



DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ



Cilt: 16 No: 1 Sayı: 46 sh. 41-50 Ocak 2014

YERALTI MERMER İŞLETMELERİNDE ODA TOPUK YÖNTEM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

(DETERMINATION OF ROOM AND PILLAR METHOD PARAMETERS IN UNDERGROUN MARBLE QUARRY)

Mete KUN¹
Tahir MALLI

ÖZET/ABSTRACT

Dünyada ve ülkemizde artan doğal taş ihtiyacı, işletilmekte olan doğal taş ocaklarını giderek daha derin kotlarda üretim yapmaya zorlamaktadır. Bunun yanı sıra mermer ocağı altyapı faaliyetlerinin temin edilmesinin güç olduğu sarp arazilerde, üst örtü (dekapaj) kalınlığının fazla, iklimin sert olduğu alanlarda ve en önemlisi blok veriminin derin kotlarda arttığı mermer ocaklarında yeraltı mermer işletmeciliği kaçınılmaz bir hal almaktadır. Yeraltı üretim yöntemlerinden oda-topuk yöntemi kullanılarak yapılacak üretimler, hem atıl durumdaki mermer ocaklarının yeniden ekonomiye kazandırılması bakımından hem de açık işletme ile üretilmesi ekonomik olmayan mermer ocaklarının üretime alınması ve mevcut rezervlerin daha efektif ve kısa zamanda değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, hazırlanan çalışmada ülkemizde beş farklı bölgeden seçilen, oda topuk yöntemi ile üretim yapılabilecek mermer ocakları üzerinde yeraltı doğal taş üretim parametreleri, teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilerek ortaya konulmaya çalışılmıştır.

The increasing need for natural stone in our country and across the world gradually forces the natural stone quarries to be operated at deeper elevations in our day. Additionally, in steep terrains where the infrastructure activities of marble quarry are hard to be supplied, underground marble quarrying becomes inevitable in places with large amount of overburden and harsh weather conditions and also in deeper elevations where the block efficiency increases. Among the underground methods; the productions that will made through applying room-pillar method are crucial from the aspects of reviving the inactive marble quarries, taking into production the marble quarries that are not possible to be exploited economically by open pit methods and evaluating the present reserves more efficiently and shortly. Therefore, in this study, the marble quarries that could employ room-and-pillar minig method were selected from five different regions nationwide and natural stone production parameters were attempted to be evaluated in terms of economic and technical applicability.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Oda Topuk yöntemi, Doğal taş işletmeciliği
Room and Pillar Method, Natural stone quarry

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.Fak. Maden Müh. Bölümü Tınaztepe, Buca, İzmir

1. GİRİŞ

Yeraltı üretim yöntemleri arasında sınıflandırılan oda topuk yönteminin doğal taş madenciliğindeki uygulamaları milattan önceki yıllara değin uzanmaktadır. M.Ö 6000 yıllarında ülkemiz sınırları içerisinde Şanlıurfa'da oda-topuk yöntemi ile üretim yapan mermer işletmesi ortaya çıkarılırken (Kulaksız, 2012), yöntem mekanize olarak gerçek manada 1920' li yıllarda İtalya' nın Carrara Bölgesindeki beyaz mermer ocaklarında uygulama alanı bulmuştur. Uygulamanın geometrisi incelendiğinde 25-40 m. topuk yükseklikleri ve 4-5 m.'lik topuk genişlikleri arasında kalan ve oda adı verilen yaklaşık 8-10 m.'lik üretim boşluklarında üretimlerin yapıldığı bilinmektedir. Genellikle kollu kesici makineler ve elmas tel kesme sisteminin birlikte kullanıldığı ocaklarda, işletmelerin üretim hızı ve verimliliği gün geçtikçe makine performanslarına bağlı olarak artmaktadır.

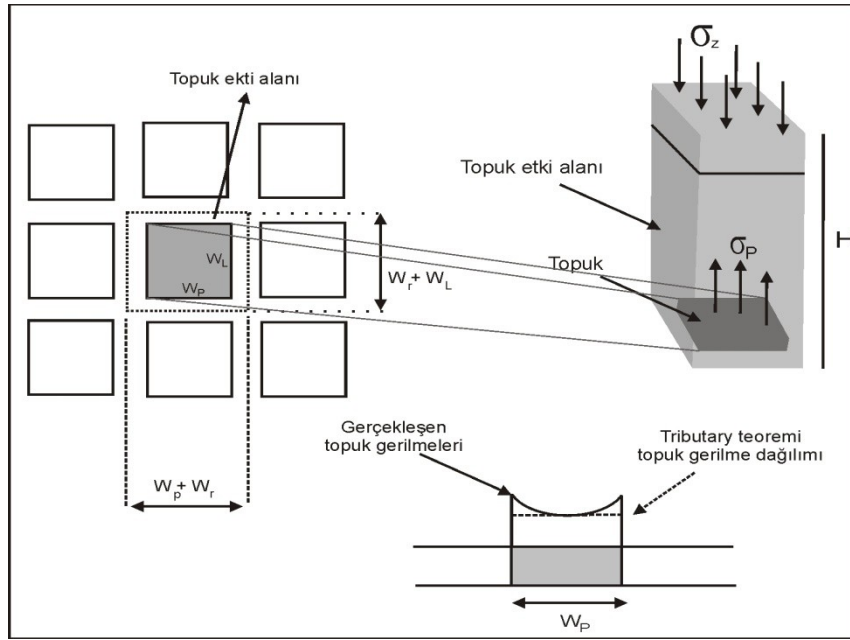
Özellikle doğal taş işletmeciliğinde uygulanan veya yeni uygulanacak oda topuk tasarımları için özellikle dikkat edilmesi gerekli en önemli unsurlar, ocak jeolojik parametrelerinin yanı sıra kaya kütlelerinin kaya mekaniksel parametreleri, tek eksenli basma dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranıdır. Ayrıca kaya kütlelerinin homojenitesi, fay, kırık ve çatlak yapısı ile süreksizlik dağılımı da göz ardı edilmemelidir. Özellikle yöntemin gereği olarak işletme içerisinde bırakılacak topuk stabilitesinin korunabilmesi için; ortamın gerilme dağılımları, olası su durumu ve diğer jeolojik olumsuzluklar dikkatli incelenmeli ve lokasyonları tam olarak belirlemelidir.

Yeraltı doğal taş madenciliğinde kullanılan oda topuk yönteminin parametreleri, diğer kömür ya da metalik cevher üretiminde kullanılan parametrelerden farklılık göstermektedir. 1972'den 2000 li yılların başlarına kadar geçen sürede bir çok araştırmacı, özellikle topuk stabilitesinin korunmasına yönelik geliştirdikleri ampirik formüller yardımı ile, topuk geometrilerini ortaya koymuşlardır. 1972 yılında Hedley, 1982'de Hardy-Agapito, 1984' te Kimmelman, 1992 yılında Sjöberg, 1989 yılında Potvin ve 2000 yılındaki CMRI yaklaşımları, doğal taşlar için güvenli topuk geometrisinin parametrelerini ortaya koymaktadır. Bunların yanı sıra en çok kabul gören yaklaşım, eş yüklü alanlar yaklaşımı olarak bilinen (Tributary Area) yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın tercih edilme nedeni basit olduğu kadar denenmiş ve güvenli bir yöntem olarak kabul görmesidir. Eş yüklü alanlar yaklaşımı, öncelikle, sığ ve orta sığ (<300 m.) derinliklerde oda-topuk yöntemiyle çalışan kömür damarları için geliştirilmiş bir yaklaşımdır (Bieniawski,1984). Bununla birlikte, basit olması nedeniyle, diğer yeraltı madencilik çalışmalarında da topuk tasarımında yaygın olarak uygulanmaktadır (King ve Whittaker 1971; Whittaker 1984).

2. EŞ YÜKLÜ ALANLAR YAKLAŞIMI

Oda topuk yönteminin doğal taş madenciliğinde uygulama gerekliliği, önceden belirtilen nedenlerin yanı sıra, standart ölçülerde ve maksimum verimle blok eldesi olarak gösterilmektedir. Bu nedenle üretimde kullanılan oda topuk yönteminin ana ilkesi, sahada yapılan üretim sonrası doğal gerilme koşullarından uzaklaşmış bölgenin, ikincil gerilme koşullarını, belirli geometrik şekil ve ebatlarda bırakılan topuklarla dengeleyebileceği güvenli bir çalışma ortamı yaratmaktır. Bu durum ayrıca üretim planlanması ve çalışma ortamı güvenliği açısından da gerekli ve zorunlu bir durumdur.

Eş yüklü alanlar yaklaşımı, statik yükler altında yüklenen destek topukları için geçerli bir yöntemdir ve yöntemde "üretim oranı" ifadesi öne çıkmaktadır (Şekil 1). Üretim oranı, sahanın ekonomik faktörleri ve üretim parametrelerine bağlı olarak ortaya konan geometrik faktörlerin etkisi sonucu ortaya çıkan, bir düzlem boyunca bırakılan topuk alanları ve üretim açıklıkları arasındaki ifade olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1. Eş yüklü alanlar yaklaşımı, topuk etki alanı ve basit gerilme durumu.

Dik arakesitli topuklar için kazı oranı aşağıdaki formülle bulunmaktadır. Burada ;

$$e = \frac{[(w_p + w_r) \times (w_L + w_r) - (w_p \times w_L)]}{(w_p + w_r) \times (w_L + w_r)}$$

e: Üretim oranı, w_p : topuk genişliği, w_r : oda açıklığı, ve w_L : Topuk boyu olarak tanımlanmaktadır.

Yeraltı doğal taş işletmeciliğinde; emniyetli çalışma ortamının sağlanması ile birlikte, kazı oranının artırılması ve topukların daha ince ve aynı zamanda en yüksek miktardaki yükü taşıyabilme yeteneğinin artırılması istenmektedir. Üretimden sonra geçen yıllara ve ocağın durumuna bağlı olarak yeraltı mermer ocağı birkaç düzineden birkaç bin adet topuğa sahip olabilir. Bu topukların çok büyük bir bölümü, ancak uygun boyutlandırılmaları durumunda stabil durumlarını koruyabilir. Topuk dizaynı, açık bir şekilde uygun planlamayı gerekli kılar ve bu nedenle sahada mutlaka değişen gerilme düzeyleri, jeolojik şartlar ve olası deformasyonlar kontrol altında tutulmalıdır (Akkoç, 2003).

Topuklar içindeki gerilme düzeyi, eş yüklü alan teorisine göre çözümlenebilir.

Burada;

$$\sigma_p = \sigma_z \times \frac{(w_r + w_p) \times (w_r + w_L)}{w_p \times w_L}$$

σ_p : Topuğa etki eden aksel basınç , σ_z : Topuğa etki eden yerçekimsel basınç olarak tanımlanmıştır.

Burada topuk stabilitesinin korunabilmesi için, topuk malzemesinin tek aksel basınç değerinin, topuğa etki eden aksel basınçtan büyük olması gerekmektedir. Bu değer pratikte

topuk güvenlik katsayısı olarak da isimlendirilmektedir. Bieniawski (1984), topuk dayanımlarının 3 parametreye bağlı olduğunu öngörmektedir. Bunlar; boyut veya hacim etkisi, topuk geometrisi, topuk malzemesinin özellikleridir. Topuk dayanımı ve w_p/w_h arasında belirgin bir ilişki olduğu; topuk genişliğinin (w_p) yüksekliğine (w_h) oranı 1'den küçük ise topuk dayanımı hızla düşmektedir. Bu oranın çok yüksek olması durumunda ise topuk dayanımı küçük oranlarda artış göstermektedir. Bir başka deyişle, topuk içindeki bazı noktaların plastik davranış gösterdiği düşünülmektedir (Barron,1984). Stacey ve Page (1986) bu davranışı hesaba katarak, yüksek w_p/w_h oranlarındaki topuk dayanımlarında eksponansiyel artış gösterdiğini ve bu değer topuk alanı ve topuk çevre uzunluğunun ifade etmektedir. Topuk emniyeti, düşük w_p/w_h miktarlarında tehlikeye atılmakta ve büyük risk taşımaktadır. Tipik olarak, $w_p/w_h > 1.5$ koşulunu sağlayan mermer topukları, derin olmayan işletmeler için hemen hemen çok dayanıklı, bozunumu zor bir karakter göstermektedir (Akkoç, 2003).

Ayrıca oda topuk yönteminde yeraltı açıklığının çevresinde oluşan ikincil gerilme alanının neden olabileceği aşırı gerilme yada yenilme bölgesi; birincil gerilme alanına, açıklık geometrisine ve çevre kayacın mekanik özelliklerine bağlıdır. Dünya'nın çeşitli bölgelerinde yapılan birincil gerilme ölçümü sonuçlarına göre, birincil gerilmelerin asal bileşenlerinin; düşey ve yatay konumlarda olması, birbirinden farklı değerler alması ve büyüklük sıralarının değişiklikler göstermesi oldukça yaygın karşılaşılan bir olgudur (Amadei and Stephansson, 1997). Ayrıca Hoek ve Brown, 1980' de bir yeraltı açıklığının şeklinin (eksenler oranının) seçiminde birincil gerilmelerin oranının göz önünde bulundurulması gerektiğini araştırmıştır (Hoek ve Brown, 1980).

Kaya kütlesi içerisinde oluşan gerilmeler, örtü tabakasının ağırlığına ve jeolojik tarihçeye bağlı olarak meydana gelmekte ve değişmektedir (Kun, 2010). Kaya kütlesi içerisinde meydana gelen birincil gerilmelerin büyüklüğü derinlikle artmaktadır. Yeraltı açıklıklarında da gerilmeye bağlı yenilmeler derinliğin artmasıyla artmaktadır. Özetle, bir yeraltı açıklığının şekli ve konumunun, mühendislik sınırlamaları çerçevesinde, mevcut birincil gerilme alanına göre en uygun olacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle üretime geçilmeden önce sahadaki kayaçların içsel parametreleri ile birlikte, sahada olası üretim esnasında karşılaşılabilecek gerilme durumlarının önceden belirlenebilmesi gerekmekte ve bunun için ampirik formüller, analitik yaklaşımlar ve nümerik modellerden faydalanılmalıdır.

3. ODA TOPUK YÖNTEMİ ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Yeraltı doğal taş işletmeciliği yapılabilecek saha her şeyden önce jeolojik olarak detaylı incelenmeli ve araştırılmalıdır. Yöntemin uygulama prensipleri gereği (oda ve topuk geometrisi ve stabilitesi açısından) tektonizmadan çok fazla etkilenmemiş, fay, kırık yada eklem takımı barındırmayan ve kayaç mühendislik özellikleri uygun olan sahalar tercih edilmelidir. Bu amaçla çalışmada, farklı yeraltı işletmeciliği yapılabilecek sahalar jeolojik olarak belirlendikten sonra üretim parametreleri araştırılmıştır.

Çalışmanın tasarım, planlama ve üretim aşamalarında, işyeri emniyeti sağlayarak, üretim oranını maksimum yapan, farklı derinliklerdeki topuk boyutlarının optimizasyonu yapılmıştır. Buna bağlı olarak şekil'2 de belirtilen, beş farklı yöredeki yataklanmalar üzerinde çalışılmış ve öncelikle bu yörelerden alınan numunelere laboratuvar ortamında tekno-mekanik testlere tabi tutulmuştur. Test sonuçları çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan numunelerin teknomekanik test sonuçları.

Kayaç Adı	Mohs Sertliği	Birim Hacim Ağırlığı gr/cm ³	Özgül Ağırlık	Porozite %	Tek Eksenli Basınç Dayanımı MPa	Eğilme Dayanımı kgf/cm ²
Muğla Beyaz	3	2,56	2,59	0,41	62	189
Afyon Beyaz	3	2,73	2,75	0,25	72	151
Marmara Beyaz	3	2,71	2,73	0,28	75	-
Burdur Bej	3-4	2,70	2,71	0,60	102	-
Bursa Bej	3-4	2,68	2,70	0,95	166	-



Muğla Beyaz Mermer Ocağı



Afyon Beyaz Mermer Ocağı



Marmara Beyaz Mermer Ocağı



Burdur Bej Mermer Ocağı



Bursa Bej Mermer Ocağı

Şekil 2. İncelenen örneklerin üretildikleri mermer ocakları ve ocak geometrileri.

Çalışmada ele alınan numuneler için laboratuvar ortamında yapılan tek eksenli basınç dayanımlarından yararlanılarak, olası topuk stabilite analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde, topuk boyutları belirlenen işyeri emniyetine uygun güvenlik katsayısında (min k= 3) maksimum üretim oranı sağlayan topukların stabilite ve boyutları analiz edilmiştir. İşletmelerin ekonomikliğini belirleyen önemli parametrelerden biri olan üretim oranı, yeraltı işletmelerinde artan derinlik, topuk boyutlandırması ve üretim hedeflerinden etkilenmektedir. Bu bağlamda Çizelge 2' de, farklı derinlik ve farklı topuk geometrilerinde ele alınan ocaklar

göz önünde bulundurularak hesaplanan birincil gerilme değerleri ve üretim oranları ortaya konulmaktadır.

Çizelge 2. Yeraltı mermer işletme modelinde farklı derinlikteki topuk boyutlarında hesaplanan birincil gerilme değerleri ve üretim oranları

Topuk boyutları; (m)			Üretim oranı (%) e	Farklı İşletme derinliklerinde topuklara etki eden eksenel basınç değerleri (σ_p) (kg/cm ²)					
W_p	W_L	W_r		200 m.	150 m.	100 m.	75 m.	50 m.	25 m.
3	3	4	81,6	272,22	204,17	136,11	102,08	68,05	34,027
3	3	6	88,8	450	337,5	225	168,75	112,5	56,25
3	3	8	92,5	672,22	504,17	336,11	252,08	168,05	84,02
3	3	10	94,6	939,55	704,67	469,78	352,33	234,89	117,44
4	4	4	75,0	200	150	100	75	50	25
4	4	6	84,0	312,50	234,38	156,25	117,19	78,13	39,06
4	4	8	88,8	450	337,5	225	168,75	112,5	56,25
4	4	10	91,8	612,50	459,38	306,25	229,69	153,13	76,56
5	5	4	69,1	162	121,5	81	60,75	40,50	20,25
5	5	6	79,3	242	181,5	121	90,75	60,50	30,25
5	5	8	85,2	338	253,5	169	126,75	84,50	42,25
5	5	10	88,8	450	337,5	225	168,75	112,50	56,25
6	6	4	64,0	138,88	104,16	69,44	52,08	34,72	17,36
6	6	6	75,0	200	150	100	75	50	25
6	6	8	81,6	272,22	204,17	136,11	102,08	68,05	34,02
6	6	10	85,9	355,55	266,67	177,78	133,33	88,89	44,44
8	8	4	55,5	112,50	84,38	56,25	42,19	28,18	14,06
8	8	6	67,3	153,12	114,84	76,56	57,42	38,21	19,14
8	8	8	75,0	200	150	100	75	50	25
8	8	10	80,2	253,12	189,84	126,56	94,92	63,28	31,64
10	10	4	48,9	98	73,5	49	36,75	24,50	12,25
10	10	6	60,9	128	96	64	48	32	16
10	10	8	69,1	162	121,5	81	60,75	40,50	20,25
10	10	10	75,0	200	150	100	75	50	25

Çizelge 2' de 200 metre ile 25 metre arası değişen derinliklerde, değişken topuk boyutlarında karşılaşılabilecek üretim oranı (e) ve bu derinliklerde oluşacak birincil gerilmelerin değerleri hesaplanmıştır. Üretim oranı hesaplamasında 1 nolu eşitlik kullanılırken, çizelge 3'de, Muğla Beyaz mermeri için, farklı işletme geometrilerinde hesaplanan üretim oranları ve güvenlik faktörü değerleri örnek olarak verilmiştir. Diğer tüm mermer türleri için aynı hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 3. Muğla Beyaz mermeri için seçilen farklı işletme geometrileri için hesaplanan üretim oranları ve güvenlik faktörü değerleri.

İşletme geometrisi (m)			Üretim oranı (%)	Yeraltı işletme derinliklerine bağlı güvenlik faktörü değerleri					
w_p	w_L	w_R		e	200m.	150m.	100 m.	75 m.	50 m.
3	3	4	82	2,28	3,04	4,56	6,07	9,11	18,22
3	3	6	89	1,38	1,84	2,76	3,67	5,51	11,02
3	3	8	93	0,92	1,23	1,84	2,46	3,69	7,38
3	3	10	95	0,66	0,88	1,32	1,76	2,64	5,28
4	4	4	75	3,10	4,13	6,20	8,27	12,40	24,80
4	4	6	84	1,98	2,65	3,97	5,29	7,94	15,87
4	4	8	89	1,38	1,84	2,76	3,67	5,51	11,02
4	4	10	92	1,01	1,35	2,02	2,70	4,05	8,10
5	5	4	70	3,83	5,10	7,65	10,21	15,31	30,62
5	5	6	79	2,56	3,42	5,12	6,83	10,25	20,50
5	5	8	85	1,83	2,45	3,67	4,89	7,34	14,67
5	5	10	89	1,38	1,84	2,76	3,67	5,51	11,02
6	6	4	64	4,46	5,95	8,93	11,90	17,86	35,71
6	6	6	75	3,10	4,13	6,20	8,27	12,40	24,80
6	6	8	82	2,28	3,04	4,56	6,07	9,11	18,22
6	6	10	86	1,74	2,33	3,49	4,65	6,98	13,95
8	8	4	56	5,51	7,35	11,02	14,70	22,04	44,09
8	8	6	67	4,05	5,40	8,10	10,80	16,20	32,39
8	8	8	75	3,10	4,13	6,20	8,27	12,40	24,80
8	8	10	80	2,45	3,27	4,90	6,53	9,80	19,60
10	10	4	49	6,33	8,44	12,65	16,87	25,31	50,61
10	10	6	61	4,84	6,46	9,69	12,92	19,38	38,75
10	10	8	70	3,83	5,10	7,65	10,21	15,31	30,62
10	10	10	75	3,10	4,13	6,20	8,27	12,40	24,80

Hesaplanan güvenlik katsayıları, kayaca ait tek eksenli basınç dayanım değerinin, topuğa etki eden eksenel basınca oranlanması ile elde edilmiş ve çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı yeraltı mermer ocakları için derinliğe bağlı güvenlik katsayıları

Derinlik (h) metre	Muğla Beyaz	Afyon Beyaz	Marmara Beyaz	Burdur Bej	Bursa Bej
25	5,28	6,13	6,39	8,68	14,13
50	2,64	3,07	3,19	4,34	7,07
75	2,46	2,04	2,13	2,87	4,71
100	2,02	2,86	3,03	2,17	3,53
150	2,33	2,13	2,13	2,27	2,36
200	2,28	2,03	2,10	2,13	2,47

Çizelge 5’ de ise, topuk stabilitesini ifade eden güvenlik katsayısı ile işletme verimliliğini ve dolayısıyla ekonomisini etkileyen işletme derinlikleri arasındaki ilişki verilmektedir.

Çizelge 5. Farklı yeraltı mermer ocakları için derinliğe bağlı üretim oranları

Derinlik (h) metre	Muğla Beyaz	Afyon Beyaz	Marmara Beyaz	Burdur Bej	Bursa Bej
25	94,60	94,60	94,60	94,60	94,60
50	94,60	94,60	94,60	94,60	94,60
75	92,50	94,60	94,60	94,60	94,60
100	91,80	92,50	92,50	94,60	94,60
150	85,90	88,80	88,80	88,80	94,60
200	81,60	85,90	85,90	88,80	92,50

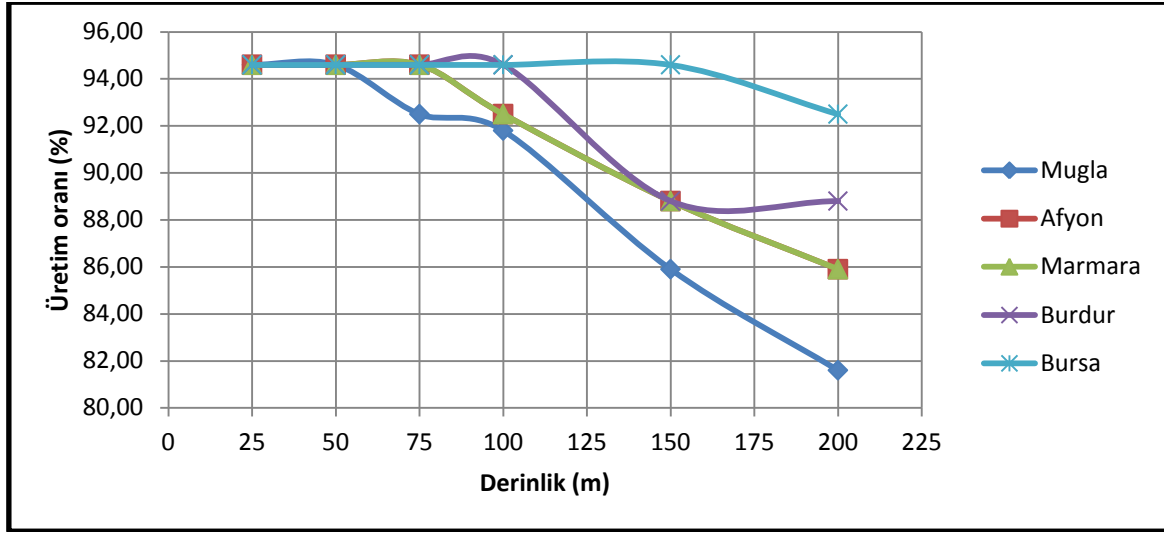
4. DEĞERLENDİRMELER

Hesaplamaların değerlendirilmesinde, işletme verimliliği ve maliyet ekonomisi göz önüne alınmıştır. Buna göre yeraltı mermer işletmelerinde, ideal topuk genişliği (w_p) ve topuk boyu (w_L) belirlenirken, maksimum üretim oranı (e) dikkate alınmıştır. Topuk tasarımının geliştirilmesinde, üretimi ve işletme karlılığını maksimize eden “ e ” değeri en az % 90 olarak seçilmiş ve emniyetli çalışma ortamı sağlayan güvenlik katsayısının da, güvenli ve ideale yakın ($k=2$) değerlerde olması sınılayıcı faktör olarak alınmıştır.

Buna göre Muğla, beyaz mermeri için; 75 metre derinliğe kadar $w_p = 3m$, $w_L = 3m$ topuk boyutlarının en yüksek verimi sağladığı, işletme derinliğinin 150 metreye kadar olması durumunda, topuk boyutlarının arttığı (min $w_p = 4m$, $w_L = 4m$) ve üretim oranının %91 ve derinliğin 200 metreye kadar olması halinde, topuk boyutlarının en az 6x6 metre olması gerektiği fakat bu durumda üretim oranının %81’ e kadar gerilediği hesaplanmıştır.

Afyon ve Marmara yöreleri beyaz mermeri için; 100 metre derinliğe kadar $w_p = 3m$, $w_L = 3m$ topuk boyutlarının en yüksek verimi sağladığı, işletme derinliğinin 150 metreye kadar olması durumunda, topuk boyutlarının arttığı (min $w_p = 4m$, $w_L = 4m$) ve üretim oranının %90 ların altına düştüğü ($e=\%85-88$) hesaplanmaktadır. Derinliğin 200 m. olması halinde topuk boyutlarının en az 6x6 metre olması halinde dahi, üretim oranının %80’ lere düştüğü görülmektedir.

Burdur yöresi bej mermerleri için; 100 metre derinliği kadar $w_p = 3m$, $w_L = 3m$ topuk boyutlarının en yüksek verimi sağladığı, işletme derinliğinin 200 m. olması halinde ise topuk boyutlarının en az 4x4 metre olması gerektiği ve bu durumda üretim oranının %88’ e gerilediği görülmektedir. Bursa yöresi bej mermerleri için ise, 200 metreye kadar olan işletme derinliklerinde, ideal topuk boyutlarının 3 x 3 metre olduğu ve bu geometrinin %92,5 üretim oranını sağladığı yapılan hesaplamalarda ortaya konulmuştur. Şekil 3’ de, oda topuk üretim yöntemi şartlarına göre hazırlanan üretim oranı, derinlik ilişkisi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, 100 metreye kadar olan derinliklerde, üretim oranları %90’ ın üzerinde kalırken, derinlik arttıkça üretim oranları düşmekte ve dolayısı ile topuk boyutları yükselmektedir.



Şekil 3. Oda topuk üretim yöntemi şartlarına göre hazırlanan üretim oranı, derinlik ilişkisi.

5. SONUÇLAR

Yeraltı mermer ocak tasarımında, topuk geometrilerinin belirlenmesinde temel iki faktör üretim oranı ve işyeri emniyetidir. Bu faktörler de, işletme sahasının derinliği ile ilişkilidir. Belirli bir seviyenin altında açık işletme yöntemleri ile çalışmak ekonomik olmamaktadır. Bununla beraber; yeraltı üretiminde odaların ve bırakılacak topukların boyutlarının belirlenmesi, hem işletme ekonomisi hem de çalışma emniyet açısından uzmanlık gerektiren bir işlemdir.

Bu bağlamda ele alınan 5 farklı mermer işletmesi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, mermer işletmelerinin jeolojik parametrelerinin yeraltı işletmesine uygun olması durumunda, yüksek üretim oranlarında çalışılabilmesi için, kayaçların tekno mekanik özellikleri ile orantılı olarak 100 metreye kadar olan sığ derinliklerde 3x3 m. ya da 4x4 m. topukların ideal topuk boyutları olduğu saptanmıştır. İşletme derinliklerindeki artış, topuk boyutlarının belirlenmesinde, tek eksenli basınç dayanımını daha etkin hale getirmektedir. Yüksek tek eksenli basınç dayanımına sahip mermerin daha derinde, daha küçük topuk boyutları ile güvenli ve dolayısı ile yüksek üretim oranında işletilmesi mümkündür.

Bu bakımdan yeraltı mermer işletmeciliğine geçilmeden önce, mutlaka kayacın içsel parametreleri ile birlikte derinlik, üretim oranı, güvenlik faktörü ve topuk geometrisi, planlama aşamasında net olarak ortaya konulmalıdır.

KAYNAKLAR

Akkoç T. (2003). “Derin Mermer Yataklarının Yeraltı Üretim Yöntemleriyle İşletilebilirliğinin Araştırılması”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, s.113

Amadei, B., Stephansson, O. (1997): “*Rock Stress and Its Measurement*” London: Chapman and Hall, s.490.

Barron, K., (1984): “An Analytical Approach to The Design of Coal Pillars”, *CIM Bulletin*, cilt. 77, no.868, s.118-124.

- Bieniawski, Z. T. (1984): “*Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*, A. A. Balkema, Rotterdam, s.272
- Hardy, P., Agapito, J. F. T., (1982): “Induced Horizontal Stress Method of Pillar Design in Oil Shale., *XV Oil Shale Symp.* Colorado School of Mines, Golden, Colorado, no.1.
- Hedley D.G.F ve Grant F. (1972): “Stope and Pillar Design for the Elliot Lake Uranium Mines”, *CIM Trans.*, s.121- 128.
- Hoek, E., Brown, E.T. (1980): “*Underground Excavations in Rock*” London: England.
- Kimmelman, M. R., Hyde, B., Madgwick, R. J., (1984): “The Use of Computer Applications at BCL Limited In Planning Pillar Extraction and Design of Mining Layouts.” *Proc of the ISMR Symp. Design and Performance of Underground Excavations.* Brit. Geotech. Soc., London.s.53-63
- King, H. J. and Whittaker, B.N. (1971): “A Review of Current Knowledge on Roadway Behaviour, Especially the Problems on Which Further Information is Required”, *Proc. of the Symposium on Strata Control in Roadways*, University of Nottingham, s.73-89.
- Kulaksız, S., (2012): “Anadolu Antik (Mermer) Doğaltaş ve Ocakları ve Harran Bazda Yer altı Ocak İşletmesi”, *8’inci Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi*, Afyon, cilt.1, s.1-7
- Kun, M., Onargan, T., (2013): “Influence of The Fault Zone In Shallow Tunneling: A Case Study of Izmir Metro Tunnel”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, cilt.33, s.34-45.
- Sjöberg, J., (1992): “Failure Modes and Pillar Behaviour in the Zinkgruvan Mine.” In: Proc., *33. U.S. Rock Mech. Symp.*, Santa Fe. A. A. Balkema Publ., Rotterdam.
- Stacey, T.R. ve Page, C. H. (1986): “*Practical Handbook for Underground Rock Mechanics*” , Trans Tech Publications.
- Potvin, Y., Hudyma, M. R., Miller, H. D. S.,(1989): “Design Guidelines For Open Stope Support”. *Bull. Can. Min. Metall.*, vol.82, s. 53-62
- Whittaker, B. N. (1984): “Chain Pillar Design Considerations With Reference to Longwall Mining, *The Coal Journal* (Australia), August, s.50-58.