

Kapanımlar ve Süstaşlarının Tanınmasındaki Önemi

Meltem Gürbüz¹

Özet

Kapanımlar, süs taşlarının tanınmasında başvuru en önemli iç yapı göstergelerinden biri olup taşın kökeninin, oluşum koşullarının, doğal mı sentetik mi olduğunun ve herhangi bir işleme tabi tutulup tutulmadığının anlaşılmasında kritik rol oynar. İnküzyonların mineralojik bileşimi, kristal şekilleri, dağılımları ve optik özellikleri; ev sahibi taşın jeolojik geçmişini yansıtan mikroskobik bilgi taşır.

Güncel spektroskopik ve görüntüleme yöntemlerindeki gelişmeler—Raman spektroskopisi, FTIR, SEM-EDS ve yüksek çözünürlüklü fotomikrografi—inküzyonların çok daha ayrıntılı analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu bölümde inküzyonların sınıflandırılması, kristal büyüme süreçleri ile ilişkileri, teşhis değeri ve çeşitli taşlarda örnek vaka incelemeleri ele alınmaktadır.

1. KAPANIM (İNKÜZYON) KAVRAMI VE SINIFLANDIRILMASI

Gemolojik terminolojide inküzyon (veya Türkçe karşılığıyla kapanım); bir mineralin kristalleşme süreci sırasında içine hapsedtiği, kendisinden farklı yapıdaki her türlü materyale veya yapısal düzensizliğe verilen genel isimdir. Daha basit bir benzetmeyle; bir kristal büyürken adeta bir “zaman kapsülü” gibi davranır ve oluştuğu ortamdaki parçacıkları içine alır.

Ticari piyasada inküzyonlar genellikle “kusur” (flaw) olarak adlandırılıp taşın değerini düşüren unsurlar olarak görülse de, gemologlar için bunlar taşın kimlik kartıdır (Gübelin&Koivula 2005). Mineral ve gemoloji bilimlerinde inküzyonlar, bir kristalin oluşum koşullarını, jeolojik evrimini ve sonradan maruz kaldığı süreçleri kayıt altına alan doğal arşivlerdir. Ancak bu bilgilerin

1 Dr.Öğr.Üyesi, Mersin Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, e-mail: mgurbuz@mersin.edu.tr
ORCID ID:0000-0003-2501-0697

doğru şekilde yorumlanabilmesi, inklüzyonların sistematik ve bilimsel bir sınıflandırmaya tabi tutulmasını zorunlu kılar. Inklüzyon sınıflandırması, yalnızca tanımlayıcı bir yaklaşım değil; aynı zamanda analitik, karşılaştırmalı ve tanısal bir yöntemdir. Inklüzyonlar genellikle faz türüne, kökenine, morfolojisine, oluşum zamanına ve optik-mikroskobik özelliklerine göre sınıflandırılır.

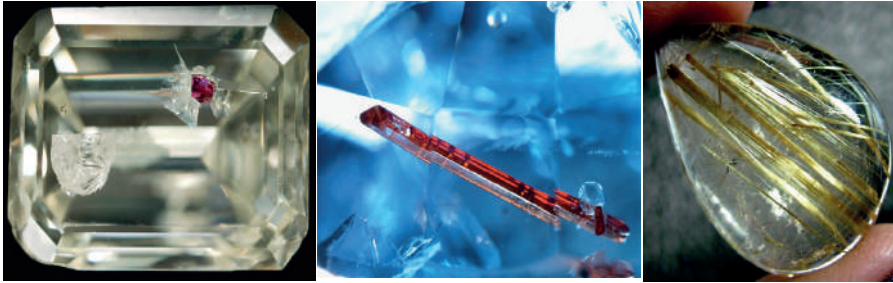
1.1. Faz türlerine Göre Sınıflandırma

Inklüzyonlar, bir süs taşının kristal yapısı içinde hapsolmuş olan katı, sıvı, gaz veya çok fazlı bileşenlerdir. Bu mikro yapıların çoğu, kristalin büyüme evresinde veya daha sonraki jeolojik süreçlerde oluşur ve taşın jeolojik geçmişine dair eşsiz bilgiler içerir (Gübelin & Koivula, 2005).

1.1.1. Katı Kapanımlar

Katı faz kapanımları, ev sahibi kristalin büyümesi sırasında hapsolmuş başka mineral taneleridir. Örneğin, bir elmasın içinde haps olmuş küçük bir lal taşı (garnet) kristali veya bir safirin içindeki rutil iğneleri. Bunlar “kristal içinde kristal” görünümünü sunar (Şekil 1).

Bu kapanımlar birincil oluşumludur ve taşın kimyasal-jeolojik ortamı hakkında en güçlü bilgiyi sağlar. Kristal büyüme sırasında stabil minerallerden oluşur. Raman ve SEM-EDS analizleri ile mineral tanımlanır. Köken (orijin) tayininde ve Katı faz kapanımları jeolojik basınç sıcaklık (P-T)koşullarının belirlenmesinde kullanılır (Sobolev et al., 2004).



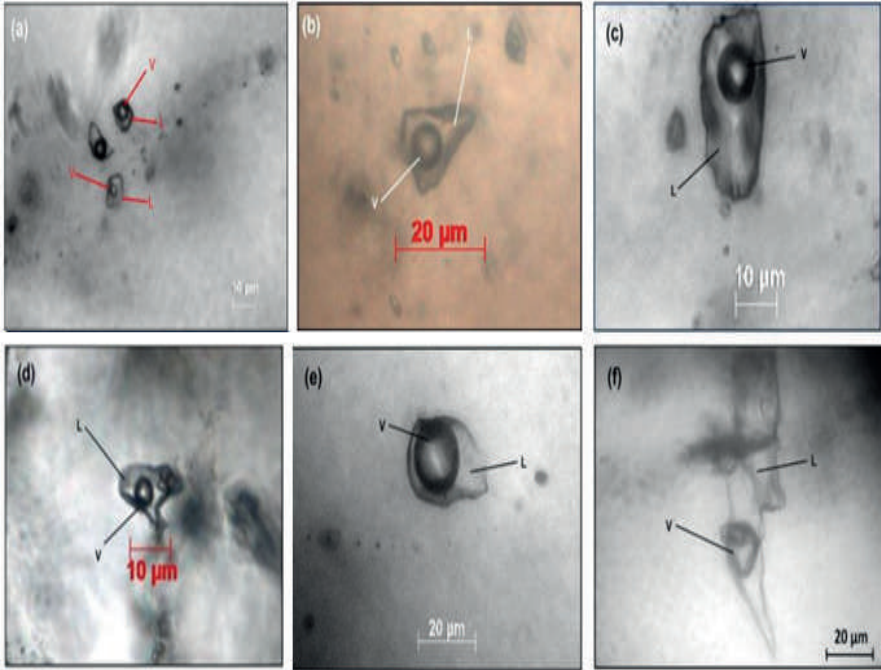
Şekil 1. Solda Katı Kapanımlar elmas içerisinde garnet kristali (<https://sciencephotogallery.com/featured/diamond-with-garnet-inclusion-natural-history-museum-london-science-photo-library.html>)

Ortada safir içinde rutil kristali <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-microworld-rutile-crystal-blue-sapphire>)

Sağda rutilli kuvars <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-microworld-rutile-crystal-blue-sapphire>

1.1.2. Sıvı Kapanımlar

Kristal büyürken ortamdaki ana çözeltiden hapsolan sıvılardır (Şekil 2). Genellikle su, tuzlu su veya sıvı karbondioksit içerirler. Hidrotermal oluşumun birincil göstergesidir (Hänni, 1995). Mikrotermometri ile kapanımın homojenleşme sıcaklığı ölçülerek mineralin oluşum sıcaklıkları hesaplanabilir (Roedder, E. (1984).



Şekil 2. (a) Kuvars içindeki sıvı kapanımlarının fotomikrografı (a, b) iki fazlı sıvı kapanımı, (c, d) sıvıca zengin sıvı kapanımı, (e) buharca zengin sıvı kapanımı, (f) daralmış sıvı kapanımı. (L = Sıvı, V = Buhar). (Oo, K. and at all.)

1.1.3. Gaz Kapanımlar

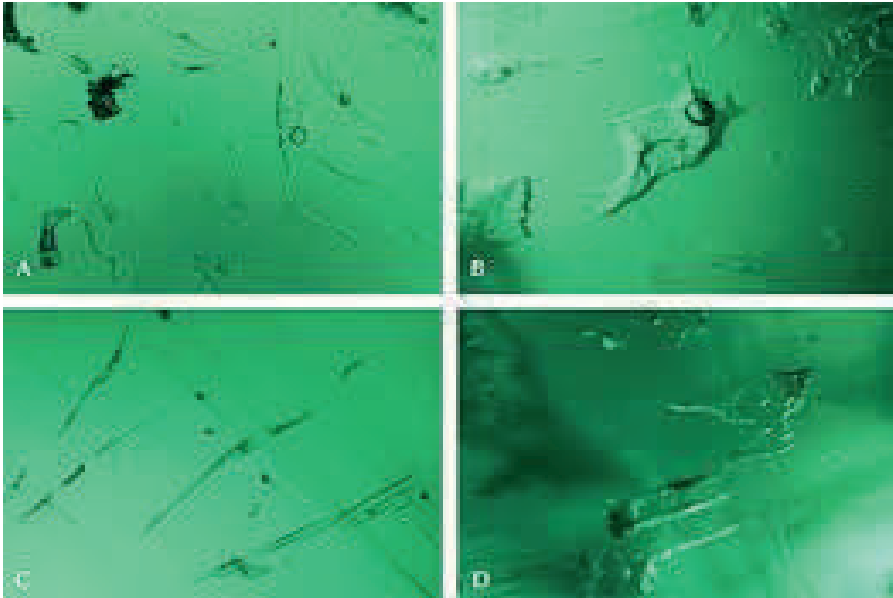
Genellikle sıvı kapanımlarıyla birlikte baloncuk şeklinde bulunurlar (Şekil 3). Saf gaz kapanımları da mümkündür (örn. hava kabarcıkları). Gaz kabarcığının sıvı hacmine oranı sıcaklık–basınç koşullarının yorumlanmasında kullanılır. Isıtma–soğutma deneyleriyle homojenleşme sıcaklığı (Th) ölçülebilir. Raman spektroskopisi ile CO₂, CH₄, N₂ gibi uçucu bileşenler tanımlanabilir.



Şekil 3. Gaz kapanımlar Zümrüt taklidi yapay camda gaz balonları grupları. Kurşun cam dolgulu yakutta gaz balonları ve parlama etkisi (<https://www.gems-inclusions.com/inclusions-types/by-phase-filling/single-phase/vapor>)

1.1.4. Çok fazlı kapanımlar

Bir kapanım boşluğu içinde **sıvı + gaz + katı** fazların birlikte bulunduğu karma sistemlerdir. En bilinen örneği zümrütlerdeki üç fazlı kapanımlardır (Şekil 4). Hidrotermal sistemlerin kimyasal bileşimi ve tuzluluk derecesi belirlenebilir. Orijin tayininde en güçlü kanıtlardan biridir (Giuliani et al., 2000).



Şekil 4. Çok fazlı kapanımlar: zümrütte görülen sıvı + gaz + katı faz sistemi. A: Daha büyük çok fazlı kapanım, birkaç kristal ve küçük bir gaz kabarcığı sergiliyor. B: Gaz kabarcığının yanı sıra, en az üç renksiz kristal ve bir veya iki küçük koyu kristal görülebilir. C: Uzunlamasına çok fazlı kapanımlarda iki renksiz şeffaf kristal ve küçük bir gaz kabarcığı. D: Düzensiz şekilli çok fazlı kapanımlarda küçük bir gaz kabarcığı ve küçük bir siyah kristal ile birlikte iki renksiz şeffaf kristal (Sobolev et al., 2004).

Kapanım fazları kristalin olduğu jeolojik ortamın doğrudan temsilcileridir:

Faz Türü	Jeolojik Yorum	Örnek
Katı Faz	P-T koşulları, mineral denge alanı	Elmas içi garnet
Sıvı Faz	Hidrotermal sistemin bileşimi, tuzluluk	Zümrüt damarları
Gaz Faz	Uçucu bileşenlerin varlığı, basınç	Kuvars içinde CO ₂
Çok Fazlı	Derin hidrotermal evrim, jeokimyasal ayrışma	Kolombiya zümrütleri

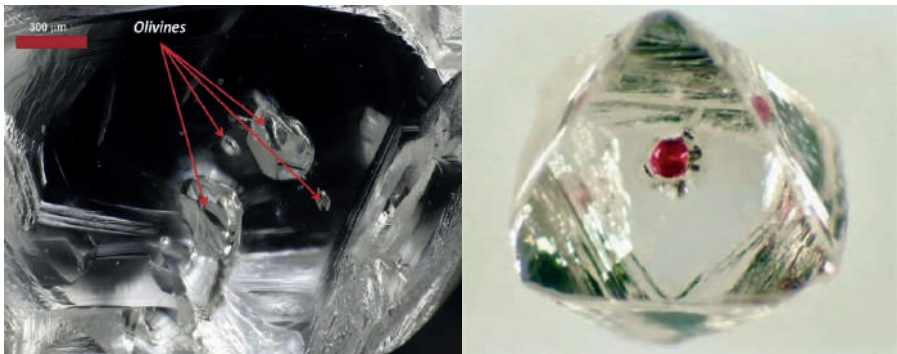
Bu faz kombinasyonları, özellikle **hidrotermal**, **magmatik**, **metamorfik** ortamların ayırımında kritik öneme sahiptir.

1.2. Kökenine Göre Sınıflandırma

Köken sınıflandırması, kapanımın ana mineral ile olan jenetik ilişkisini esas alır (Roedder, 1984).

1.2.1. Protogenetik Kapanımlar

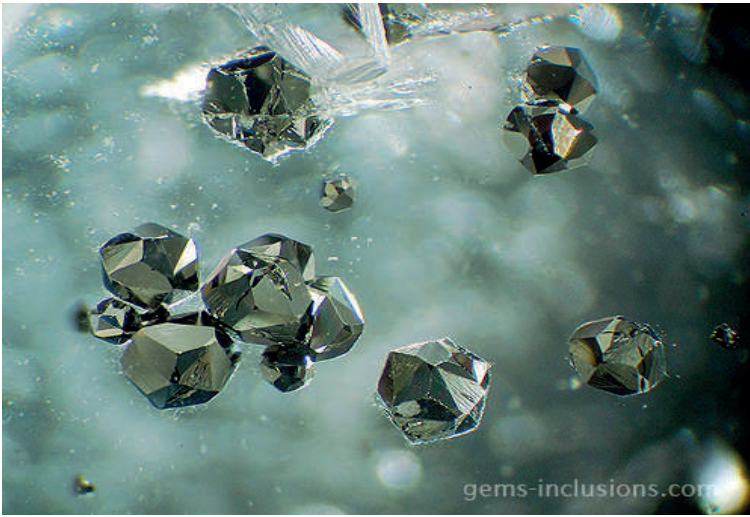
Protogenetik kapanımlar, ana mineral kristallenmeden önce oluşmuş ve kristal büyümesi sırasında çevrelenmiştir. Yunanca da ‘proto’ birinci sırada anlamındadır. Elmas daki, garnetler olduğu gibi ilk önce şekillenmiş kristallerle olan olivini elmasın hapsedmesi protogenetik kapanımlara örnektir (Şekil 5). Projeneitik kapanımlar sıklıkla ev sahibi mineral tarafından kısmen eritilmiş olduğu için yuvarlanmış yada aşınmıştır. Bununla beraber sivri yada köşeli de olabilir. Kristalografik uyumsuzluk, kapanımın ana minerale daha yaşlı olduğunu göstermektedir (Gübelin & Koivula, 2005).



Şekil 5. Elmas içinde protogenetik olivin kapanımı (solda) . (Nestola, F. & Smyth, J. 2015). Granat kapanımı (sağda) https://katannutadiamonds.co.za/south-african-diamonds-8-facts/?utm_source=chatgpt.com

1.2.2. Singenetik Kapanımlar

Singenetik kapanımlar, ana mineral ile eş zamanlı olarak kristallenir ve çoğu durumda kristal yüzeyleri ana mineralin büyüme zonlarıyla uyumludur. Bu özellik, doğal kristallenme ortamlarının tanımlanmasında kritik öneme sahiptir (Shepherd et al., 1985). Sinjenetik katı kapanımlar genellikle sivri ve köşeli olup sıvı inklüzyonları yaygındır. Kristal büyümesi sırasında oluşmuş boşluktaki sıvı ve gaz baloncuklara sıvı eklenmesiyle ya da sadece sıvı, gaz ve kristal ile dolar. Bu sıvı kapanımlar bilimsel açıdan kristal büyümeleri sırasında oluşmuş ilginç parçalardır ve kristal büyümeleri arasındaki ısı ve basıncın belirlenmesinde önemlidir. Tipik olarak, sinjenetik kapanımlar, genellikle düzensiz ve kısmen çözünmüş formlar gösteren protogenetik kapanımlara kıyasla, iyi şekillenmiş kristal şekillerine (öhdral veya idiomorf kristaller) sahiptir (Şekil 6). Bunun nedeni, birlikte oluşan minerallerin aynı koşullar altında kararlı olmaları, iyi şekillenmiş kristaller geliştirmeleri ve protogenetik kapanımlarda olduğu gibi sonradan çözünme sürecine maruz kalmamalarıdır (Gübelin & Koivula, 2005).



Şekil 6. Beril içinde singenetik apatite kapanımı. Altıgen prizmatik morfoloji, eş zamanlı kristallenmeye işaret etmektedir <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-photo-gallery/night-at-the-prado-museum/>

1.2.3. Epigenetik Kapanımlar

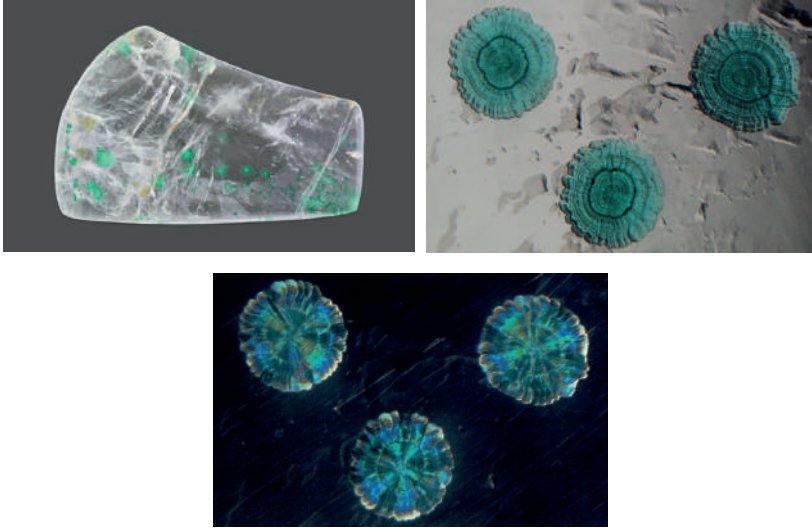
Epigenetik kapanımlar, ana mineral kristallendikten sonra, çatlaklar veya boşluklar boyunca gelişir. Bu kapanımlar çoğu zaman sekonder sıvı

akışkanlarını temsil eder (Roedder, 1984). Yunanca da başlangıçtan sonra anlamındadır. (Goldstein & Reynolds, 1994). Epijenetik kapanımlar, kimyasal alterasyon, kapanmış olan sıvı kapanımların kristalleşmesi, eksolution, kırık ve çatlaklar içerisinde materyallerin girmesi ve radyoaktif olaylarla yapısal bozulmalar sayesinde olabilir (Şekil 7). Örneğin, korunddaki asterizme neden olan rutil iğneleri, moss ağattaki manganez oksitlerin dentritik kristalleri eksolution sırasında şekillenmiştir (Gübelin & Koivula, 2005).



Şekil 7. Tamamen değişime uğramış, epigenetik minerallerle yer değiştirmiş inklüzyonlara sahip sajenitik akik. <https://www.gems-inclusions.com/images/types/sagenitic-inclusions-agate.jpg>

Mineral içeren zengin sıvılar açık çatlaklarda hapsolup buharlaştırdıktan sonra geride epigenetik mineral parçaları oluşabilir. Bunlar çoğunlukla çatlaklarda kahverengi demir oksit lekelenmeleri şeklinde oldukça yaygındır. Şekil 8a da Raman spektroskopisi ile Inklüzyonların ve ana kayanın tanımlanması yapılan Brezilya kaya kristalininin, ilginç malakit inklüzyonu bulunmaktadır (şekil 8b). Bu inklüzyonlar, kuvars ikincil çatlaklar içinde epigenetiklik kapanımlar olup düzleştirilmiş diskler, polarize ışıktaki görülebilen canlı girişim renkleri içerdiği görülmektedir şekil 8c. (<https://www.gia.edu/gems-gemology/fa13-gni-epigenetic-malachite-quartz>)



Şekil 8. a) Solda Brezilya'dan olduğu bildirilen bu 52,99 karatlık serbest biçimli kaya kristali kuvars kabaşon, birkaç epigenetik malakit diski içermektedir. .

b) Ortada kaya kristali kuvarsin çatlakları içinde hapsolmuş epigenetik radyal disk şeklinde malakit

c) Sağda . Polarize ışık altında, canlı girişim renkleri sergileyen malakit diskler

1.3 Oluşum Zamanlarına Göre Sınıflandırma

Bu sınıflandırma, kapanımların mineral kristallenmesinin hangi evresinde oluştuğunu belirlemeye dayanır ve jeolojik süreçlerin zamanlamasını çözmeye en kritik yaklaşımlardan biridir (Roedder, 1984; Goldstein & Reynolds, 1994).

Genel olarak dört ana grup tanımlanır:

1. Primer (Projenetik) kapanımlar
2. Pseudosekonder kapanımlar
3. Sekonder (Epijenetik) kapanımlar
4. Magmatik eriyik kapanımları (Melt inclusions)

1.3.1. Primer (Projenetik) Kapanımlar

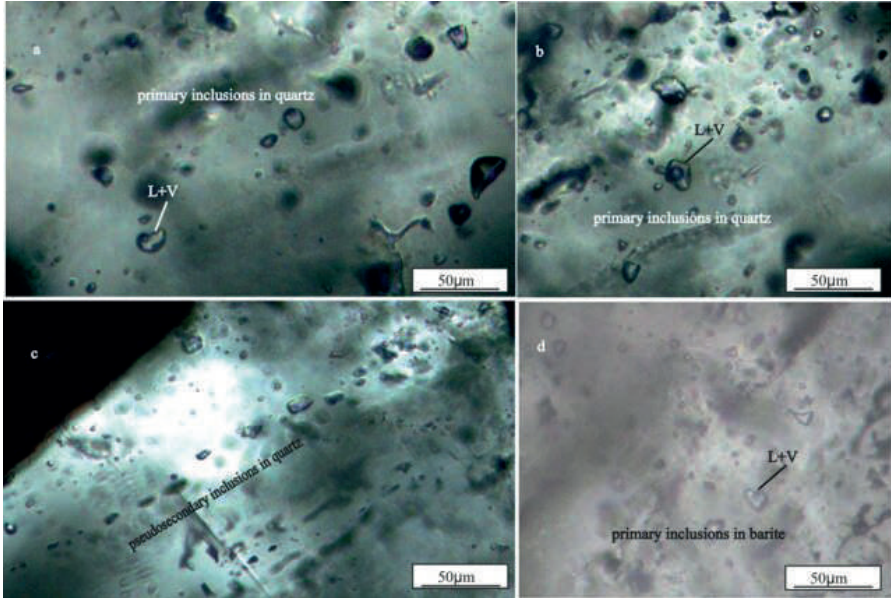
Primer kapanımlar, konak mineral kristali büyürken eşzamanlı olarak hapsolmuş fazlardır. Bu nedenle, mineralin oluştuğu ilk fiziksel-kimyasal koşulları doğrudan temsil ederler. Kristal büyüme zonlarıyla paralel dizilişli olması ,negatif kristal veya iyi dengelenmiş morfolojisi sunması, genellikle

tekil veya kümeler hâlinde bulunması, kristal sınırlarını kesmemesi ayırt edici özellikleridir (Şekil 9 a-b-d). Magmatik, metamorfik veya hidrotermal ortamın ilk P–T–X koşulları karakterize eden en güvenilir jeotermobarometri verilerini içeren ve akışkan bileşimi ve tuzluluk analizleri için ideal kristalleri barındıran kapanımlardır. Tipik olarak kuvars, feldispat, beril, topaz, korindon minerallerinde gözlenir.

1.3.2. Pseudosekonder Kapanımlar

Pseudosekonder kapanımlar, mineral büyümesi sırasında oluşan bir mikroçatlak boyunca hapsolür; ancak kristal büyümesi sonradan devam ettiği için, bu kapanımlar kristalin içinde “gömülü” kalır. Çatlak boyunca doğrusal dizilim göstermesi, çatlağın kristal kenarına ulaşmaması, büyüme zonlarıyla kısmen ilişkili olması ve primer ve sekonder arasında geçişi ifade etmesi karakteristik özellikleridir (Şekil 9c).

Jeolojik anlam olarak kristallenme sırasında yaşanan geçici gerilme olaylarına, büyüme ortamındaki kısa süreli P–T–X değişimleri, dinamik kristal büyüme koşullarına işaret eder. Pseudosekonder kapanımlar, sıklıkla yanlışlıkla primer veya sekonder olarak yorumlanır ve yanlış sınıflandırma, jeotermobarometrik hatalara yol açabilir.



Şekil 9. Sıvı kapanımlarının fotomikrografları. a ve b - Kuvars içindeki birincil kapanımlar; c - Kuvars içindeki yalancı ikincil kapanımlar; d - Barit içindeki birincil kapanımlar. (Ünal Ç. & at all. 2019).

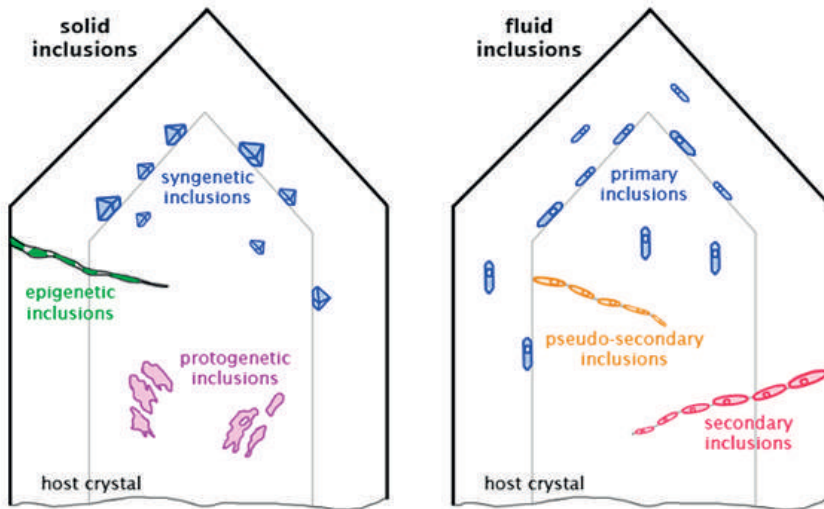
1.3.3. Sekonder (Epijenetik) Kapanımlar

Sekonder kapanımlar, konak mineral kristallenmesini tamamladıktan sonra, kırık veya çatlaklar boyunca içeri giren akışkanların hapsolmesiyle oluşur (Şekil 10). Kristali tamamen kesen çatlaklar şeklinde, çok düzenli, çizgisel dizilim gösteren büyüme zonlarını dikkate almayan çoğu zaman çok sayıda ve küçüktür. Jeolojik olarak sonraki hidrotermal olaylarda, deformasyon, faylanma, tektonik yeniden etkinleşme sonrasında yada metasomatik süreçler de oluşmuştur. Sekonder kapanımlar orijinal oluşum koşullarını temsil etmez ve primer gibi yorumlanırsa, yanıltıcı sonuçlar doğurur.

İçerdiği maddelerin, ana kristale göre hapsolme zamanına göre sınıflandırılması için kullanılan terimler, katı ve sıvı kapanımlar için farklı olup aşağıdaki tabloda, her iki kapanım türü için sınıflandırma sunulmuştur. <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-types/by-type-of-trapping/>

	Önce	Sırasında	Sonrasında
Katı kapanımlar	Protogenetik	Singenetik	Epigenetik
Sıvı kapanımlar	—	Birincil ve Yarı İkincil	İkincil

Katı kapanımların aksine, sıvı kapanımlar ana mineralin kristalleşmesinden önce oluşamaz. Bunlar yalnızca kristalleşme sırasında (birincil ve yarı ikincil sıvı kapanımlar) veya kristal oluşuktan sonra, iyileşmiş kırıklarda (ikincil sıvı kapanımlar) ortaya çıkabilir.



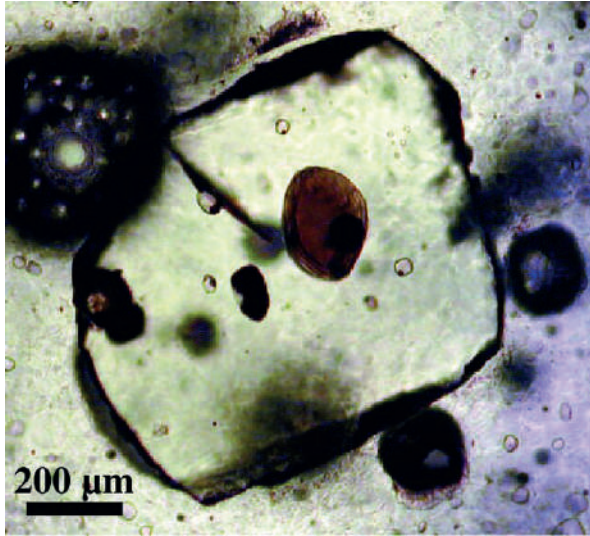
Şekil 10. Katı ve sıvı kapanımların farklı tiplerinin, ana kristal oluşumuna göre kapanım zamanlarının sınıflandırılan şematik gösterimi. <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-types/by-type-of-trapping/>

1.3.4. Magmatik Eriyik Kapanımları (Melt Inclusions)

Magma içindeki eriyik fazın, kristalleşen mineral tarafından hapsolmasıyla oluşur. Teknik olarak primerdir; ancak sıvı kapanımlardan ayrı değerlendirilir. Magmanın katılaşması ve gaz çıkışı sırasında genellikle kaybolan uçucu maddelerin ve metallerin bozulmamış konsantrasyonlarını kaydetmeleri zamansal anlık veri sunması ve alterasyondan büyük ölçüde etkilenmedikleri için ortam yorumlarında, magmanın ilk bileşimi, içerik (H_2O , CO_2 , S, Cl), derin magmatik P-T koşulları hakkında bilgi sunması açısından önemli avantaj sunarlar. Genellikle olivin, piroksen, plajiyoklaz içinde gözlenir (Şekil 11). Koyu cam faz, yuvarlak veya düzensiz boşluk, gaz kabarcığı çok belirgindir.

Bir kapanımın şekli değil, kristal içindeki konumu ve dizilimi oluşum zamanını belirler.

Negatif kristal şekilli bir kapanım bile, eğer kristali kesen bir çatlak üzerindeyse sekonder olabilir (Roedder, 1984 ve Goldstein & Reynolds 1994)



Şekil 11. Olivin içinde yer alan eriyik kapanımının mikroskop fotoğrafı. Resimde görülen kapanım, Guguang adasından alınan GUG-D örneğidir. Olivin kristali reçineye gömülmüştür ve yüzeydeki eriyik kapanımını ortaya çıkarmak için parlatılmıştır. Kapanım, berrak, kahverengi camdan yapılmıştır ve tek bir buhar kabarcığı içermektedir. (Kelley, K. & at all.2010).

Karşılaştırmalı Özet Tablo aşağıda verilmiştir.

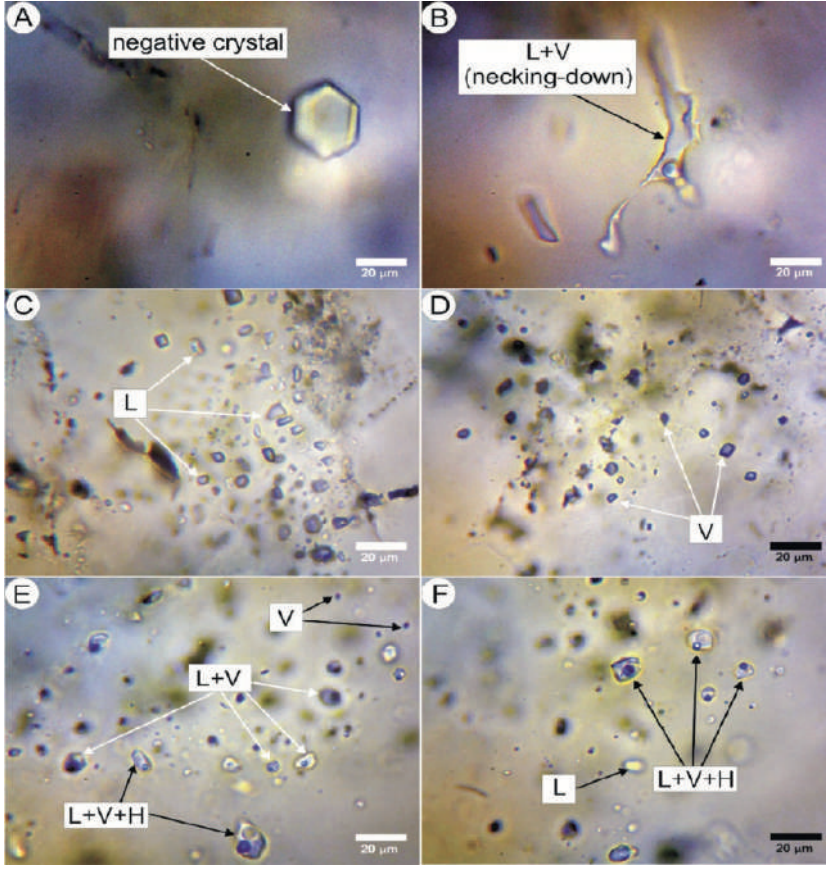
Kapanım Türü	Oluşum Zamanı	Kristal ile İlişki	Jeolojik Yorum
Primer	Kristal büyümesi sırasında	Büyüme zonlarıyla uyumlu	İlk oluşum koşulları Kristal büyümesi (magmatik/ metamorfik)
Pseudosekonder	Büyüme sırasında (çatlak boyunca)	İçte kalmış çatlak	Kırılma ve sonraki akışkan aktiviteleri Geçici stres / değişim
Sekonder	Büyüme sonrası	Kristali keser	Deformasyon ile bağlantılı Sonraki hidrotermal olay
Eriyik kapanımlar	Magmatik kristallenme	Primer	Magma bileşimi Magmatik ortam, derin P-T

1.4. Morfolojisine Göre Sınıflandırma

Morfolojik sınıflandırma, kapanımların yalnızca tanımlanmasını değil; kristal büyüme kinetiği, termodinamik denge koşulları ve sonradan gerçekleşen deformasyon–rekristalizasyon süreçlerinin yorumlanmasını da mümkün kılar. Kapanım morfolojisi; yüzey enerjisi, kristalografik yönelme, akışkan viskozitesi ve kapanım–konak mineral ara yüzey gerilimi gibi parametrelerin bileşkesidir (Roedder, 1984; Bodnar, 2003). Bu nedenle morfoloji temelli yaklaşım hem jeolojik hem de gemolojik çalışmalarda temel bir analitik çerçeve sunar.

1.4.1 Negatif Kristal Şekilli Kapanımlar

Negatif kristal kapanımlar, konak mineralin kristal yüzeylerini ve simetrisini taklit eden çok yüzlü boşluklardır. En sık kuvars, korindon ve beril gibi iyi gelişmiş kristal morfolojisine sahip minerallerde gözlenir. Bu kapanımlar genellikle projenetik karakterlidir ve kristalin büyüme evresinde, dengeye yakın koşullarda hapsolmuş akışkanları temsil eder. Kristalografik eksenlere paralel yüzeyler, keskin köşeler ve düzgün fasetler, genellikle tek fazlı veya iki fazlı (sıvı + gaz) içerikleri ile tanınırlar (Şekil 12).



Şekil 12. Lakehsiah 1 yatağındaki kuvarsda bulunan çeşitli sıvı kapanım türlerinin fotomikrograf görüntüleri. A: Negatif kristal şekli, B: İki fazlı kapanımlarda daralma, C: Tek fazlı sıvı kapanımlar (L), D: Tek fazlı buhar kapanımları (V), E: Üç fazlı ve iki fazlı sıvıca zengin kapanımlar ve F: Halit katı fazlı üç fazlı kapanım (H). (Gholipoor, M. & at all 2021).

1.4.2. Yuvarlak-Oval Kapanımlar

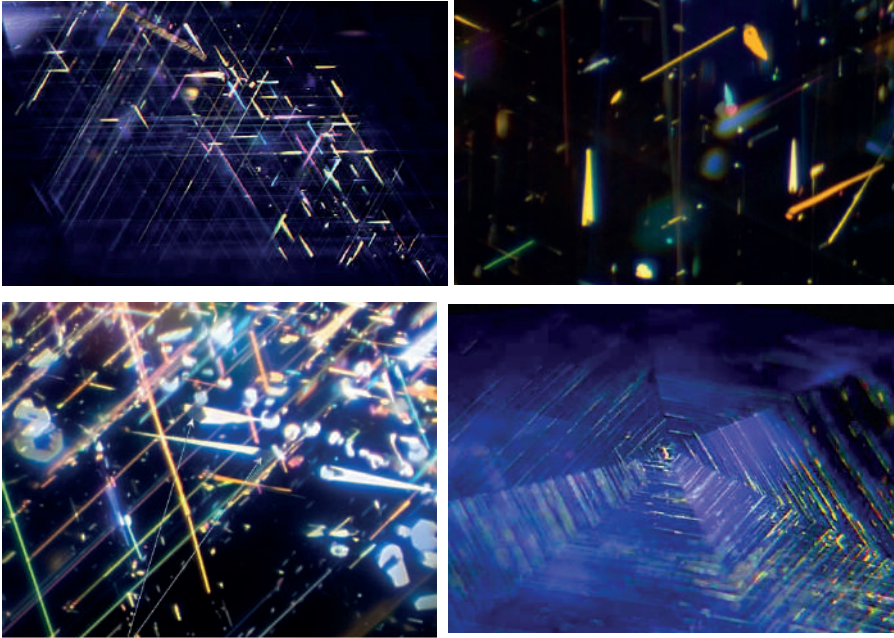
Yuvarlak ve oval kapanımlar, yüzey enerjisinin minimize edildiği koşullarda gelişir. Bu morfoloji çoğunlukla yüksek sıcaklıkta kapanım yeniden dengelenmesi (re-equilibration) veya izotropik gerilme alanlarının etkisiyle oluşur. Primer veya sekonder kökenli olabilirler. Küresel veya elipsoidal geometri, kristalografik yönelmeden bağımsız şekil, sıklıkla iki veya çok fazlı içerikleri karakteristiktir (Şekil 13).



Şekil 13. Oval kabaşon olarak işlenmiş dumanlı kuvarsın içerisindeki yuvarlak uraninit inklüzyonları <https://www.gems-inclusions.com/shop/uraninite-inclusions-in-quartz-2/>

1.4.3. Uzamış (İğnemsî ve Çubuksu) Kapanımlar

Uzamış kapanımlar, kristal büyüme hızının yüksek olduğu ve büyümenin belirli yönlerde yoğunlaştığı koşullarda gelişir. Katı kapanımlar (ör. rutil, sillimanit) kadar akışkan dolu kanalcıklar da bu gruba girer (Şekil 14-15). Gemolojide yıldız etkisi (asterizm) ve ipeksi görünüm gibi optik olaylarla doğrudan ilişkilidir. Konak mineralin kristal eksenlerine paralel uzanım göstermesi, yüksek boy/en oranı ve genellikle çok sayıda ve paralel dizilimi ile tanınır.



Şekil 14. Safirde gelişmiş rutil iğneleri. yüksek büyütme, iyi biçimlendirilmiş rutil ipeğinin genellikle geniş uçlarında küçük yavru kristallerin büyüdüğünü ortaya koymaktadır:

<https://www.ruby-sapphire.com.lotusgemology.com/index.php/about/10-articles/767-rutile-silk-in-ruby-sapphire-following-the-silk-road>



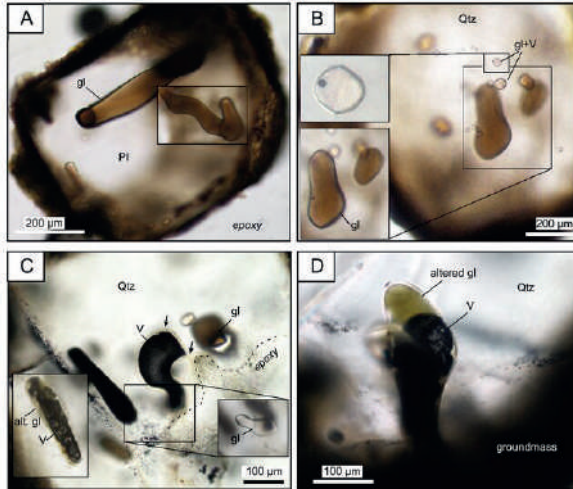
Şekil 15 . Kuvars içinde gelişmiş rutil iğneleri. Soldaki foto <https://scienceline.org/wp-content/uploads/2011/11/rutilatedquartz.jpg>

Sağdaki Brezilya'dan kuvars içindeki rutil yıldızları

<https://www.gems-inclusions.com/inclusions-photo-gallery/by-included-mineral/rutile-inclusions/>

1.4.4. Düzensiz (Anhedral) Kapanımlar

Düzensiz şekilli kapanımlar, belirgin kristal yüzeylere sahip değildir. Çoğunlukla çatlak dolgusu, çözünme–yeniden çökme veya metasomatik süreçler sonucu oluşur ve epijenetik karakter taşır. Keskin olmayan sınırları, karmaşık ve düzensiz geometrisi, çok fazlı içerik (sıvı + gaz + katı) ile tanınır (Şekil 16).



Şekil 16. Plajiolaz (Pl) içinde yer alan kahverengi cam (gl)anhedral , solucan benzeri kapanımlar (Agangi, A& at al.2022).

1.4.5. Kanal ve Tüp Şekli Kapanımlar

Kanal ve tüp tipi kapanımlar, akışkanların kristal içinde yönlü hareket ettiğini gösteren lineer yapılardır. Deformasyon, gerilme ve kayma zonlarıyla ilişkili olabilir ve genellikle sekonder kökenlidir. Uzun, dar ve süreksiz kanallar, çoğunlukla paralel dizilim, çatlak sistemleriyle ilişkili konum şeklindedir (Şekil 17).



Şekil 17. Musakashi zümrüdünde, kristalin prizma yüzeylerine paralel büyüme tüpleri
https://www.researchgate.net/figure/Growth-tubes-parallel-to-the-prism-faces-of-the-crystal-are-visible-in-this-Musakashi_fig3_264542547

Morfolojik verilerin P–T bağlamında değerlendirilmesi, kapanımların yalnızca tanımlanmasını değil; mineralin kristallenme ve sonradan geçirdiği tektonik–termal evrelerin yeniden yapılandırılmasını da mümkün kılar.

Morfolojik kapanım türleri ile oluşum ortamı ve yaklaşık basınç–sıcaklık (P–T) koşullarının karşılaştırılması.

Morfoloji	Tipik Oluşum Ortamı	Köken	Yaklaşık P–T Aralığı	Yorum
Negatif kristal	Magmatik–pegmatitik	Projenetik	400–800 °C / 1–5 kbar	Dengeye yakın büyüme koşulları
Yuvarlak–oval	Metamorfik / yeniden dengelenmiş	Primer–sekonder	300–700 °C / değişken	Termal yeniden dengeleme
Uzamış (iğnemsî)	Magmatik–metamorfik	Projenetik	600–900 °C / orta–yüksek P	Hızlı büyüme kinetiği
Düzensiz (anhedral)	Hidrotermal	Epijenetik	200–400 °C / düşük–orta P	Çatlak dolgusu, metasomatik
Kanal / tüp	Deformasyon zonları	Sekonder	150–350 °C / değişken	Gerilme kontrollü akışkan göçü

1.5. Optik -Mikroskobik Özelliklerine Göre Sınıflandırma

1.5.1. Parmak izi (fingerprint) Kapanımlar

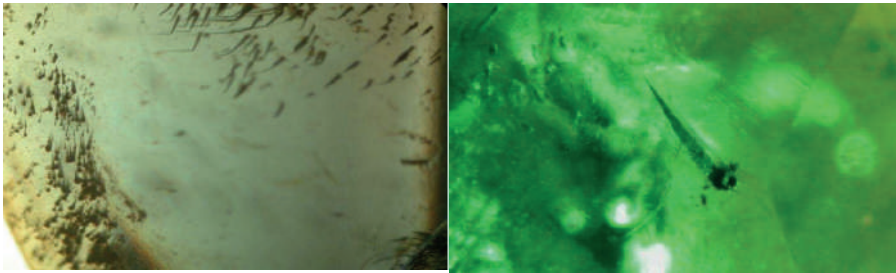
Birbirine çok yakın aralıklı, kavisli veya dalgalı sıvı kapanım dizileri şeklinde insan parmak izine benzer konsantrik/akışkan çizgiler olup iyileşmiş mikroçatlakların klasik göstergesidir (Şekil 18). Sekonder–pseudosekonder kökenli olup doğal taşlarda yaygın olmasına karşın, özellikle ısıtılmış taşlarda çok karakteristiktir.



Şekil 18. İşlenmemiş Burma mavi safirinde sıvı parmak izi kalıntısı https://gemologyproject.com/wiki/index.php?title=File:Liquid_fingerprint_inclusion_in_untreated_Burmese_blue_sapphire_2.jpg

1.5.2. Çivi Başı / Tırnak Başı (Nail-Head Spicule) Deseni Kapanımlar

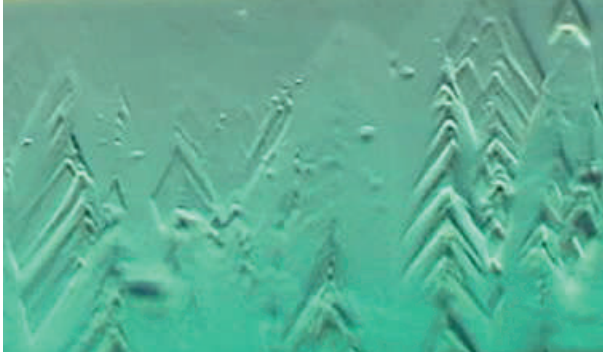
İnce, düz kanal/tüp ve ucunda yuvarlak bir kapanım içeren “Çivi + başı” görünümü genellikle tek yönlü olan kapanımlardır (Şekil 19). Doğal korindon (özellikle safir) için çok karakteristik olup sentetiklerde nadir gözlenir.



Şekil 19. Solda iğne benzeri yapılar sergileyen çeşitli yönlerde çivi bnezeri Spinel kapanımlar Sağda, eriticiyle yetiştirilmiş sentetik bir zümrüdüin yüzeyinde kırılan bir çivi başı kapanım görülmüyor. (<https://www.gia.edu/doc/A-Study-of-Nail-head-Spicule-Inclusions-in-Natural-Gemstones.pdf>)

1.5.3. Balıksırtı (Chevron) Deseni kapanımlar

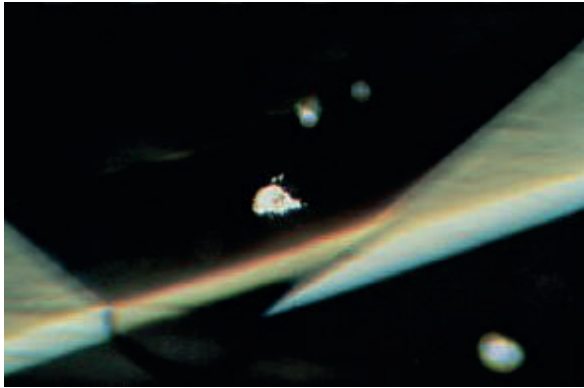
V-şeklinde, karşılıklı dizilmiş kapanımlar kristal büyüme yönüne simetrik doğal kristal büyümesi göstergesi olup sentetik alev füzyon taşlarında akış çizgilerinden ayırt edilir (Şekil 20)



Şekil 20. Doğal zümrüdü sentetik zümrüitten ayırmak için en iyi kanıtlardan biri olan kristal büyümesine paralel V-şekilli şevron kapanım dizileri büyüme <https://geology.com/gemstones/emerald/>

1.5.4. Ekmek Kırıntısı (Breadcrumb) Desenli Kapanımlar

Çok sayıda küçük, yuvarlak, dağınık kapanımlı belirgin yönlene olmayan “Serpilmiş” görünümlü kapanımlardır (Şekil 21). Doğal kuvars ve berilde yaygın olup düşük enerjili kapanım oluşumudur.

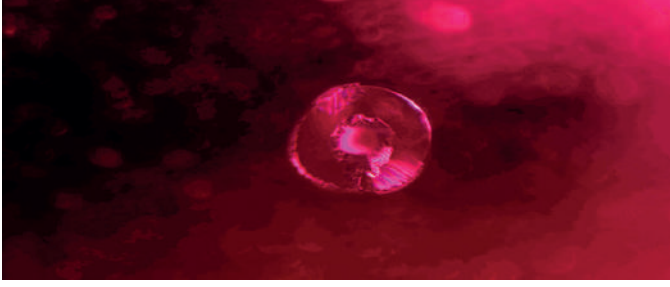


Şekil 21. Sentetik pembe kuvarsin bazı örneklerinde, sentetik kuvars için tipik olan “ekmek kırıntısı” şeklindeki inklüzyonlar görüldü.

https://www.researchgate.net/publication/285568649_Russian_Synthetic_Pink_Quartz/figures?lo=1

1.5.5. Kar Topu (Snowball) Desenli Kapanımlar

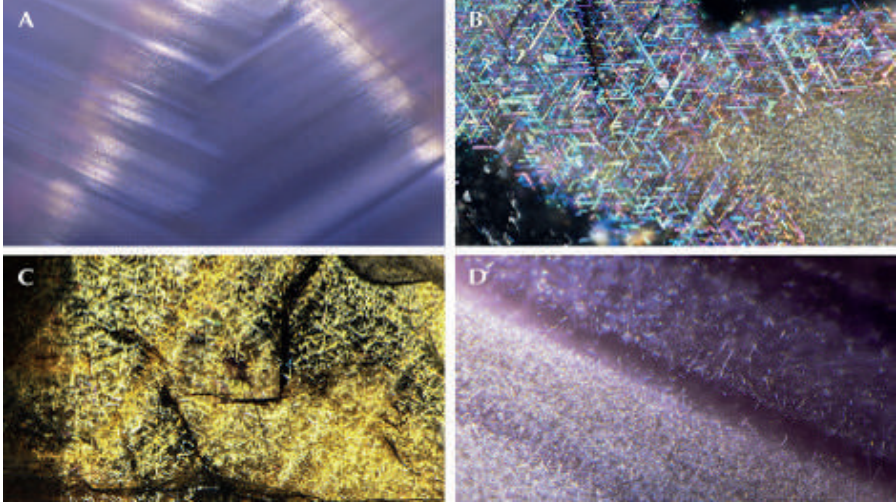
Merkezden dışa doğru sarmal/yoğun kapanımlar olup dönel kristal büyümesi izlenimi verirler. (Şekil 22) Doğal metamorfik/mineral büyümesi olup sentetiklerde neredeyse gözlenmezler.



Şekil 22. Genellikle “kar topu” olarak adlandırılan, bulanık, ısı ile değişime uğramış bir kristal kapanımı, disk şeklinde bir kırıkla çevrilidir ve korundum tohumunun doğal kökenini kanıtlamaktadır. <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-labnotes-two-unusual-natural-sapphires-synthetic-ruby-overgrowth>

1.5.6. İğnemsî Ağ / İpek (Silk / Needle Network) Kapanımlar

Çok sayıda **paralel iğnenin olduğu** Işığa tutulduğunda ipeksi görünüm sergileyen ve Asterizm (yıldız etkisi) ile ilişkili kapanımlardır (Şekil 23).

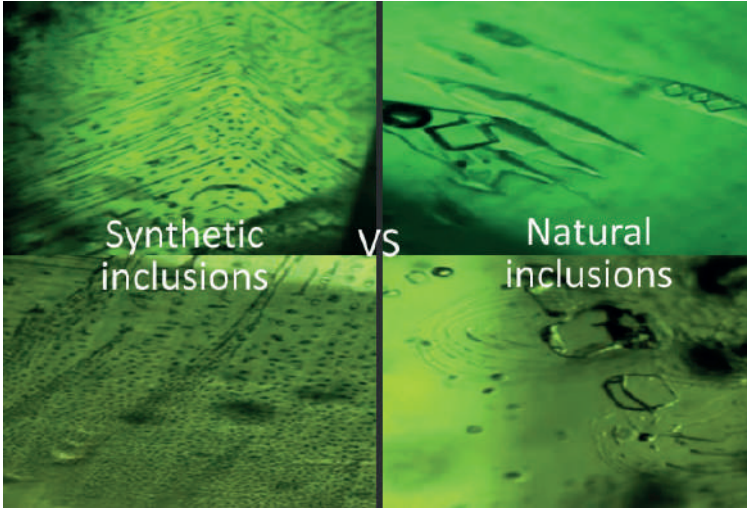


Şekil 23. Yıldız safirde ince rutil ipek. B: Burma safirinde rutil iğneleri. C: Kenya safirinde yoğun hematit ve/veya ilmenit iğneleri. D: 12 ışıklı yıldız safirde iğne inklüzyonları. <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2025-phenomenal-gemstones>

2 . KAPANIMLARIN GEMOLOJİK AÇIDAN ÖNEMİ

2.1. Mücevher taşının Doğal veya Sentetik Olduğunu Belirleyen Kapanımlar

Doğal mücevher taşları , jeolojik süreçlerin ürünü olan kompleks ve düzensiz inklüzyonlara sahipken doğal ile aynı bileşimde laboratuvarlarda üretilen sentetik mücevher taşları ise büyüme çizgileri, akış hatları, baloncuklar, metal platin partikülleri gibi karakteristik yapay inklüzyonlar bulundurur(Şekil 24) (Nassau, 1999).



Şekil 24. Solda sentetik mücevher taşlarında karakteristik olan akış izleri ve büyüme çizgileri sağda doğal inklüzyonlarda görülen kristal kapanımlar (<https://www.luxedo.it/en/news/questa-gemma-e-reale-o-una-imitazione-naturale-o-sintetica/?srsltid=AfmBOoq4mHPv8WAI6DFuFw-9Zu5j2j6AnVI3JSuAquxg0ZKcexdPzQq>)

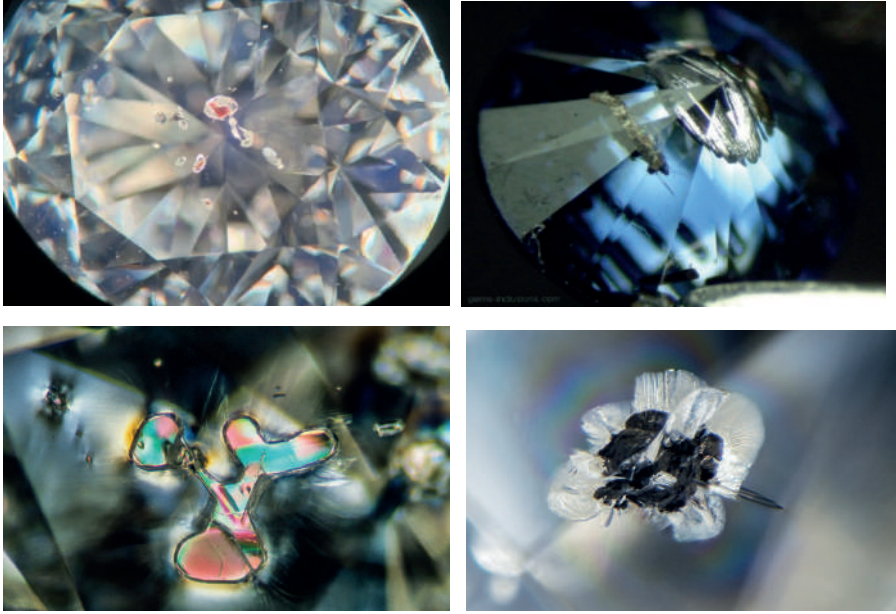
2.1.1.Elmas

Kapanımlar, elmasın doğal mı, sentetik mi yoksa taklit mi olduğunun belirlenmesinde en güvenilir içsel tanı kriterlerinden biridir. Doğal elmaslarda mantoya özgü mineral kapanımları ve gerilim izleri baskınken; sentetik elmaslarda üretim sürecine bağlı metalik veya yapay büyüme özellikleri ön plana çıkar (Şekil 25). Taklit taşlar ise elmasın jeolojik ve kristalografik karakterini yansıtmayan, genellikle basit ve düzenli içsel yapılara sahiptir.

Doğal elmaslar, mantonun yüksek basınç-yüksek sıcaklık (HPHT) koşullarında oluşur ve bu süreç, karakteristik kapanım tiplerinin gelişmesine

yol açar. Doğal elmaslarda sık gözlenen başlıca katı kapanımlar olivin, piroksen (enstatit, diopsit), granat (özellikle pirop), kromit, sülfürler (pyrrhotit, pentlandit) olup bu kapanımlar çoğu zaman elmasla eş zamanlı büyümüş olup, kristal yüzeyleri elmasın kristalografisiyle uyumludur. Bu özellik, doğal kökenin güçlü bir göstergesidir (Stachel & Harris, 2008).

Yüksek elastik modüle sahip elmas içinde bulunan yabancı mineraller, çevrelerinde gerilim çatlakları (stress cracks), Optik haleler, Çift kırılma anomalileri oluşturur. Bu tür deformasyon izleri sentetik elmaslarda nadiren bu kadar karmaşık şekilde gelişir (Gübelin & Koivula, 2008).



Şekil 25. Solda doğal elmas olduğunu kanıtlar kristal kapanımlar solda üstte ise Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık (HPHT) yöntemiyle üretilen mavi sentetik elmasın içindeki metal kapanımlar ve renk bölgeleri. sol alta ise

CVD yöntemiyle üretilen elmaslarda zaman zaman belirgin şekilde göze çarpan siyah karbon kalıntıları

<https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2018-inclusions-natural-synthetic-treated-diamond>

Doğal – Sentetik – Taklit Elmaslarda Görülen Kapanımların Karşılaştırılması

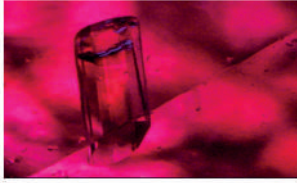
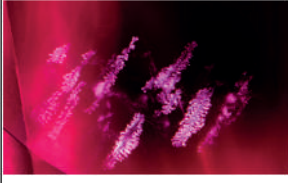
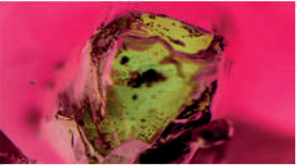
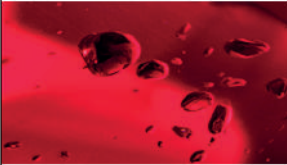
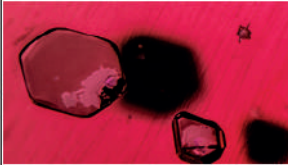
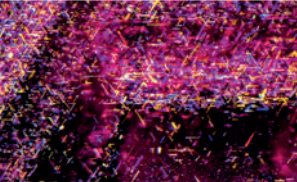
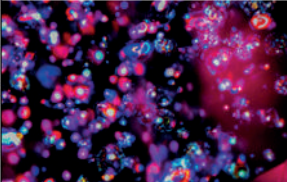
Kapanım Türü / Özelliği	Doğal Elmas	Sentetik Elmas (HPHT / CVD)	Taklit Elmas (Cam, CZ, Mozanit vb.)
Katı mineral kapanımları	Olivin, granat (pirope), piroksen, kromit, sülfürler; çoğu öjenetik ve kristal yüzeyli	Yok	Yok
Metalik kapanımlar	Yok	HPHT: Fe–Ni–Co alaşımları, opak ve parlak	Yok
Grafit kapanımları	Nadiren, düzensiz ve mantoya özgü	CVD: ince tabakalı veya noktasal grafit	Camda yaygın karbon parçacıkları
Sıvı/gaz kapanımları	Çok nadir, genellikle bozunmuş	Çok nadir	Cam/CZ: yuvarlak gaz kabarcıkları yaygın
Gerilim çatlakları (stress fractures)	Yaygın, karmaşık ve düzensiz	Sınırlı ve düzenli	Yok
Kapanım halleri	Sık görülür	Nadiren	Yok
Büyüme çizgileri	Düzensiz, doğal zonlanma	CVD: paralel tabakalı çizgiler	Akış çizgileri
İğnemsî kapanımlar	Nadiren (doğal mineral fazları)	Nadiren (yapay fazlar)	Mozanitte düzenli iğneler
Manyetik özellik	Yok	HPHT: metal kapanımları nedeniyle görülebilir	Yok
Optik anomaliler	Anormal çift kırılma yaygın	Sınırlı	İzotropik veya düşük anomali
Kapanım dağılımı	Rastgele ve heterojen	Yönlü veya tabakalı	Düzenli ve tekrarlı

2.1.2. Yakut

Yakutlarda kapanımlar, renk veya temel optik özelliklerden bağımsız olarak oluşum ortamını ve üretim yöntemini doğrudan yansıtan içsel kanıtlardır. Doğal yakutlar jeolojik süreçlerin; sentetik yakutlar ise kontrollü üretim tekniklerinin izlerini taşır. Taklitler (imitasyonlar) ise korindon dışı malzemeler olup basit iç yapılarıyla ayrılır (Gübelin & Koivula, 2008). Doğal yakutlar magmatik (bazaltik) veya metamorfik (mermer kökenli) ortamlarda oluşur.

Bu farklı jeolojik ortamlar, karakteristik kapanım toplulukları üretir. Doğal yakutlarda yaygın görülen mineral kapanımları rutil iğneleri (“ipek / silk”), spinel, kalsit, zirkon (çoğunlukla gerilim haleli), apatit, mika (biyotit, flogopit) dır.

Özellikle rutil iğneleri, doğal yakutların en klasik tanı göstergelerinden biridir. Bu iğneler genellikle kristalografik yönelimli ve düzensiz yoğunlukta dağılmıştır. Bu tür karmaşık iç yapılar sentetik yakutlarda nadirdir (Şekil 26)

		
Grönland'dan yakut içinde nadir görülen bir iyolit kalıntısı	Burma yakutlarında nadir görülen turuncu spinel	Vietnam'dan bir yakutta, yonlenmiş ince kristal
		
Burma yakutunda, sarımsı yeşil renkteki vesuvianit kristal kapanımı	Genellikle Mozambik yakutlarında gözlenen koyu renkli, şeffaf amfibol kristalleri	Mozambik'ten çıkarılan yakutlarda bazen görülen metal sülfür kristalleri
		
Burma yakutunda, yanardöner rutil ayrışması yıldız deseni oluşturur	Yansıtıcı ince filmlerden oluşan bir alan, bu yakutun Tayland menşeli olduğunu gösteriyor.	Mozambik'ten çıkarılan yakutlarda ince, levha şeklinde kromit inklüzyonları

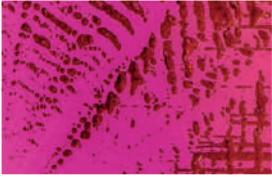
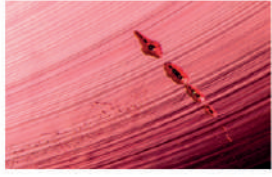
Şekil 26. Doğal yakutlarda gözlenen bazı kapanım örnekleri <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-inclusions-natural-synthetic-ruby>

Alev Füzyon (Verneuil) sentetik yakutlar kavisli (curved) büyüme çizgileri, yuvarlak veya uzamış gaz kabarcıkları, homojen renk dağılımı içerir. Bu gaz kabarcıkları, doğal yakutlarda görülmeyen en ayırt edici sentetik göstergelerdendir.

Flux yöntemi sentetik yakutlar flux kalıntıları (parmak izi benzeri, camsı görünüm), düzensiz şekilli boşluklar, doğal görünümlü, ancak mineralojik olarak uyumsuz kapanımlar içerir. Flux sentetikleri, doğal yakutlara en çok benzeyen sentetik türdür.

Hidrotermal Sentetik Yakutlar, çivi (nail-head) veya tüy benzeri kapanımlar, paralel büyüme zonları, düşük yoğunluklu ve yönlü iç yapılar içerir (Kane R, 1982)

Taklit yakutlar, korindon olmayan ancak kırmızı renkli taşlardır (cam, spinel, granat vb.). Cam taklitler bol ve yuvarlak gaz kabarcıkları, akış çizgileri, izotropik optik davranışlar sergiler (Şekil 27). Diğer Kırmızı taklitlerden sentetik spinel düzenli iğnemsî kapanımlar, düşük gerilim içerirken, granat ise karakteristik kristal kapanımları içerir ancak korindona özgü ipek yapısı yoktur. Bu taşlar, kapanım tipleri kadar optik özellikleriyle de yakuttan ayrılır.

		
<i>Ramaura yöntemiyle üretilen yakutta akı kalıntısı</i>	<i>alevle eritme yöntemiyle üretilmiş bu sentetik yakutun Kavisli çizgiler</i>	<i>Chatham sentetik yakutta yaygın Platin kristalleri</i>

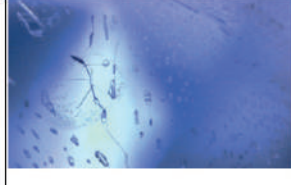
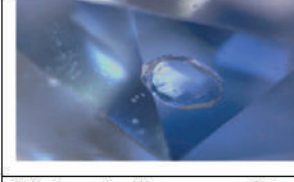
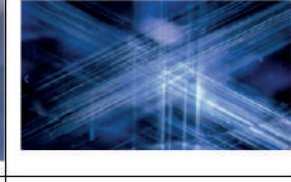
Şekil 27. Sentetik yakutlarda gözlenen bazı kapanım örnekleri <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-inclusions-natural-synthetic-ruby>

2.1.3. Safir

Safir kristallerinin büyümesinin doğal bir sonucu olan inklüzyonlar, kaynaklarına veya kökenlerine ve işlem geçmişlerine göre değişiklik gösterir (Şekil 28). Her inklüzyon türünün, değerli taşın görünürlüğü ve ışıltısı üzerinde farklı bir etkisi vardır.

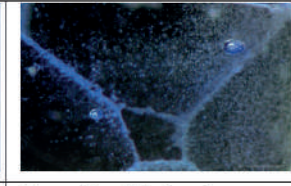
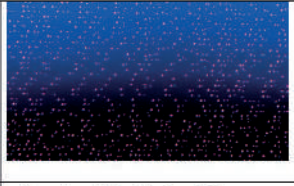
Inklüzyonlar genellikle çıplak gözle görülebilirken, bazıları yalnızca 10-20 kat büyütme ile görülebilir. Safirlerde sıklıkla hematit, zirkon, spinel, kalsit ve mika gibi küçük kristaller bulunur. Beyaz kristaller daha çok tercih edilir çünkü safirin rengi onları maskeleyebilir; bunun tersine, koyu kristaller rengi matlaştırabilir ve safir taşının opak görünmesine neden olabilir. Parmak izlerine benzeyen, sıvı dolu minik tüplerden oluşan ağlar olan Parmak izi

inklüzyonları, safirlerde oldukça yaygındır, ancak küçük oldukları için safirin kalitesini olumsuz etkileme olasılıkları düşüktür.

		
Montana mavi safirinde mercan adası benzeri kapanımlar	Sri Lanka'dan tüy ve yağmur damlacıklı safir	Gerilim hâleleriyle çevrili, uzamış negatif boşluklar içeren safir
		
Madagaskar'dan safirin içinde bozulmamış bir zirkon kristalli.	Myanmar'dan gelen mavi bir safirde kesişen ve ışığı kıran rutil iğneleri.	Yıldız safirde asterizm etkisini oluşturan kesişen rutil iğneleri

Şekil 28. Doğal safirlerde gözlenen bazı kapanım örnekleri <https://www.thenaturalsapphirecompany.com/education/sapphires-101/inclusions-in-sapphires/?srsltid=AfmBOosF8gUIbpacZgf8rm8mSDmJMub09XcM5GLooCumOaSjXwMCqI>

Sentetik safirler ise bir asırdan fazla süredir çoğunlukla eritme, akı veya hidrotermal çözelti yöntemleriyle üretilmektedir (Hughes, 2017). Bu malzemelerin tamamı mücevher ticaretinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 29). Kavisli renk bantları, bu mavi sentetik safirde olduğu gibi, alevle eritme yöntemiyle üretilen malzemeler için ayırt edici bir özelliktir.

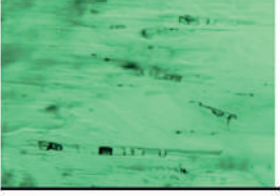
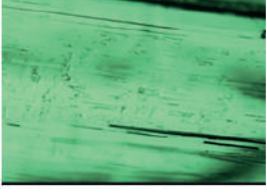
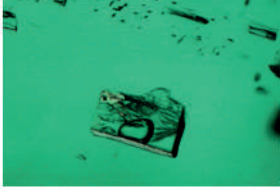
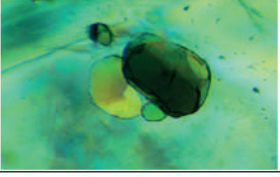
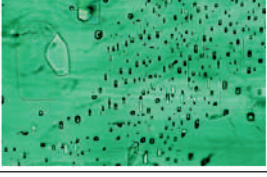
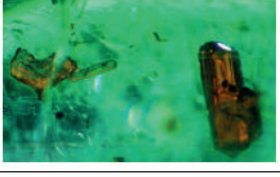
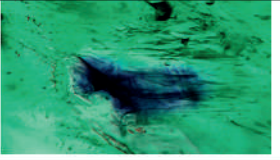
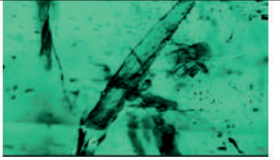
		
Sentetik safir içindeki bu platin kristal inklüzyonu	Verneuil safirinde erimeyen alümina veya minik gaz tüpleri ve genişletilmiş büyüme bölgeleri.	Czochralski yöntemiyle yetiştirilen bu sentetik safirde, minik noktasal gaz kabarcıkları

Şekil 29. Sentetik safirlerde gözlenen bazı kapanım örnekleri https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2017-inclusions-sapphire#GIA_Module:1495271326116-4

2.1.4. Zümrüt

Zümrütler, diğer değerli taşlara kıyasla kapanım açısından en zengin mücevher taşları arasındadır. Kapanımlar, zümrütün hidrotermal-metasomatik kökenini, büyüme ortamını ve sonradan uygulanan işlemleri (özellikle yağlama) yansıtan temel tanı kriterleridir. Doğal-sentetik ayrımında kapanımlar çoğu zaman tek başına belirleyici olabilir (Şekil 30).

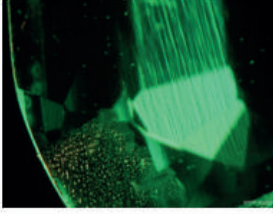
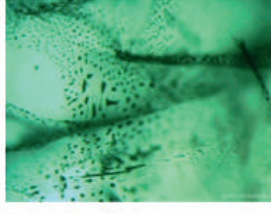
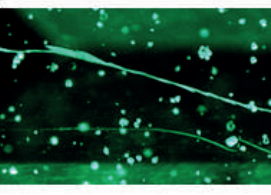
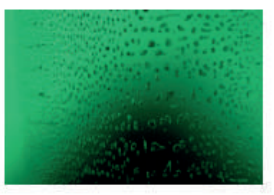
Sentetik zümrüt, doğal zümrütle aynı kimyasal bileşime, çizilme direncine ve renge sahiptir, ancak laboratuvarında üretilir(Şekil 31).

		
kristaller ve gaz kabarcıkları barındıran iğne benzeri çok fazlı bir kapanım	girintili çıkıntılı, düzensiz şekilli çok fazlı kapanımlar	bloklı sıvı- gaz kapanımı ve çok sayıda yavru kristal
		
Polarize ışık altında görülen biyotit kristalleri	Brezilya zümrüdünde, bloklı üç fazlı kapanımlar.	Kuzey Carolina zümrütü içinde canlı turuncu-kahverengi rutil inklüzyonları
		
yeşil zümrüt ana mineral içinde yüksek kontrastla görülen mor florit	Brezilya'nın Santa Terezinha de Goiás zümrütünde birkaç rombohedral manyezit kristali	Zambiya zümrütlerinde görülen amfibol kristalleri

Şekil 30. Doğal zümrütlerde bulunan, kapanımlar <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>

Zümrüt taklitleriyle karıştırılmamalıdır; taklitler zümrüte benzemek için üretilmiş kimyasal bileşimi farklı ürünlerdir. En yaygın sentetik taşlardan biri olmasına rağmen, sentezlenmesi en zor olanlardan da biridir. Piyasadaki

diğer sentetik taşlara göre en yüksek fiyatlara sahip olsalar da, genellikle doğal taşların fiyatının yalnızca yüzde beş ila onuna satılırlar. Chatham Zümrüdü, Biron Zümrüdü, Gilson Zümrüdü, Kimberly Zümrüdü, Lennix Zümrüdü, Linde Zümrüdü, Regency Zümrüdü ve Zerfass Zümrüdü, bunların hepsi, onları üreten grupların adlarıyla anılan sentetik zümrütlerin isimleridir.

		
Sentetik hidrotermal zümrütte bozulma büyüme yapısı ve sıvı kapanmaları	Sentetik eritme yöntemiyle üretilmiş zümrütteki eritme kalıntıları	hidrotermal zümrütünde büyüme yapısı
		
Zümrüt takliti camda ki baloncuklar	Bu Regency hidrotermal sentetik zümrütte görülen çivi başı şeklindeki dikenler	Bu Gilson sentetik zümrütünde, iyileşmiş beyazımsı tüy benzeri ağı kalıntıları
		
V şeklinde büyüme, hidrotermal olarak yetiştirilen sentetik zümrütlerin karakteristik özelliği	Sentetik fenakit kristalleri genellikle sentetik zümrüt üretiminin bir yan ürünüdür ve doğal kalıntılarla kolayca karıştırılabilir.	Genellikle, bu hapsolmuş damlacıkların her birinde görüldüğü gibi, bir büzülme kabarcığı içerir.

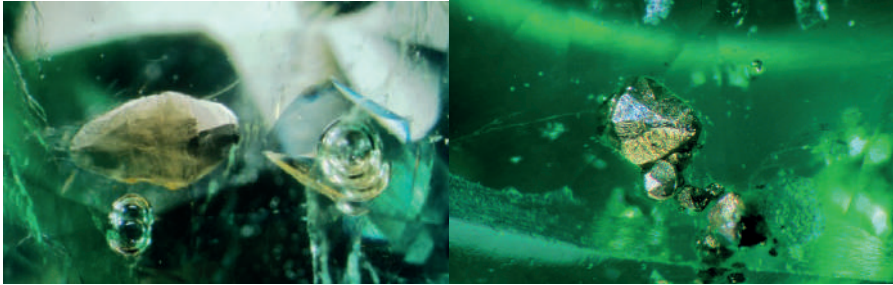
Şekil 31. Sentetik zümrütlerde bulunan, kapanım <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>

2.2. Mücevher Taşın Orijin (Kaynak) Tayininde Kapanımların Önemi

Orijin (kaynak) tayini, bir mücevher taşının coğrafi kökeninin (ör. Kolombiya, Myanmar, Sri Lanka) belirlenmesine yönelik bilimsel değerlendirmedir. Kapanımlar, taşın jeolojik ortamını (magmatik, metamorfik, hidrotermal), P-T koşullarını ve eşlik eden kayaç/mineral birlikteliklerini yansıttığı için orijin belirleme de temel kanıtlardan biridir. Orijin belirlemede kapanımlar, spektroskopi (UV-Vis-NIR, FTIR) ve kimyasal iz element (**LA-ICP-MS**) verileriyle birlikte çoklu-kanıt (multi-evidence) yaklaşımıyla değerlendirilmelidir. Tek bir kapanım değil, birlikte görülen kapanımların bütünü değerlendirilir. Aynı taşta gözlenen mineral kombinasyonları, belirli jeolojik ortamlara özgüdür.

2.2.1. Zümrüt (Beril)

Şekil 32 de soldaki zümrüt, nadir bulunan parisit mineralinin kahverengi bir kristalini içermektedir. Ayrıca, mavi ve turuncu parıltı efekti gösteren yağ dolu bir boşluk ve iki büyük hapsolmuş gaz kabarcığı da bulunmaktadır. Bu inklüzyon grubu, bu zümrüdün doğal kökenini doğrulamaktadır; ayrıca berraklık artırıcı işlem izleri gösteren taşın Kolombiya'dan olduğunu da teyit etmektedir. Şekil 32 sağdaki Kolombiya zümrütlerinde sıklıkla pirinç rengi pirit kristalleri görülür. <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>

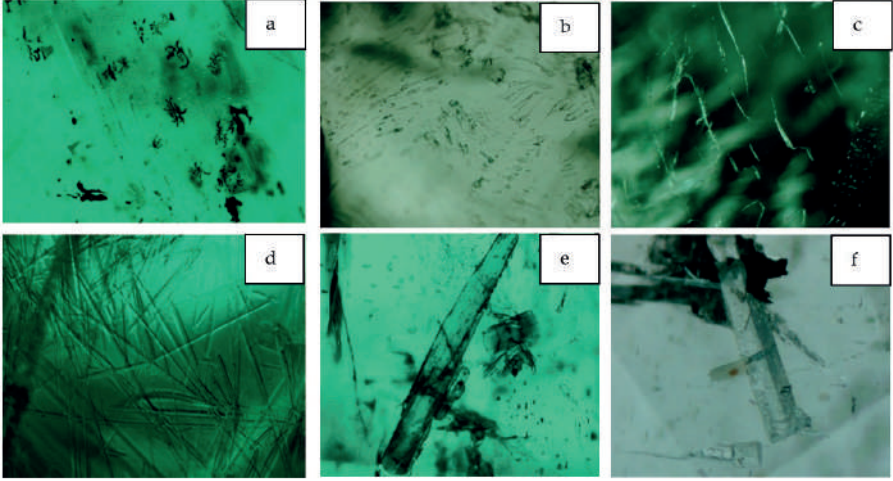


Şekil 32. Kolombiya zümrütlerinde görülen kapanımlar

Zambiya zümrüdünde şekil 33-a iskeletsel, levha şeklindeki ilmenit kristalleri dağınık halde bulunmaktadır. Düzensiz şekilli (şekil 33-b) ve incecik (şekil 33-c) sıvı kapanımları, Zambiya zümrüt örneklerinde yaygın olarak görülmüştür.

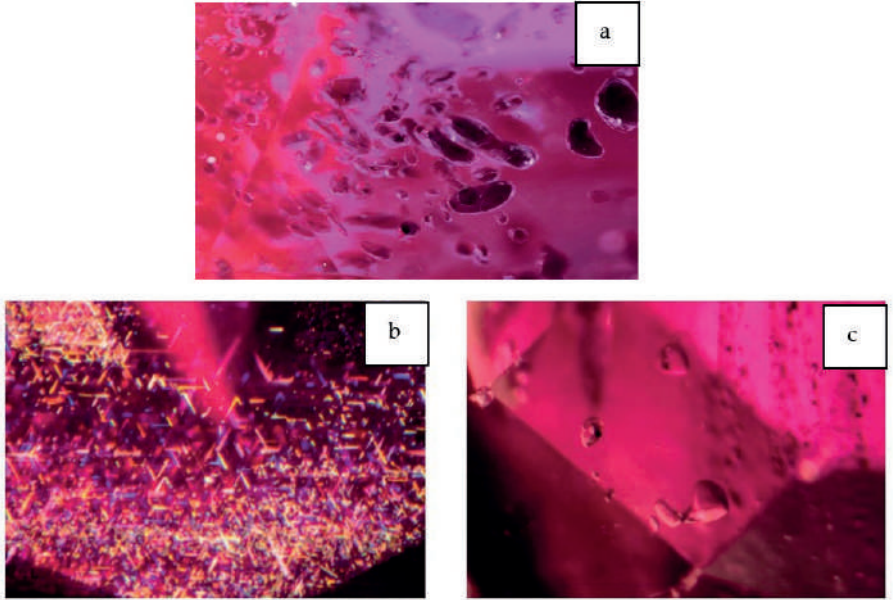
Şekil 33-d tremolit kapanımları yoğun bir şekilde bulunmaktadır. Şekil 33-e Zambiya'dan gelen zümrütlerde görülen amfibol kristalleri ve şekil

33-f apatit kristali içeren Zambiya zümrütü yeralır. (<https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2005-emeralds-kafubu-zambia-zwaan>)



Şekil 33. Zambiya zümrüdünde karakteristik kapaınmlar

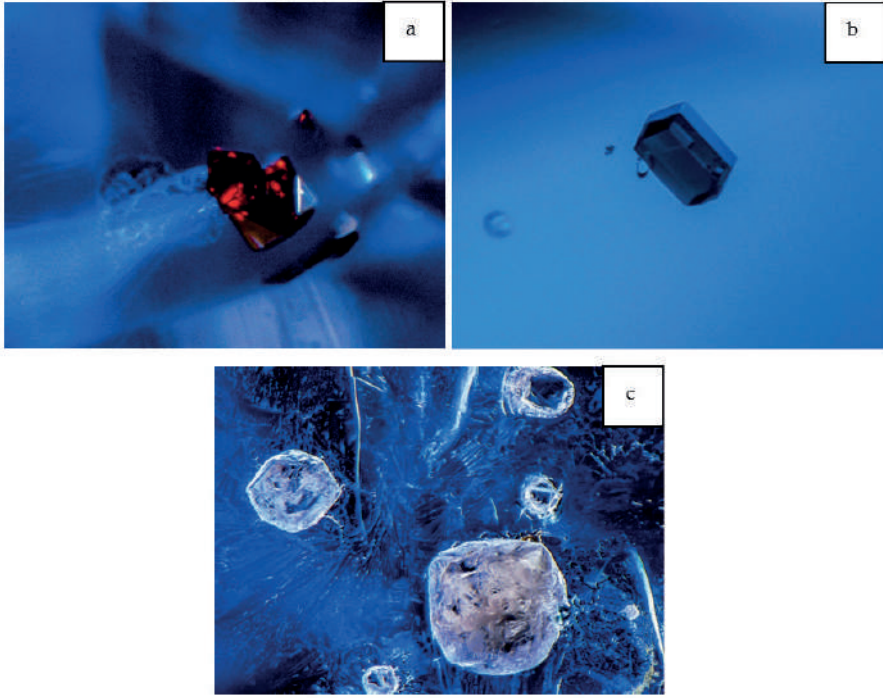
2.2.2. Yakut



Şekil 34.a da Mozambik Yakutunda Yuvarlak, anbedral Amfibol Mineral Kalıntıları.

34-b de Burma yakutunda rengarenk, yanardöner ipeksi yapı ve 34-c de Burma yakutlarında yaygın olarak bulunan renksiz karbonat kristalleri. <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-inclusions-natural-synthetic-ruby>

2.2.3. Safir

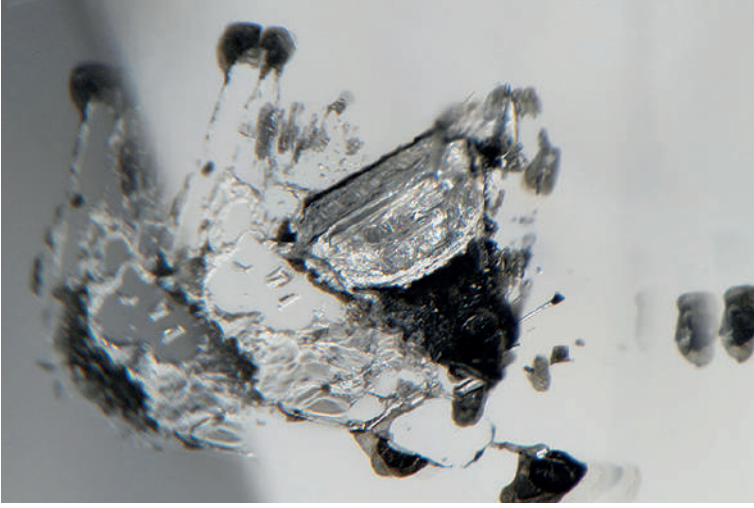


Şekil 35. Safirler de bazı lokasyanel özellikler https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2017-inclusions-sapphire#GIA_Module:1495271326116-4

3.4. Elmas

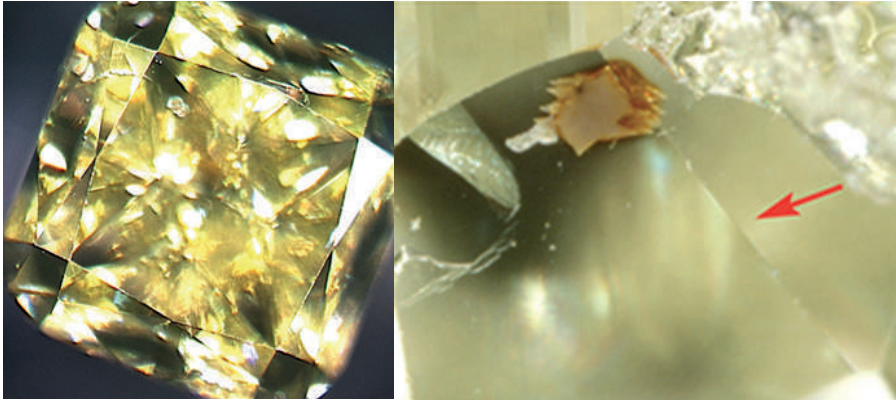
Elmaslarda orijin (kaynak) tayini, taşın jeodinamik ortamının (manto kökeni, kratonik yapı, subdüksiyon ilişkisi) ve dolaylı olarak coğrafi kaynak alanının belirlenmesini amaçlar. Elmas kapanımları, doğrudan manto mineralojisini yansıttığı için orijin tayininde kullanılan en güçlü içsel kanıtlardır (Stachel & Harris, 2008). Elmaslar çoğunlukla 150–250 km derinlikte, yüksek basınç-sıcaklık koşullarında oluşur ve bu ortamda eşlik eden mineraller elmas içinde öjenetik (eş zamanlı) kapanımlar halinde korunur.

Peridotitik (Kratonik) Manto Kapanımları, klasik kratonik elmas orijininin göstergesidir (Güney Afrika, Botsvana, Kanada). Başlıca kapanımlar Olivin (Mg-zengin), prope granat, ortopiroksen (enstatit), Kromit dir ki mineral birlikteliği, litosferik manto kökenini açıkça gösterir. Parlak yeşil kromlu diopsit kristali, ana elmasın peridotitik kökenli olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 36. Elmas içinde dağınık ışık altında bir breyit kapanımı. <https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2022-microworld-breyite-inclusion-diamond>

Elmas içersinde Breyit CaSiO_3 , minerallerine ender rastlanır. Breyit içeren elmasların genellikle 360 km'den daha derinlerden geldiği yorumlanır. Yüksek basınçlı perovskit mineralinin yüzeye doğru yolculuğu sırasında basınçtaki ani düşüş sonunda breyit kristal yapısına dönüşmüştür (Şekil 37). Alternatif olarak, breyitin çok daha sıkı derinliklerde, örneğin 150-200 km içinde doğrudan bir elmasın içinde hapsolması teorik olarak mümkündür, ancak bilinen bir litosferik elmas içinde böyle bir olaya henüz rastlanmamıştır. <https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2022-microworld-breyite-inclusion-diamond>



Şekil 37. Nadir bir xenotime minerali içeren 0,55 karatlık sarı elmas

Sarımsı kahverengi inklüzyon, şekil 34 de kuşak yakınındaki radyasyon lekeleri ile görülen Ksenotim inklüzyonu pavyon yüzeyini deldiği için epigenetik bir inklüzyon olarak bir aşındırma kanalının içinde oluştuğunu düşündürmektedir. Ksenotim (itriyum ortofosfat, YPO_4), esas olarak granitik pegmatitte ve ayrıca biyotit gnays gibi metamorfik kayalarda bulunur. Granitik sıvılar, kıtasal kabuktaki elmas yataklarının içine sızması olabilir ve nadir toprak elementleri iyonları, bu sarı elmasda gözlemlendiği gibi, aşındırma kanallarının içinde birikmiş ve kristalleşmiş olabilir (Şekil 38). Doğal olarak oluşan birkaç itriyum mineralinden biri olan ksenotim ile ilişkili radyasyon lekeleri, eser miktarda uranyum içerebilir ve hafif radyoaktif olabilir. E. Hussak, Brezilya'daki elmas içeren kumlarda monazit ve ksenotimin iç içe geçmiş yapılarını tanımlamıştır ancak mücevher kalitesinde elmasa ksenotim kalıntıları çok rastlanılmayan bir durumdur.

Karşılaştırmalı Özet Tablo

Taş	Olası Orijin	Tanılayıcı Kapanımlar	Jeolojik İmza
Zümrüt	Kolombiya	Üç fazlı kapanım, jardın	Hidrotermal–metasomatik
Zümrüt	Zambiya	Amfibol, biyotit	Metamorfik
Yakut	Myanmar	Rutil ipeği, spinel	Metamorfik (mermer)
Yakut	Bazaltik	Kromit, zayıf ipek	Magmatik
Safir	Sri Lanka	Zirkon (haleli), ipek	Metamorfik
Safir	Kashmir	Çok ince ipek	Metamorfik
Elmas	Kratonik	Olivin, pirope	Manto

2.3. İyileştirme Yöntemlerinin Tespitinde Kapanımların Önemi

Gemolojik bağlamda iyileştirme yöntemleri (treatments), bir mücevher taşının renk, berraklık veya dayanımını artırmak amacıyla uygulanan ısı, kimyasal ve fiziksel müdahaleleri kapsar. Bu müdahalelerin tespiti, hem bilimsel doğruluk hem de ticari/etik şeffaflık açısından zorunludur. Kapanımlar, taşın iç yapısına doğrudan etki eden bu işlemlerin bıraktığı en güvenilir tanınabilir izleri sağlayan başlıca göstergelerdir.

İyileştirme işlemleri çoğunlukla kristal örgünün tamamını değil, zayıf zonları (çatlaklar, boşluklar, kapanımlar çevresi) hedefler. Bu nedenle:

- İşlemler ilk olarak kapanımları ve çevrelerini değiştirir.
- Yüzeyden bağımsız, taşın içine gömülü ve sonradan geri döndürülemez izler bırakırlar.

- Doğal oluşum süreçleriyle açıklanamayacak mikroyapısal anomaliler üretirler.

2.3.1 Başlıca İyileştirme Yöntemlerinin Kapanımlar üzerine Etkileri

2.3.1.1. Isıl İyileştirme (Heat Treatment)

Renk modifikasyonu, bulanıklığın azaltılması amaçlayan ısı işlemler mücevher taşı içinde yer alan kapanımlar üzerinde aşağıda yer alan etkileri yaratabilir. Bu özellikler, doğal metamorfik/jeolojik süreçlerle uyumsuz bir hızlı ve yüksek sıcaklık maruziyetini işaret eder.

- **Isı halleri :** Katı kapanımlar etrafında bulanık veya çatlaklı zonlar.
- **Sıvı kapanım bozulması:** Negatif kristallerin yuvarlaklaşması, gaz kabarcığının kaybı.
- **Patlamış kapanımlar:** Yüksek sıcaklığa bağlı ani hacim artışı izleri.
- **İğne erimesi:** Rutil iğnelerinin kesik ve düzensiz hale gelmesi.

2.3.1.2. Dolgu (Yağ, Reçine, Polimer, Cam)

Çatlakların gizlenmesi, berraklığın artırılması amacı ile yapılan dolgular çatlak geometrisini birebir izlemeleri nedeni ile doğal kapanımlarla karışmaz. Dolgular

- Çatlak ve boşluklarda **yüksek parlaklık farkı**.
- **Flash effect** (mavi-yeşil, sarımsı yansımalar).
- Dolgu içinde **gaz kabarcıkları**, akış çizgileri.
- Zamanla **kuruma veya çekilme** izleri ile tanınır.

2.3.1.3. Boyama (Dyeing)

Renk yoğunluğu ve homojenliğinin artırılması için yapılan boyama doğal renk zonlanmasından farklı olarak, boya yapısal zayıflıkları takip eder. Boyamalar

- Renk maddesinin **çatlak ve boşluklar boyunca yoğunlaşması**.
- Kapanımlar çevresinde **anormal koyulaşma** veya lekelenme.
- Yüzey yakınında güçlü, derinde zayıf renk ile tanınır.

2.3.1.4. Difüzyon İşlemleri (Be, Ti vb.)

Yüzeye yakın renk oluşturma amacı ile yapılan difüzyon olayında ısı ile birlikte kimyasalar uygulanır ki bunlar kapanımlar üzerinde

- Kapanımların yüzeye yakın kesimlerinde **renk yoğunluğu farkı**.
- Kesitte renkli kabuk–renksiz çekirdek kontrastı.
- Kapanımların bir tarafının renkli, diğer tarafının renksiz kalması etkisi yaratır.

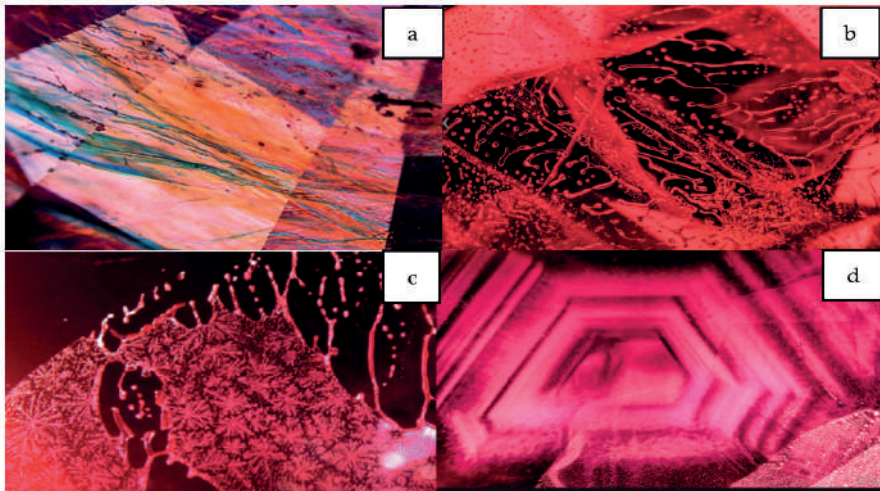
Bu asimetrik renklenme, doğal büyüme zonlanmasıyla açıklanamaz.

2.3.1.5. Işınlama + Isıl Kombinasyonlar

Renk merkezleri oluşturmak veya stabilize etmek için uygulanan radyasyon ve birlikte ısı işlemler Kapanımlar çevresinde alışılmadık renk halo ve zonlar ile doğal mineralojiyle uyumsuz renk dağılımları oluşturur.

2.3.2 İyileştirilmiş Taş Ayrımında Kapanım Davranışı

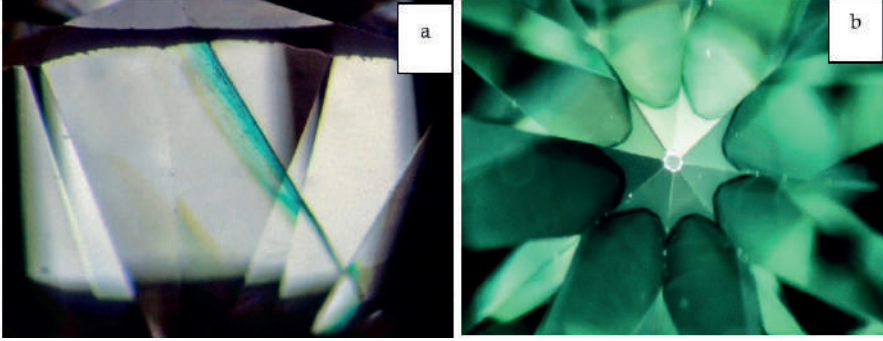
Kriter	Doğal Taş	İyileştirilmiş Taş
Kapanım morfolojisi	Düzenli, jeolojik uyumlu	Bozulmuş, yuvarlaklaşmış
Çevresel gerilim	Yok / dengeli	Isı halosu, mikroçatlak
İç dolgu	Yok	Yağ, reçine, cam
Renk–kapanım ilişkisi	Büyüme zonlarını izler	Çatlakları izler
Dağılım	Homojen, sistematik	Yüzeye yakın, düzensiz



Şekil 38. Isıtma veya açık çatlakların doldurulması yoluyla renk ve berraklıklarını iyileştirmek için işlenmiş yakutlarda görülen mikro özellikler: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-microworld-snowflake-inclusions-in-ruby> - https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-inclusions-natural-synthetic-ruby#GIA_Module:1495271610426-2

Şekil 39-a'daki, parlak bir arka plana karşı kırılma düzlemine neredeyse paralel olarak incelendiğinde parlak yeşil bir “parlama etkisi” gösterir. Bu, elmaslarda berraklık artırımının göstergesidir.

Şekil 39-b de görülen “şemsiye etkisi”, elmasın uç kısmına uygulanan işlemden kaynaklanmaktadır ve yapay ışınlama kaynaklı renk değişiminin göstergesidir



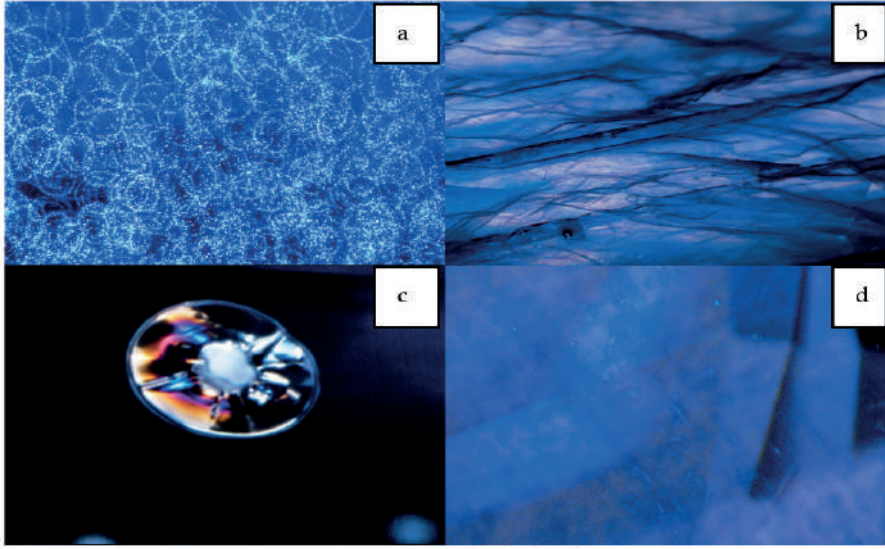
Şekil 39. Renklerini ve/veya berraklıklarını iyileştirmek için çeşitli işlemlere tabi tutulan elmaslarda sıklıkla görülen mikro özellikler https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2018-inclusions-natural-synthetic-treated-diamond#GIA_Module:1495275678315-3

İşlenmiş mavi safir, berilyum difüzyonunun sonucu olarak “duman halkası” şeklinde dekore edilmiş dislokasyonları Şekil 40-a da görülmektedir.

Renksiz korundumu bağlamak için kobalt katkılı kurşun cam kullanımını ise Şekil 40-b de mikroskop altında kobalt camından ve gaz kabarcıklarından kaynaklanan mavi renk konsantrasyonları şeklinde görülmektedir.

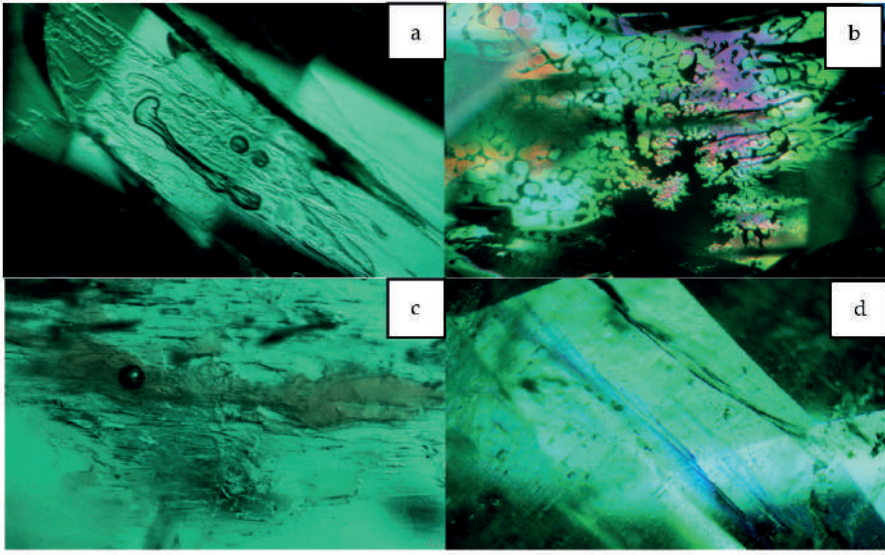
Şekil 40-c de metamorfik mavi safirde ısı işlemine dair kanıt olarak beyazımsı değişime uğramış bir mineral kristali ve iyileşmiş bir saçakla birlikte diskoid gerilim çatlağı görülmektedir.

Isıl işlem sırasında rutil iğnelerinin kristal kafese çözünmesiyle “iç difüzyon” meydana gelir. Rutildeki titanyum, safirdeki demirle eşleşerek mavi rengi artırır (Şekil 40-d)



Şekil 40. Safirlerin rengini ve berraklığını iyileştirmek için ısıtma veya açık çatlakların doldurulması gibi işlemlerden geçirilmiş hallerinde görülen mikro özellikler <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2017-inclusions-sapphire>

Doğal bir zümrüt kırığın Şekil 41-a'da akış yapısı gösteren, berraklığı artırıcı reçine mevcuttur. Şekil 41-b de kısmen doldurulmuş bir kırık, doldurulmamış alanlarda canlı girişim renkleri ve yağ dolgusunun kırığın içine sızarak görünürlüğü azalttığı yerlerde dendritik bir desen göstermektedir. Doğal bir zümrüt içinde kahverengi yağla dolu büyük bir cep ve sıkışmış bir gaz kabarcığı. İse şekil 41-c de görünürken şekil 41-d ise iyi doldurulmuş bir kırık, netlik artırımını doğrulayan tanısıl mavi flaş etkisini göstermektedir.



Şekil 41. Isıtma işlemi veya açık çatlakların doldurulması yoluyla renk ve berraklıklarının iyileştirilmesiyle elde edilen zümrütlerde görülen mikro özellikler. <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>

3. İNKLÜZYON İNCELEME TEKNİKLERİ

Gemoloji Mikroskopi: Karanlık alan, fiber optik aydınlatma, immersiyon tekniği gibi yöntemler kullanılarak taş içi mikro yapılar ayrıntılı şekilde gözlemlenir.

Raman Spektroskopisi: Katı inklüzyonların mineral türünün belirlenmesinde en kesin yöntemlerden biridir.

FTIR Spektroskopisi: Isıl işlem görmüş safirlerde OH bağlarının tayininde kullanılır.

SEM-EDS Analizi: Katı inklüzyonların kimyasal bileşimini belirlemede kullanılır (Smith, C. P. et all. (2018)).

4. KAPANIM NEDEN OLDUĞU OPTİK ETKİLER

Mineraller ve mücevher taşları içinde yer alan kapanımlar (inklüzyonlar), yalnızca taşın oluşum koşulları hakkında bilgi vermekle kalmaz; aynı zamanda optik davranışını da doğrudan etkiler. Işığın mineral içindeki ilerleme biçimi, kırılma, saçılma, yansıma ve soğurulma gibi temel optik süreçler, kapanımların faz türüne, boyutuna, şekline, dağılımına ve optik özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Bu nedenle kapanımlar, gemolojik tanıda

hem tanısal ipuçları hem de estetik nitelikler açısından kritik öneme sahiptir (Gübelin & Koivula, 2008; Nassau, 1994).

4.1. Işık Saçılması ve Bulanıklık (Scattering & Turbidity)

Mikron–altı ve mikron ölçekli katı, sıvı veya gaz kapanımlar, kristal içinde ilerleyen ışığın yönünü rastgele değiştirerek ışık saçılmasına neden olur. Özellikle:

- Yoğun dağılmış mikrokapanımlar taşa sütü/bulanık bir görünüm oluşturur.
- Kırılma indisi farkı (Δn) yüksek olan kapanımlar saçılmayı kuvvetlendirir.

Bu etki opal, ay taşı (feldspat), kuvars ve bazı sentetik taşlarda belirgindir (Şekil 43). Doğal taşlarda genellikle düzensiz, heterojen bir bulanıklık gözlenirken; sentetiklerde daha homojen dağılım tipiktir (Nassau, 1999).



Şekil 42. Sütü kuvars opak ve bulanık görünümüyle bilinen yaygın bir kuvars çeşididir . Ayırt edici sütü beyaz tonu, oluşum sırasında kristal içinde hapsedilmiş mikroskobik su veya gaz inklüzyonlarından kaynaklanır. Bu inklüzyonlar ışığı dağıtarak kuvarsın karakteristik bulanık görünümünü oluşturur. Renk, bu inklüzyonların konsantrasyonuna bağlı olarak soluk beyazdan koyu sütü beyaza kadar değişebilir. <https://www.geologyin.com/2014/06/milky-quartz.html>

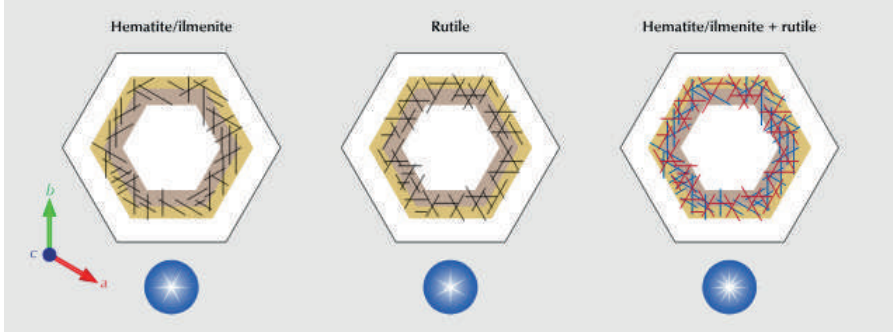
4.2. Asterizm ve Chatoyans (Yıldızlanma ve Kedi Gözü Etkisi)

İğnemi veya lifsi kapanımların kristalografik doğrultular boyunca paralel dizilimi, yönlü ışık saçılmasına yol açar:

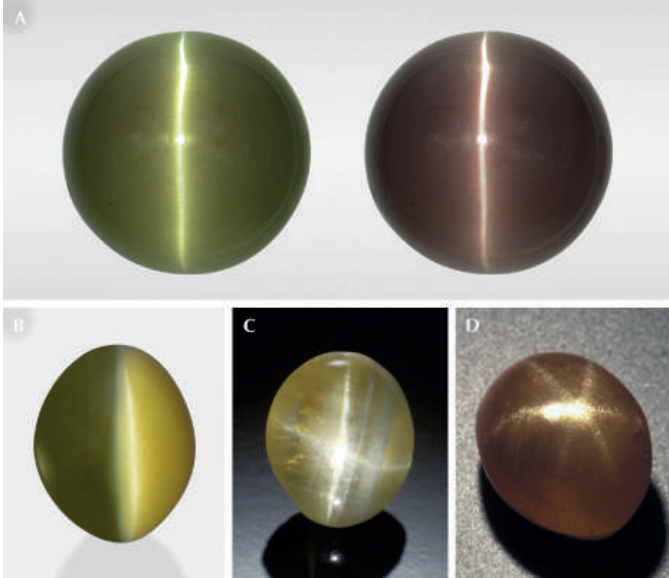
- Chatoyans (kedi gözü): Tek doğrultulu lifsi kapanımlar (örn. rutil iğneleri) → tek parlak bant

- Asterizm (yıldızlanma): Birden fazla doğrultuda yerleşmiş iğnemsî kaparımlar → 4, 6 veya 12 kollu yıldız

Yakut ve safirde gözlenen yıldız etkisi, çoğunlukla rutil (TiO_2) iğneciklerinin düzenli diziliminden kaynaklanır (Şekil 44). (Gübelin & Koivula, 2008).



Şekil 43. Korundumun iğne şeklindeki inklüzyonları ile büyüme zonlaması arasındaki yönelim ilişkisini gösteren şematik çizim. Solda hematit ve ilmenit iğnecikleri çoğunlukla büyüme bantlarına diktir ve bantlamaya paralel ışımlara sahip bir yıldız oluşturur; ortada rutil iğnecikleri her zaman büyüme bantlarına paraleldir ve ışıklar diktir. Sağda her iki iğne türü de mevcutsa, 12 ışımlı bir yıldız oluşur.



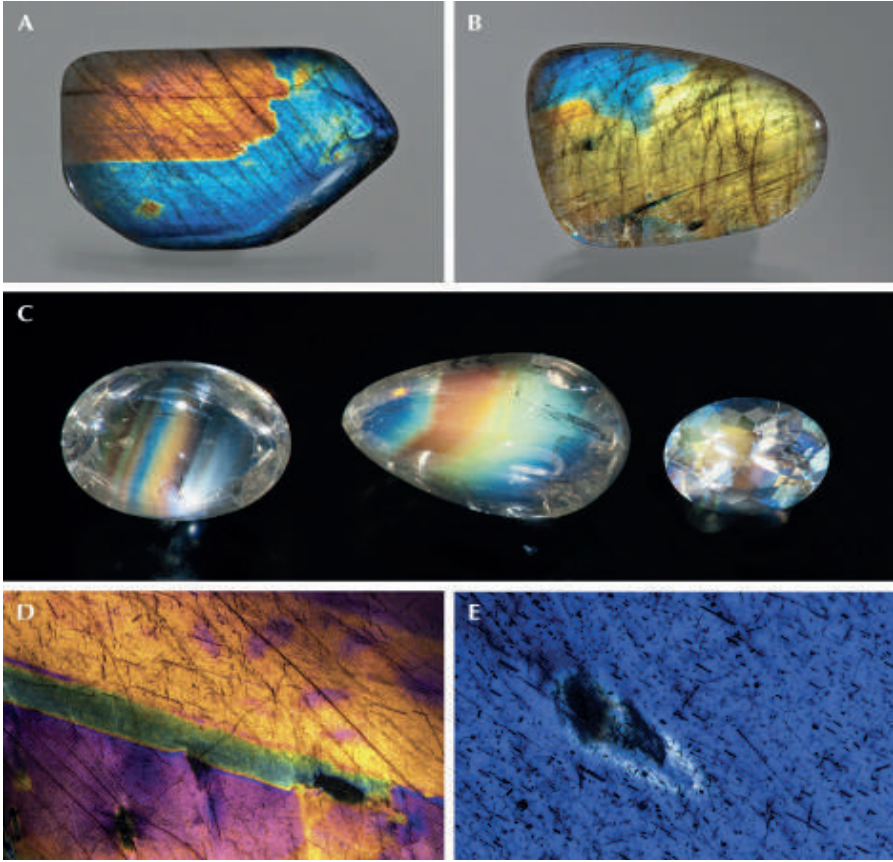
Şekil 44. A) Floresan ışık altında (solda) ve akkor ışık altında (sağda) kedi gözü alexandrit. B: "Süt ve bal" etkisi gösteren kedi gözü krizoberil; C dört ışımlı yıldız krizoberil. D: doğal altı ışımlı yıldız krizoberil. <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2025-phenomenal-gemstones>

4.3. İridesans ve Renk Oyunları

Tabakamsı, boşluklu veya çok ince film benzeri kapanımlar, ışığın ince film girişimi ve kırınım mekanizmalarıyla etkileşmesine neden olur(Şekil 46).. Sonuçta:

- Yüzeye veya iç kırıklara paralel kapanımlarda gökkuşağı renkleri
- Bazı feldspat ve opallerde belirgin renk oyunu (play-of-color)

Bu etki, kapanımların kalınlığının ışığın dalga boyu mertebesinde olmasıyla ortaya çıkar



Şekil 45. A ve B Srasıyla Finlandiya'dan ve Madagaskar'dan labradorit, yüzeye yakın yanardönerliği göstermektedir. C: Zambiya "gökkuşağı ay taşı" D: Finlandiya'dan gelen labradorit, ışığın kristalin derinliklerine ulaşmasını engelleyen opak kapanımlarla yoğun bir şekilde kaplıdır; bu nedenle yanardönerlik yüzeyde bir kaplama gibi görünür. E: Daha yüksek büyüme, opak kapanımların mavi yanardönerliğin üzerinde yüzdüğünü ortaya koymaktadır; bu da girişim renginin her zaman labradorit kristalinin içinden kaynaklandığını göstermektedir. <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2025-phenomenal-gemstones>

4.4. Renklenme ve Renk Zonlanması

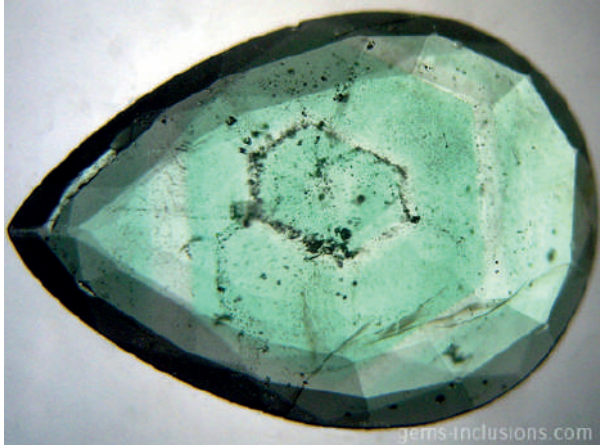
Kapanımlar, taşın rengini iki temel yolla etkiler:

1. Soğurma (absorption): Kromofor element içeren mineral kapanımlar (örn. kromit, hematit) belirli dalga boylarını soğurarak rengi derinleştirir veya değiştirir(Şekil 47).
2. Dağılım kontrollü zonlanma: Büyüme sırasında kapanımların periyodik hapsi, renk zonları oluşturur (Şekil 48).

Zümrütlerde üç fazlı kapanımlar ve demirli mineral kapanımlar renk tonunu ve doygunluğu etkileyen tipik örneklerdir.



Şekil 46. Ametistte “kum saati” renk geçişleri ve hematit inklüzyonları <https://www.gems-inclusions.com/shop/category/other-effects/>



Şekil 47. Zümrüt kristali içinde demir oksit (hematit/goetit) kökenli mineral kapanımı. Kromofor element içeren bu kapanımlar; belirli dalga boylarını soğurarak ev sahibi mineralin yeşil renginde yerel koyulaşma ve ton değişimine neden olmaktadır (absorpsiyon kontrollü renklenme) <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-in-gemology/color-distribution/>



Şekil 48. Solda renksiz, şeffaf beril, keskin yeşil zümrüt bölgesi ve sıvı kapanımlarından kaynaklanan iki yarı saydam sütlü bölge içermektedir <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-in-gemology/color-distribution/> sağda paraiba kuvarısı” olarak adlandırılan bu kuvars, gilalit inklüzyonları nedeniyle renklenmiştir <https://www.gems-inclusions.com/shop/category/by-included-mineral/gilalite/>

4.5. Çift Kırılma Anomalileri ve Optik Gerilim Etkileri

Kapanımlar çevresinde oluşan rezidüel gerilim alanları, özellikle anizotrop minerallerde optik anomalilere yol açar:

- Polarizan mikroskopta anormal girişim renkleri
- “Gerilim haleleri” ve izotrop alan bozulmaları

Bu etki, sentetik taşlarda hızlı büyüme koşullarına bağlı olarak daha belirgin ve düzenlidir (Schumann, 2013).

Elmas kafesindeki gerilmenin bir sonucu olarak, doğal izotropik özelliklerinin değişmesinden, ortaya çıkan desenlerin anlaşılması, gerilmenin nedenlerine dair içgörüler sağlayabilir; bu da elmasın büyüme ve/veya gerilme geçmişi hakkında fikir verebilir. (Howell, D. 2012).

4.6. Yüzey Parlaklığı ve Şeffaflık Üzerine Etkiler

Yüzeye yakın veya yüzeye bağlantılı kapanımlar:

- Parlatma sırasında mikro-çukurlar
- Işğın yüzeyden düzgün yansımamasına bağlı parlaklık kaybı

özellikle yüksek berraklık sınıfındaki elmas ve korindonlarda ticari değeri doğrudan etkiler.

SONUÇ

Bu çalışma, kapanımların (inklüzyonların) mücevher taşlarının tanınmasındaki belirleyici rolünü; sınıflandırma yaklaşımları, genetik anlamları ve gemolojik uygulamalardaki tanınma değerleri üzerinden bütüncül biçimde ortaya koymuştur. Kapanımların mineralojik bileşimi, morfolojisi, dağılımı ve optik tepkileri; konak taşın olduğu fiziksel-kimyasal koşulların (P-T-X) ve sonraki jeolojik/teknolojik süreçlerin kristal içinde korunmuş mikro kayıtlarını temsil eder. Bu nedenle kapanımlar, ticari düzeyde sıklıkla “kusur” olarak algılansa da, bilimsel gemoloji açısından taşın “kimlik kartı” niteliğindeki en güvenilir içsel kanıtlar arasındadır.

Bölüm boyunca sunulan sınıflandırmalar, kapanımların yalnızca betimlenmesi için değil, aynı zamanda doğru yorumlanması için de zorunlu bir metodolojik çerçeve sağlamaktadır. Faz türüne göre sınıflandırma (katı-sıvı-gaz-çok fazlı) özellikle hidrotermal sistemlerin bileşimi ve tuzluluk derecesi gibi parametrelerin değerlendirilmesine imkân verirken; kökene dayalı sınıflandırma (protogenetik-singenetik-epigenetik) kapanımın konak mineral ile genetik ilişkisini çözümleyerek, kapanımın “hangi süreçte” ve “hangi bağlamda” hapsediğini gösterir. Oluşum zamanına göre sınıflandırma (primer, pseudosekonder, sekonder ve eriyik kapanımları) ise kapanımların kristal büyümesiyle ilişkisini temel alarak jeolojik olayların zamanlamasını ayırt etmeyi mümkün kılar. Özellikle sıvı kapanımlarında primer-sekonder ayrımının doğru yapılması, mikrotermometrik yorumların güvenilirliği açısından kritik olup yanlış sınıflandırmaların P-T hesaplarını hatalı sonuçlara götürebileceği vurgulanmıştır (Roedder, 1984; Goldstein & Reynolds, 1994).

Gemolojik tanıda kapanımların en güçlü uygulama alanı, doğal-sentetik-taklit ayrımında ortaya çıkmaktadır. Doğal taşların çoğu karmaşık, heterojen ve jeolojik süreçlerle uyumlu kapanım toplulukları sergilerken; sentetik taşlar üretim yöntemine özgü (akış izleri, kavisli büyüme çizgileri, metalik kapanımlar, nail-head spicule vb.) karakteristik iç yapılar taşır. Taklit materyallerde ise (cam, CZ, mozanit vb.) genellikle basit, düzenli ve tekrarlayan içsel özellikler (yuvarlak gaz kabarcıkları, akış çizgileri) baskındır. Bu ayrım, özellikle elmas (HPHT/CVD ayrımı), korindon grubu (yakut-safir) ve zümrüt gibi yüksek ekonomik değere sahip taşlarda kapanım analizini vazgeçilmez hâle getirir (Gübelin & Koivula, 2005, 2008; Nassau, 1999). Benzer şekilde, iyileştirme (treatment) tespitinde kapanımlar çoğu zaman ilk etkilenen ve geri döndürülemez izler bırakan mikro-ortamlar olduğundan; ısı işlem, cam/yağ/reçine dolgusu, difüzyon ve ısınlama gibi uygulamaların tanınmasında yüksek tanınma kapasite sunar. Özellikle “flash

effect”, bozulmuş sıvı kapanımları, patlamış kapanımlar, çözünmüş ipek dokusu ve işlem kaynaklı haleler gibi mikro-bulgular, ticari beyan doğruluğu ve etik şeffaflık açısından kritik göstergelerdir.

Orijin (kaynak) tayini açısından kapanımlar, tekil bir göstergeden ziyade “kapanım topluluğu” yaklaşımıyla değerlendirildiğinde en yüksek doğruluğu sağlar. Zümrütlerde üç fazlı kapanımlar ve eşlik eden mineral birliktelikleri, yakutlarda rutil ipeği–spinel–karbonat ilişkileri, safirlerde belirli lokasyonlara özgü kapanım kombinasyonları ve elmaslarda peridotitik/eklojitik manto kapanımları; taşın jeolojik ortamına dair güçlü ipuçları üretir. Bununla birlikte modern gemolojide güvenilir sonuç, kapanım verilerinin spektroskopik yöntemler (Raman, FTIR, SEM-EDS) ve iz element analizleriyle (örn. LA-ICP-MS) desteklendiği çoklu-kanıt yaklaşımıyla elde edilir (Hänni, 1995; Smith et al., 2018).

Sonuç olarak kapanımların sınıflandırılması ve doğru yorumlanması; mücevher taşlarının tür ve çeşit tanımlamasında, doğal–sentetik–taklit ayrımında, işlem tespitinde ve orijin tayininde temel bir bilimsel omurga oluşturur. Bu çalışma, kapanım analizini yalnızca mikroskopik gözlem düzeyinde bırakmayıp, genetik ve analitik bağlamıyla birleştirerek gemolojinin petrografi, akışkan kimyası ve kristal büyüme mekanizmalarıyla kurduğu bağı güçlendirmiştir..

Kaynakça

- Agangi, Andrea & Manalo, Pearlyn & Takahashi, Ryohei & Veeravinantanakul, Apivut & Elburg, Marlina. (2022). Magmatic evolution and metal systematics of back-arc volcanic rocks of north-east Japan and implications for deposition of massive sulphide Kuroko ores. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 177.
- Bodnar, R.J. (2003) Introduction to Fluid Inclusions. In: Samson, I., Anderson, A. and Marsh, D., Eds., *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*, Mineral. Assoc. Canada, Short Course 32, 1-8.
- Gholipour, Meisam & Barati, Mehrdad & Tale Fazel, Ebrahim & Hurai, Vratislav. (2021). Alteration, geothermometry, Raman spectroscopy and O-H stable isotopes studies on Lakehsiah 1 deposit, Yazd province, Iran. *Economic Geology*. 13. 327-352. 10.22067/econg.v13i2.84167
- Giuliani, G., France-Lanord, C., Cheilletz, A., et al. (2000). Oxygen isotope systematics of emerald deposits. *Lithos*, 55(1-4), 151-162.
- Gübelin, E. J., & Koivula, J. I. (2005). *Photoatlas of inclusions in gemstones* (Vol. 1-3). Basel: Opinio Publishers.
- Gübelin, E. J., & Koivula, J. I. (2008). *Photoatlas of Inclusions in Gemstones*.
- Goldstein, Robert & Reynolds, T. (1994).” Fluid Inclusion Petrography” *Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals*, <https://doi.org/10.2110/scn.94.31.0069>
- Hänni, H. A. (1995). Microscopic examination of inclusions in gemstones. *Journal of Gemmology*, 24(5), 321-335.
- Howell, Daniel. (2012). Strain-induced birefringence in natural diamond: A review. *European Journal of Mineralogy*. 24. 575-585. 10.1127/0935-1221/2012/0024-2205.
- Kane, R. (1982). Characteristics of natural and synthetic rubies. *Gems & Gemology*, 18(3), 137-153.
- Kelley, Katherine & Plank, Terry & Newman, Sally & Stolper, Edward & Grove, Timothy & Parman, Stephen & Hauri, Erik. (2010). Mantle Melting as a Function of Water Content beneath the Mariana Arc. *Journal of Petrology*. 51. 10.1093/petrology/cgq036
- Nestola, Fabrizio & Smyth, Joseph. (2015). Diamonds and water in the deep Earth: A new scenario. *International Geology Review*. 58. 1-14. 10.1080/00206814.2015.1056758.
- Nassau, K. (1999). *The Physics and Chemistry of Color*. ISBN: 978-0-471-39106-7 520 sayfa
- Oo, Kha & Warmada, Iwayan & Titisari, Anastasia & Watanabe, Koichiro. (2019). Ore Forming Fluid of Epithermal Quartz Veins at Cisuru Prospect, Papandayan District, West Java, Indonesia. *Journal of Geos-*

- science, Engineering, Environment, and Technology. 4. 170. 10.25299/jgeet.2019.4.3.2279.
- Roedder, E. (1984). *Fluid Inclusions*. Reviews in Mineralogy, Vol. 12. Mineralogical Society of America.
- Smith, C. P., Wang, W., & Hall, M. (2018). Advances in spectroscopic identification of gem materials. *Gems & Gemology*, 54(2), 112–129.
- Sobolev, N. V., Kaminsky, F. V., & Griffin, W. L. (2004). Mineral inclusions in diamonds and their petrogenetic significance. *Lithos*, 77(1–4), 181–199.
- Stachel T., Harris J.W, 2008 . The origin of cratonic diamonds — Constraints from mineral inclusions *Ore Geology Reviews*, Volume 34, Issues 1–2, Pages 5–32, ISSN 0169-1368, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.05.002>.
- Ünal Çakır, Esra & Gökce, Ahmet. (2019). Geology, fluid inclusion, and stable isotope (O, H, S, C) characteristics of the Hazinemagara (Gümüşhane) lead-zinc deposit, NE Turkey. *TURKISH JOURNAL OF EARTH SCIENCES*. 28. 623-639. 10.3906/yer-1809-22.
- Elmas içinde garnet kapanımları <https://sciencephotogallery.com/featured/diamond-with-garnet-inclusion-natural-history-museum-londonscience-photo-library.html>)
- Safir içinde Rutil kapanımlar <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-microworld-rutile-crystal-blue-sapphire>)
- Kuvars içinde Rutil Kapanımlar <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-microworld-rutile-crystal-blue-sapphire>
- Gaz kapanımlar <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-types/by-phase-filling/single-phase/vapor>
- Elmas içinde granat kapanımı https://katannutadiamonds.co.za/south-african-diamonds-8-facts/?utm_source=chatgpt.com
- Saganite epijenetik kapanım <https://www.gems-inclusions.com/images/types/sagenitic-inclusions-agate.jpg>
- Pigenetik malahitkapanımları <https://www.gia.edu/gems-gemology/fa13-gni-epigenetic-malachite-quartz>
- İnklüzyon tipleri <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-types/by-type-of-trapping/>
- Kuvars içindeki uraninit kapanımı <https://www.gems-inclusions.com/shop/uraninite-inclusions-in-quartz-2/>
- Safirde gelişmiş rutil iğneleri <https://www.rubysapphire.com.lotusgemology.com/index.php/about/10-articles/767-rutile-silk-in-ruby-sapphire-following-the-silk-road>
- Rutil yıldızlari <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-photo-gallery/by-included-mineral/rutile-inclusions/>

- Rutil iğneleri <https://scienceline.org/wp-content/uploads/2011/11/rutiledquartz.jpg>
- Zümrütte büyüme tüpleri https://www.researchgate.net/figure/Growth-tubes-parallel-to-the-prism-faces-of-the-crystal-are-visible-in-this-Musakashi_fig3_264542547
- Safir parmak izi kapanımı https://gemologyproject.com/wiki/index.php?title=-File:Liquid_fingerprint_inclusion_in_un-treated_Burmese_blue_sapphire_2.jpg
- Çivi benzeri kapanımlar <https://www.gia.edu/doc/A-Study-of-Nail-head-Spicule-Inclusions-in-Natural-Gemstones.pdf>
- Zümrütün oluşım ortamı <https://geology.com/gemstones/emerald/>
- Ekmek kırınıtısı kapanımlar https://www.researchgate.net/publication/285568649_Russian_Synthetic_Pink_Quartz/figures?lo=1
- Kartopu kapanım <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-labnotes-two-unusual-natural-sapphires-synthetic-ruby-overgrowth>
- Rutil ipek kapanım <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2025-phenomenal-gemstones>
- Sentetik or doğal kapanım <https://www.luxedo.it/en/news/questa-gemma-e-reale-o-una-imitazione-naturale-o-sintetica/?srsId=AfmBOoq4m-HPv8WAI6DFuFw-9Zu5j2j6AnVI3JSuAquxg0ZKcexdPzQq>
- Elmas kapanım <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2018-inclusions-natural-synthetic-treated-diamond>
- Yakutlarda kapanım <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-inclusions-natural-synthetic-ruby>
- Safir kapanımlar [https://www.thenaturalsapphirecompany.com/education/sapphires-101/inclusions-in-sapphires/?srsId=AfmBOoosF8gUIbpacZgf8rm8mSDmJMuh09XxM5GLouCumOa\\$XwMCqI](https://www.thenaturalsapphirecompany.com/education/sapphires-101/inclusions-in-sapphires/?srsId=AfmBOoosF8gUIbpacZgf8rm8mSDmJMuh09XxM5GLouCumOa$XwMCqI)
- Sentetik safir kapanım https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2017-inclusions-sapphire#GIA_Module:1495271326116-4
- Zümrütlerde kapanım <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>
- Zambiya zümrütleri <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2005-emeralds-kafubu-zambia-zwaan>
- Elmasda beriyit kristali <https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2022-microworld-breyite-inclusion-diamond>
- Elmas da xenotime kapanımı <https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2022-microworld-breyite-inclusion-diamond>
- Islıl işlem görmüş yakut <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-microworld-snowflake-iyiinclusions-in-ruby>

iyileştirilmiş yakutlarda kapanım https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2017-inclusions-natural-synthetic-ruby#GIA_Module:1495271610426-2

iyileştirilmiş elmaslardaki kapanımlar https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2018-inclusions-natural-synthetic-treated-diamond#GIA_Module:1495275678315-3

işlem görmüş safirlerdeki mikro yapılar <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2017-inclusions-sapphire>

ısı işleme görmüş zümrütteki mikro yapılar <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>

Süt kuvars <https://www.geologyin.com/2014/06/milky-quartz.html>

Kedi gözü ve yıldız <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2025-phenomenal-gemstones>

Labrodorit renk sebepleri <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2025-phenomenal-gemstones>

Amatist hematiti kapanımı <https://www.gems-inclusions.com/shop/category/other-effects/>

Zümrüt kristali renk zonlanması <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-in-gemology/color-distribution/>

Zümrütteki keskin renk farkı <https://www.gems-inclusions.com/inclusions-in-gemology/color-distribution/>

Parabia kuvars Glalite ile renklenmiş <https://www.gems-inclusions.com/shop/category/by-included-mineral/gilalite/>