

## **BLOK İŞLETMECİLİĞİNDE ELMAS TEL VE BONCUK PERFORMANS ANALİZİ**

Servet DEMİRDAĞ Lutfullah GUNDUZ

SDU Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İSPARTA

### **ÖZET**

Mermer blok işletmeciliğinde elmas tel kullanımı yaygın bir uygulamadır. Farklı karakteristik yapılarıdaki elmas boncuklar, elmas tel kesiminin bel kemiğini oluşturmaktadır. Sinterize elmas boncukların aşınma dinamiği ve tel kesme performanslarının belirlenmesine yönelik bir çalışmanın bulguları bu makalede sunulmuştur. Özellikle Burdur Bej mermerine ait ocak kesim performans analizleri burada tanımlanmış olup, sinterize elmas boncuk aşınma dinamiğinin sistematik detaylandırılmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Blok İşletmeciliği, Elmas Tel, Sinterize Boncuk, Kesim Performansı

### **DIAMOND WIRE SAWING AND BEAD PERFORMANS ANALYSIS IN MARBLE QUARRIES**

### **ABSTRACT**

The usage of diamond wires is widely applied in marble block quarries. The diamond beads in different characteristic structures are the main point for the diamond wire sawing applications. In this paper, the research findings of an analysis for the determining the cutting performance of diamond wires used for the abrasion dynamics of sintered beads were presented. Especially the cutting performance of marble quarry of Burdur Beige Marble was defined and the systematical abrasion dynamic for sintered beads were detailed.

**KeyWords:** Block Quarry, Diamond Wire, Sintered Beads, Cutting Performance

## İ. GİRİŞ

Mermer ocak blok işletmeciliğinde günümüzde e.ı yaygın olarak kullanılan üretim şekli, elmas tel ile kesim yöntemidir. Kesilecek kayaç özelliklerine bağımlı olarak farklı tip ve özellikte elmas tel uygulamaları gözlenebilmektedir. Mevcut olarak çalışmakta olan ocak işletmelerinde, tel kesimi uygulamalarının çok farklı şekillerde yapıldığı gözlenmektedir. Birlikte, kullanılan tel ve tel kesme ekİDmanının teknik konumuna göre, aynı tür bir kayaç üzerinde farklı kesim randımanları alınabilmektedir. Bir ocakta, kesim randımanının optimizasyonunun sağlanması, işletmede uygulanan tel kesim ünitesinin belirli parametrelerle bağımlı olarak uyarlanması ve kesim öncesi saatlik kapasite ve randıman değerinin olası değeri önceden rahatlıkla kestirilebilmesi gerekmektedir. Ancak, güncel olarak görülen olgu ise, işletmelerde bu tarz yaklaşımların çok fazla kullanılmadığıdır. Bir dizi ocak işletmesinde yapılan teknik analizler ve irdelemeler sonucunda, tel kesim performans kriterleri ve kesim randımanı değerlerinin belirlenmesine yönelik algoritmik yaklaşımlar geliştirilerek tanımlanmıştır. Bu çalışmada, yapılan bu saha analizleri ve elde edilen pratik olarak kullanılabilir yaklaşımlar tanımlanmış olup. uygulama ve değerlendirme prensipleri tartışılmıştır.

Diğer taraftan, elmas tel kesim işleminde, bloğu ana kayacı koparan ünite, tel halat üzerindeki elmas boncuklardır. Bu boncuklar üretim şekline göre sinterize ve elektrolitik kökenli olmak üzere iki tip olup, her birinin kullanım özellikleri birbirinden farklılıklar arz etmektedir. Kesim işlemi sürecinde, kayacın tekno-mekanik özelliğine göre her bir elmas boncuğun bir kullanım ömrü bulunmaktadır. Bu kullanım ömrü, kesilecek kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkili bir olgudur. Ancak, elmas boncuk kullanımı ve ömrü üzerinde, kayaç özellikleri arasındaki ilişkisel yaklaşımlar, henüz yeterince açıklığa kavuşturulmamış bir burumdur. Bu amaçla, elmas tel kesimde, kayaç bloğunun oluşum, bulunuş ve struktur yapısına göre elmas boncukların gerek kesim performansı ve gerekse kullanım ömrü süreci detay bir inceleme konusu olmaktadır. Farklı özelliklere sahip olan mermer bloklarının sahada elmas tel kesme ile kesim performans kriterlerinin belirlenmesi ve boncuk ömürlerinin araştırılması üzerine, detay bir deneysel ve gözlemsel Ar-Ge çalışması yapılmış olup, kaya mekaniği prensipleri çerçevesinde performans ilişkileri algoritmik olarak tanımlanmıştır. Elmas tel kesimde boncuk ömrü; kesim sürecinde boncuk-kayaç arasında sürtünme ile oluşan yüzeysel aşınma olgusu olarak belirlenmiş olup. kayaç özellikleri (basınç dayanımı, gözeneklilik derecesi, birim ağırlık değeri ve elastisite özellikleri v b.) ile boncuk matris yapının aşınarak deformasyona uğraması, matematiksel olarak formülize edilmiş olup. nümerik ifadelerle dinamik analiz modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, kesilen kayacın özellikleri bağımlı değişkenler olarak tanımlanmış olup. algoritmik eşitlikler daha detaylı hale getirilmiştir. Bu makalede, elmas tel kesme ve boncuk aşınma dinamiği üzerine yapılan deneysel bulgular sunulmakta olup. geliştirilen dinamik modeller ve istatistiksel eşitlikler detay olarak irdelenmektedir.

## 2. ELMAS TEL VE KULLANIMI

Elmas tel. ocaklarda ve fabrikalarda mevcut teknoloji ile en düşük maliyet ve en yüksek performansı sağlayan kullanışlı bir ekipmandır. Elmas teller, yapıları itibarı ile genel olarak üç ana gruba ayrılmaktadır [1].

1. Lektroplate elmas boncuklar,
2. Sintenze elmas boncuklar,
3. Kimyasal yapıştırılmalı elmas boncuklar.

Elmas boncuk çapları, kullanım amaçlarına ve Üretim teknolojisine göre farklı çap değerlerinde olabilmektedir. Ocak üretiminde blok kesme işleminde kullanılan boncuk çapları, süs işçiliğinde kullanılan boncuk çaplarından daha büyük boyutlarda olmaktadır. Genel bir kullanım olarak; elmas boncuk dış yüzey çapları, 8 mm, 8.8 mm, 10 mm, 10.2 mm, 10.5 mm ve 11mm değerlerinde olabilmektedir. Yüzük çapları. 7 mm, 8 mm, 8.5 mm olarak değişmektedir. Yüzük iç çapları İse, 4.2 mm ve 5.1 mm olarak değişim gösterebilmektedir. Tel yapısında kullanılan çelik halat çapları ise, 4.0 mm, 4.8 mm ve 4.9 mm olabilmektedir. Elmas boncuğun matriks yapısının hacmi hesaplandığında en yüksek oranın 11.0 mm çapındaki elmas boncuklarda elde edildiği görülmektedir. Bu oran, boncuk çapı küçüldükçe düşmektedir. Diğer bir deyişle, aynı özelliklere sahip matriks yapılar olduğu varsayıldığında, en fazla matriks yapı, 11.0 mm dış çaplı elmas boncukta mevcut olup, çaplar düştükçe kullanılan matriks yapının miktarının da düştüğü görülmektedir [1]. Aynı özelliklere sahip bir matriks yapının kullanıldığı iki farklı çaptaki elmas boncuğun performansı kıyaslandığında ise. doğal olarak çapı büyük olan elmas boncukta daha yüksek bir performans elde edilmektedir.

### 3. ELMAS TELİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Elmas tel, koşum yönünde belirli bir süre kullanıldıktan sonra, tel üzerinde dizili şekilde bulunan pul, yay ve halat hasar görmekte olup, bu elemanların yeniden dizilmesi gerekmektedir. Bu uygulama yapılmadığı takdirde, pul ve yay bozulmadan dolayı görevini yapamamakta, elmas boncuk dönme kabiliyetini ve dizim esnekliğini yitirerek, elmas boncukların tek taraflı aşınmasına neden olmaktadır. Böylece elmas boncuk, tek taraflı aşınmaya maruz kalarak, yeterli optimum kullanım ömrünü tamamlay amadan, kullanılamayacak bir duruma gelmektedir. Boncuklardaki aşınma, genelde koşum yönünde konikleşen bir geometri göstermektedir. Elmas boncuğun yüzük yapısı ise, son derece sert bir çelikten yapılmış olması gerekmektedir. Aksi takdirde, çelik yüzüğün iç çapında bir genişleme söz konusu olacağından, incelmış çelik halatta kopmalar meydana gelebilecektir [2].

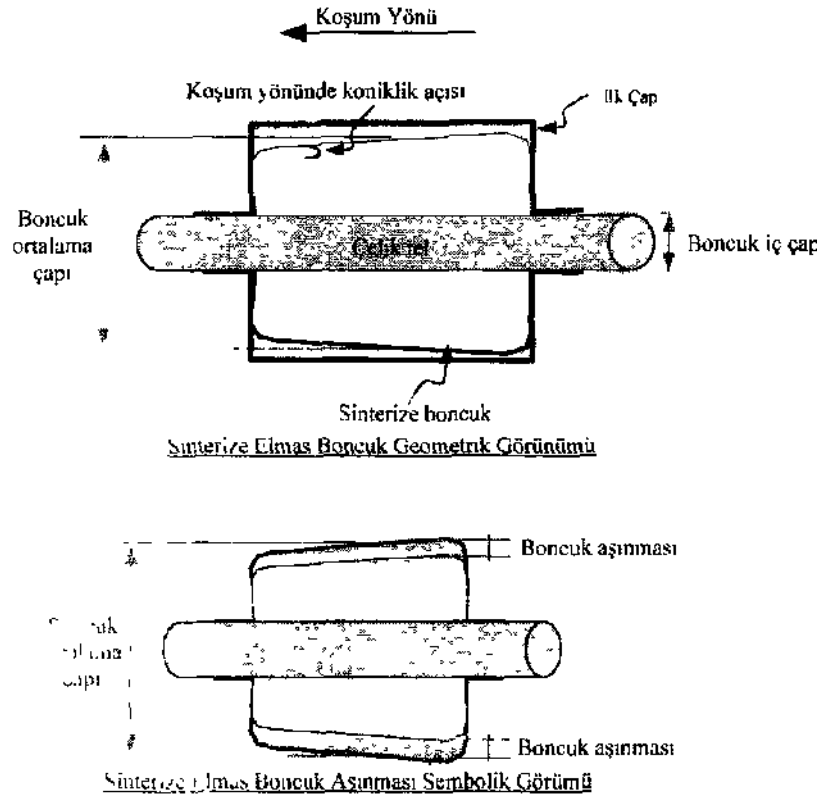
Kimyasal kaynaklama ve elektrolitik elmas boncuklarda, elmas taneciklerinin görevini yapmadan kaybı söz konusu olacağından, matriks yapı, ideal bir sertliğe sahip olmalıdır. Sinterize elmas boncuklarda ise, matriks yapının aşınabilirliği ile elmas taneciklerinin kesim kapasiteleri uyumlu olmalıdır. Aksi takdirde, aşın sert yapıdaki bir matriks yapıda, yüzeydeki elmaslar görevini tamamladıktan sonra matriks yapı aşınmayacak ve alttaki elmaslar yüzeye çıkamayıp görevlerini yapamayacaklardır. Bu durumda kesilmesi gereken alan, istenilen performansta kesilemeyecek ve tel kesme makinasının çalışma verimi düşecektir.

Kesimi yapılacak kayaç yapısının sertliği, telin kesim performansını direkt olarak etkileyen faktörlerden biridir. Yapının sertliği, strüktürde bulunan silis oranının bir fonksiyonu şeklinde tanımlanabilmektedir. Yapı ne kadar sert ve aşındırıcı olursa, elmas tanecikleri ve matriks de, o oranda fazla aşınacak ve elmas boncuk ömrünü daha kısa sürede tamamlayacaktır [2]. Diğer taraftan, kayaç yapısındaki demir, zımpara, quartz, vs gibi yüksek sertlikte ve aşındırıcılık özelliğine sahip olan maddeler, elmasın sertliğine yakın bir sertlikte oldukları için, elmas boncukların daha hızlı aşınmasını sağlayarak, boncuğun ömrünün azalmasına sebep olacaktır.

Diğer bir faktör ise. elmas telin kesim hızıyla tel kesme makinasının çalışma uyumudur. Kısa zamanda yüksek bir üretimin amaçlandığı durumlarda, yüksek amper değerlerinde çalıştırılan makineler. elmas boncukların normalden çok daha fazla bir şekilde zorlanmasına neden olarak, kısa sürede tükenmesinde Önemli bir etken olmaktadır [3].

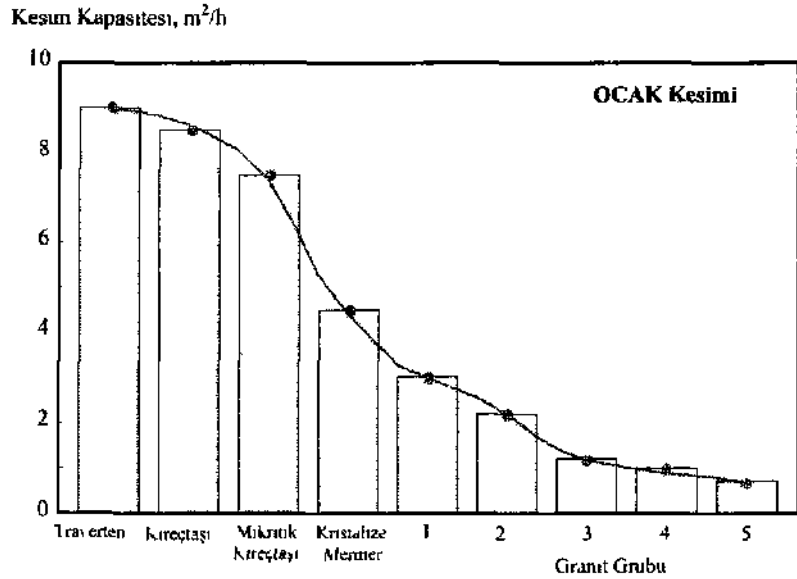
#### 4. SİNERİZE ELMAS BONCUKLAR İÇİN PERFORMANS KESTİRİMİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Bilindiği gibi, sinterize elmas boncuklar ilk üretildiklerinde, ilk dış çapları 11 mm ile 10-55 mm olabilmektedir. Ancak bu özellikteki boncuklar, ocakta ana kütleden blok üretimi için elmas tel kesmede çelik halat üzerinde dızilimli olarak kullanıldıklarında, belirli bir kesim sonrasında giderek aşınmakta ve silindirik boncuk görünümündeki geometrileri, koşum yönündeki kısa kenar tarafında konik bir geometriye dönüşürler (Şekil 1). Bu aşınma sürecinde, tanımlanabilen oranlarda mermer kesimi yapılmaktadır. Ancak, kesim zamanı ve kesim miktarı arttıkça, boncuklardaki aşınma da o oranda bir artış göstererek, boncuk çapı giderek azalmaktadır. Boncuk çapındaki azalma, belirli bir değerin üzerine ulaştığında ise, bu boncuklar veya boncuk dizilimli tel, ana kütleden blok üretimi İşlemindeki kesim ünitesinden alınarak, ya sayalama makinalarına aktarılır ya da monotel uygulamalarında kullanılmak üzere, elmas tel stokuna alınır. Sayalama veya monotel uygulamalarında kullanılan elmas boncuk çapları, nihai olarak 9.6 mm veya 9.5 mm civarlarına indirildiğinde, bu boncuklar ömrünü tamamlamış olarak kesim uygulamalarından tamamen alınırlar. Bu rakamsal değerler, günümüzde işletmelerde pratik olarak gözlenen ve uygulanan değerler olarak kabul edilmektedir.

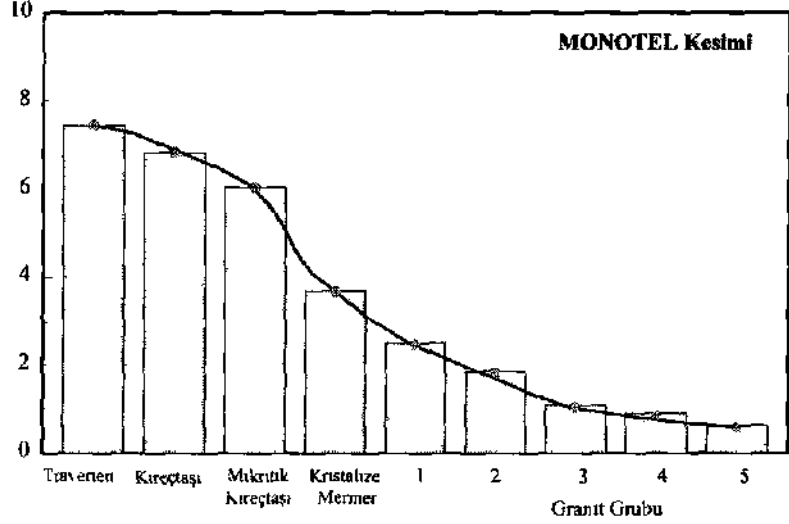


Şekil 1. Sinterize Elmas Boncukların aşınma olgusu.

Ancak, sinterize elmas boncuklardaki bu aşınma olgusu ve buna bağımlı olarak elde edilen mermer kesim kapasite değerleri, her bir mermer ocak işletmesinde aynı değerlerde değildir. Yapılan pratik gözlemler ve İncelemeler, boncuğun yapısına, uygulamadaki kullanımına ve kesilen kayacın yapısına göre, boncuk aşınması ve buna karşılık gelen kesim kapasite değerlerinin çok farklılıklar arz ettiği gözlenmiştir. Bu bakımdan, elmas telle kesme yönteminde, boncukların aşınma olgusu sürecinde, elde edilebilecek kesim kapasitesi değerinin belirlenmesi ve incelenmesi, detay analizleri ve araştırmaları gerektiren bir konu olmaktadır. Böylesi bir araştırmada, boncuğun yapısı ve geometrisine bağımlı olarak, kesimi yapılacak kayacın türünün yapısal özellikleri de dikkate alınarak kesim kapasitesi, boncuk ömrü ve üretimde elde edilen randıman değerleri hassas bir şekilde tanımlanabileceği gibi, işletmenin daha optimum değer ve şartlarda çalışması sağlanabilecektir. Ayrıca, boncukların hangi kesim değerlerinde, ana kesim ünitesinden alınarak sayalama veya monotel uygulamalarına sevk edilebileceği de ayrıntılı olarak belirlenebilecektir. İşte bu ve benzeri sorulara cevap aramak ve teknik detay bilgileri daha İleri bir boyuta götürmek amacı İle, SDÜ Mermer Teknolojisi Ar-Ge grubu tarafından, değişik mermer ocak işletmelerinde, bir dizi gözlemsel ve teknik araştırma çalışmaları farklı kayacın oluşumları üzerinde yapılmıştır. Araştırma faaliyetleri genelde iki yönde sürdürülmüş olup, birincisi; işletmelerde mevcut olarak kullanılan sinterize elmas boncukların kesimde kullanıldığı kayacın türüne göre, birim kesim kapasite değerleri ve tel ömürlerinin belirlenmesine yönelik incelenmesi işlemidir. Farklı yapısal özelliğe sahip mermer oluşumları kendi arasında 9 ayrı kategoride İncelemeye alınmış olup, sinterize elmas boncukların kullanıldığı elmas tel kesme uygulamalarında, ocak ve monotel kesimlerine ait elde edilen kesim kapasite değerleri analiz edilmiştir. Analiz bulguları. Şekil 2 - Şekil 3'de verilen grafiklerde ortalama değerler olarak özetlenmiştir.



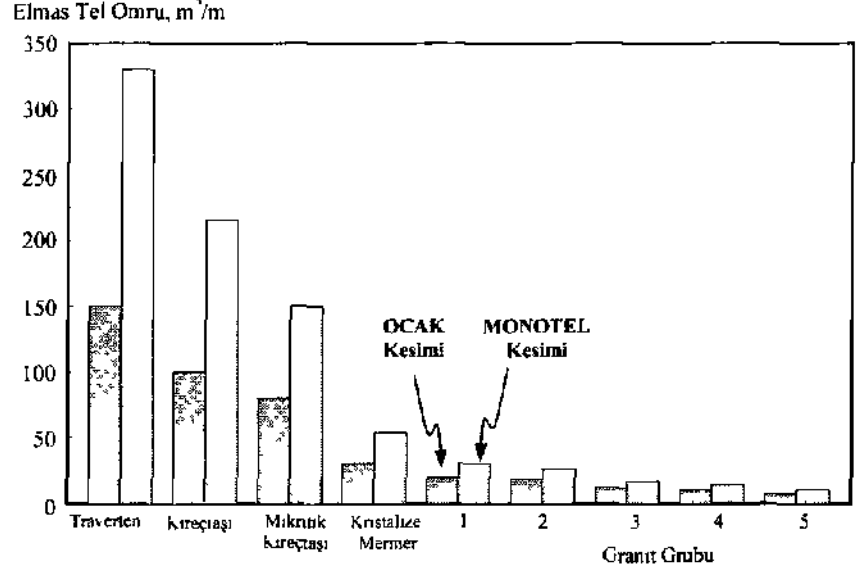
Şekil 2. Sinterize Elmas Boncukların kayacın türüne göre kesim kapasite değerlerindeki değişimi (ocak kesimi uygulamaları için).

Kesim Kapasitesi, m<sup>3</sup>/h

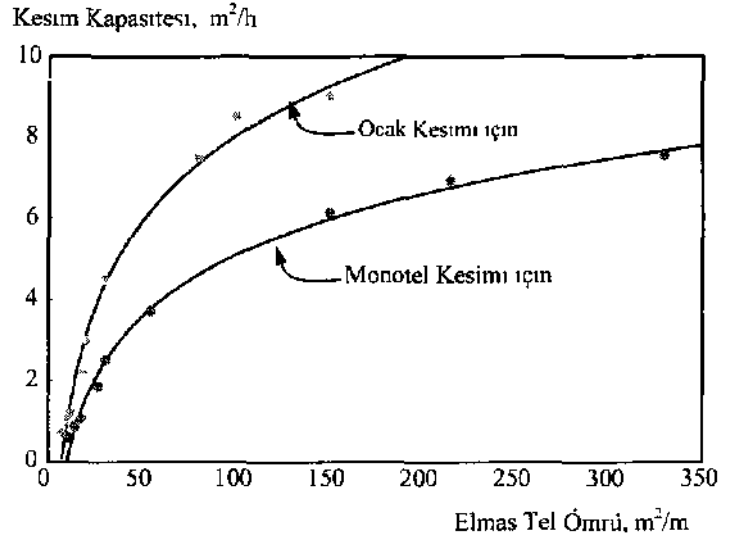
Şekil 3. Sinterize Elmas Boncukların kayaç türüne göre kesim kapasite değeri erindeki değişimi (Monotel kesimi uygulamaları için).

Şekil 2 ve Şekil 3 irdelendiğinde görüleceği gibi, kayacın yapısal özelliği iyileştikçe, diğer bir deyişle kayacın dayanımı arttıkça, ocak kesimi ve/veya monotel kesimi uygulamalarında, kesim kapasite değeri, birim kesim zaman aralığında düşmektedir. Uygulamalarda kullanılan çevresel hız değerine de bağımlı olarak, ocak kesimlerinde elde edilen birim kapasite değerinin, monotel kesimlerinde elde edilen değerden daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, farklı mermer türlerinin kesiminde kullanılan sinterize elmas boncukların kullanım ömrü, genelde 1 metre tel uzunluğundaki tel ile ne büyüklükte bir yüzey alanının kesilebileceği değer, (nr/m) biriminde tanımlanmaktadır. Kayaç türlerinin farklı kesim uygulamalarında elde edilen tel ömrü değerleri, Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4 irdelendiğinde, monotel uygulamalarında, sinterize elmas boncukların kullanım ömrünün, ocak kesimi uygulamalarından daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmektedir. Bu da, monotel uygulamalarında benzer elmas boncuklar ile daha fazla kesim yapılabileceği anlamına gelmektedir.

Yapılan gözlemsel inceleme bulgularına göre, farklı kayaç türleri için ocak kesimi ve monotel kesimi uygulamalarında, elmas tel ömrü ile kesim kapasite değerleri arasındaki ilişkiyel yaklaşım incelenmiş olup, Şekil 5'de verilen ilişki elde edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, tel ömrü ile kesim kapasite değerleri arasında logaritmik olarak değişen bir trend gözlenmektedir. Burada, aynı tel ömrü değerinde, ocak kesiminde ulaşılabilecek kapasite değerinin, monotel kesiminde elde edilecek kesim kapasite değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu analizden çıkarılacak diğer bir sonuç ise, telin optimum olarak kullanılabilmesi için, kesilen kayacın yapısal özelliğine bağlı olarak, belirli bir sınır değere kadar ocak kesiminde kullanılması, bu değer sonrasında aynı telin monotel uygulamasına alınması gerektiğini ifade etmektedir.



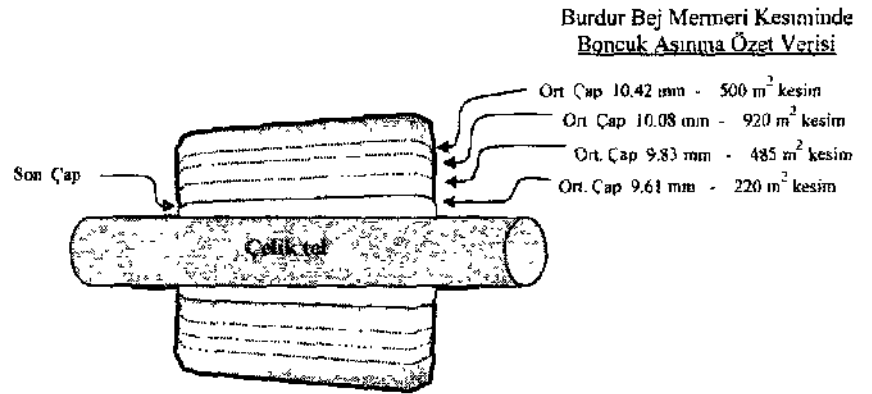
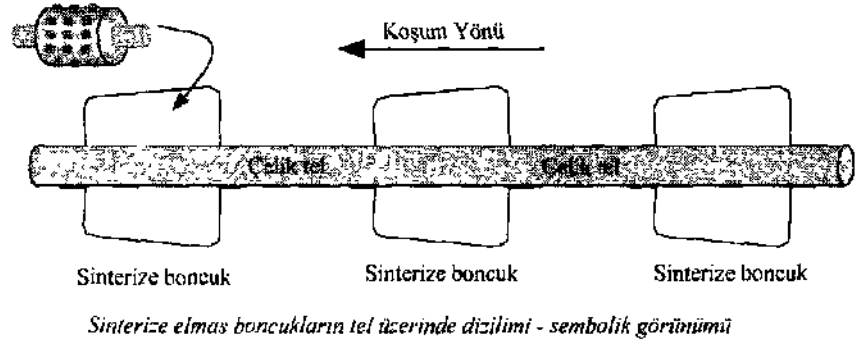
Şekil 4. Sinterize Elmas Boncukların kayaç türüne tel ömrü, (Ocak ve Monotel kesimi uygulamaları için).



Şekil 5. Sinterize elmas boncuklarda tel ömrü ve kesim kapasite ilişkisi.

Bu Ar-Ge çalışmasında ikinci araştırma faaliyeti ise; tüm mühendislik özellikleri ve saha jeolojik detayı bilinen ocakta bir mermer türüne ait kesim randımanının, kullanılan sinterize elmas boncuk aşınmasına bağlı olarak tanımlanması ve işletme için pratik olarak

kullanılabilecek randıman modellerinin geliştirilmesi çalışmasıdır. Bu işlem için, Burdur İli civarında oluşumu bulunan Burdur Bej mermeri ve ocakları, pilot araştırma bölgesi olarak seçilmiş olup, teknik incelemeler bu bölgede yoğunlaştırılmıştır. Bu bölümde, yapılan bu inceleme çalışmalarından Burdur Bej mermerine ait farklı mermer ocaklarında, farklı firma ürünü sinterize elmas boncukların kullanıldığı elmas tel kesimlerine ait saha verileri, üretim süreci boyunca zamana bağımlı olarak rapor edilmiştir. Rapor edilen veriler genelde, kullanılan boncuk türü ve birim kesim miktarı  $m^2$  olarak alınmıştır. Kesime bağımlı olarak, elmas tel koşum yönündeki belli bir dizilime sahip boncuklarda meydana gelen aşınma, elektronik kumpas ile ölçülmüş, kesitteki aşınma miktarları ve oran değerleri ve ayrıca, kesilen kayacın mühendislik özellikleri ile kesim ortamının sayısal değişken değerleri, detay olarak rapor edilmiştir. Saha verilerinden, zamana bağımlı düzenli veri kümeleri oluşturulmuş olup, ileri mühendislik istatistiği ve matematik modelleme yöntemleri kullanılarak, bir dizi analiz algoritmaları geliştirilmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki paragraflarda, yapılan teknik analiz modelleri ve bulgular detay olarak tartışılmıştır. Bu inceleme çalışmasında baz olarak ele alınan boncuk türüne ait teknik detay Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Araştırmada kullanılan sinterize elmas boncuk detayı.



Araştırma faaliyetleri sürecinde gözlem yapılan ocaklarda, kullanılan elmas tel kesme ekipmanlarının çeşitliliği hemen göze çapmakla birlikte, bu ekipmanların kullanımları sürecinde, elmas tef kesmede, kesim performanslarının belirlenmesine yönelik pek fazla rakamsal veriye rastlanılamamakla birlikte, boncuk aşınmasına bağımlı olarak, performans kriterlerinin ne ölçüde değiştiği de pek fazla dikkate alınan bir durum olarak görülmemiştir. İşletmelerdeki bu teknik veri eksikliği, üzerinde durulması gereken önemli bir husustur. Genelde karşılaşılan olgu, ocakta elmas tel ile kesme performansının, kesilen mermer blok yüzeyi değerleri ile ifade edildiği gerçeğidir. Ancak, bu kesim ünitesinden % ne kadar performans alınabildiği veya diğer bir deyişle, elmas tel kesme ünitesinin rantabl olarak ne kadar kullanılabilirdiği hususunda çok fazla veriye ulaşılamamaktadır. Burada öncelikle, ocak işletmesinde kullanılan kesim ekipmanının çalışma prensibine, kesimi yapılan mermer bloğunun genel malzeme karakteristiğine ve kesimde kullanılan tel türüne bağımlı olarak, yapılan uygulamadan ne kadar verim alınabildiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu verim belirlendiği takdirde, ocaktaki elmas tel kesiminden elde edilen performans değeri tanımlanabileceği gibi, işletmedeki elmas tel kesme uygulamasının rantabl olarak çalışıp çalışmadığı hususunda da yorum yapılabilir.

Elmas tel kesme işleminde elde edilen kesim performansının belirlenebilmesi için aşağıda belirtilen parametre ve verilerin, ocakta kesim sürecinde detay olarak tanımlanması ve rakamsal değerlerin rapor edilerek, gruplandırılması gerekmektedir:

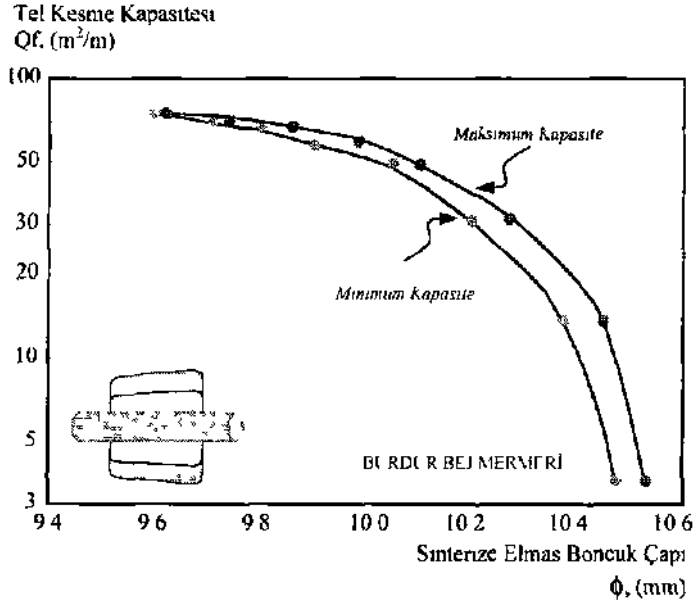
- Elmas tel ile ilgili parametreler:

Elmas telin uzunluğu ve kesim sürecindeki çevresel hız değeri,  
Kesimde kullanılan elmas boncukların türü ve dizilim sayısı.  
Boncuklardaki mm bazında aşınma miktarı,  
Boncuk ömrü,  
Telin saatlik fiili kesim kapasite değeri.

- Kesimi yapılan kayaç ile ilgili parametreler:

Kayacın (mermerin) yerinde (*in-situ*) dayanım değeri,  
- Kayacın görünür porozite değeri,  
Kayacın hacimsel doluluk oranı.  
Kayacın (*in-situ*) kütlece su emme oranı,  
Kayacın birim hacim ağırlık değeri,  
Kayacın elastisite özellikleri.

Yukarıda da değinildiği gibi, bu çalışmada ele alınan sinterize elmas boncuk türünün ilk çap değeri 10.55 mm değerinde olup, Burdur Bej mermerinin ocak kesimi uygulamasında, birim kesilen kayaç yüzeyine karşılık gelen boncuklardaki aşınma değeri, elektronik dijital bir kumpas ile hassas olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm değerleri, tel üzerinde bulunan elmas boncukların, kesim sürecinde aşınması sonucu, konik bir geometrik yapıya dönüşmesi sebebiyle, aşınma değerleri, her bir boncuk için minimum ve maksimum okuma değerleri olarak rapor edilmiştir. Bu iki ayrı okuma değerlerine göre, aşınma olgusunun tanımı ve buna bağımlı olarak kayacın kesim kapasite değeri maksimum ve minimum değerler olarak hesaplanmıştır. Yapılan saha analizlerinden Burdur Bej mermerine ait sinterize elmas boncuk aşınması ve elde edilen kapasite değişimi, Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Boncuk aşınması - ocak kesim kapasitesi ilişkisi

Şekil 7 İrdelendiğinde görüleceği gibi, boncuklardaki aşınma olgusu arttıkça, ocaktaki kesim kapasite değeri de azalmaktadır. Buradan en optimum kapasite değeri, boncuk ömrünün belirlenerek, bu ömre karşılık gelen aşınma değerine göre belirlenmektedir. Bu ilişki, istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup, aşağıdaki ifadeler ile tanımlanmıştır

$$Q_{f(\min)} = 895.05 - 84.778 * \phi$$

$$Q_{f(\max)} = 892.37 - 84.112 * \phi$$

Burada;

$Q_f$  : Ocak fiili kapasite değeri, m<sup>2</sup>/m,

$\phi$  : Elmas boncuk çapı, mm.

Elmas boncuklardaki aşınma sonrası oluşan çap değişim değerleri, uygulamada kesim kapasite değerinin optimizasyonunun daha kolay hesaplanabilmesi amacıyla, % boncuk aşınma değerleri olarak tanımlanarak, ocakta elde edilen birim kesim kapasite değerleri arasındaki değişim incelenmiştir. Bu inceleme bulgusu, Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8 irdelendiğinde görüleceği gibi, boncuklardaki aşınma oranı arttıkça, ocaktaki kesim kapasite değeri de artmaktadır. Buradan en optimum boncuk aşınma değeri belirlenerek, bu aşınma değerine karşılık gelen ocak kesim kapasite değeri belirlenebilmektedir. Bu ilişki, istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup, üstel fonksiyon ifadeleri ile tanımlanmıştır

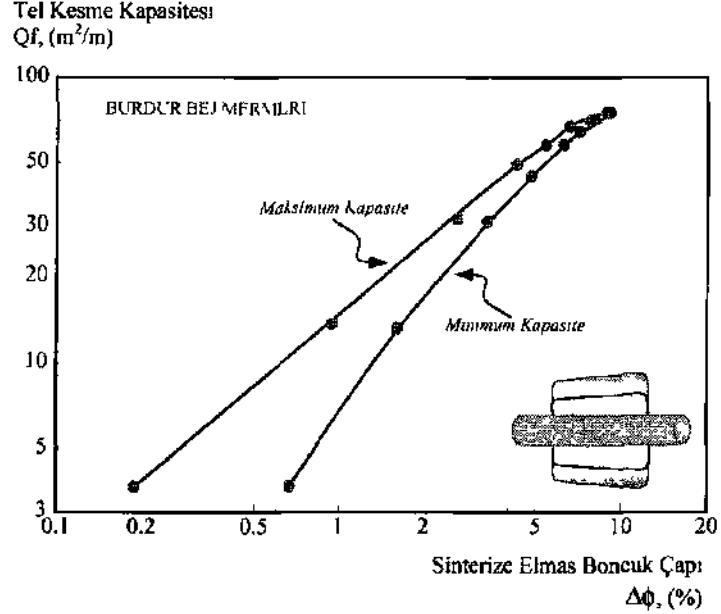
$$Q_{f(\min)} = 14.248 * \Delta\phi^{0.805}$$

$$Q_{f(\max)} = 6.924 * \Delta\phi^{1.160}$$

Burada;

$Q_f$  : Ocak fiili kapasite değeri, m<sup>2</sup>/m.

$\Delta\phi$  : Elmas boncuk aşınma oranı, %



Şekil 8. Boncuk aşınma oranı - ocak kesim kapasitesi ilişkisi.

Elmas boncukların aşınma olgusunun, kesimi yapılan kayacın sertliği, dayanımı ve diğer yapısal özelliklerine bağımlı olarak değiştiği bilinen bir gerçektir. Sert kesim karakteristiğine sahip olan kayaların, elmas tel ile kesim sürecinde, boncuk aşındırma olgusunun daha fazla olduğu açıkça gözlenebilmektedir. Kayacın sertliği, kayacın yapısal strüktüründe kimyasal bir bileşen olarak bulunan silis miktarı ile doğru orantılıdır. Silis oranı arttıkça, kayacın sertliği de artmakta ve buna paralel olarak, kayacın mekanik dayanımında doğrusal olarak bir artış gözlenmektedir. Bu bakımdan, yüksek dayanım mukavemetine sahip olan kayacın, boncuk aşındırma süreci daha kısa olmakta ve bu bağlamda, kayaç için elde edilen kesim kapasite değeri de daha düşük olmaktadır. Bu ilişki, Burdur Bej mermeri için incelenmiş olup, boncuk aşınmasının, kullanılan telin boyu ve kayacın mukavemetine bağımlı olarak matematiksel modellemesi tanımlanmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara dayanılarak, boncuk aşınmasının tanımı için, aşağıdaki modeller geliştirilmiştir (Şekil 9 - Şekil 10):

$$Q_{f(\min)} = L * \sigma_c * (1.916 - 0.813 * \ln \phi)$$

$$Q_{f(\min)} = 0.0136 * L * \sigma_c * \Delta\phi^{0.806}$$

$$Q_{f(\max)} = L * \sigma_c * (1.908 - 0.808 * \ln \phi)$$

$$Q_{f(\max)} = 0.0066 * L * \sigma_c * \Delta\phi^{1.160}$$

Burada;

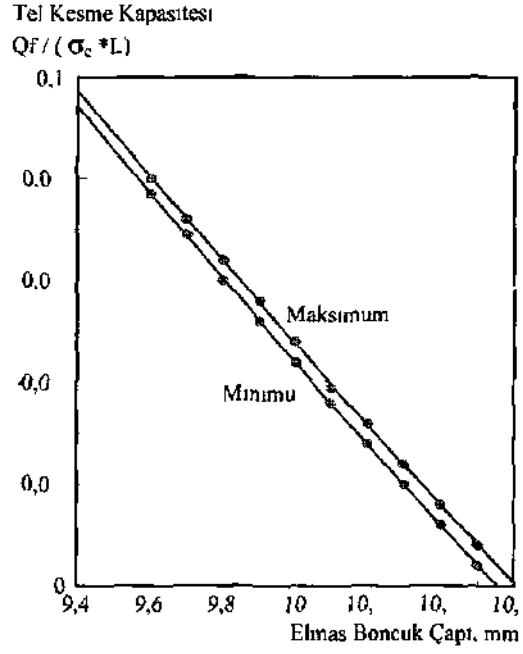
Q<sub>f</sub> : Ocak fiili kapasite değeri, m/m,

σ<sub>c</sub> : Kayacın basınç dayanım değeri, kg/cm<sup>2</sup>,

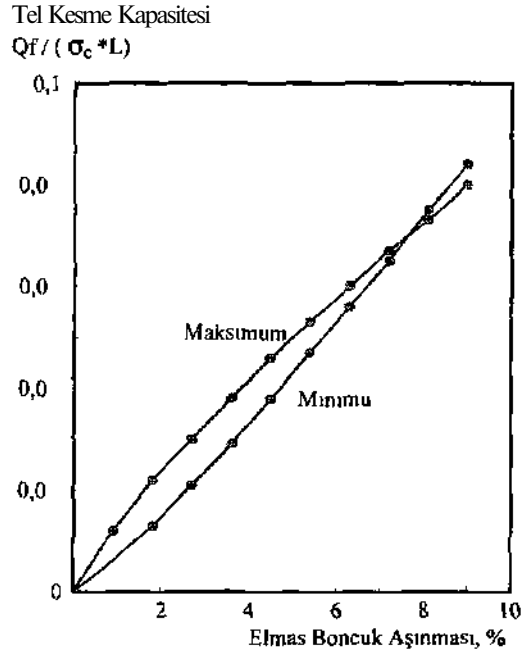
L : Elmas telin uzunluğu, m,

Δφ : Elmas boncuk aşınma oranı, %,

φ : Elmas boncuk çapı, mm.



Şekil 9. Boncuk aşınması - ocak kesim kapasitesi ilişkisi.



Şekil 10 Boncuk aşınma oranı - ocak kesim kapasitesi ilişkisi

Yukarıda verilen bu değerlendirmeler kullanılarak, bir elmas tel kesme uygulamasının performans değeri tanımlanabilmektedir. Bu tanımlama işleminin genel algoritmik yaklaşımı şu şekilde verilebilmektedir:

$$\eta = \frac{Q_{fiili}}{Q_{teorik}} \cdot 100$$

Burada;

- $\eta$  : Elmas tel kesme randımanı. %,  
 $Q_{fiili}$  : Elmas tel kesme fiili kapasite değeri, m<sup>3</sup>/m,  
 $Q_{teorik}$  : Telin teorik kapasite değeri, m<sup>3</sup>/m

Elmas tel kesmenin randımanın belirlenmesinde görüleceği gibi, ocak uygulamasında elde edilen fiili kapasite değerinin ve kullanılan telin teorik kapasite değerinin optimum olarak belirlenmesi gerekmektedir. Burada üzerinde hassasiyetle durulması gereken iki ayrı husus gündeme gelmektedir. Birincisi; ocak fiili kapasite değerinin belirlenmesinde, belirli zaman periyodunda mermer karakteristiğine bağlı olarak kesilen birim alan değerinin, her bir kesim işlemi sonrasında tanımlanması gerekmektedir. Bu fiili kapasite tanımlaması, yukarıda boncuk aşınma olgusu incelemeleri ile birlikte verilmişti. İkinci husus ise; kullanılan telde bulunan elmas boncukların türüne, boncuk sayısına ve kesim için uygulanabilecek mermer türüne bağlı olarak, tel ve boncuk üreticisi firmaların katalog değerlerinden, bu boncuğa ait teorik kapasitenin ne olabileceğinin tasarlanması gerekmektedir. Sinterize elmas boncukların teorik kapasite değerlerinin belirlenmesine yönelik yapılan bir analiz çalışması sonucunda, kesilen kayacın dayanımının artmasına paralel olarak, aynı tip ve geometriye sahip boncuklarda elde edilebilecek kesim kapasite değerinin tanımsal ölçek aralıklarına sahip bir trend ile düştüğü belirlenmiştir. Bu bulgu, kayacın dayanım değerinin parametrik bir değişken olarak değerlendirildiği bir modelleme ile şu şekilde tanımlanmıştır (Şekil 11):

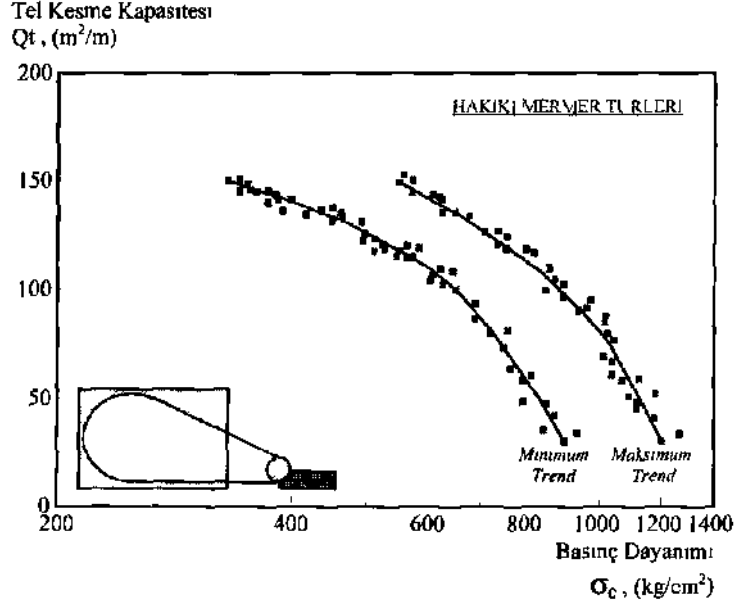
$$Q_{t(min)} = 370.93 \cdot e^{-0.00172 \cdot \sigma_c}$$

$$Q_{t(max)} = 445.24 \cdot e^{-0.00193 \cdot \sigma_c}$$

Burada;

- $Q_t$  : Boncuk teorik kesim kapasite değeri, m<sup>3</sup>/tn,  
 $\sigma_c$  : Kayacın basınç dayanım değeri, kg/cm<sup>2</sup>.

Ocak kesim randımanı için ifade edilen bu tanımsal algoritmaya göre, sinterize elmas boncukların kullanıldığı elmas tel kesme uygulamasına ait blok üretim randımanı kestiriminin pratik olarak yapılabileceği matematiksel ifadeler geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu incelemede, kayacın yapısını sembolize etmesi amacıyla, kayacın basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ve kayacın görünür porozite değeri ( $P_g$ ), değişken parametreler olarak ele alınmış olup, elmas boncuklar için ise boncuk aşınma oranı değişken baz parametre olarak irdelenmiştir. Bu irdeleme bulgularına göre, randıman optimizasyonu için aşağıda verilen ifadeler geliştirilmiştir:



Şekil 11. Kayaç dayanımı - ocak kesim kapasitesi ilişkisi.

Minimum Üretim Randımanı Değer Kesirimi:

$$\eta_{(min)} = 0.0037 * \sigma_c * \Delta\phi^{0.806} * e^{0.00172 * \sigma_c}$$

$$\eta_{(min)} = 3.638 * \Delta\phi^{0.806} * e^{0.00172 * \sigma_c - 0.585 * Pg}$$

Maksimum Üretim Randımanı Değer Kesirimi:

$$\eta_{(max)} = 0.0015 * \sigma_c * \Delta\phi^{1.160} * e^{0.00193 * \sigma_c}$$

$$\eta_{(max)} = 1.868 * \Delta\phi^{1.160} * e^{0.00193 * \sigma_c - 0.814 * Pg}$$

Bu eşitlikler yardımı ile ocak iş letim esindeki tel kesme ünitelerine ait optimum randıman veya çalışma performans değerleri belirlenebilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki. bu eşitlikler ve burada verilen modelleme örnekleri, yalnızca Burdur Bej Mermeri ve türevlerine ait geliştirilmiş yaklaşımlar olup, birer örnek oluşturması amacı ile verilmiştir. Farklı karakteristik özellik gösteren kayalar için, benzer analiz ve yaklaşımlar ayrıca geliştirilmelidir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mermer ocak işletmelerinde uygulanan elmas tel kesme ünitelerinin kesim performanslarının belirlenmesine yönelik, pratik olarak kullanılabilir yaklaşımlar verilmiştir. Burdur Bej mermeri, bu çalışmada örnek mermer türü olarak ele alınmış olup, mermer türüne ait saha analizlerinden elde edilen kesim verileri, mühendislik yaklaşımları ile irdelenerek, mermer türüne ait performans kriter tanımlamaları geliştirilmiştir. Ancak, bu makalede verilen rakamsal yaklaşımlar, yalnızca çalışmanın yapıldığı mermer ocak işletmelerine ait olup, benzer karakteristik sergileyen ve farklı tür mermer işleyen ocaklarda, daha değişik tanımsal yaklaşım değerleri geliştirilmelidir. Bu bakımdan, her işletmede aynı işletmenin teknik uzmanları tarafından benzer ölçüm değerleri alınarak, işletmeye Özgü performans değerlerini tanımlayan ifadeler çıkarılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Aktürk Y.K., Elmas Teller ve Özellikleri, Ege Mermer Ltd., Teknik Hizmetler Serisi, No.2, İzmir, (1991).
2. Akpar Makina Elmas Tel Kullanım El Kitabı, ankara, (2000).
3. Marmo Macchine, Rivista Internazionale deli As^ociazione, Marmo Macchine Club, II bim.XIX. anno 86, Italy, (1989)

