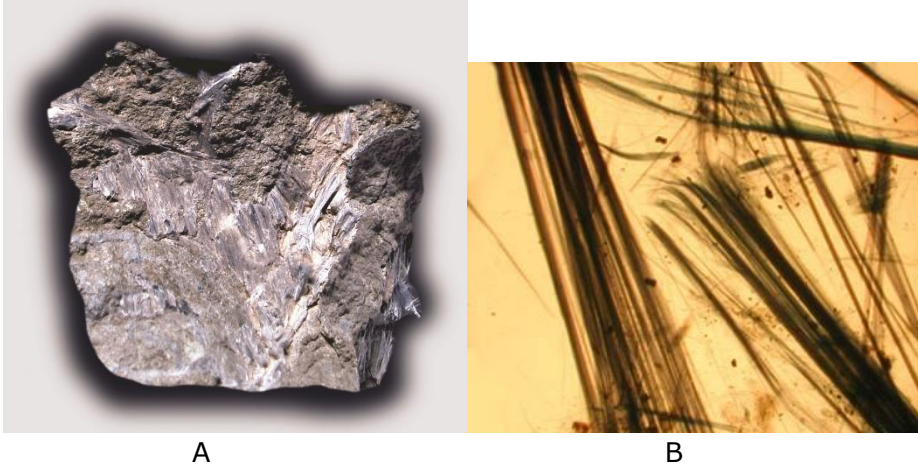
Yapı	Serpantin içinde çapraz veya uzun lifli damarlar
Bileşim	Sulu magnezyum silikat
Kimyasal formül	$Mg_3 Si_2 O_5 (OH)_4$
Kristal yapısı	Asbestiform
Kristal sistemi	Monoklin
Renk	Beyaz, yeşilimsi, gri, sarımsı
Parlaklık	İpek gibi
Sertlik	2.5- 4.0
Özgül ağırlık	2.4- 2.6
Refleksiyon indeksi	1.50- 1.55
Bükülebilme özelliği	İyi bükülebilir
Lif uzunluğu	Çok kısa, en fazla 5.08 cm.
Doku	Yumuşak, sert veya ipeksi
Gerilme kuvveti	Çok iyi, ± 80.000 libre/ inç kare (5626.9 kg/cm^2)
Asitlere direnci	% 57' nin üstündeki asitlerde eriyebilir
Alkalilere direnci	Çok az
Manyetit içeriği	0- 5.2
Birlikte bulunan yabancı maddeler	Demir, krom, nikel ve kalsit
Isı direnci	İyi, yüksek ısıda gevrek

Serpantin grubu minerallerden diğerleri lizardit ve antigorittir. Antigorit ve lizardit aynı kimyasal formüle sahip olup, $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$ 'dir. Antigorit minerali serpantinlerin ana bileşenini oluşturur. Lizardit ise serpantin kütleleri içinde tek olarak, bazen de krizotil veya antigorit ile bulunabilir (Erkan, 2001).

Amfibol grubu asbest mineralleri

Krosidolit (ribekit)

Lifsi yapıda, lifleri mavi renkli kompleks sodyum-demir silikattır (Şekil 4). kimyasal bileşimi: $Na_2(Fe^{2+}, Mg)_3 Fe^{3+}_2 Si_8 O_{22} (OH)_2$ (Skinner, 2002). Liflere mavi rengi veren yüksek soda oranı ve ana kayaktan gelen demir bileşikleridir. Ara sıra içindeki demirin hava etkisiyle hematit ve limonite dönüşmesiyle kırmızı veya sarımsı lekeler ortaya çıkabilmektedir. Krosidolit lifleri en çok 7.62 cm uzunluktadır (MTA, 1975). Lifler yumuşak veya sert olabilir, ancak çok esnektir ve kolayca bükülebilir. Deniz suyundan etkilenmez. Yüksek su oranına rağmen, lifler yüksek bir ısıya dayanabilir.



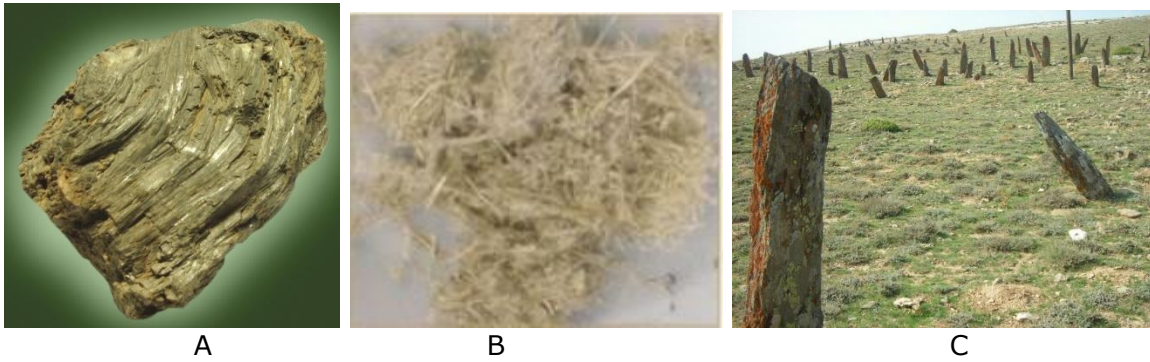
Şekil 4- A-Ribekit (Şahin ve diğerleri, 2008), B-Krosidolit minerali lifleri mikroskop görünümü (Atabey, 2006).

Amosit (grünerit)

Kahverenkli, lifsi yapıda demir magnezyum silikattır. Kimyasal bileşimi: $(Fe^{2+})_2(Fe^{2+}, Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ (Skinner, 2002). Amosit grüneritin aşırı lifsel türüdür (Industrial Mineral and Rocks, 1975). Amosit kuzursuz lif yapısından başka, düşük soda yüzdesinin sağladığı ısı direncine, asitlerden etkilenmeme, alkali kimyasal eriyiklere ve tuzlu suya dayanma özelliklerine sahiptir. Lif uzunluğu 1.27 ile 15.24 cm arasında değişebilmekte, ara sıra da 30 cm'ye ulaşabilmektedir. Lifler sert oluşlarının yanı sıra, esnek ve bükülebilirdir. Renk dış etkenlere göre değişerek, gri, beyaz ve sarı olabilir. Liflere ayrılınca beyaz ve krem rengine dönüşür (Şekil 5). Doğal lifler şeffaf cam gibi veya donuktur (MTA, 1975).

Antofillit

Gri renkli, demirli magnezyum silikattır. Kimyasal bileşimi: $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ (Skinner, 2002). Antofillit türü asbestin kanser yaptığı kabul edilmiyor (Barış ve diğerleri, 2007).



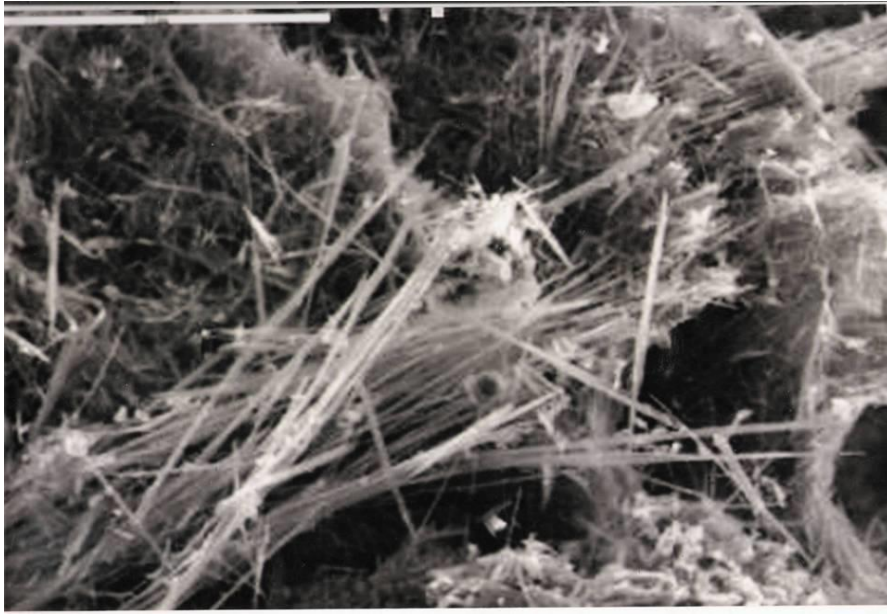
Şekil 5- A-Antofillit makro görünümü (Şahin ve diğerleri, 2008), B-Amosit minerali lifleri mikroskop görünümü, C-Mihalıçcık'daki eski mezar taşlarını oluşturan antofillitler (Atabey, 2007a).

Tremolit

Tremolit beyaz amfibol olarak da anılmaktadır. Gri veya sarımsı renklerde de olabilir. İpeksi parlaklıkta lifsi olup lifler yumuşaklığının yanı sıra uzun ve kısa, sağlam ve zayıf olabilmektedir (Şekil 6, 7). Kalsiyum magnezyum silikat bileşimlidir (MTA, 1975). Kimyasal bileşimi: $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ (Skinner, 2002).



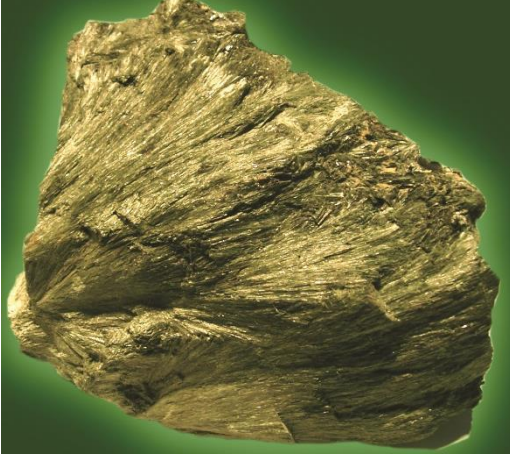
Şekil 6- Toz halinde tremolit asbest yığı (A) ve tremolit lifleri (B) (Mihalıçık-Eskişehir) (Atabey, 2007a).



Şekil 7- Tremolit lifleri SEM görüntüsü (Siverek sıva örneği: Eşref Atabey, SEM: Ian Steele-ABD ve Y. İzzettin Barış)

Aktinolit

Genellikle çubuksu yapıda, lifsi, parlak yeşil renkli, camsı, ipek parlaklığında, demirli kalsiyum magnezyum silikattır (Şekil 8, 9). Kimyasal bileşimi: $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ (Skinner, 2002). Çizelge 4’de aktinolit, tremolit ve krosidolitin özellikleri karşılaştırılmıştır (Sinclaer, 1955).

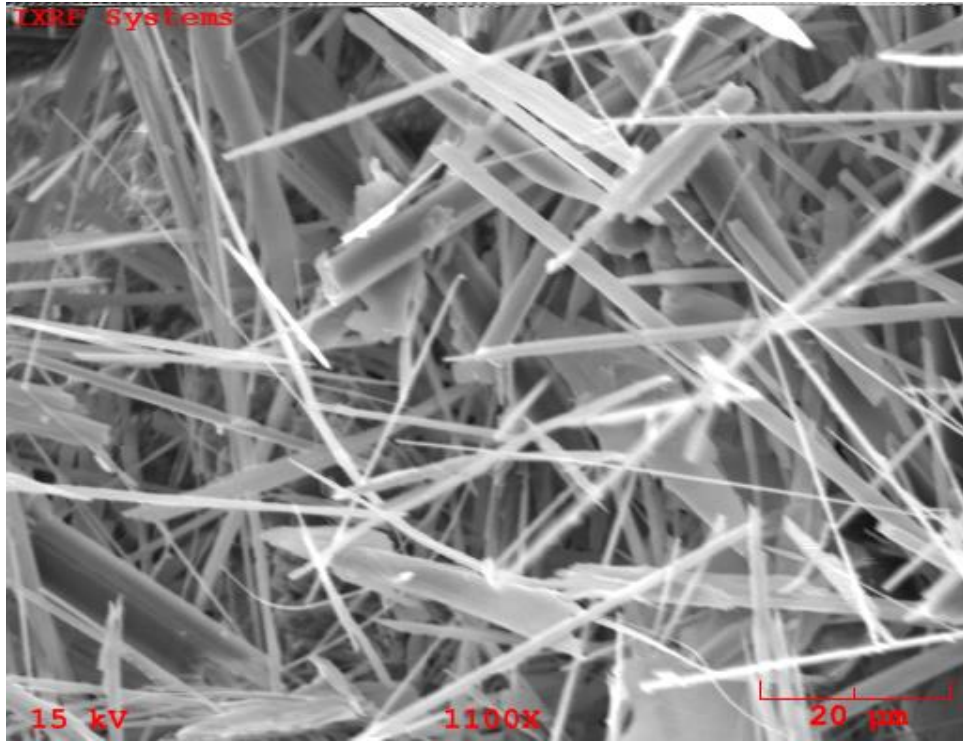


A



B

Şekil 8- A-Aktinolit minerali makro görünümü (Şahin ve diğerleri, 2008), B-Aktinolit lifleri (Atabey, 2008b).



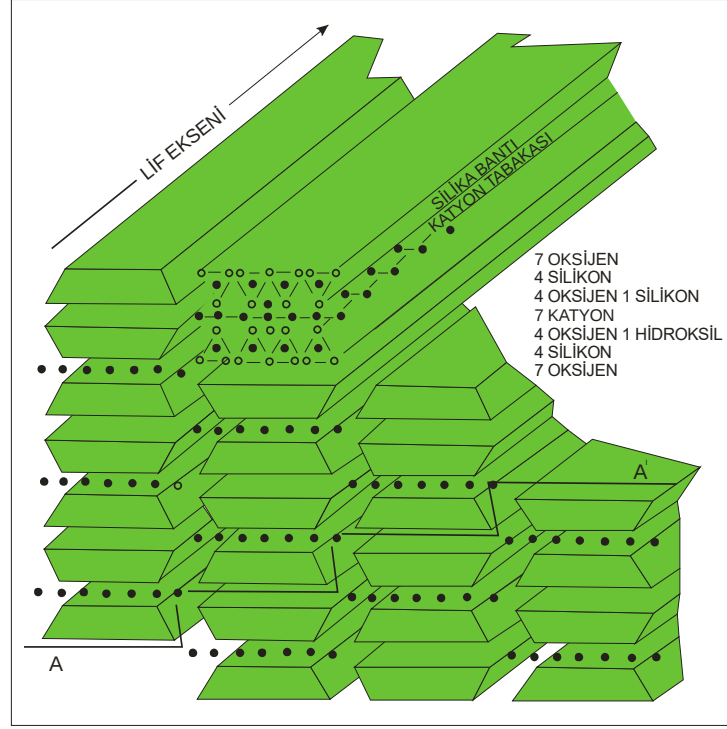
Şekil 9- Aktinolit lifleri SEM görüntüsü (Atabey, 2008b).

Çizelge 4- Aktinolit, tremolit ve krosidolit özellikleri (Sinclair, 1955)

	Aktinolit	Tremolit	Krosidolit
Bileşim	Ca, Mg, Fe silikat	Ca, Mg silikat	Na, Fe silikat
Yapı	Ağ şeklinde uzun, prizmatik kristaller ve lifler	Uzun prizmatik ve lifli agregatlar	Lifli
Kristal sistemi	Monoklin	Monoklin	Monoklin
Renk	Yeşilimsi	Gri, beyaz, sarımsı	Lavanta mavisi veya koyu mavi
Parlaklık	İpek gibi	İpek gibi	İpek gibi- donuk
Sertlik	6	5.5	4
Özgül ağırlık	3.0-3.2	2.9-3.2	3.2-3.3
Dilinim	110 tam	110 tam	110 tam
Optik özellik	Çift eksenli Biaksiyal negatif sönme eğik	Biaksiyal negatif sönme eğik	Biaksiyal sönme eğik
Refraksiyon indeksi	1.63 zayıf pleokroik	1.6	1.7 pleokroik
Bükülebilme özelliği	Gevrek ve bükülmez	Gevrek ve bükülebilir	İyi
Uzunluk	Kısa, bazen uzun kısa	Kısa, bazen uzun kısa	Kısa veya 7.62 cm.
Doku	Sert	Yumuşak, bazen sert	Sert
Gerilme kuvveti	Çok zayıf	Zayıf	Çok iyi
Asit direnci	HCL'de erimez	Az dirençli	Çok iyi
Eğrilme özelliği	Az	Az, bazen iyi	İyi
Alkali direnci	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Isı direnci	İyi	İyi	Çok az, kolayca erir

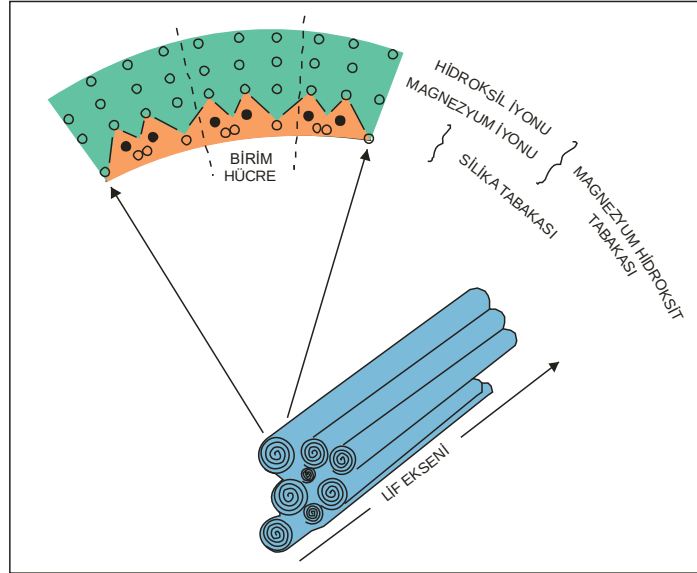
Asbest minerallerinin özellikleri

Amfibol asbestin temel yapısal bileşimi, düşey kesit görüntüsünde dört silika tetrahedronu bulunan çift silika zincirinden oluşmaktadır (Şekil 10). İki paralel zincir, bir katyon bandıyla ayrılmıştır ve amfibol asbestlerin çeşitli türlerinde bu bant, az miktarda diğer elementlerle birlikte magnezyum, kalsiyum, demir ve sodyum içerir (İrkeç, 1990). Amosit ve krosidolitte bu katyonlar, esas olarak, iki ve üç değerlikli demirdir. Amfibol asbestin mikroskobik lifinin enine kesiti, bu yapısal birimlerin düzgün diziliminden oluşur (Şekil 10). Bu yapıdaki kuvvetli bağ, lifin sertliğini sağlar ve sonuçta, uzun amosit ve krosidolit liflerinin uzun eksen yönünde belli bir miktar bükülebilme özelliği olmasına karşılık, kısa lifler her zaman sert ve bükülmez özelliktedir (İrkeç, 1990).



Şekil 10- Bir amfibol asbest lifinin kristal yapısı: $X_7Si_8O_{22}(OH)_2$ teorik bileşimine dayalı birim hücre görülmektedir. A-A' çizgisi, tercihli klivaj düzleminin kenarını belirtmektedir (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Krizotil asbestin şematik yapısı (Şekil 11) amfibol yapısından tamamen farklıdır. Krizotil liflerinin dış yüzeyleri, alkalın magnezyum hidroksit tabakasından oluşmaktadır (İrkeç, 1990).



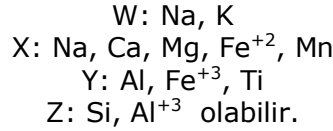
Şekil 11- Çeşitli kristal rulolarından oluşan krizotil asbest lifi yapısı. Her rulo, sıkı dizilim gösteren çift tabakadan oluşur. Dış yüzeyde magnezyum hidroksit birimleri, iç yüzeyde silika birimleri yer alır. Rulodan ufak bir kesitin ayrıntıları, çift tabakalı yapıyı ve $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_3$ teorik bileşimine dayalı birim hücreyi göstermektedir (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Makroskobik örnekler

Makroskop altında asbest türlerinin belirgin özelliği lifsi oluşumlu olmalarıdır. Krizotil zaman zaman lifsi olmayan özelliklere sahip olmasına rağmen, krizotil ile serpantin ayırımında en belirgin özellik ayrılabilir liflerin olup olmamasındadır.

Optik mikroskopiye ilaveten, serpantin ve amfibol minerallerinin varlığı, 10-100 mg örnek içinde X-ışınları kırınımı, diferansiyel termik analiz ve kızılötesi spektrofotometri gibi yöntemlerle saptanabilir (İrkeç, 1990).

Yapısı bilinen bir amfibole özel mineral ismi verilebilmesi için kimyasal tanımlama genellikle zorunludur. Amfiboller, $W_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH,O,F)_2$ yapısal formülü ile tanımlanmaktadır ki burada;



Yapısal formülün saptanmasına ilave olarak kimyasal analize dayalı var olabilecek diğer mineraller de saptanabilir (İrkeç, 1990).

Mikroskobik örnekler

Petrografik mikroskop ancak 5 µm den büyük partiküllerin tanımlanmasında yararlıdır. Asbestiform türü dışında, serpantinler genellikle masif, buna karşılık amfiboller ince taneli masif ve sütunsu, radyal, prizmatik veya keskin kristaller agregası özelliğindedir. Çubuksu amfiboller asbestiform türlere geçiş gösterebilirler (İrkeç, 1990).

Asbestin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel özellikleri, kimyasal yapıları, şekilleri, ticari kullanışları, mikroskopik görünüşleri ve dayanıklılıkları birbirinden farklı 6 çeşit asbest vardır. Bunların tek müşterek yanı hepsinin silikat minerali olmalarıdır (İrkeç, 1990). Asbest minerallerinin kimyasal yapısındaki SiO_2 oranı krizotil asbestte % 42, krosidolit ve amosit asbestte ise % 51 olup; içerdiği diğer bileşikler, beyaz asbestte MgO % 42, FeO ve Fe_2O_3 % 3'ün altında iken, mavi ve kahverengi asbestteki MgO oranı daha düşüktür. Öte yandan krizotil asbest ince, çok fazla esnek, ısıya dayanıklı iken, krosidolit ve amosit asbest daha kırılğan ve sert yapıdadır. Asbest minerallerinin çok geniş alanda kullanımını sağlayan temel özelliklerinin başında yanmaya karşı dayanıklılık, duraylılık ve lif yapıları yer alır (İrkeç, 1990).

Ateşe dayanıklılık

Bu özellik bütün asbest türlerinin en belirgin özelliği olup bunun yanı sıra lifler, oldukça yüksek ısılarda yapıları bozunmadan kalabilmektedir. Ancak asbest, refrakter malzeme olarak kullanılamaz. Çünkü dekompoze olduktan sonra basınca direnç gösteremez (İrkeç, 1990).

Duraylılık

Birçok asbest türü, yüzeysel şartlara ve gürümeye dirençlidir. Ancak krizotil lifleri, sürekli olarak nemli havada bırakıldığında kopma ve deniz suyu ile temas ettiğinde ayrışma gösterirler. Krizotil lifleri asit etkisine de değişkenlik gösterirler. Asit veya kostik çözeltilere batırıldığında lifsi yapı etkinlenmemekle birlikte, parlak renkli bir artık oluşmaktadır (İrkeç, 1990).

Buna karşılık amfibol asbestler, kimyasal etkilere karşı daha dirençlidir ve deniz suyu, nemli hava ve gazlardan etkilenmezler.

Asbestlerin asitlere karşı davranışı, ilk defa 1897 de Schrader tarafından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre $2SiO_2-3MgO-2H_2O$ bileşimindeki türler asitlere

dirençsiz, yaklaşık $MgO-SiO_2$ bileşimindekiler ise asitlere çok dirençlidir. Birincisi serpantin grubunu, diğeri ise hornblend tibi asbestleri yansıtmaktadır (İrkeç, 1990).

Lifsi yapılar

Tanımlama ve sınıflandırma için X-ışınları difraksiyon verilerinden yararlanılmaktadır. Amfibol grubu asbest mineral lifleri düz, buna karşın krizotil asbest lifleri uzun, esnek ve yün veya pamuk gibi eğridir. Krosidolit ve amositin lifleri ise daha kısa, düz ve kolay kırılan bir yapıya sahiptirler (İrkeç, 1990).

Asbest minerallerinin oluşumu

Krizotil asbest ile amfibol grubu asbestlerin oluşumları birbirinden farklıdır.

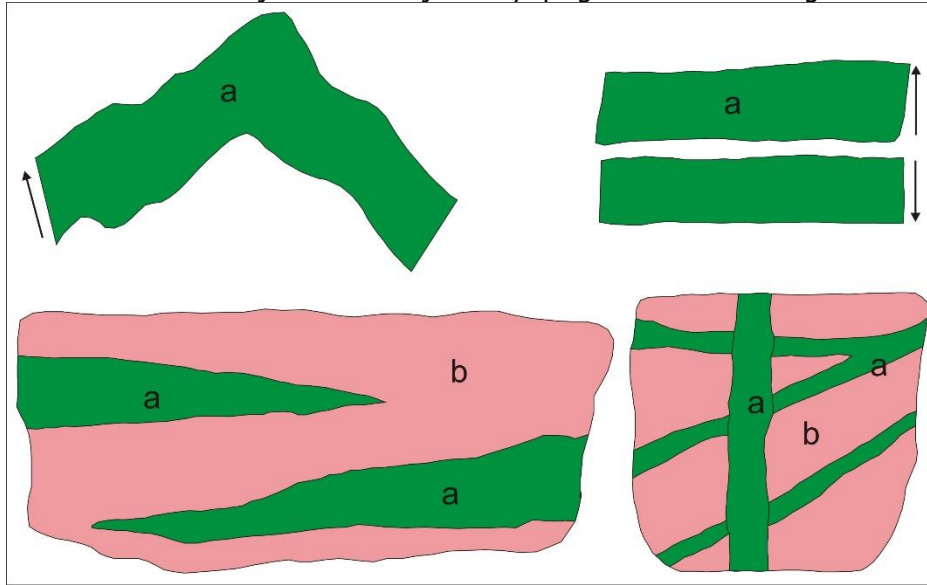
Krizotil asbest oluşumu

Oluşum koşullarına göre krizotil asbest ikiye ayrılır. 1-Ultramafik kuşaklara (dünit ve peridotitler) bağlı olanlar, 2-Dolomitleşmiş kireçtaşlarına bağlı olanlar. İkinci tipi, küçük yataklar halinde bulunmaktadır (İrkeç, 1990).

Belirli koşullarda krizotil asbest, bazaltik magmanın farklılaşmasından oluşmakta olup asbest oluşumunu sağlayan çözeltilerin etkin bir şekilde akışını sağlayan çatlaklar gelişebilir (İrkeç, 1990).

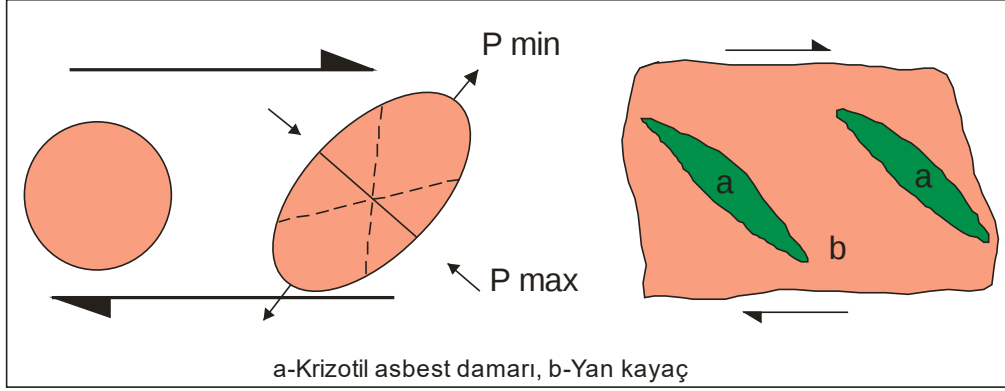
Genel olarak asbest; az serpantinleşmiş peridotitle (daha çok harzburgit) başkalaşım işlemi tümü ile bitmiş olan serpantinitle arasındaki geçiş kuşağında oluşabilmektedir. Serpantinleşme işlemi tamamlanmış ultrabaziklerde büyük ölçekte krizotil asbest oluşumu görülmemektedir (İrkeç, 1990). Lizarditleşme ve antigoritleşmenin geliştiği zonlarda krizotil asbeste rastlanmaktadır. Krizotil asbest, jeolojik yapısal durum ve fay oluşum tipine göre değişmekte olup başlıca üç ana tip sözkonusudur.

İlki fayın bir tarafındaki veya iki fay arasındaki sürüklenmeden ötürü meydana gelen kırıklara bağlı gelişen krizotil asbest lifleridir (Şekil 12). Kırıklar, fay düzeyi ile bir açı teşkil ederek meydana gelmişlerdir ve minimum gerilim yönüne göre dikeydir. Lifler minimum gerilim yönüne paralel bir gelişme gösterirler. Bu tip yapısal modellerde deformasyon elipsoidinin makaslama düzeyine paralel hareketler ve daha başka gerilim şartları meydana getirebilir (İrkeç, 1990) (Şekil 13). Bu durum birden fazla krizotil damar setinin meydana gelmesiyle neticelenir ki sonuç olarak karışık bir yapı gösteren filonlar görülür.



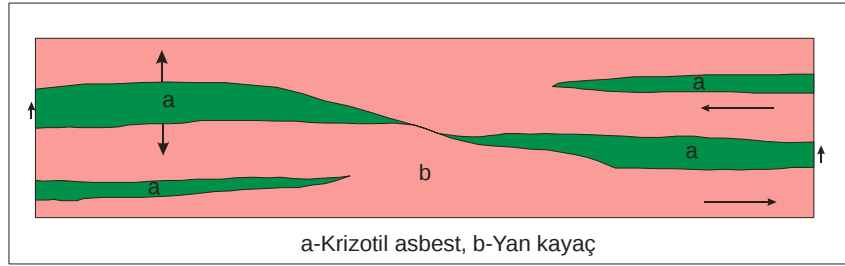
a-Krizotil asbest, b-Yan kayaç

Şekil 12-Krizotil asbest damarlarının değişik konumları (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).



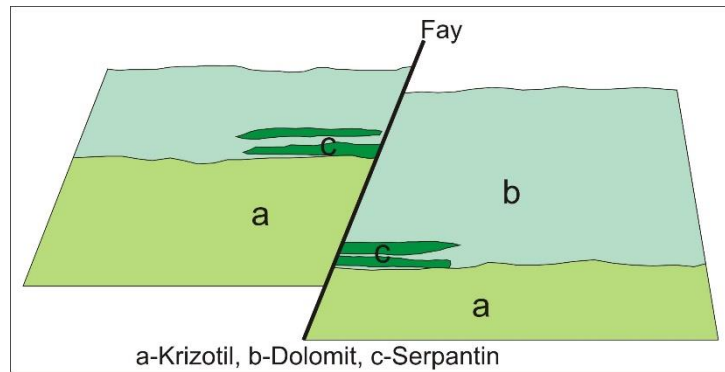
Şekil13- Faylanma ve kırılmalar asbest lif oluşumuna yol açar (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

İkincisi fay düzlemindeki düzensizlikler neticesinde fay düzlemine paralel bir gelişme gösteren asbest lifleridir (Şekil 14). Krizotil asbest, fay düzlemi veya faya paralel kırıklar içinde gelişebilir (İrkeç, 1990). Fayın içinde oluşan lifler de damara paralel harekete maruz kalacaklar, öyle ki lifler kırığın cidarı ile açış şekliyle bir şekilde uzanacaklardır.

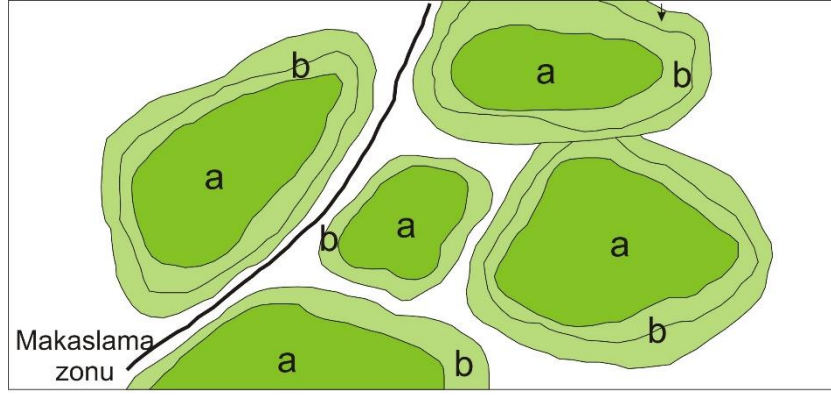


Şekil 14- Düzensiz fay düzleminde oluşan asbest lifleri (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Üçüncü tip ise bir kırık boyunca ve değişik yapıdaki kayaçların dokanakları boyunca gelişen liflerdir (Şekil 15). Lifler, serpantin kafalarını çevreleyen konsantrik tabakalar içinde oluşabilmektedir (İrkeç, 1990) (Şekil 16).



Şekil 15- Fay düzlemindeki uzanımları birbirine paralel asbest lif oluşumları (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).



a-Koyu yeşil serpantin, b-Krizotilli açık yeşil serpantin

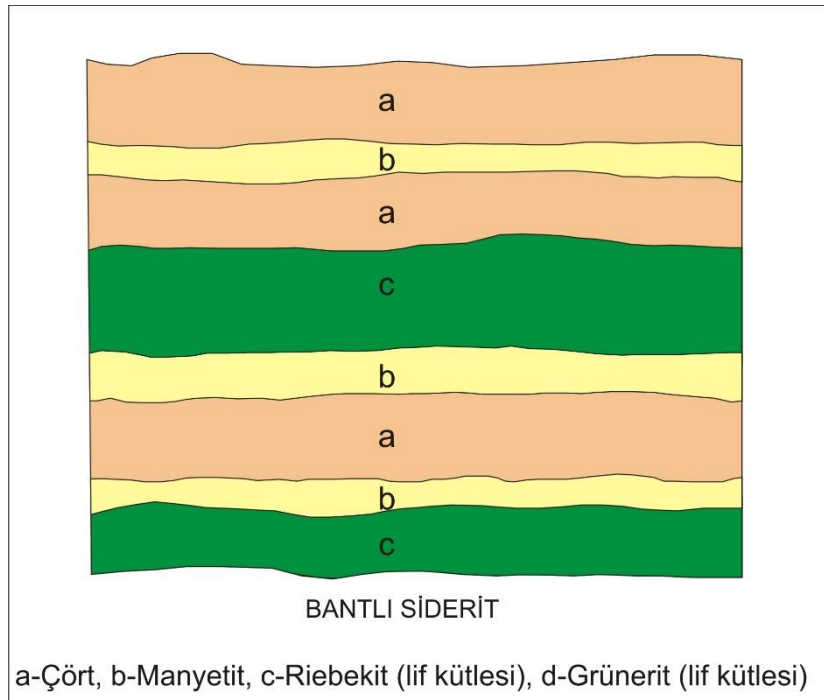
Şekil 16- Serpantin kütleleri çevresinde oluşan asbest lif oluşumları (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Krizotil asbest oluşumu için gerekli olan şartların birincisi, serpantininin mevcudiyeti, ikincisi ise elverişli gerilim şartlarının olmasıdır. Üçüncü şart da serpantin krizotil haline rekristalize olmasına yardımcı solüsyonun var olmasıdır.

Amfibol asbest oluşumu

Amfibol asbest grubuna dahil olan amosit ve krosidolit oluşumu iki farklı yorumda açıklanabilmektedir.

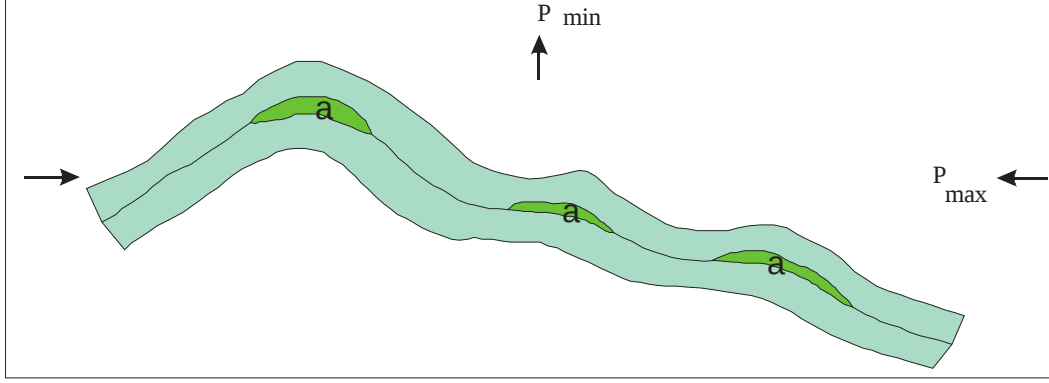
Ana kayaç: Bu iki mineralin bulunduğu kaya tipine bantlı siderit veya takonit adı verilmektedir (Şekil 17). Bu, oksitlenme bölgesinin altında ardalanmış kriptokristalin kuvars ve manyetit tabakalarından meydana gelmiş sedimanter bir kayadır. Bazı kısımlarında çok ince kristalli ve değişim riebekit ve grünerit ve bazen de stilpnömelan bulunmaktadır (İrkeç, 1990). Yüzeye yakın yerlerde ise manyetit ve silikatlar genellikle hematit ve limonite okside olmuşlardır. Magnezyum bakımından zengin riebekit ile sodyum bakımından zengin grünerit tabakaları, sedimanter istifin büyük bir kısmını meydana getirirler (İrkeç, 1990).



a-Çört, b-Manyetit, c-Riebekit (lif kütlesi), d-Grünerit (lif kütlesi)

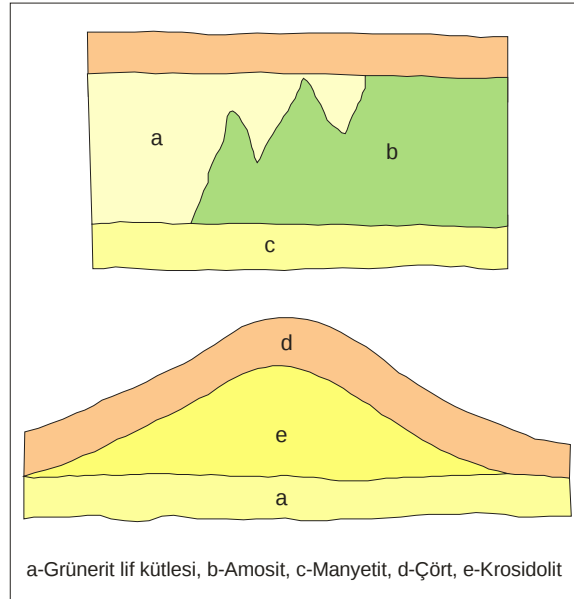
Şekil 17- Bantlı sideritlerin şematik görünümü (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Asbest yatakları: İnce kristalli ribekit ve grünerit (lif kütlesi), tabakaların oluşumuna paralel olarak ve tabaka yüzeylerine dik açı yapacak şekilde yerleşmiştir. Afrika Kıt'ası Kuzey Cape bölgesinde sodyum bakımından zengin tabakalar mevcuttur. Buradaki yataklarda liflerin tabakaların kıvrımlı kısımlarında bulunduğu görülmüştür (Şekil 18) (İrkeç, 1990).



Şekil 18- Katlanmayla ilgili asbest lif oluşumu. a-Krizotil lifleri (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Ribekit ve grünerit lif kütleleri krosidolit ve amosite dönüşebilmektedir (Şekil 19).



Şekil 19- Ribekit ve grünerit lif kütlelerinin krosidolit ve amosit asbeste dönüşümü (İrkeç, 1990'dan düzenlenmiştir).

Bazen ribekit lifleri manyetit tabakalar üzerinde de gelişebilmektedir (Cilliers ve Genis, 1964) (Şekil 20).

