

MERMER OCAK İŞLETMECİLİĞİNDE YERALTI ÜRETİM TEKNİĞİ VE AVANTAJLARI

PRODUCING TECHNIQUES IN UNDERGROUND MARBLE QUARRIES AND ADVANTAGES

Metin ERSOY

AKÜ Afyon MYO Doğal Yapıtaşları Bölümü, Afyonkarahisar, TURKEY, metinersoy@aku.edu.tr

Liyaddin YEŞİLKAYA

AKÜ Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, Afyonkarahisar, TURKEY, yesilkay@aku.edu.tr

Ahmet Lütfi DİNÇER

Tureks Mns Ocak İşlt. San. Tic. AŞ, Afyonkarahisar, TURKEY, aldincer@superonline.com

ÖZET

Mermer üretiminde, tarih boyunca hem yeraltı hem de açık ocak işletme yöntemleri uygulanmıştır. Ülkemiz mermer ocaklarının hemen hepsinde, gerek rezervlerin yeterliliğinden gerekse çeşitliliğin bol oluşundan dolayı, açık işletme yöntemleriyle üretim gerçekleştirilmektedir. Ancak birçok mermer yataklanmasının, koruma alanları içerisinde olmasından dolayı ülke ekonomisine kazandırılmadığı da bir gerçektir.

Açık ya da yeraltı çalışma şekillerinin birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Açık ocak işletmeciliğinde doğanın tahrip edilmesi, ekolojik dengenin bozulması ve rekültivasyon çalışmaları gerektirmesi, yeraltı işletmeciliğinde ise emniyetle ilgili birçok kriterin detaylı olarak araştırılması zorunluluğu vardır. Ocak işletme yöntemlerinden birine karar verilebilmesi için hem ekonomik hem de teknik birçok unsurun değerlendirilmesi gerekir.

Yeraltı mermer ocak işletmeciliği oda-topuk yöntemi şeklinde uygulanır. Yöntem, odalar şeklinde boşluklar açılması (blok üretimi) ve üretim sonucu oluşan boşluklarda tavanın kontrolünü sağlamak için formasyonun bir bölümünün dokunulmadan bırakılması (topuk) şeklindedir. Mermer üretiminde amaç, büyük blok üretimi olduğundan, diğer madenlerden farklı olarak üretim, kesme ve ebatlama faaliyeti olarak gerçekleştirilir. Uygulamada, galerilerin açılması ve kılavuz boşluklarının oluşturulması dışında açık ocak mermer işletmeciliği yöntemleri uygulanır. Dolayısıyla açık ocak işletmeciliği uygulanan bir ocak için yapılacak ek yatırım, tünel makinası olarak adlandırılan kollu kesme makinasının yanı sıra aydınlatma ve havalandırma şebekelerinin kurulmasından ibarettir.

Bu yazıda, mermer üretimine açık ve yeraltı üretim teknikleri karşılaştırılmış, her iki yöntemin de avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar belirtilmiştir. Ayrıca yeraltı üretimi için yapılması gereken faaliyetler ve üretim tekniği hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın amacı, yeraltı üretim teknikleriyle hem doğal çevrenin korunabileceğini hem de yasalarla koruma bölgeleri içine alınmış yerlerde bulunan mermer zenginliklerinin ülke ekonomisine kazandırılabilceğini vurgulamaktır.

Anahtar kelimeler: Üretim yöntemi, Mermer, Yeraltı ocak işletmesi

ABSTRACT

Marble and natural stone throughout history in the production methods were applied to both underground and open quarries. Most of the marble quarries of our country, both the adequacy of reserves due to the diversity generated plenty of open business method is executed. Many of the

marble and natural stone beds, legal protection in areas that can not participate in the national economy due.

To each other by open pit or underground quarry methods are superior and weaknesses. On the nature of the quarry operations to destroy the ecological balance is damaged and needs rekültivasyon studies, in underground operations related to the safety of the many criteria must be investigated in detail. Quarry decision to be one of methods and evaluation criteria must be many economic and technical.

Method of underground marble quarry in the form of room-pillar method is applied. Methods room as spaces opened (block production) and the spaces between the pan control to ensure the formation of a section without touching the leaves (pillar). Marble production objective basis large blocks of production, other metals is different from the production, cutting is active. In practice, the gallery opened, and manual Creating a space outside the open method is applied to the marble quarries. So open a quarry management application will be made for additional investments, known as tunneling machine cutting machine as well as sleeves lighting and ventilation network consists of the establishment.

In this paper, marble and natural stone production is compared with the open and underground production techniques, each method is also advantageous and disadvantageous conditions is specified. Should also be made for the production of underground activities and were given information about production techniques. The purpose of this article, underground production techniques and the protection of the natural environment in regions can be protected by law and in regions of marble and natural stone to the riches of the country's economy can be gained to emphasize.

Key words: Production methods, Marble, Underground quarry

1. GİRİŞ

Mermer üretimi açık ocak işletmeciliği şeklinde yapıldığı gibi yeraltı ocak işletmeciliği şeklinde de yapılabilir. Tarih boyunca çeşitli dönemlerde üretilen mermerlerin hem açık hem de kapalı ocak yöntemleriyle kazanıldığı bilinmektedir.

Doğal kaynakların, insanların yaşamındaki önemi herkes tarafından bilinmektedir. Çağdaş bir yaşam için madencilik faaliyetleri vazgeçilmezdir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda da, madencilik faaliyetleri olmaksızın insan yaşamının sürdürülebilmesi mümkün değildir. Ayrıca çevre faktörü göz ardı edilerek hiçbir ekonomik faaliyet gibi madencilik faaliyetlerinin de yürütülmesi mümkün değildir. Madencilik çevreye etkileri yadsınamaz. Ancak; madencilik sektöründe, çevre dostu teknoloji ve yöntemlerin kullanılması, madencilik süreçlerinde ya da sonrasında çevrenin korunmasına ve yenilenmesine yönelik önlemlerin alınması, sektörün gelişimini engellemeyecek, aksine genel anlamda sektörün gelişimine yönelik katkıyı yapacaktır (Anon (d) 2007).

Ülkemiz mermer işletmelerinin hemen hemen hepsi, çeşitliliğin ve rezervin yeterli olmasından

dolayı, açık ocak şeklinde çalışılmaktadır. Örneğin mermer ocak işletmeciliğinin en önemli bölgelerinden ikisi, Afyonkarahisar (İscehisar) ve Muğla (Yatağan, Kavaklıdere, Milas) bölgeleridir. Afyonkarahisar ocaklarında birçok firma iç içe geçmiş, üretim bölgelerinin derinliği 60-70 metrelere kadar ulaşmış, serbest çalışma alanı oldukça daralmıştır. Muğla bölgesinde ise, çalışma ormanlık alanda gerçekleştirilmekte, mermer üretimi için onlarca ağacın kesilmesi gerekmektedir ki bu çevrenin ve doğal dengenin değiştirilmesi demektir. Kesilen ağaç miktarının, orman yangınlarında kaybedilen miktarla oranlandığında kabul edilebilir düzeyde olmasına rağmen önümüzdeki 20-30 yıl içerisinde, belki daha yakın bir zamanda, mermer üretimi için kesilen miktarlar da birçok çevreci topluluk ve kuruluşların dikkatini çeker hale gelebilecektir. Bu durum hem işletme sahiplerini hem de mermer işletmeciliğinin yapıldığı bölge insanının rahatsız olmasına neden olacaktır. Sonuç olarak, yeraltı işletme yöntemi şu an için bir ihtiyaç olmasa bile ilerleyen yıllarda, çalışma şartlarının getirdiği zorunluluklardan ve çevre etkilerinden dolayı gereklilik haline gelebilecektir (Ersoy ve Yeşilkaya 2009).

Yeraltı işletmeciliği;

- Örtü tabakasının kazılamayacak kadar sert ya da yataklanma yüzeyinin blok alınamayacak kadar çatlaklı ve verimsiz olması (Şekil 1),
- Düz ocaklarda derinlik arttıkça çalışma alanının daralması ve derinliğin de artmasıyla blok, moloz ve pasanın yüzeye taşınması maliyetinin artması (Şekil 2),
- Yamaç ocaklarda kademeler ilerledikçe kaldırılması gereken örtü tabakasının artması,
- Yüzeyde herhangi bir tarihi yapılar bulunması, bölgede yaşayan canlıların korunması ve yüzeyde bulunan tesislerin bozulmaması gibi durumlarda uygulanabilir (Ersoy ve Yeşilkaya 2009, Ersoy vd. 2009).

Yeraltı mermer işletmeciliğinin uygulanabilmesi için özel malzeme ve kalifiye işçilik gerekmesinin

yanı sıra, yöntem galeri sürülmesi ve tavan boşluklarının hazırlanması dışında açık ocak mermer işletmeciliğinin aynısıdır. Dolayısıyla açık ocak işletmeciliğinden yeraltı işletmeciliğine geçiş için gerekli ek yatırım miktarı korkulacak boyutlarda yüksek değildir. Ülkemizde henüz üretim faaliyetlerine devam eden açık işletmelerde yeraltı üretiminin uygulanabilirliğinin hem jeolojik hem de ekonomik olarak incelenmesi ve yeraltı ocak işletmeciliğine geçişin sağlayacağı yararların araştırılması gerekmektedir. Bu yazıda da yeraltı işletmeciliğinde karşılaşılabilecek olumlu ve olumsuz durumların yanı sıra uygulanacak yöntem hakkında bilgiler verilmiştir (Ersoy ve Yeşilkaya 2009).



Şekil 1 Örtü tabakasının verimsiz olması ve yer üstünde tesis bulunması durumunda yeraltı işletmeciliğine geçiş (Bowers Mine) (Anon (h) 2007)



Şekil 2 Düz ocakta derinliğin artmasıyla daralan çalışma alanı (a: İsehisar, Afyonkarahisar, b: Akkoç 2003)

2. AÇIK VE YERALTI MERMER OCAK İŞLETMECİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mermer üretiminde hedef, bir defada mümkün olduğunca büyük kütlelerin kesilmesi, bu kütlelerin taşınabilir ve işlenebilir boyutlara

ebatlanarak yüksek verimle bloklar elde edilmesidir. Üretim yönteminin seçiminde ve uygulanmasında, ister açık ister yeraltı işletmesi olsun esas ölçüt, ekonomik ve büyük boyutlu blok eldesidir. Coğrafi, jeolojik ve çevreyle ilgili unsurlar elverdiği ölçüde, ekonomik ve kolay blok

elde edilmesi durumunda açık veya yeraltı işletme şekillerinden biri uygulanır. Ancak unutulmamalıdır ki madencilik çalışmalarının tamamı geri dönüşü olmayan faaliyetlerdir. Bu yüzden ekonomi ve verim hesaplanırken, bu

değerlerin üretimi sırasında yapılacak tahribatın sonuçları da dikkate alınmalıdır (Ersoy ve Yeşilkaya 2009). Çizelge 1 de açık ve yeraltı ocak işletme şekillerinin karşılaştırmalı tablosu verilmiştir.

Çizelge 1 Açık ve yeraltı ocak işletme şekillerinin farklılıkları (Ersoy ve Yeşilkaya 2009)

Kriter	Açık Ocak İşletmelerindeki Durum	Yeraltı Ocak İşletmelerindeki Durum
Pasa Üretimi	Açık işletmelerde, enerji ve maliyetin yaklaşık %40-60 ı pasa üretimi için harcanır. Çünkü ortalama bir ocakta iyi blok üretimi yaklaşık %10-20, şekilsiz blok üretimi %30-40 olarak gerçekleşir.	Yeraltı işletmelerinde, enerji ve maliyetin sadece %10-30 u pasa üretimi için harcanır. Çünkü ortalama bir ocakta iyi blok üretimi yaklaşık %30-40, şekilsiz blok üretimi %40-50 olarak gerçekleşir.
Örtü Tabakası	Açık işletmelerde, örtü tabakasının sığ olduğu ve uygun blok boyutlarının alınabileceği bölgelerde, topografya ister düz ister yamaç-vadi olsun açık ocak üretimi yapılır. Verimli blok alınabilecek derinlik arttıkça, üstteki ekonomik olmayan formasyonun da üretilmesi, taşınması ve depolanması zorunluluğundan, üretilen blokların birim maliyetleri de yükselir ve belli bir derinlikten sonra ekonomikliğini kaybeder.	Yeraltı işletmelerinde, örtü tabakası kazılmaz, dekapaj maliyeti yoktur. Bu da daha az pasa üretimi, taşınması ve depolanması, dolayısıyla çevrenin daha az kirletilmesi demektir. Ancak geniş kesitli galeriler açılması gerekebilir. Galerilerin açılması sırasında blok üretimi yapılsa da bu maliyet daha yüksektir.
Topografya	Açık işletmelerde, çalışmanın düz alanda gerçekleşmesi durumunda, kademelerin oluşturulması yamaç ocaklara göre daha zordur. Geniş bir alanda çalışılabilmesi ve bir, iki veya üç basamağın yeterli olduğu durumlarda açık ocak işletmeciliği yapılır. Derinlere inildiğinde, yöntem gereği çalışma alanı her kademede daralır ve bir noktadan sonra çalışılmaz hale gelinebilir.	İşletmelerinde düz alanlarda, belirli bir derinliğe inildiğinde yeraltı üretimine geçilmesi hem gereksiz bölgelerin kazılmaması hem de ortaya çıkacak pasa miktarının azalmasını sağlar. Bu tip ocaklarda yöntemin değiştirilmesi daha kolay gerçekleşir.
Havalandırma	Açık işletmelerde, çalışma daima açık havada yapıldığından toz, nem, gürültü ve titreşim kaynaklı meslek hastalıkları bakımından avantaj sağlanır. Ayrıca hem elektrikle hem de akaryakıtla çalışan tüm makina ve donanımın kullanılabilir.	Yeraltı işletmelerinde kapalı ortamda çalışıldığından sağlık için olumsuz faktörler daha etkin olur. Bunun önlenmesi amacıyla yeraltı çalışma alanlarının vantilatörlerle etkin bir şekilde havalandırılması ve toz üreten makinelerle birlikte toplayıcı aspiratörlerin çalıştırılması gerekir. Ayrıca havanın temiz tutulması amacıyla mümkün olduğunca elektrikli makineler tercih edilmelidir.
Kesme Yöntemi Seçimi	Açık işletmelerde, topografik, jeolojik unsurlar ve üretilen malzemenin fiziko-mekanik özellikleri elverdiği ölçüde tüm üretim yöntemleri uygulanabilir.	Yeraltı işletmelerinde, ateşle yakma, patlayıcılarla üretim gibi yöntemlerin uygulanması havayı kirleteceğinden ve meslek hastalığı riskini artıracığından, diğer kriterler uygun olsa bile tercih edilmemelidir.
Yönetim ve Denetim	Açık işletmelerde, genellikle gündüz çalışıldığı ve bölgede tüm ocağı görebilecek her yere hâkim yüksek bir tepenin bulunması yönetim ve denetim kolaylığı sağlar.	Yeraltı işletmelerinde, ortam karanlık ve dar olduğundan aydınlatma tesisatının kurulması zorunluluğu vardır. Ayrıca çalışma alanlarının tamamının görülebileceği hâkim bölgeler olmayacağından kameralı kontrol sisteminin kurulması ihtiyacı da doğabilir. Yani yönetim ve denetimde zorluklarla karşılaşılır.
Çalışılabilir zaman dilimi	Açık işletmelerde, açık havada çalışmanın yaratacağı olumsuzluk yağışlı, aşırı sıcak ve soğuk havalarda işçi sağlığı ve personel verimi bakımından problemlerle karşılaşılmasıdır. Bu yüzden yılın belli dönemlerinde tatil girilir. Ayrıca hava şartları uygun olsa bile, gece çalışma olanakları da, yerleşim merkezlerine yakın bölgelerde gürültü probleminden dolayı, sorunlar yaşanmasına neden olabilir.	Yeraltı işletmelerinde yaz ve kış aylarındaki, hatta gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkları daha az olup devamlı aynı ortam içinde çalışılabilir. Bu yüzden 12 ay 24 saat çalışabilme imkânı vardır. Bu ocağın üretim kapasitesinin maksimum düzeye çıkarılabilmesini mümkün kılar.

Uygulanabilirlik Parametreleri	Açık işletmeciliğin uygulanabilirliği daha çok coğrafi ve topografik etkenlere bağlıdır. Yöntem, örtü tabakasının kaldırılması bakımından bir hafriyat, blokların kesilmesi bakımından da kesme ve ebatlama faaliyetidir. Dolayısıyla üretim öncesi karmaşık matematiksel hesaplamalar yapılması, onlarca laboratuvar deneyinin sonuçlarının irdelenmesi hayati önem taşımaz.	Yeraltı işletmeciliğinin uygulanabilirlik parametreleri ise formasyonun jeo-mekanik özelliklerine göre değişir. Oluşturulan boşlukların duraylılığının sağlanabilmesi için birçok hesaplama ve laboratuvar testi gerektirir. Bu hesaplamalar hem verimli hem de güvenli çalışma bakımından önemli olmakla birlikte ocağın çalışması esnasında da tavan ve topuklar üzerindeki deformasyonun kontrol edilmesi ve gerektiğinde takviye tahkimat sistemleri kurulması gerekebilir.
Ekonomi ve Üretim Oranı	Açık işletmelerde emniyet için topuk bırakılması gibi bir faaliyet söz konusu olmadığından çalışma bölgesi, görünen hacmin tamamıdır. Başka bir ifade ile verimli bloklara ulaşmak için arada ne varsa, ekonomik veya değil, kazılır.	Yeraltı işletmelerinde beklenmeyen sürprizlerle karşılaşılması her zaman muhtemeldir ve ekonomik olmayabilir.
Yerüstü Tesisleri	Açık işletmelerde, alanın büyük bir kısmı üretim için kullanıldığından ya da kullanılacağından dolayı yer üstü tesisleri için alan kısıtlaması yaşanabilir veya üretimin yönüne göre daha önce kurulmuş tesislerin yerlerinin değiştirilmesi söz konusu olabilir.	Yeraltı işletmelerinde, yerüstüyle ilgili herhangi bir kazı ya da üretim çalışması yapılmadığından, yerüstü tesisleri için çok daha geniş kullanım alanı bulunmasının yanı sıra ileride tesislerin yerlerinin değiştirilmesi ihtimali de olmayacaktır.
Yeraltı Su Geliri	Açık ocak işletmeciliğinde yeraltı su düzeyi ve drenaj ağları ile ilgili bir problem yaşanmaz.	Yeraltı ocaklarında, yeraltı su düzeyinin altında çalışılması ya da çalışma alanının yeraltı su drenaj ağlarından biriyle kesişmesi durumunda yöntem, formasyonun su gelimine göre uygulanamayabilir ya da su atım tesisleri kurulması gerekebilir.
Kanun ve Yönetmelikler	Açık işletmeler, yataklanmanın bulunduğu bölgenin sit alanı, turizm bölgesi gibi kanunlarla korunan bölgelerde olması durumunda uygulanamaz.	Yeraltı işletmeciliği, yüzeyde herhangi bir tahribata yol açmayacağından sorun yaratmaz.
Doğaya Yeniden Kazanım	Açık ocak işletmeciliğinde, madenin ekonomik ömrü tamamlandıktan sonra yapılacak çevre düzeni ve rekültivasyon çalışmaları maliyetli olacaktır.	Yeraltı ocak işletmeciliğinde, ekonomik ömür tamamlandıktan sonra, yeraltında açılan boşluklar az bir yatırımla depo, sığınak veya turistik gezi alanı haline dönüştürülebilir ya da gerekli güvenlik önlemleri alınarak olduğu şekliyle bırakılabilir.



Şekil 3 Terk edilmiş bir yeraltı işletmesinin (Bibemus Quarry, Fransa) turizm amaçlı değerlendirilmesi (Anon (k) 2009)

Sıralanan bu avantaj ve dezavantajların yanı sıra, jeolojik faktörler elverdiği ölçüde, yeraltı ocak işletmeciliği bir zorunluluk haline gelebilir. Ülkemizin eski bir tarihe ve önemli turistik bölgelere sahip olmasından dolayı,

mermer yataklanmasının olduğu birçok bölgede açık ocak işletmeciliğine izin verilmemekte ve dolayısı ile bu yataklanmalar ekonomimize kazandırılmamaktadır. Oysa bu bölgeler için yeraltı ocak işletme projeleri hazırlanması ve çevre etki değerlendirme raporlarının tekrar düzenlenerek yerüstü yapılarının ve ekolojik dengenin bozulmayacağı vurgulandığında üretim yapılabilmesi olanağı doğabilecektir (Şekil 3).

3. YERALTI MERMER OCAKLARINDA ÜRETİMDE KULLANILAN MAKİNALAR

Yeraltı ocak işletmeciliğinde kullanılan makina ve donanımlar, galerilerin açılması ve tavan boşluklarının oluşturulması aşamalarında kullanılanlar dışında açık ocak işletmeciliğinde kullanılanlarla aynıdır. Bunlar kısaca;

- Elmas telle kesme makinası,
- Zincirli ya da kayışlı kollu kesme makinası (standart),

- Delici (martoperferatör, lineer delici, vagon drill),
- Sayalama makinaları (elmas telle, delme-çatlatma)
- Hidrolik ayırıcı, hava-su yastığı,
- Kompresör,
- Kazıcı-kırıcı (ekskavatör),
- Yükleyici (kepçe),
- Vinç (çekme vinç) ve bunların aksesuarları şeklinde sıralanabilir (Anon (b), Anon (c)).

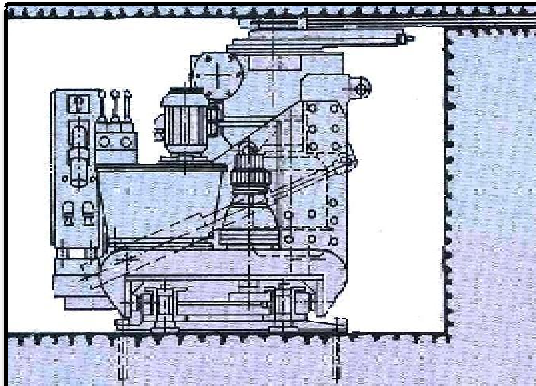
Galerilerin açılması ve tavan boşluklarının oluşturulması faaliyetlerinde ise, tünel makinası olarak adlandırılan kollu kesme makinaları ve zaman zaman elmas telle kesme makinası kullanılır. Kollu kesme makinaları, açık işletmelerde kullanılan standart zincirli-kayışlı kollu kesme makinalarının bir başka versiyonu olup kütleyi kesme prensipleri aynıdır. Üç ana gruba ayrılabilir. Söz konusu elmas telle kesme makinası da açık işletmelerde kullanılanın aynı olmasıyla birlikte çalıştırılma şekli farklıdır.

Galeri açma işinde kullanılan makinalar;

- Standart kollu kesme makinası
- Sütunlu kollu kesme makinası
- Mekanize kollu kesme makinası
- Elmas telle kesme makinası şekilde listelenebilir (Ersoy vd. 2009).

3.1. Standart Kollu Kesme Makinası

Makinanın şematik görünüşü Şekil 4 de verilmiş olup açık ocak işletmeciliğinde kullanılan versiyonundan tek farkı kesici kolun makina gövdesinin üst kısmına da yönlendirilerek, oturduğu zemine göre gövde yüksekliği kadar daha yüksekte kesim yapabilmesidir. Bu da galeri ya da kılavuz boşluklarının açılmasında taban ve tavan kesimlerini mümkün kılar.

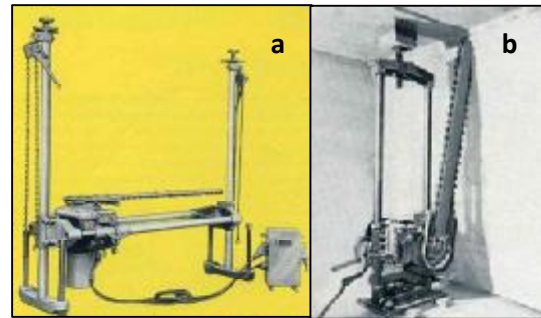


Şekil 4 Standart kollu kesme makinası (Anon (I))

Makina, raylar üzerinde hareket eden ana gövde, ana gövde üzerinde çalışan hareket motorları ve zincirli ya da kayışlı kol tertibatından oluşur. Kol, tavan ve taban kodunda 180°, düşey konumda ise 360° dönebilir. Makinanın ray grubu, yatay kesimler için arına paralel, düşey kesimler için de arına dik yerleştirilir. Yatay kesimde, makina ray doğrultusunda hareket ettirilerek hem taban hem de tavan seviyesine kesim yapar (Şekil 4). Düşey kesimde ise, kesici kol tavan seviyesine kaldırılır, makina arına dik doğrultuda ötelenirken kol da kesime başlar. Kesme derinliğine erişilince kol aşağı yönlü tabana kadar hareket ettirilir. Taban seviyesinde makina geri alınarak kolun kesim alanından çıkması sağlanır. Topuk sınırlarında yapılan kesimlerde, kesme yarığının dip kısmının kavisli değil düz olması istenir. Bunun için kolun aşağı hareketi sırasında makina, önce geri sonra ileri hareket ettirilir.

3.2. Sütunlu Kollu Kesme Makinası

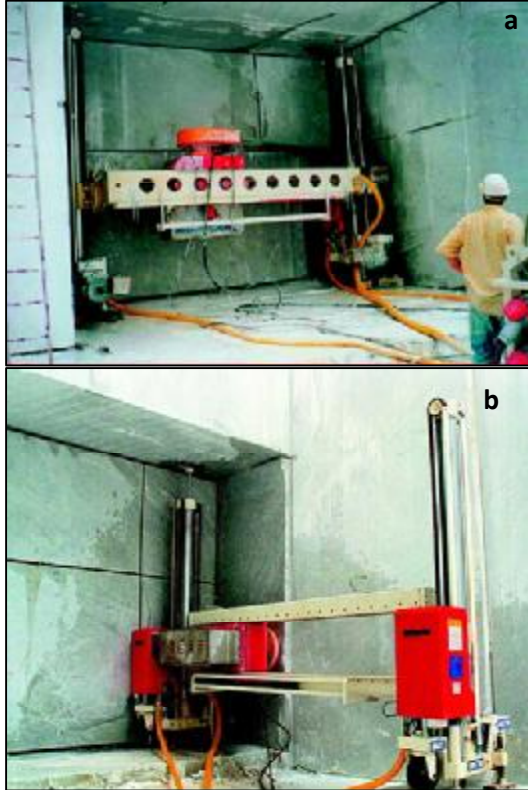
Makinanın ilk versiyonu 1800 lü yılların son çeyreğinde, tek kolonlu imal edilmiş olup daha çok düşey kesimlerde kullanılabilirdi. Sonraki yıllarda yatay kesimlere de uygun iki sütunlu modeller imal edilmiş ve günümüzde kullanıldığı şekli almıştır. Makina ana hatlarıyla iki sütun arasına yerleştirilmiş bir köprü ve köprünün üzerinde hareket eden koldan ibaretti. Köprü sütunlar üzerinde yukarı-aşağı manüel hareket ettirilirken, kesme grubu da köprü üzerinde mekanik olarak sağa-sola hareket ettirilmekteydi (Şekil 5). Günümüzde kullanılan sütunlu kollu kesme makinalarında ise, hareket tamamıyla hidrolik ya da pnömatik sistemlerle gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5 Eski tip iki (a) ve tek (b) sütunlu kollu kesme makinaları (Anon (I))

Makinaların kesici kol grubu, çevresinde 360° dönebilen ikili ya da dörtlü dişli köprü üzerinde monte edilmiştir. Kesici grup bu köprü üzerinde sağa-sola hareket ederek köprü uzunluğu kadar (sütunlar arası açıklık, yaklaşık 3-6 m) kesim

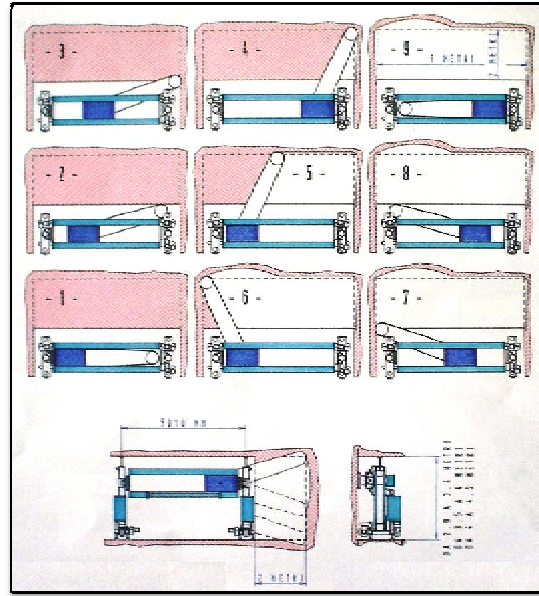
yapabilir. Bu köprü gurubu, galeri tavan ve tabanına mekanik ya da hidrolik bir sistemle sabitlenmiş iki çelik direk (sütun) üzerinde aşağı-yukarı hareket ederek sütunların boyları limitinde (yaklaşık 1.8-3.8 m) her yükseklikte kesim yapabilir. Makinanın düşey kesim yapabilmesi için ise konumunun aynaya dik halde konumlandırılması gerekmektedir (Şekil 6) (Kaynar, 1995).



Şekil 6 Sütunlu kollu kesme makinasının yatay (a) ve düşey (b) kesim için konumlandırılması (Anon (e), Anon (j))

Şekil 7 de sütunlu kollu kesicinin kesme aşamaları görülmektedir. Aynaya paralel konumlandırılan makina önce kesici grup kesme yüksekliğine getirilir, sonra makina çalıştırılır ve kesici kol kütleyle yönlendirilir. Bu aşamada kolun bağlı bulunduğu tahrik grubu da galerinin bir duvarından diğer duvarı yönünde hareket ettirilir (1-3). Tahrik grubu galerinin diğer duvarına gelince kesici kol da tam kesme derinliğine erişmiş olur (4-5). Kesme işlemi bu haliyle bir duvardan diğer duvara kadar devam eder (5-6). Kesme tamamlanınca (7-8), kolun çıkarılması işleminde ilk girişte yapılan işlemin tersi yapılarak tahrik ünitesi geri yönlü hareket ettirilir ve kesici kol aynaya paralel konuma getirilir (9).

Aynanın yukarıdan aşağı (düşey) kesilmesinde ise, makina aynaya dik konumlandırılır ve kesici grup en üstte iken kol kütle içerisine hareketlendirilir. Kesme derinliğine ulaşıncı da kesici grup yukarıdan aşağı indirilerek tavandan tabana kesim gerçekleştirilir. İşlemin bitiş aşamasında ise köprü yukarı yönlü hareket ettirilirken kesici kol dışarı alınır.



Şekil 7 Sütunlu kollu kesicide yatay (1-9) ve düşey kesme işleminin şematik görünüşü (Anon (a), Anon (i))

3.3. Mekanize Kollu Kesme Makinası

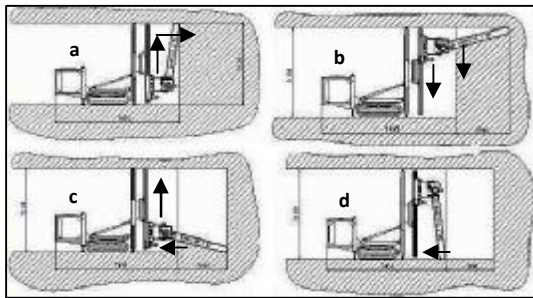
Bu makineler kesici grubun mekanik bir taşıyıcıya ya da iş makinasına monte edilmiş şekilleridir (Şekil 8). Çalışma esnasında makina, hidrolik kaldırma ünitesi ile yerden bir miktar kaldırılır, böylece gövde sabitlenmiş olur. Sonra kesici grubu taşıyan ünite kesme arınına paralel yere dik konuma getirilir ve tavan-taban arasında hidrolik pompalar vasıtasıyla sıkıştırılır. En son kesici grup planlanan kesme düzlemine göre düşey kesim için dikey konuma, yatay kesim için yatay konuma getirildikten sonra kol boyu mesafesinde kesim işlemi gerçekleştirilir. Şekil 8 de makinanın yatay ve düşey kesme pozisyonlarının şematik görünüşü verilmiştir.

Şekil 9 da da mekanize kollu kesici ile düşey kesimin aşamaları görülmektedir. İşlem kesici kolun aynaya dik konumlandırılmasıyla başlar ve kol kütleyle batırıldıkça kesici grup da galeri tavanına hareketlendirilir (a). Kesici grubun tavana ulaşmasıyla, kol aynaya dik konuma

gelmiş olur ve maksimum kesme derinliğine erişilir (b). Bu aşamada kol ve kesici grup aşağı yönlü hareket ettirilir. Tabana ulaşılınca kol kütleden aşağı yönlü çıkartılırken kolun bağlı olduğu ünite de yukarı yönlü hareketlendirilir (c). En son kol kütleden çıkarılır ve kesim tamamlanır (d).



Şekil 8 Mekanize kolları kesme makinasının yatay (a) ve dikey (b) kesim için konumlandırılması (Anon (f) 2009)

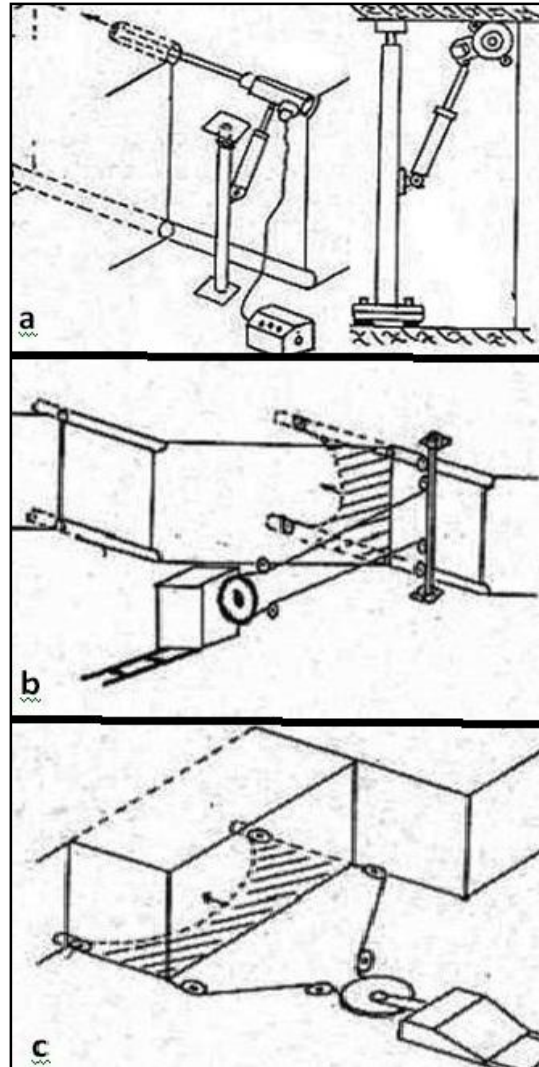


Şekil 9 Mekanize kolları kesicide dikey kesme işleminin aşamalarının şematik görünüşü (Akkoç 2003)

3.4. Elmas Telle Kesme Makinası

Kılavuz sürme işlemlerinde kullanımı nadir de olsa, ilk yatırım maliyetini düşük tutmak için tercih edilebilirler. Makina özel dizayn edilmiş sondaj makineleriyle birlikte kullanılır. Bu

makinalar tavan taban arasına hidrolik pistonlarla sıkıştırılmış bir direk üzerinde çalışır ve standart delicilere göre daha geniş delikler açar (yaklaşık 25 cm) (Şekil 10 a). Delme işlemi kesimi yapılacak kütlenin dört köşesinden planlanan derinliğe kadar yapılır (kılavuz galerisi tavan-taban köşeleri). Sonra tijlerin ucuna monte edilen makaralar üzerinden elmas tel geçirilerek deliğin dibine kadar itilir ve tijler sabitlenir (Kaynar,1995). Telin elmas telle kesme makinasının volanından da geçirilmesiyle kesime hazır hale gelir (Şekil 10 b, c).



Şekil 10 Elmas telle kesme makinasının yeraltında kullanımının şematik görünüşü (a: Delme, b: Yan kesim, c: Alt kesim) (Kaynar 1995)

Elmas telle kesme makinaları, kılavuz sürme dışında gerek galerilerde basamaklarda çalışılması gerekse odalarda üretim sırasında

yan ve arka kesimlerin yapılması faaliyetlerinde yoğun bir şekilde kullanılır. Bu faaliyetlerde kullanılan elmas telle kesme makinası açık işletmelerde kullanılan makinanın aynısıdır.

4. YERALTI MERMER ÜRETİMİNE GEÇİLMEYEN ÖNCE YAPILMASI GEREKEN ÇALIŞMALAR

4.1. Örtü-Kazı Oranı

Örtü-kazı (dekapaj) oranı, bir metreküp blok üretilebilmesi için kazılarak atılması gereken pasa miktarıdır. Üretim derinliği arttıkça dekapaj oranı ve dekapaj maliyeti artar. Üretim derinliği, yamaç ocaklarda, kazı tepe ilerisine ilerledikçe, düz ocaklarda da kazı derinleştikçe artar. Bu durumda atılacak pasa miktarının elde edilecek blok maliyetine olan etkisinin belirlenerek ekonomik ilerleme mesafesi ve-veya derinliğin hesaplanması gerekir.

Mermer sahalarında yataklanma genellikle yüzeyde mostra verir ve açık ocak işletmelerinde dekapaj olarak tanımlanan kısımdan da, diğer madenlerin aksine, üretim yapılabilecek özelliklere sahip malzeme olabilir. Ancak blok/kütle verimi düşük gerçekleşir. Bu yüzden dekapaj oranı hesaplanırken örtü tabakasının çalışılması sırasında gerçekleşen verim de dikkate alınmalıdır. Burada önemli olan ölçüt, örtü tabakası olarak adlandırılan kısmın çalışılması sırasında oluşacak maliyetlerin, üretilen bloklarla karşılanıp karşılanamayacağıdır. Günümüzde birçok mermer sahası, bu nedenden dolayı ekonomik olarak nitelendirilmemekte ve terk edilmektedir.

Yeraltı ocak işletmeciliğinde dekapaj maliyeti olmamasına karşın üretim bölgesi ve yer yüzeyi arasında galeri, kuyu vb. gibi hazırlık çalışmalarının yapılması gerekir. Bu çalışmalar sırasında da bir miktar blok üretimi gerçekleşir. Bu üretimin de hazırlık çalışmaları sırasındaki maliyetleri karşılaması istenir.

4.2. Jeolojik İncelemeler

Bir kaya kütlelerinin dengesi, kayanın gerilme durumu ile birlikte cinsine (litolojisine), süreksizliklerin sıklığına, çeşidine ve bunların içerisinde bulunan dolgu maddelerinin her türlü özelliğine bağlıdır (Köse ve Kahraman 1993). Bu yüzden yeraltı üretimine geçmeden önce detaylı jeolojik incelemeler yapılması gerekir. Yüzeyden çalışma bölgesi derinliğine kadar karotlu

sondajlar yapılır, numuneler alınır. Formasyonun ve çalışma bölgesine kadar tabakaların yoğunlukları, tek ve üç eksenli basma dayanımları, RQD değerleri, çatlak sistemleri, çatlak dolgu maddesi özellikleri, yeraltı su seviyesi gibi veriler incelenir, kaya kütlelerinin sınıflandırılması (RMR, Q, GSI, RMI (Alber 2001)) yapılır, yatağın ayrıntılı jeolojik haritası hazırlanır.

Formasyondaki süreksizlik takımlarının doğrultusu, sahada gerçekleşen yönlü kuvvetlerin belirlenmesi açısından önemlidir. Saha ile ilgili gül diyagramları çizilerek arazinin hangi yönden gelen kuvvetler etkisiyle kırıldığı belirlenmesi, ileride topuklara gelecek basınçların yönünün tahmin edilmesi açısından önemlidir (Şekil 11). Örneğin (Erdoğan 1997), yüksek yanal gerilme bileşenleri doğrultusunda topuk boyutu uzatılabilir.

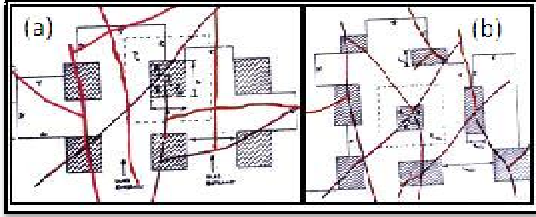


Şekil 11 Formasyondaki süreksizliklerin topuk üzerine etkisi (Anon (m))

Süreksizlik eğimlerinin yataya yakın olması, oda ve topukların boyutlandırılması kolaylaştıracaktır. Ancak, eğimli süreksizliklerin bulunması halinde, süreksizlik düzleminin topuk tabanına denk

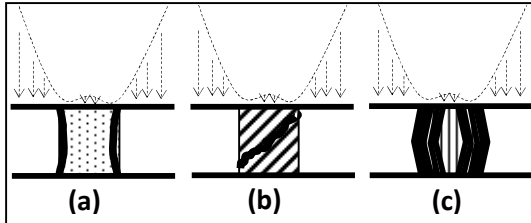
gelmesine özen gösterilir (Erdoğan 1997, Onargan vd.,2006).

Süreksizlik sıklığı doğrudan blok verimine etki eder. Genellikle süreksizliklerin sık olduğu bölgeler topuklar içerisinde bırakılmak istenir ve topukların dağılımı ocağın genelinde düzensiz olarak görülür (Şekil 12). Böylece bırakılacak topuk hacmi artsa bile, çalışma ortamı daha masif yapıda gerçekleşeceğinden hem daha güvenli ortamda çalışılır hem de blok/kütle oranı artar.



Şekil 12 Düzenli (a) ve düzensiz (b) topukların şematik görünüşü (Cotman ve Fornaro 2000, Anon (a))

Süreksizlik düzlemlerinin pürüzlülüğü ve dolgu maddesi özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra ortamdaki su durumu, kayma ve kopma gibi olayların olma olasılığının belirlenmesi için gereklidir.



Şekil 13 Topuklarda görülen deformasyonların şematik görünüşü (a: Kesit daralması, kavlaklanma, b: Kesme çatlakları, kayma, c: Ayrılma, kırılma)

Çalışma derinliği ve örtü tabakası yoğunluğu, yeraltı işletmelerinde topuklara gelecek basıncın hesaplamasında kullanılır. Topuklara gelecek basınç miktarı derinliğin ve tavan tabakalarının yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Yoğunluk ve derinlik arttıkça basınç miktarı da artar ve topuklar üzerinde yenilme, kavlakların oluşumu, kesit daralması, kesme çatlaklarının oluşumu, kayma, ayrılma ve kırılma gibi deformasyonlar görülür (Şekil 13). Bu yüzden daha büyük boyutlu topuklar bırakmak gerekir. Oda açıklıklarının geniş tutulması ya da arazi basıncının yüksek olması halinde, yeraltı

boşlukları bariyer topuklarla ayrı hücreler şeklinde de kendi içinde dengelenebilir (Erdoğan 1997, Onargan vd. 2006).

4.3. Coğrafi İncelemeler

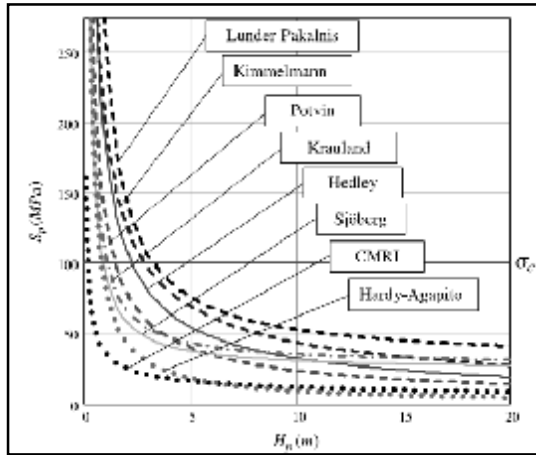
Yüzey ya bir yamaç ya da düz bir alandır. Yüzeyin düz olması durumunda yeraltındaki basınç dağılımları (yatay ve düşey gerilmeler) da düzenli olacaktır ve herhangi bir bölge için uygulanan oda-topuk parametreleri tüm ocak için geçerli olabilecektir. Yüzeyin yamaç (ya da vadi) olması durumunda ise yüzeyden gelen düşey gerilmeler yamaç boyunca paralel yönlenir ve yamaç ya da vadiden uzaklaştıkça tekrar düşeyleşir. Dolayısıyla vadi yamaçlarında düzenli olmayan bir gerilme dağılımı söz konusudur. Topukların tasarımında, gerilme dağılımı bakımından en uygun topuk geometrisi kare şekilli topuklar olsa bile topuk boyutları, yüksek yanal gerilmeler doğrultusunda uzatılır, dikdörtgen şekilli topuklar oluşturulur (Erdoğan 1997, Onargan vd. 2006).

4.4. Yeraltı Ocağının Boyutlandırılması

Prencip olarak topuk malzemesinin mukavemetinin örtü tabakasının oluşturduğu basıncı karşılayabilmesi gerekir. Bu yüzden çalışma bölgesinden ve örtü zonundan alınan numuneler üzerinde tek-üç eksenli basma testleri yapılır, formasyonu oluşturan kayaların yoğunlukları belirlenir. Veriler ışığında topuk bloğunun karşılayabileceği yük ve bu topuğa gelecek teorik tavan basıncı hesaplanır. Örtü tabakasının geçirgenliği de, yağışlı iklimin hâkim olduğu ya da yeraltı su drenaj ağlarının bulunduğu bölgeler için, açılan boşluklara gelecek su debisinin hesaplanmasında ve çalışma bölgesinde oluşturacağı gerilmelere etkisi açısından önemlidir.

Oda topuk hesaplamasında alansal etkileme ilkesinden (Tributary area analysis) yararlanılır (Erdoğan 1997, Gonzalez-Nicieza vd. 2006). Bu teoriye göre her bir topuğun kendi çevresindeki belirli bir alanı güvenli olarak taşıdığı ve yükün üniform dağıldığı kabul edilir. Bu kabuller doğrultusunda Hedley 1972, Hardy-Agapito 1982, Kimmelman 1984, Potvin 1989, Krauland 1987, Sjöberg 1992, Lunder-Pakalnis 1997 ve CMRI (Central Mining Research Institute, Dhanbad India) 2000 tarafından çeşitli ampirik formüller geliştirilmiştir. Söz konusu formüllerle yapılan boyutlandırmalarda farklılıklar görülse de değişimin lineer olduğu görülmektedir. Gonzalez-

Nicieza vd. (2006) tarafından 10*10 metre boyutundaki topuklar için topuk basıncı ve topuk yüksekliği arasındaki ilişki farklı formüllerle denenmiş ve elde edilen sonuçların farklılığı belirtilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14 Farklı yaklaşımlara göre 10*10 m. boyutlu topuklarda gerilme-yükseklik ilişkisi (Sp: Topuklardaki gerilme, Hp: Topukların yüksekliği, σc: Numunenin tek eksenli basınç dayanımı) (Gonzalez-Nicieza vd., 2006)

Aksoy ve Onargan, 2006, tarafından ise, ülkemizde, Afyon kaplanpostu, Burdur bej, Diyarbakır pembe ve Muğla beyaz mermer sahaları için yeraltı üretim yöntemi uygulandığında, farklı derinlikler için oda ve topukların boyutlandırılması yapılmış, topuklardaki gerilmeler ve üretim oranları hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2 Oda-Topuk boyutları ve topuk gerilmeleri (Aksoy ve Onargan 2006)

	Afyon K.postu	Burdur Bej	Diyarbakır Pembe	Muğla Beyaz
Topuk Boyutları (m)	6x6	4x4	4x4	6x6
Oda Boyutları (m)	15x15	15x20	15x20	15x15
Derinlik (m)	50	60	40	50
Topuk Gerilmesi (Mpa)	29.92	42.39	51.47	27.70
Üretim Oranı (%)	91.84	96.49	96.49	91.84

5. YERALTI MERMER ÜRETİM TEKNİĞİ

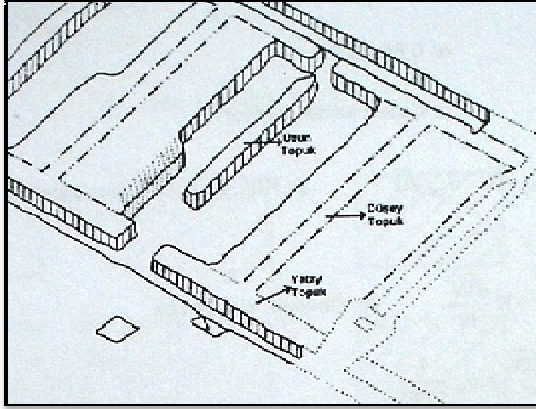
Günümüzde yeraltı mermer üretimi, yeraltı maden işletme yöntemlerinden oda-topuk yöntemi uygulanarak yapılmaktadır (Karaca 2001). Basit şekliyle yöntem, odalar şeklinde boşluklar açılması (blok üretimi) ve boşluklar arasında tavanın kontrolünü sağlamak için

formasyonun bir bölümünün dokunulmadan bırakılması (topuk) şeklindedir. Topukların tavanı tutabilmesi için basınç altında ezilmeyecek kadar sağlam olması ve iki topuk arasında kalan tavanın kırılmadan durabilmesi gerekir. Emniyet topuklarının boyutları tabakaların mukavemetine ve örtü tabakasının kalınlığına göre hesaplanır. Derinlik arttıkça bırakılması gereken topuk boyutları büyür, kayıp artar. Az derinlik ve dayanıklı formasyon olması durumunda güvenli ve az kayıplı çalışılabilir, aksi halde tavanı tutmak zorlaşır. Kaybı azaltmak, topuk boyutlarını küçültmekle mümkündür. Bunu sağlamak amacıyla, zaman zaman tavan tabakası, bir üst tabakaya tavan civatalarıyla tutturularak topuklar arası dayanım artırılır. Yöntemin en büyük avantajı basit oluşu, dezavantajı da diğer yeraltı maden üretim yöntemlerine göre kayıp oranının yüksek oluşudur (Köse ve Tatar 1997, Saltoğlu 1979).

Mermer ve mermer olarak değerlendirilebilen doğaltaşların bulunduğu formasyonlar, sağlam olduğundan, oda-topuk yönteminin uygulanması için, jeolojik olarak uygun formasyonlardır. Buna karşın formasyondaki süreksizlik takımlarının eğimlerinin de yatay ya da yataya yakın olması istenir. Süreksizlik eğimlerinin yüksek ya da dike yakın olduğu formasyonlarda topuklara gelen basıncın etkisiyle, topuk üzerinde kayma, ayrılma ve kırılma gerçekleşebilmektedir. Bu da emniyetli çalışma alanının oluşturulabilmesi için bırakılması gerekli topuk miktarını artırmasının yanı sıra düşey süreksizlik düzlemlerinin topuklar içinde bırakılması zorunluluğunu doğurur.

Yeraltı mermer ocaklarında kare ve dikdörtgen şekilli topuklar oluşturulabildiği gibi formasyonun durumuna göre farklı geometrik şekillerde (beşgen, altıgen vs.) düzensiz topuklar da oluşturulabilir (Şekil 15).

Çalışma alanının eğiminin yataya yakın (<20°) ve tavan basınç dağılımının üniform olduğu durumlarda kare şekilli topuklar tercih edilir. Kare şekli topuklar hem üretim verimi hem de düşey ve yatay gerilmelerin karşılanması bakımından en uygun seçenektir (Onargan vd. 2006). Eğimin varlığı (>55°), dikdörtgen şekilli uzun topuklar oluşturulmasını gerektirir ki bu da verimi azaltacağından tercih edilmez. Ayrıca çalışma alanının eğimli dizayn edilmesi iş güvenliği açısından da riskler doğuracağından, verimli bölgenin yataklanma durumuna göre sadece zorunluluk olduğunda uygulanır.



Şekil 15 Dikdörtgen şekilli uzun topukların şematik görünümü (Kulaksız 2007)

Düzensiz topuklar ise formasyonun durumuna göre, üretim verimini artırmak ya da seçimli üretim yapmak amacıyla tercih edilir. Üretim, topuğun dayanma sınırına kadar her yönden ilerlenerek gerçekleşmesiyle birlikte süreksizliklerin sık olduğu ya da renk ve desen bakımından istenmeyen bölgelerin kendi yayılımına göre topuk olarak bırakılacak şekilde yönlendirilir. Özellikle belirli bölgelerde yataklanmış onix damarları için uygulanabilir (Erdoğan 1997, Onargan vd. 2006). Bu tip ocaklara serbest arınlı açık ayak da denilebilir. Şekli ne olursa olsun topukların ana görevi tavan kontrolünü sağlayarak güvenli iş ortamını oluşturmaktır.

5.1. Üretim

Yeraltı mermer ocaklarında iki ana üretim sistemi uygulanabilir. Bunlardan birincisi galeriler sürülmesi ve bu galerilerin genişletilerek üretim alanları (oda) oluşturulması şeklindedir. Bu üretim şekli, kazanılması planlanan bölgenin ocağa giriş noktasına yakın olduğu durumlarda uygulanır ve büyük girişli ocaklar olarak tanımlanabilir.

İkincisi ise, galeriler sürüldükten sonra planlanan üretim alanlarının tavanında boşluklar oluşturulması ve bu boşlukların tabanından galeri tabanına kadar açık işletmelerde olduğu şekliyle kazanılarak odaların oluşturulmasıdır. Bu üretim şekli de ocağa giriş noktası ile üretimi planlanan bölge arasının uzak olması durumunda uygulanır ve küçük girişli ocaklar olarak tanımlanabilir.

5.1.1. Galerilerin açılması

Galeri açılması kısaca, kılavuz yolunun sürülmesi ve arkasından basamaklar oluşturularak blokların üretilmesi işleminden ibarettir (Şekil 16).



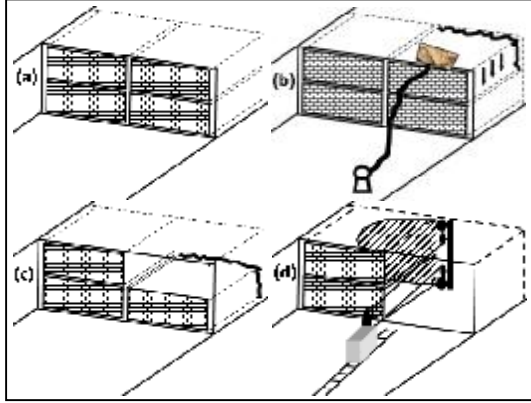
Şekil 16 Yeraltı ocak işletmeciliğine galeri girişi (Carrara-İtalya 2005)

Kılavuz yolunun sürülmesi sırasında üçüncü bölümde tanıtılan kolları kesme makineleri kullanılır. Kolları kesme makinası ilerleme yönüne paralel yerleştirilir, kolunu taşıyan sütunlar tavan ve taban arasına sabitlenir ve galeri genişliği boyunca tavan, taban ve tavan-taban arası orta noktadan olmak üzere paralel üç kesme yapılır.

Bu kesimlerden sonra makinanın pozisyonu düşey kesim yapılmak üzere ilerleme yönüne dik konuma getirilir ve galerinin sağ, orta ve sol yanlarından tavadan tabana paralel düşey üç kesme daha yapılır. Bölüm 3.1, 3.2, 3.3 ve Şekil 4, 6, 7, 8 ve 9 da standart, sütunlu ve mekanize kolları kesicilerle yapılan yatay ve düşey kesme işlemleri verilmiştir.

Böylece ilerleme yönüne doğru birbirini kesen üçer düzlem veya arka kesimi yapılmamış dört adet blok oluşturulmuş olur (Şekil 17.a). Bu blokların bulunduğu yerden çıkarılması işlemi çatlatarak-keserek ya da patlatarak olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Patlatma seçeneği tercih edildiğinde, bloklardan üst üste duran ilk grubunun ortalarında en az birer delik açılır, patlayıcı şarj edilir ve kütle olduğu yerde parçalanır, pasa yığını temizlenir. Patlatma işlemi sonrası arka yüzey pürüzlü olacağından, yüzeyin kırıcı tabancalarla düzeltilmesi gerekir. Yöntem, titreşimden dolayı formasyonun diğer bölgelerine de zarar verdiği için tercih edilmemelidir.



Şekil 17 Galerilerde kılavuz yolu açılmasının şematik görünümü (Ersoy vd. 2009)

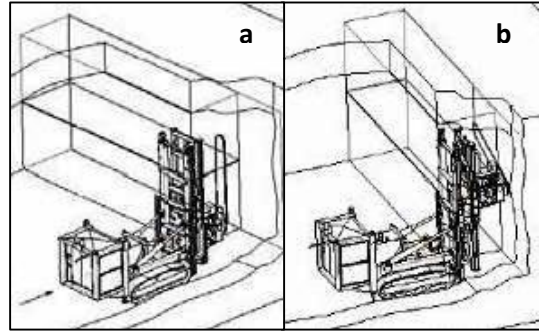
Uygulanan ve popüler olan ikinci yöntem ise, tavan yarığı içerisine hava-su yastığı yerleştirilmesi ve üstteki bloklardan birinin gerilme etkisiyle aşağı düşürülmesi şeklindedir (Şekil 17.b). Düşürülen bu blok ya olduğu yerde parçalanarak temizlenir ya da blok üzerine kanca ve tokalar tutturularak çekme vinç yardımıyla sürüklenerek çekilir. Çekme işleminin kolay olması için orta yarık düzlemi içerisine çelik bilyeler atılabilir. Altta blokun alınması ise, blokla arka düzlem arasındaki bağlantının kırıcı ile kesilmesi ya da hava-su yastığı, hidrolik ayırıcı gibi aletlerle, bu sefer galeri duvarından itilmesi şeklinde gerçekleştirilir (Şekil 17.c). Blokun çekilmesi için ise üst blokta uygulanan işlemin aynı uygulanır.

Kesme alanından iki bloğun çıkarılmasından sonra ayna düzleminde kalan girinti ve çıkıntılar kırılarak alınır, ortam temizlenir. Diğer iki bloğun çıkarılmasında da aynı yöntemler uygulanabilirse de, blokların kazanımı açısından daha çok arka kesim yapılır.

Arka kesim, sütunlu kolları kesici ile çalışılan ocaklarda elmas telle kesme makinası ile mekanize kolları kesicilerle çalışılan ocaklarda ise makinanın kesme grubunun açılan boşluğa yerleştirilmesi ve yan kesim yapması şeklinde

gerçekleştirilir. Şekil 18 de mekanize kolları kesicinin arka kesim pozisyonu verilmiştir.

Elmas telle kesme makinası kullanımında makina, bloklar önüne yerleştirilir ve elmas tel, kesimi yapılacak iki bloğun alt ve üst yarıklarından sokulup açılan boşluktan yararlanılarak en dibe kadar sürüklenir. Telin arka yüzeyden makina volanına olan yönlendirilmesi, tavan-taban arasına sıkıştırılmış bir direk üzerine monte edilen yön makaraları yardımıyla gerçekleştirilir (Şekil 17.d). Bu yöntemle hem, küçükte olsa blok elde etmek hem de daha düzgün arka yüzey elde etmek mümkün olur.



Şekil 18 Mekanize kolları kesiciyle arka kesimin yapılması (Akkoç 2003)

Yukarıda anlatıldığı şekliyle açılan kılavuz yollarının, çalışma mesafesi kadar (10-15 m) arkasından, planlanan galeri yüksekliğine göre bir veya iki basamak oluşturularak ilerleme gerçekleştirilir. Basamakların oluşturulması ve kesme işlemi açık işletmelerde uygulanan "U" kanal açma şeklindedir. En çok uygulanan yöntem taban kesiminin kolları kesicilerle, iki yan kesimlerin de delerek ve elmas telle kesilmesi şeklindedir. Arka kesim ise elmas telle ya da kolları kesici (kolları kesme boyu basamak yüksekliğinde olmalı) ile gerçekleştirilebilir (Şekil 19.e.f).

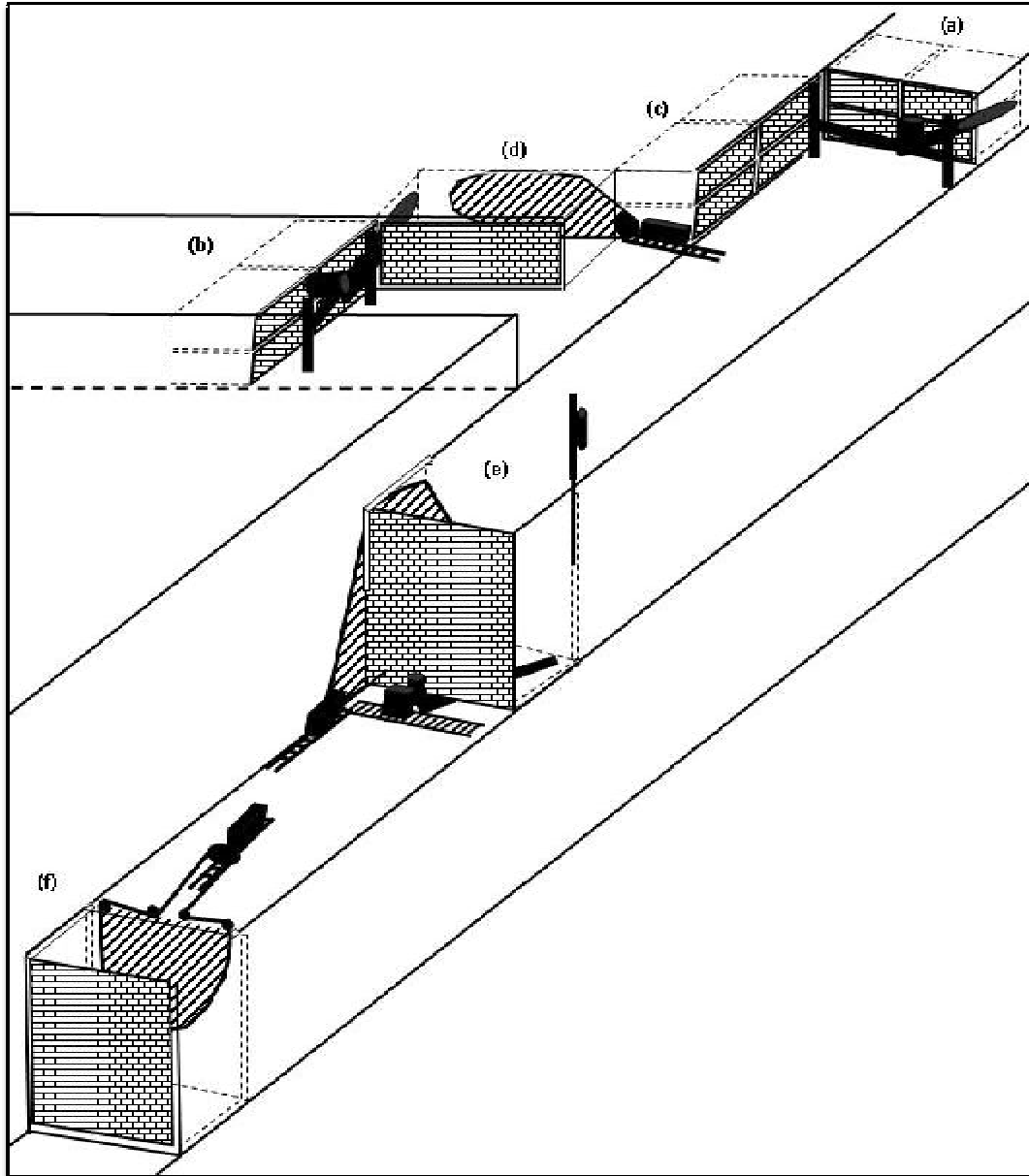
5.1.2. Tavan boşluklarının açılması

Tavan boşluklarının açılması işleminde kılavuz yollarının açılmasında kullanılan kolları kesme makinaları kullanılır. Yöntem birbirine dik iki kılavuz yolunun açılması ve yolların sınırladığı hacmin ilerletimi veya dönümlü olarak kazanılması şeklinde özetlenebilir (Şekil 19.b). Galeride kılavuz yolları açılırken oda olması planlanan üretim bölgesine gelindiğinde, kolları kesici kılavuz yolu için yatay kesim pozisyonunda iken, kesici kolları kesici duvar bölgesine yönlendirilerek

tavan boşluğunun düşey kesimi yapar. Aynı şekilde düşey kesim pozisyonunda iken de yatay kesimler yapılır (Şekil 19.c). Böylece tavan boşluğuna ilk giriş de yapılmış olur. Aynı yöntemle, oda genişliği boyunca tavan boşluğu için tasarlanan dilim genişliğine göre yatay ve düşey kesimler yapılarak galeri kılavuz yolunun açılmasına devam edilir (Şekil 19.d).

Tavan boşluğunun genişletilmesi aşamasında çalışılacak dilimin iki yüzeyi serbesttir ve çalışma şekli kılavuz yollarının sürülmesinden daha

kolaydır. Tavan boşluğunun açılması için kullanılan makina cinsi çalışma şeklini de belirler. Standart kollu kesici ve elmas telle kesme makinası kombinasyonunun kullanımında çalışma, düz bir hat boyunca gerçekleştirilirken, sütunlu kollu kesme makinası kullanımında, kademeli (testere dişi şeklinde) de gerçekleştirilebilir. (Şekil 22.d.e). Mekanize kollu kesicilerle çalışma daha kolay ve pratik olduğundan çalışma alanları, ister kademeli ister düz şeritler halinde olabilir.



Şekil 19 Galerinin ve kılavuz yolunun açılması (a: Kılavuz yolu, b, c, d: Tavan boşluğu ve oda tavanının oluşturulması, e: Birinci kademe delme, alt ve yan kesimler, f: İkinci kademe arka kesim) (Ersoy vd. 2009)

Bloğun çekilmesi ve taşınmasının kolaylaştırılması amacıyla, genellikle tavan-taban arası orta düzlemde de yatay kesme işlemi yapılır. Bloğun olduğu yerden alınması da, galeri kılavuz yollarındaki gibi, blok gövdesine kanca ve tokalar tutturularak çekme vinçle ya da halatla iş makinasına bağlanarak sürüklenmesi şeklindedir.

Tavan boşluklarının açılması sırasında karşılaşılan en büyük problem, üretilen blokların basamaklardan indirilerek taşınmasıdır. Bu yüzden bazı ocaklarda bu bloklar parçalanarak imha edilir. Böylece hazırlık aşaması için harcanan süre kısaltılmış, ancak blok verimi düşürülmüş olur. Bu blokların taşınması için uygulanan ikinci yöntem, çalışma alanının tavanına makaralar yerleştirilmesi ve blokların halatlara bağlanarak bu makaralar ve vinç yardımıyla alt kademelere indirilmesi şeklindedir. Bu işlem de zor ve zaman alıcı, iş güvenliği açısından da uygun değildir. Blokların indirilmesinin üçüncü ve en çok uygulanan şekli ise taban yolu ile kılavuz boşluğu arasında yol yapımıdır. Yol yine ocaktan çıkan pasaların yığılması ve sıkıştırılması şeklinde yapılır. Küçük boyutlu iş makineleri bu yolu kullanarak kılavuz alanının başına kadar gelebilir ve çekme-taşıma işini gerçekleştirebilir (Şekil 20).

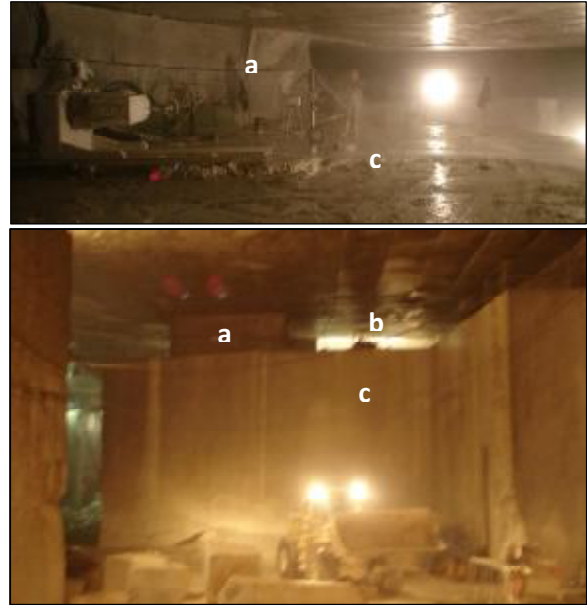


Şekil 20 Tavan boşluğu-taban yolu arası yol (Carrara-İtalya 2005)

5.1.3. Oda ve topukların oluşturulması

Ocakta tavan boşluklarının oluşturulması işlemi topuk sınırlarına kadar devam eder. Tavan boşluğunun tabanı üretim alanının üst yüzeyidir. Yan yüzeyi de galeri duvarı olduğundan oda şeklinde üretilmek istenen hacmin iki yüzeyi serbest hale gelmiş olur. Bu aşamada, galerilerin açılması işleminde basamakların ilerletilmesi

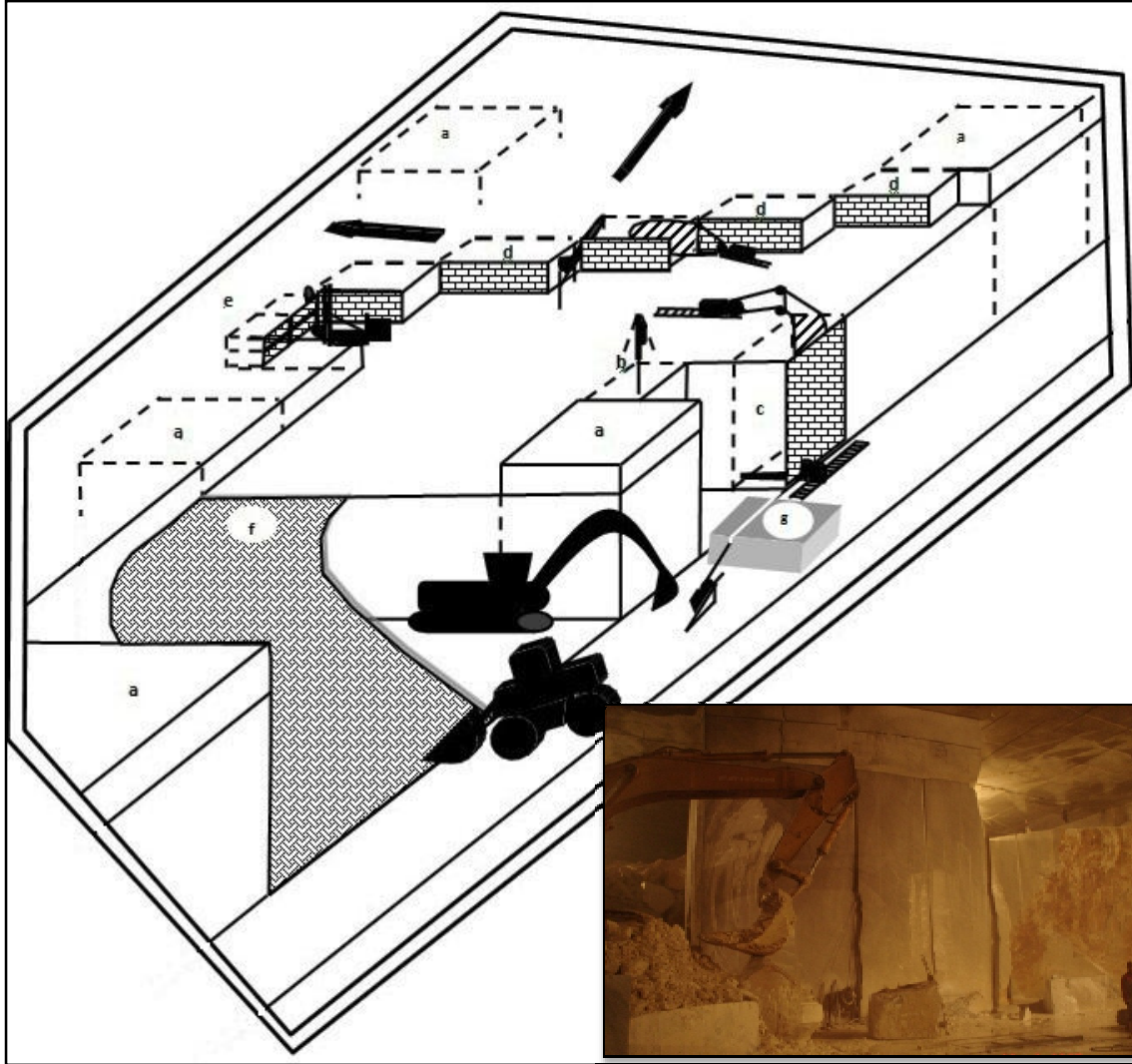
gibi, "U" kanal açılarak kütlemin üçüncü yüzeyi de serbest hale getirilir (Şekil 22.b). "U" kanal açma işleminde, alt kesimde standart kollu kesici makineler kullanılırken yan yüzeyler önce delerek sonra elmas telle keserek serbest hale getirilir. Kütlemin arka kesimi de elmas telle kesilerek kazanılır. Kanal açma işleminde kazanılan kütle sayılarak bloklar üretilir ve yeryüzüne taşınır (Şekil 22.g).



Şekil 21 Topuk (a), Tavan boşluğu (b), Üretim alanı (c) (Carrara-İtalya 2005)

Elmas telle kesme işleminde makina, klasik uygulamalardan farklı olarak, tavan boşluğunda yani kesilecek kütlemin üst kotunda çalıştırılır (Şekil 21). Bu yüzden kanal açma ve normal üretim sürecine geçilmeden önce, tavan boşluğunun en az elmas telle kesme makinasının çalışabileceği alan kadar açılması zorunludur. Aksi durumda elmas telle kesme makinasının galeri boşluğunda çalıştırılması gerekir ki bu hem malzeme hem de blok nakliyatını engellediği gibi işlem sırasında tel kısaltma sayısını da artıracığından verimli çalışmaz.

Kanal açıldıktan sonra üretim bölgesinde açık işletme yöntemlerine uygun, üç yüzeyi serbest basamaklar oluşturulmuş olur. Genellikle üretim şekli, alt kesimlerin standart kollu kesicilerle, yan ve arka kesimlerin de delerek ve elmas telle keserek yapılması şeklindedir ve açık işletmelerdeki gibi seri üretim yapılabilir (Şekil 22.c).



Şekil 22 Yeraltı mermer işletmesinin şematik görünüşü (a: Topuk, b: "U" kanal için delme, c: Üretim, alt ve yan kesimler, d: Tavan boşluğunun açılması, e: Tavan boşluğu için hazırlık yolu, f: Tavan boşluğu-galeri arası bağlantı yolu, g: Üretilen bloğun sayalanması) (Ersoy vd. 2009)

5.2. Yeraltı Ocaklarında Nakliye, Su geliri ve kullanımı, Havalandırma, Aydınlatma ve Tahkimat İşleri

5.2.1. Nakliye

Yeraltı mermer ocaklarında kesilen kütleler, sayalanarak taşınabilir boyutlara indirgenirler. Daha sonra ocak içine kurulmuş rampa ya da vinç yardımıyla kamyonlara yüklenerek dışarı taşındıkları gibi raylar üzerinde hareket eden bir taşıyıcının vinçle çekilmesi suretiyle de taşınabilir (Şekil 23). Dolayısıyla hazırlık aşamasında açılan galerilerin boyutları blok taşıyan kamyonların ve iş makinalarının geçişine uygun olmalıdır. Ayrıca galerilerin çıkış yönünde %3-5

eğimli açılması yüklü kamyonların daha az enerjiyle hareket edebilmelerini sağlayacaktır.



Şekil 23 Yeraltı mermer ocağı ana nakliyat galerisi (Carrara-İtalya 2005)

Özellikle düz alanda çukur ocak şeklinde girilmiş yeraltı mermer ocaklarında çıkış ağız yüzey topografyasına göre çok düşük kotta olacağından, ocak içerisine raylı sistem kurulabilir. Böylece kenarları açık vagonlarla çıkışa taşınan bloklar, yeryüzünde kurulmuş vinçler yardımıyla yüzeye çekilir ve kamyonların girişi için yüzeyden tabana yol yapımı gerekmez.

5.2.2. Su geliri ve kullanımı

Ocakta su geliri olması durumunda, galerinin bir kenarında su drenaj kanalı açılır ve bu kanal aracılığıyla su dışarı tahliye edilir. Galerilerin dışa bir miktar eğimli tasarlanması suyun tahliyesi için açılacak kanalların dizaynında da etkili olacaktır. Su gelirinin çok yüksek olduğu durumlarda su tahliye galerileri de açılabilir (Şekil 24.a). Ancak üretimde su kullanılmasından dolayı, üretim noktalarına yakın bölgelerde havuzlar inşa edilerek, kullanılacak su tutulmalıdır (Şekil 24.b).

Üretimde kullanılacak su, üretim noktalarına doğrudan pompalandığı gibi tavan boşluğu içerisinde uygun bir bölgede kurulmuş su tankına da basılabilir. Böylece yüksek kottaki su kendi akımıyla üretim noktasına ulaşacağından pompaların devamlı çalışmasına gerek kalmaz.



Şekil 24 Yeraltı mermer ocağında su tahliye kanalı (a) ve çöktürme havuzu (b) (Carrara-İtalya 2005)

5.2.3. Havalandırma

Mermer üretimi sırasında ortamda toz ve nem oluşur. Bu durumun, yeraltı ortamının kapalı ve hava sirkülasyonundan uzak olmasından dolayı, insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkileri olabilir. Bu nedenden dolayı, yeraltı ocaklarında biri giriş diğeri çıkış olmak üzere yeryüzüne en az iki bağlantı olması gerekir. Böylece doğal havalandırma olarak tanımlanan kışın düşük kottan soğuk hava girişi ve yüksek kottan çıkışı, yazın ise bunun tersi akım oluşması olayı gerçekleşir. Ancak bu akım üretim noktalarını tam dolaşmadan, odalar arasında kısa devre yaparak gerçekleşebilir (Önce, Saraç 1986). Doğal hava akışının, diğer yeraltı maden ocaklarında olduğu gibi, hava kapıları ya da perdeleriyle yönlendirilmesi, galeri kesitlerinin büyük olmasından dolayı zor olur. Çalışma noktalarına temiz havanın gönderilmesi için belli noktalara tali vantilatörler yerleştirilerek, havanın akışı çalışma bölgelerine yönlendirilir.

Doğal hava akımı, genellikle büyük girişli ocaklarda yeterli olmakla birlikte, küçük girişli ocaklarda (galerilerle) ana havalandırma şebekesi kurulması ve havanın ocak içinde dolaştırılması gerekebilir. Bu işlem büyük vantilatörler aracılığıyla, dışarıdan içeriye hava basılarak (üfleyci sistem) ya da içerideki hava çekilerek (emici sistem) yapılabilir. Üfleyci sistemin avantajı, çalışma bölgesi havasının çabuk temizlenmesi, dezavantajı ise hava dönüş yolunun tozlu ve nemli oluşudur. Emici sistemde ise, tozlu ve nemli hava, havalandırma kanalları içine vakumlanacağından, ortam havası kuru ve tozsuz olmasına rağmen, çalışma bölgesi havasının temizlenme süresi daha uzun sürecektir.

Ocak içerisine gönderilecek hava miktarı, çalışma ortamında gerekli oksijen miktarına (%18-21) göre hesaplanır. Ocak içerisinde çalışanlar, iş makinaları ve mermerin kesimi sırasında oluşan toz ve nem, havadaki oksijen konsantrasyonunu düşürür. Bu konsantrasyonu işçi sağlığına uygun hale getirmek için basılacak hava miktarının hesaplanmasında ampirik formüllerden yararlanılır. Örneğin, Q: hava miktarı (m^3/dak), n: çalışan sayısı, q: üretilen gaz miktarı (m^3), p: gazın indirilmesi istenen oran (%), z: birim üretim başına gerekli hava miktarı (m^3/ton), T: üretim miktarı (ton), A: toz indeksi (kullanılan makinaya göre değişir), N_d : hava dönüş yolu toz konsantrasyonu ($400 tane/cm^3$),

N_0 : çalışma bölgesi toz konsantrasyonu (25-100 tane/cm³) olmak üzere;

- Çalışan sayısı bakımından: $Q=6*n$
- Yayılan gaz miktarı bakımından: $Q=1.7*q/p$
- Üretim miktarına göre: $Q=z*T$
- Toz oluşumuna göre: $Q=60*A/(Nd-No)$ eşitliklerinden hesaplanır (Önce ve Saraç 1986).

Farklı formüller kullanılarak hesaplanan hava debisi değerlerinden en büyük olanının, ocağın ihtiyacı olan hava miktarı olarak kabul edilmesi etkin bir havalandırma sağlayacaktır.

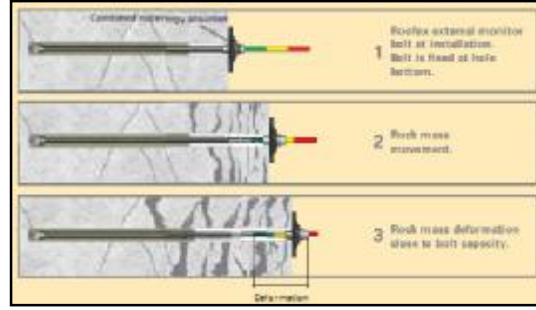
5.2.4. Aydınlatma

Ortamın çalışmaya elverişli olması bakımından aydınlatma bir zorunluluktur. Çalışma bölgelerinde olması gereken ışık miktarı en az 300-750 lüks olmakla birlikte diğer alanlarda 75-150 lüks ışığı sağlayacak bir tesisat yeterli olur. Ocağın aydınlatma planı hazırlanırken, ocak geometrisi ve malzemenin yansıtma derecesi de göz önüne alınarak, en az ölçüde karanlık bölge kalmasına dikkat edilmelidir. Aydınlatma noktaları, özellikle yer değiştiren büyük iş makinelerinin ve sayalanan blokların gölgelerinin oluşmayacağı şekilde belirlenmelidir. Bu da ışık dağılımının taban ve yan duvarlardan yapılmasıyla ya da yansıtıcı kullanılmasıyla mümkün olur. Ayrıca elektrik kesilmelerine karşı jeneratör tesisatı da kurulmalıdır.

5.2.5. Tahkimat

Yeraltı mermer ocaklarında, formasyonun sağlam oluşundan dolayı, genellikle tahkimat gerekmemesine rağmen;

- Süreksizliklerin yataya yakın olduğu ocaklarda geçici tavan tabakasının (yalancı tavan) kalınlığının az olması durumunda ya da kendini ve üstündeki örtüyü taşıyacak dayanıma sahip olmadığı durumda (tavanın çökmesi),
- Süreksizliklerin eğimli ya da dike yakın olduğu formasyonlarda (süreksizlik düzlemlerinden parça kopmaları),
- Derinliğin, kritik seviyeyi aştığı ve topukların kayma, kesit daralması, kavaklanma vb. gibi deformasyona uğradığı durumda (topuk dayanımının azalması),
- Kazanılan blok miktarının artırılmak istendiği durumlarda tahkimat gerekir.



Şekil 25 Tavan civatası şematik görünüşü (Neugebauer 2008)



Şekil 26 Yeraltı mermer ocaklarında tavan civatası (a) ve tel hazır (b) uygulaması (a:Anon (g) 2009, b:Carrara-İtalya 2005)

Yeraltı mermer ocaklarında tahkimat, tavan civatası uygulaması şeklindedir (Şekil 25). Bu uygulamanın prensibi, parça düşmesi ya da kütle kayması muhtemel bölgelerin daha iç seviyede bulunan sağlam ve duraylı bir başka formasyonla bağlanması, dolayısıyla bu iki yapının birlikte çalıştırılması şeklindedir (Birön ve Arıoğlu 1985). Yöntem kısaca, sağlam formasyonun içlerine kadar delik açılması ve bu deliğe çelik civata yerleştirilip civata ve formasyonun çimentolanarak ya da vidalanarak sıkıştırılması işleminden ibarettir. Yöntem, duvara çivi çakma

ya da dübel atma işlemlerine benzetilebilir. Nokta ankrajlı, tüm civata boyunca ankrajlı, kamalı, genişleme parçalı, reçineli, mekanik vb. gibi çok değişik şekillerde uygulanabilir.

Tavan veya bir başka bölge civatalandıktan sonra, civatanın bir bölümü dışarıda bırakılır ve dışarıda bırakılan kısımdaki değişimlere göre bölgedeki deformasyon takip edilir. İstenen verim alınmadığı durumlarda daha sık civatalama işlemleri yapılarak tavanın kontrolü sağlanır (Şekil 25, Şekil 26.a).

Tavanın göçmesi ya da blok düşmesi gibi risklerin olmadığı ancak küçük parça düşmelerinin yaşandığı formasyonlarda ise tavana tel hasır çekilir. Bu hazırlan tavanın duraylılığına etkisi olmamasına rağmen, parça düşmelerine karşı güvenliği artırır (Şekil 26b).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mermerlerin yeraltı üretim teknikleriyle kazanılması, eskiden olduğu gibi günümüzde de tercih edilen yöntemler arasında olmasına rağmen ülkemizde hemen hemen hiç uygulanmamaktadır. Bunun nedeni ülkemiz mermer yataklarının gerek rezerv gerekse çeşitlilik bakımından zengin olması ve daha derinlerde arama yapılmasına ihtiyaç duyulmamasıdır. Ancak gün geçtikçe insanların çevreye olan hassasiyetleri artmakta ve diğer madencilik sektörlerinde olduğu gibi mermer sektöründe de problemlerle karşılaşılabilir. Ya da karşılaşılabilecektir.

Yeraltı üretim şeklinin, hem doğal güzelliklerin tahrip edilmemesi hem de çalışma alanlarındaki ekolojik dengenin bozulmaması açısından üstünlüğü tartışılmaz. Ayrıca seçimli üretim yapılabilmesi, yani formasyonun blok verimi iyi olan bölgelerinin çalışılması diğer bölgelerinin bırakılması, böylece üretim sonucu açığa çıkacak ve atık döküm sahalarında depolanacak olan pasa miktarının da en aza indirilmesi, doğal çevrenin korunması bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akkoç, T., 2003, Derin Mermer Yataklarının Yeraltı Üretim Yöntemleriyle İşletilebilirliğinin Araştırılması, Dokuz Eylül Ün. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 147.
- Aksoy, C. O. and Onargan, T., 2006, Sizing Room and Pillar by Numerical Modeling for Underground Marble Quarries in Turkey, Mineral Mining Technology- Journal of Mining Science, Vol. 42, No. 5, 483-489
- Alber, M., 2001, Anisotropy of a Regularly Joined Limestone Rock Mass and its Effects on Geomechanical Parameters, Rock Mechanics, 199-210, <http://books.google.com.tr/books?id=riev->

Madencilik faaliyetlerinin sona ermesinden sonraki aşamalarda da çalışma sahalarında rekültivasyon için yatırım gerektirmemesi ve açılan yeraltı boşluklarının gerek depo, sığınak gerekse turistik amaçlı kullanılabilmesi yeraltı üretim şeklinin bir başka avantajıdır. Çalışma koşulları bakımından da yılın her ayı ve tüm gün aynı iklim koşulları altında çalışılabilmesi, üretim kapasitesinin en üst seviyeye çıkartılmasını mümkün kılar.

Yeraltı mermer üretiminde, galeri sürülmesi ve tavan boşluklarının açılması dışında yapılan tüm üretim faaliyetleri, açık ocak işletmeciliğinde uygulanan yöntemlerle yapılır. Kılavuz çalışmalarında da uygulanan yöntem basittir. Yeraltı faaliyetlerinde karşılaşılabilecek tek problem, çalışma alanlarıyla ilgili detaylı bilgi edinilmesi ve tavan kontrolünün sağlanması için bırakılacak topuk parametrelerinin belirlenmesidir. Bu yüzden yeraltı işletmesine başlamadan önce ayrıntılı mühendislik çalışmaları yapılması, hem çalışma güvenliği hem verim hem de ekonomik üretim bakımından son derece önemlidir. Ülkemizde gerek kömür gerekse metal madenleri için, yeraltı üretim tekniklerinin birçoğu uzun yıllardır uygulanmaktadır. Dolayısıyla ülkemizde, mermer sektöründe de yeraltı üretim şekillerinin uygulanabilmesi için gerekli teknolojik bilgi ve deneyim mevcuttur. Ayrıca, açık ocak şeklinde çalışılan mermer sahalarında yeraltı yöntemine geçişte, ana üretim şeklinin açık işletmedekinin aynı olmasından dolayı, hem makina donanım yatırımı hem de kalifiye eleman istihdamı bakımından fazla zorluklarla karşılaşılacaktır.

Ülkemizde tercih edilmeyen yeraltı üretim şeklinin, devlet tarafından vergi indirimi, ucuz kredi, ÇED muafiyeti vb. desteklerle özendirilmesi, hem mermer üretimi için doğal güzelliklerimizin yok olmasının önüne geçilmesine hem de yasal kısıtlamalardan dolayı çalışılmayan birçok mermer sahasının ekonomiyi kazandırılmasına yardımcı olacaktır.

- y6rCfsC&pg= PA202&lpg= PA202&dq= RMi+rock+mechanics&source= bl&ots= i3SKo4F9ou&sig= zXGgQaX-7PNg-EdquMBtQnFz0E4&hl= tr&ei= hy4eSr-TCtyNjAehos2YDQ&sa= X&oi=book_result&ct= result&resnum= 3#PPA199,M1
- Anon (a), "....", Chain Saw Machines for Ornamental Stone Quarries Exploitation, Costruzioni Meccaniche Fantini Srl Torino, Italy, 48.
- Anon (b), "....", Mermer-Granit Ocakçılığı & Elmas Tel-Elmaslı Dairesel Testere Uygulama ve Kullanım Talimatı, Set Makina Ticaret Ltd. Şti., Ankara, 120.
- Anon (c), "....", Blok Çıkarma Yöntemleri, Set Makina Ticaret Ltd. Şti., Ankara, 151.
- Anon (d), 2007, "....", TMMOB Maden Mühendisleri Odası II. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Sonuç Bildirgesi, Ankara
- Anon (e), 2009, "....", <http://www.benettigroup.com/store/listprod.asp?idCategory=78>.
- Anon (f), 2009, "....", <http://www.fantinispa.it/us/products/csm/csm.html>
- Anon (g), 2009, "....", http://www.m.godden.btinternet.co.uk/quarrying_info.htm
- Anon (h), 2009, "....", Bowers Mine – Portland-
http://www.m.godden.btinternet.co.uk/quarrying_info.htm
- Anon (i),, Application of The Chain Saw Machine to Modern Systems of Exploitation Stone Quarries, Costruzioni Meccaniche Fantini Srl Torino, Italy, 58.
- Anon (j),, Benettimacchine, A. Benetti Macchine S.r.l.Carrara, Italy, 28.
- Anon (k), 2009, "....", http://www.quarryscapes.no/QLM_november_06.php
- Anon (l),, Korfmann Lufttechnik GmbH, Germany
- Anon (m), 2009, "....", http://www.seaflog.com/buscar-fotos/laas_es.html
- Birön C., Arıoğlu E., 1985, Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, İstanbul Teknik Ün. Maden Fak., Birsen Kitabevi, İstanbul, 360.
- Cotman I., Fornaro M., 2000, Innovative Underground Exploitation Methods: The "Istrian Yellow" Case, Le Cave di Pietre Ornamentali Torino, İtaly, 215-220.
- Erdoğan M., 1997, Yeraltı Mermer İşletmeciliği ve Tasarım İlkeleri, Türkiye II. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, 43-51.
- Ersoy, M., Yeşilkaya, L., 2009, Mermer Blok Üretiminde Yeraltı ve Açık Ocak İşletme Şekillerinin Karşılaştırılması, Natura Sektör, Sayı 5, Ekim-Kasım 2009, 90-93
- Ersoy, M., Yeşilkaya, L., Dinçer, A. L., 2009, Yer altı Mermer Üretiminde Oda-Topuk Yöntemi, Madencilik Türkiye-Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, Sayı 3, Aralık 2009, 24-27
- Gonzalez-Nicieza C., Alvarez-Fernandez M.I., Menendez-Dyaz A., Alvarez-Vigil A.E., 2006, A Comparative Analysis of Pillar Design Methods and its Application to Marble Mines, Rock Mechanics and Rock Engineerings, 39 (5), 421-444.
- Karaca Z., 2001, Mermer Madenciligi, Dokuz Eylül Ün. Torbalı Meslek Yüksekokulu Yayınları No:1, İzmir, 159.
- Kaynar A., 1995, Yeraltı Mermer Madenciligi ve Ülkemizdeki Geleceğine Bir Bakış, Türkiye I. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon, 29-36.
- Köse H., Kahraman B., 1993, Kaya Mekaniği, Dokuz Eylül Ün. Müh. Fak.Yayınları No: 177, İzmir, 228.
- Köse H., Tatar Ç., 1997, Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri, Dokuz Eylül Ün. Müh. Fak.Yayınları No: 14, İzmir, 206.
- Kulaksız S., 2007, Doğaltaş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 634.
- Neugebauer, Erich, 2008, A New Way To Tackle Safety In Underground Operations, Mining & Construction No 3, 12-13.
- Onargan T., Köse H., Deliormanlı A. H., 2006, Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 324.
- Önce G., Saraç S., 1986, Madenlerde Havalandırma, Anadolu Ün. Müh. Müm. Fak. Yayınları No: 30, Eskişehir, 266.
- Saltoğlu S., 1979, Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri, İstanbul Teknik Ün., İstanbul, 178.