

## Aşağıkurudere (Emirdağ, Afyonkarahisar) Bölgesinde Yer Alan Dolomitik Kireçtaşlarında Blok Verimliliğinin Hesaplanması Calculation of Block Productivity in Dolomitic Limestones Located in Aşağıkurudere (Emirdağ, Afyonkarahisar) Region

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 08.11.2023

Kabul/Accepted: 13.06.2024

Yayımlandı/Published: 20.08.2024

Bekir KUZU<sup>1</sup> , Metin BAĞCI<sup>2</sup> , Sami Serkan İŞOĞLU<sup>2\*</sup> , Ahmet YILDIZ<sup>2</sup> <sup>1</sup> Afyon Jeotermal Turizm ve Ticaret A.Ş (AFJET), Afyonkarahisar, Türkiye<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### Öz

Çalışma alanı Emirdağ'ın (Afyonkarahisar) 13km GD'sunda bulunmaktadır. Çalışma alanının temelindeki Triyas yaşlı Tozludepe formasyonunun dolomitik kireçtaşları kendine has dokusal ve fizikomekanik özellikleri nedeniyle mermer sektörünün ilgisini çekmiştir. Çalışmada Triyas yaşlı dolomitik kireçtaşlarının ocak üretimini etkileyen blok verimliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için 3 profil boyunca hat etüdü, 4 lokasyonda da pencere etüdü yöntemiyle süreksizliklerin yönelimi, aralıkları, devamlılıkları ve açıklıkları ölçülmüştür. Elde edilen veriler yardımıyla AutoCAD programı kullanılarak süreksizliklerin 3 boyutlu (3B) modellenmesi yapılmış, blok hacimleri ve blok verimliliği hesaplanmıştır. Yapılan gül diyagramları analizlerinde hakim süreksizlik yönelimleri hat 1 için yönleri 80°-90° ve 260°-270°, hat 2 için 70°-80° ve 250°-260° ve hat 3 için ise 100°-110° ve 290°-300° olarak tespit edilmiştir. K70°-80°D doğrultusundaki çatlaklar tansiyon çatlakları, buna dik konumda yer alan ve doğrultuları K20°B ve K50°B olan çatlaklar ise makaslama çatlağı olarak tanımlanmıştır. Pencere etüdü çalışması sonucunda 1,2,3 ve 4 numaralı pencere etütlerinin blok verimliliklerinin sırasıyla %32.64, %37, %36.71 ve % 32.96 olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Afyonkarahisar; Kireçtaşı; Blok Hacmi; Modelleme.

### Abstract

The study area is located at 13km SE of Emirdağ (Afyonkarahisar). Dolomitic limestones of the Triassic aged Tozludepe formation at the base of the study area have attracted the attention of the marble industry due to their unique textural and physico-mechanical properties. The aim of the study was to determine the block productivity of Triassic dolomitic limestones that affects quarry production. For this purpose, the orientation, spacing, persistency and openings of the discontinuities were measured using the line survey method along 3 profiles and the window survey method in 4 locations. With the help of the data obtained, 3D modeling of the discontinuities was made using the AutoCAD program, and block volumes and block efficiency were calculated. In the rose diagram analysis, the dominant discontinuity orientations were determined as 80°-90° and 260°-270° for line 1, 70°-80° and 250°-260° for line 2, and 100°-110° and 290°-300° for line 3. Cracks in the direction of N70°-80° E are defined as tension cracks, and cracks located perpendicular to it and with directions of N20°W and K50° W are defined as shear cracks. As a result of the window study, the block efficiencies of window studies numbered 1, 2, 3 and 4 were determined to be 32.64%, 37%, 36.71% and 32.96%, respectively.

**Keywords:** Afyonkarahisar; Limestone; Block Volume; Modeling.

### 1. Giriş

Mermer ocak işletmeciliğinde üretim öncesi mermer ocak işletmeciliğini etkileyen jeolojik parametrelerin (yayılım, kalınlık, süreksizlik, renk ve doku vb.) belirlenmesi oldukça önemlidir. Yayılım ve kalınlık mermerlerin rezervi; süreksizlik dağılımı blok verimliliği, renk ve doku ise mermerlerin piyasa değerini etkilemektedir. Ocak işletmeciliğinde mermerlerin renk ve doku gibi özelliklerini yansıtabilecek ve plaka haline gelmesine olanak sağlayacak bloklar halinde üretilmesi beklenmektedir.

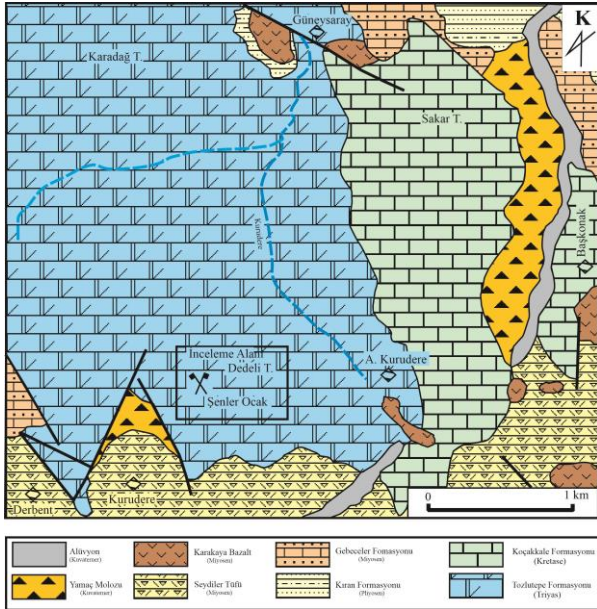
Mermer ocaklarında blok verimliliği, blok olarak satılan mermer hacminin üretim amaçlı kazılan hacme oranı olarak tanımlanmaktadır (Şengün ve Bilgin, 2022). Mermer ocaklarının işletilebilmesi için blok verimliliğinin yüksek olması gerekmektedir. Jeolojik yapıları nedeniyle ülkemizde mermer olarak işletilen kayalarda üretim sırasında blok zıyatı yüksek olmaktadır. Ülkemizdeki mermer ocaklarında blok verimlilikleri bej mermerlerde % 1-2, metamorfik kökenli mermerlerde % 2-10 arasında değişebilmektedir (Küçük ve Onargan 2018).



Kurudere ve Derbent köyleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1).

Çalışma alanının temelinde Triyas yaşlı dolomitik kireçtaşları ile temsil edilen Tozlutepe Formasyonu yer almaktadır. Çörtlü kristalize kireçtaşlarından oluşan Kretase yaşlı Koçakkale Formasyonu Tozlutepe Formasyonunu üzerine gelmektedir. Tüf, tüfit, marn, killi kireçtaşı ve aglomeradan oluşan Miyosen yaşlı Gebeceler Formasyonu ise Koçakkale Formasyonunun üzerine uyumsuzluk ile yerleşmiştir.

Miyosen yaşlı Seydiler tüf ve aglomerası Gebeceler formasyonu ile yanıl ve düşey yönde geçişli olarak bulunur. Andezit, trakit ve bazaltik bileşimli lavlardan oluşan Miyosen yaşlı Karakaya bazaltı Seydiler tüf ve aglomerası üzerinde bulunmaktadır. İnceleme alanının en genç birimleri ise Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyon birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının genel jeoloji haritası (Öcal vd. 2011'den revize edilmiştir).

### 3. Yöntem

Yaklaşık 60 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsayan çalışma sahasında öncelikle bölgenin 1:25000 ölçekli jeolojik haritası güncellenmiştir. Jeolojik harita ile beraber çalışma alanı içerisinde bulunan ve aktif olarak işletilen kireçtaşı ocağı ve çevresinden laboratuvar analizleri için örnekler alınmıştır (Şekil 3). Kireçtaşı ocağının kuzeyindeki mostralar üzerinde lokasyonda her biri yaklaşık 250 m uzunluğunda olmak üzere toplam 3 adet hat etüdü çalışması yapılmıştır.

Bu çalışmada Bayat-Emirdağ bölgesinde yer alan kireçtaşlarının blok verimliliklerini hat etüdü, pencere

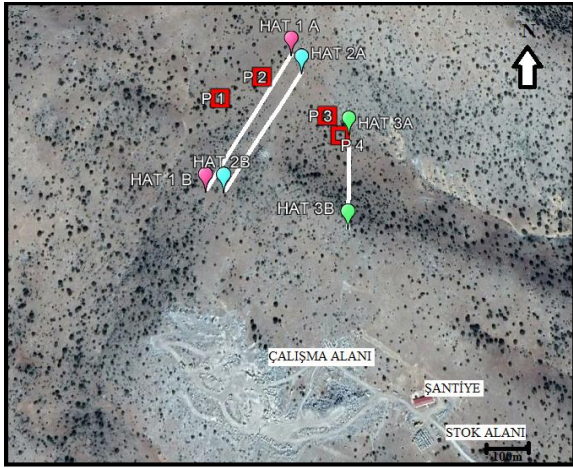
etüdü ve bilgisayarda modelleme programları yardımıyla belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda çalışmalar; saha, laboratuvar çalışmaları ile bilgisayar modelleme çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Arazi çalışmaları kapsamında kireçtaşı ocağı ve çevresinde K8D doğrultulu ve 284 m uzunluğunda, K30D doğrultulu ve 265 m uzunluğunda ve son olarak K10B doğrultulu ve 210 m uzunluğunda 3 profil boyunca hat etüdü çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak hat etüdü noktaları arasında kalan alanların her birinde 100 m<sup>2</sup>'lik alanı kapsayan toplam 4 adet pencere etüdü çalışması yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. a) Ocakta yapılan üretim çalışmaları. b) Çalışma yapılan ocağın genel görünümü.

Pencere etüdü çalışması için birbirine 5 m'lik iplerle bağlı olan 10 mx10 m (100 m<sup>2</sup>) boyutlarında kare şeklindeki bir alan oluşturulmuştur. Dört eşit parçaya bölünen 100 m<sup>2</sup>'lik alan içerisinde süreksizlik doğrultuları, uzunlukları milimetrik kağıt kullanılarak 1/50 ölçekte çizilmiştir (Şekil 5).

Bilgisayar modelleme çalışmalarında ilk olarak ölçülen süreksizlik verileri Dips programına aktarılmıştır. Dips programına aktarılan verilerin hakim süreksizlik yönleri ile eğim açıları tespit edilmiştir. Hakim süreksizlik yönleri tespit edilen verilerin modellemesini yapabilmek amacıyla AutoCAD programına aktarılmıştır.



Şekil 4. Hat etüdü ve pencere etüdü çalışmalarının Google Earth Görünümü (A: Hatların başlangıç noktası, B: Hatların bitiş noktası, P1: 1. Pencere etüdü, P2: 2. Pencere etüdü, P3: 3. Pencere etüdü, P4: 4. Pencere etüdü).



Şekil 5. Arazide yapılan hat etüdü ve pencere etüdü çalışmaları. a) Hat etüdü genel görünümü. b) Hat etüdü ölçüm yapılması. c) Pencere etüdü genel görünümü.

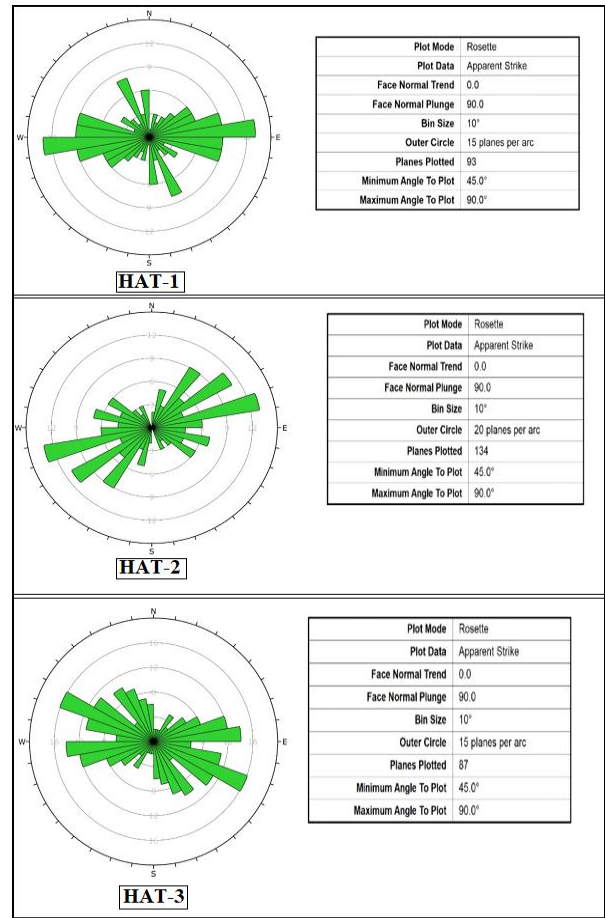
AutoCAD programına aktarılan veriler yardımıyla çalışma alanında yer alan süreksizliklerin ve eğim açılarının 3 boyutlu modellemesi çıkartılmıştır. 3 boyutlu model yardımıyla arazide yer alan süreksizliklerin mermer bloklarını hangi yönde kestiği, süreksizliklerin mermer bloklarının hacmini ne şekilde etkilediği belirlenmiştir. Kullanılan yöntem yardımı ile mermer blokların blok hacimleri belirlenmiştir. Blok hacimleri belirlenen bloklar yardımıyla çalışma alanında yer alan kireçtaşlarının blok verimliliği yüzdesel olarak hesaplanmıştır.

#### 4. Bulgular

##### 4.1 Blok Verimliliğini Etkileyen Süreksizlik Parametrelerinin Belirlenmesi

Arazi çalışmaları kapsamında hat etüdü ve pencere etüdü çalışmaları sırasında jeolog pusulası kullanılmıştır. Jeolog

pusulası yardımıyla mermer ocağında yer alan süreksizliklerin doğrultu, eğim yönü ve eğim açıları ölçülmüştür. Ölçülen bu parametreler vasıtasıyla süreksizliklerin yönelimleri hakkında fikir edinilmeye çalışılmıştır. Arazide ölçümü yapılan tabaka, çatlak, kırık gibi süreksizliklerin her biri "gül diyagramları" kullanılarak değerlendirilmektedir. Gül diyagramları yardımıyla tespit edilen ana süreksizlik yönelimleri ile eğim miktarları ve eğim yönleri arazide bulunan kireçtaşları için bize kırık-çatlak sistemlerini belirlemede yardımcı olmakta ve blok hacimlerinin hesaplanabilmesi hakkında fikir vermektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanında yer alan kireçtaşlarındaki süreksizlik düzlemlerine ait gül diyagramları

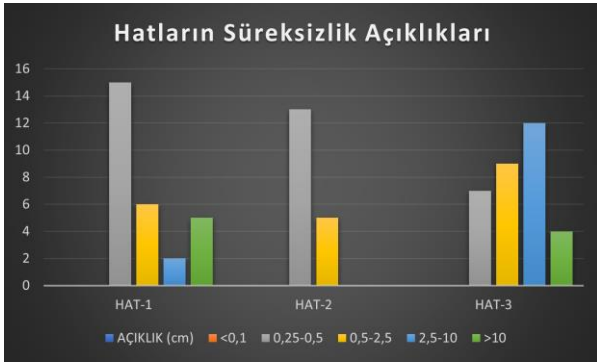
Hat 1 için tespit edilen eğim yönleri 80°-90° ve 260°-270°, hat 2 için tespit edilen eğim yönleri 70°-80° ve 250°-260°, hat 3 için ise 100°-110° ve 290°-300° olarak belirlenmiştir. K70°-80°D doğrultusunda yer alan çatlaklar tansiyon çatlakları olarak adlandırılmış, buna neredeyse dik konumda yer alan yaklaşık K20°B ve K50°B doğrultulu çatlaklar ise makaslama çatlağı olarak tanımlanmıştır.

Süreksizliklerin devamlılıkları incelendiğinde hat 1 ve hat 2'nin orta derecede (Tablo 1) devamlılığa sahip olduğu hat 3'ün ise çok yüksek devamlılığa sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Süreksizlik açıklıklarını gösteren

histogramlar incelendiğinde ise hat 1'in açık, hat 2'nin kısmen sıkı, hat 3'ün ise genel olarak sıkı olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 2). Tüm hat etüdü çalışmaları birlikte değerlendirildiğinde örneklerin boşluklu yapılar sınıfına girdiği belirlenmiştir (Şekil 8) (Tablo 1) (ISRM 1981).



Şekil 7. Hat etütlerine ait süreksizlik devamlılıklarını gösterir histogram.



Şekil 8. Hat etütlerine ait süreksizlik açıklıklarını gösterir histogram.

Tablo 1. Süreksizlik devamlılığının tanımlama ölçütü (ISRM, 1981).

Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu (m)
Çok düşük devamlılık	<1
Düşük derecede devamlılık	1-3
Orta derecede devamlılık	3-10
Yüksek devamlılık	10-20
Çok yüksek devamlılık	>20

Tablo 2. Süreksizlik açıklığının tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Açıklık	Tanımlama
<0,1 mm	Çok sıkı
0,1-0,25 mm	Sıkı
0,25-0,5 mm	Kısmen sıkı
0,5-2,5 mm	Açık
2,5-10 mm	Orta derecede
>10 mm	Geniş
1-10 cm	Çok geniş
10-100 cm	Aşırı geniş
>100 cm	Boşluklu

#### 4.2 Bilgisayar Modelleme Çalışmaları

Bilgisayar modelleme çalışmaları kapsamında arazide ölçümü yapılan süreksizliklerin AutoCAD programına aktarılması sağlanmıştır. AutoCAD programına aktarılan süreksizlik düzlemlerinin birbirlerini kestikleri bölgeler belirlenmiş ve bu bölgelerden düzgün şekilli bloklar çıkartılmıştır. Çıkartılan blokların hacimleri hesaplanarak bölgenin blok verimliliğinin 3 boyutlu olarak hesaplanması amaçlanmıştır.

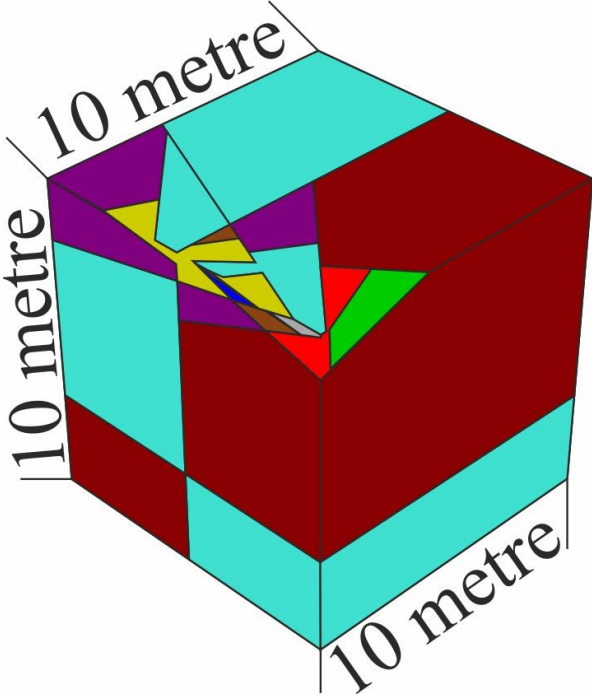
Mermer ocağında yer alan blokların hacmini etkileyen ve en önemli parametrelerden biri olan süreksizliklerin açıklığı ve devamlılığı hat ve pencere etüdü çalışmaları yapılarak yerinde tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. a) İnceleme alanında yapılan hat etüdü genel görünümü. b) İnceleme alanında yapılan pencere etüdü genel görünümü.

Pencere etüdü çalışmaları kapsamında bilgisayar ortamına taşınan süreksizliklerin doğrultu ve yönelimlerinin yeraltında (z ekseninde) devam ettiği varsayılarak AutoCAD program vasıtasıyla AutoCAD programına aktarılan ölçümler neticesinde her bir kenarı 10 m olan üç boyutlu şekil elde edilmiştir. 10x10x10 m'lik küp oluşturulmuştur. Oluşturulan küpten herhangi bir kenarı 1 m'den az ve bir kenarı 3 m ve diğer kenarı 2 m'yi

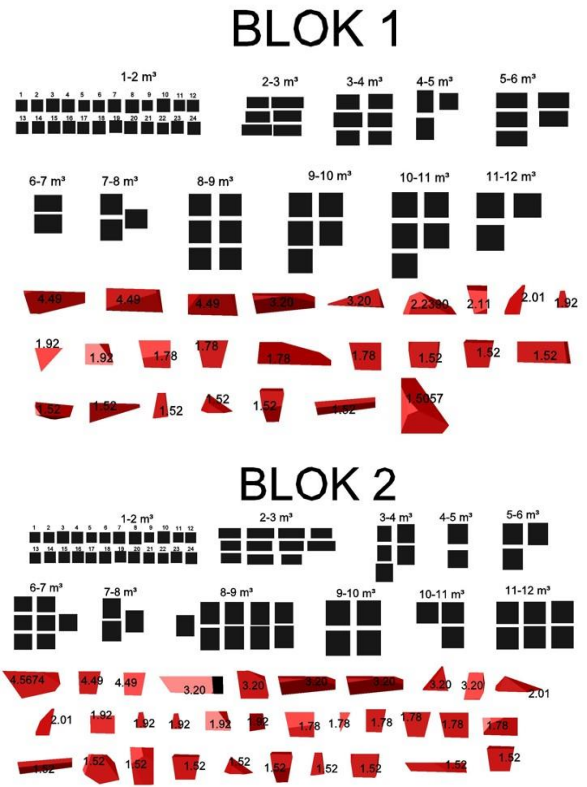
geçmeyecek şekilde süreksizliklerin kestiği blok parçalara ayrılmıştır. Düzgün parçalara ayrılan bloklarda 6 m<sup>3</sup> (3x2x1 m) ile 12 m<sup>3</sup> (3x2x2 m) arasında kalan düzgün prizmatik parçalar blok verimliliğine dâhil edilerek hesaplanmıştır. (Şekil 10).



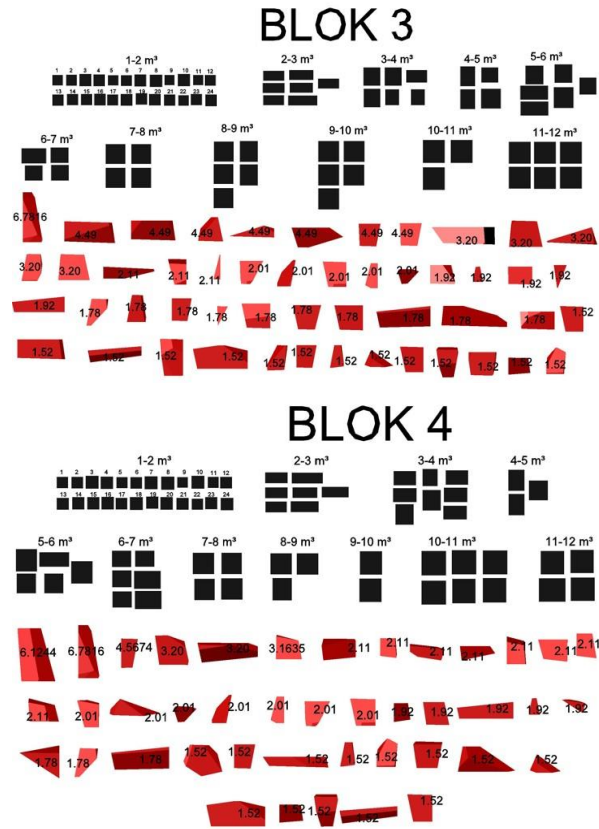
Şekil 10. AutoCAD programı kullanılarak 3 boyutlu çizilen pencere etüdü genel görünümü.

1 numaralı pencere etüdüne ait veri görüntüsü incelendiğinde 5 m<sup>3</sup> ile 12 m<sup>3</sup> arasında kalan toplam 31 adet blok tespit edilmiş bunun yanında 1 m<sup>3</sup> ile 6 m<sup>3</sup> arasında irili ufaklı 33 adet blok tespit edilmiştir. 2 numaralı pencere etüdüne ait görüntü incelendiğinde 5 m<sup>3</sup> ile 12 m<sup>3</sup> arasında toplam 35, 1 m<sup>3</sup> ile 5 m<sup>3</sup> arasında ise 41 adet blok belirlenmiştir (Şekil 11). 3 numaralı pencere etüdüne ait sonuçlar incelendiğinde 5 m<sup>3</sup>-12 m<sup>3</sup> arasında 36, 1 m<sup>3</sup>-5 m<sup>3</sup> arasında 41 adet blok tespit edilmiştir. 4 numaralı pencere etüdüne ait sonuçlar incelendiğinde 5 m<sup>3</sup>-12 m<sup>3</sup> arasında 29, 1 m<sup>3</sup>-5 m<sup>3</sup> arasında 43 adet blok tespit edilmiştir (Şekil 12).

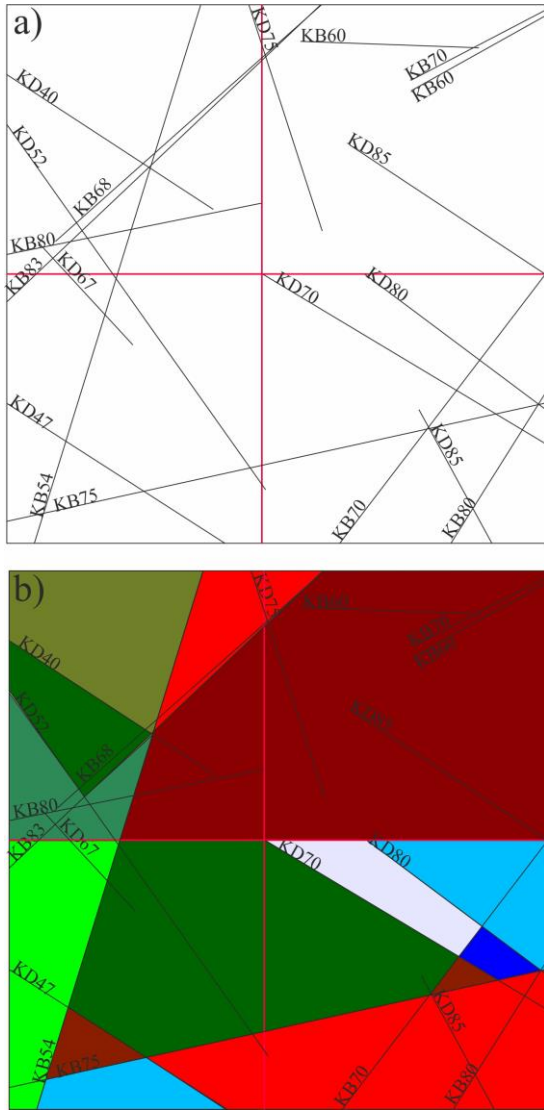
Yapılan sayılama işlemleri sonucunda düzgün alınabilen blok hacimleri toplamının (1-12 m<sup>3</sup> arasında olan) 1000 m<sup>3</sup> (10x10x10 m)'e bölünmesiyle blok verimliliği hesaplanmıştır. 1 numaralı pencere etüdünde %32,64, 2 numaralı pencere etüdünde %37, 3 numaralı pencere etüdünde %36,71 ve 4 numaralı pencere etüdünde ise %32,96 olarak hesaplanmıştır. Ortalama blok verimliliği ise %34,90 olarak tespit edilmiştir (Şekil 13; Tablo 3).



Şekil 11. Pencere etüdü çizimlerinin AutoCAD programı yardımıyla analiz edilmesi (Blok 1 ve Blok 2).



Şekil 12. Pencere etüdü çizimlerinin AutoCAD programı kullanılarak analiz edilmesi (Blok 3 ve Blok 4).



**Şekil 13.** Pencere etütlerinin 2 boyutlu olarak AutoCAD programı kullanılarak değerlendirilmesi. a) Pencere etüdü genel çizimi. b) Pencere etüdü sonrası blokların çıkartılıp sayılması.

**Tablo 3.** Pencere etüdü çalışmaları sonucunda ortaya çıkan blok hacmi toplamı ve blok verimliliği.

Pencere Etüdü No	Toplam Blok Hacmi (m <sup>3</sup> )	Blok Verimliliği (%)
1	326,4	32,64
2	370,5	37
3	367,1	36,71
4	329,6	32,96

## 6. Sonuçlar ve Tartışma

S Triyas yaşlı dolomitik kireçtaşlarının ocak üretimini etkileyen blok verimliliğinin belirlenmesi amaçlandığı çalışma kapsamında doğrultuları K8D, K30D ve K10B olacak şekilde ve uzunlukları sırasıyla 284 m, 265 m ve 210 m olan üç adet hat etüdü çalışmaları kapsamında topla 366 adet süreksizlik ölçülmüştür. Buna ek olarak hat etütlerinin ara noktalarında kalan ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet 10 mx10 m (100 m<sup>2</sup>) olan pencere etüdü çalışmaları yürütülmüştür.

Hat-1 için hakim eğim yönleri 80°-90° ve 260°-270°, hat-2 için 70°-80° ve 250°-260°, hat-3 için ise 100°-110° ve 290°-300° olarak belirlenmiştir. Bunun yanında K70D-K80D doğrultusunda yer alan çatlaklar tansiyon çatlakları, buna dik olan K20B ve K50B arasında yer alan çatlaklar ise makaslama çatlakları olarak tespit edilmiştir. Hat etütlerinin süreksizlik açıklıklarının açık ile sıkı arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Pencere etütlerinin AutoCAD programında değerlendirilmesi sonucunda süreksizliklerin derinlere doğru devam ettiği varsayılarak üç boyutlu modelleme yapılmıştır. Yapılan modellemede 10 mx10 mx10 m (1000 m<sup>3</sup>) hacminde blok bütün olarak değerlendirilmiş ve buradan düzgün şekilli bloklar süreksizliklerin arasından sayılmıştır. Yapılan pencere etüdü çalışmaları ile blok verimlilikleri sırasıyla %32,64, %37,3, %36,71 ve %32,96 olarak belirlenmiştir. Ortalama blok verimliliği ise %34,90 olarak tespit edilmiştir.

Mutlutürk (2007), yapmış olduğu çalışmada mermer ocağı açılmadan önce mostra üzerinde yapılan süreksizlik ölçümlerini bilgisayar program yardımıyla analiz etmiş ve açılacak olan ocaklarda blok verimini matematiksel olarak tespit etmiştir. Daha sonra açılan mermer ocağında ocak Ancak kullanılan yöntemin en büyük eksikliği ölçülen süreksizliklerin gerçekte hangi derinliğe kadar gittiğinin bilinmemesidir. Çünkü kullanılan yöntemde ölçülen süreksizliklerin derinlere kadar devam ettiği kabul edilmiştir. Yine de kullanılan yöntemle birlikte ocak açılmadan oluşabilecek maddi kayıpların önüne geçilecektir. Bugünkü koşullarda çoğu mermer ocağı yeterli saha gözlemi yapılamaması nedeniyle terk edilmiştir.

Ocak yetkilileri ile yapılan sözlü görüşmede ocak blok mermer üretim değerlerinin yaklaşık %15 dolayında olduğunu belirtmişlerdir. Bizim yaptığımız çalışma sonucunda elde ettiğimiz sonuçlara göre ortalama %34 olduğu hesaplanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar gerçek üretim değerlerine yakın olduğu görülmüş olup bu çalışmanın diğer mermer ocaklarında da yapılmasının ocak üretiminde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecekteki yapılması planlanan çalışmalarda süreksizliklerinin derinliklerinin gerçeğe uygun tespit edilmesi halinde hata payının çok ciddi oranda düşeceği öngörülmektedir.

## Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Bu çalışma Doç.Dr Metin BAĞCI danışmanlığında Bekir KUZU tarafından 18/02/2022 tarihinde tamamlanan "Kurudere köyü (Emirdağ /Afyonkarahisar) çevresinde yer alan kireçtaşlarının jeolojisi ve mermer olarak değerlendirilmesinin araştırılması" başlıklı ve 718572 tez no'lu yüksek lisans tezinden türetilmiştir."

#### Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma, Görselleştirme

Yazar 2: Kaynaklar, Doğrulama, Metodoloji, Yazma, Kontrol Etme

Yazar 3: Araştırma, Görselleştirme, Yazma

Yazar 4: Kaynaklar, Metodoloji, Son Kontrol

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### Teşekkür

Bu araştırma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: AKU BAP 18.FENBİL.25)

#### 5. Kaynaklar / References

- Akgün, H., Türkmenoğlu, G. A., Kelam, A. A., Yousefi-Bavil, K., Öner, G., Koçkar, K. M., 2018. Assessment of the effect of mineralogy in the geotechnical parameters of clayey soils: A case study for the Orta County, Çankırı, Turkey, *Applied Clay Science*, **164**, 44-53.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.029>
- Al-Zoubi, M.S., 2008. Swell characteristics of natural and treated compacted clays. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* **13**, 18.
- American Society for Testing and Materials, 2004. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method, ASTM International.
- Bo, W. M., Arulrajah, A., Sukmak, P., Horpibulsuk, S., 2015. Mineralogy and geotechnical properties of Singapore marine clay at Changi. *Soils and Foundation*, **55**, 600-613.  
<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.04.011>
- Brindley, C. M., Brown, G., 1980. Crystal Structure of Clay Minerals and Their X-Ray Identification. *Mineralogical Society of Great Britain and Ireland*, **5**.  
<https://doi.org/10.1180/mono-5>
- Casagrande, A., 1948. Classification and identification of soils: transactions. *American Society of Civil Engineering*, **113**, 901-930.  
<https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006109>
- Cesarano, M., Bish, D. I., Cappelletti, P., Cavalcante, F., Belviso, C., Fiore, S., 2018. Quantitative Mineralogy of Clay-Rich Siliciclastic Landslide Terrain of the Sorrento Peninsula, Italy, Using a Combined XRPD And XRF Approach. *Clays and Clays Minerals*, **Volume: 66**, pp: 353-369.  
<https://doi.org/10.1346/CCMN.2018.064108>
- Çiftçi, E.A., 2010. Türkiye'de yetiştirilen bazı buğday çeşitlerinde genetik farklılıkların RAPD-PCR yöntemi ile belirlenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 118.
- Egli, M., Mirabella, A., Fitze, P., 2001. Clay Mineral Formation In Soils Of Two Different Chronosequences In The Swiss Alps. *Geoderma*, **Volume: 104**, 145-175.  
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00079-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00079-9)
- Genç, D., 2011. Zemin Mekaniği ve Temeller. TMMOB Mühendisleri Odası, Yayın No: 100.
- Goldberg, I., and Klein, A., 1953. Some Effects of Treating Expansive Clays with Calcium Hydroxide. *American Society Testing and Materials*, Specification Technology Publication, **142**, 53-67.  
<https://doi.org/10.1520/STP462545>
- Gücek, S., Zorluer, İ., 2019. *Afyonkarahisar Uydu Kent Bölgesinin Zemin Mühendislik Özellikleri Haritalarının Üretilmesi ve Bölgenin Zemin Büyütmesinin Belirlenmesi*. International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology. Afyonkarahisar, Türkiye, 614-622.
- Gylland, A., Long, M., Emdal, A., Sandven, R., 2013. Characterisation and engineering properties of Tiller Clay. *Engineering Geology*, **Volume 164**, pp. 86-100.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.06.008>
- Hendricks, S. B., R. A. Nelson, and L. T. Alexander, 1940. Hydration Mechanism of the Clay Mineral Montmorillonite Saturated with Various Ions. *Journal of the American Chemical Society*, **62**, 1457-1464.  
<https://doi.org/10.1021/ja01863a037>
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., Sheahan, T.C., 2011. An Introduction to Geotechnical Engineering. 2nd edition Pearson Education. Upper Saddle River, New Jersey, 853.
- Hu, B., Zhang, C., Wu, H., Hao, Q., Guo, Z., 2019. Clay mineralogy of an Eocene fluvial-lacustrine sequence in Xining Basin, Northwest China, and its paleoclimatic implications. *Science China Earth Sciences*, **Volume: 62**, pp: 571-584.  
<https://doi.org/10.1007/s11430-018-9282-8>
- Hubert, F., Caner, L., Meunier, A., Lanson, B., 2009. Advances in characterization of soil clay mineralogy using X-ray diffraction: from decomposition to profile fitting. *European Journal of Soil Science*, **60 (6)**, 1093-1105.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01194.x>
- Inas, B., Salah, M., Riad, B., Imane, I., 2021. Treatment of clay soil with paper ash. *Journal of Civil Engineering*, **16, 2**, 163 - 174  
<https://doi.org/10.2478/sspjce-2021-0024>
- Jesmani, M., Manesh, A.N., Hoseini, S.M.R., 2008. Optimum water content and maximum dry unit weight of clayey gravels at different compactive efforts. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* **13**, (14 p).



- Kalkan, E., 2011. Impact of wetting–drying cycles on swelling behavior of clayey soils modified by silica fume. *Applied Clay Science*, **52 (4)**, 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.03.014>
- Kibici, Y., 2002. Seramik Hammadde ve Teknolojik Özellikleri (41), Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları.
- Malizia, P. J., Shakoor, A., 2018. Effect of water content and density on strength and deformation behavior of clay soils. *Engineering Geology*. **244**, p. 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.07.028>
- Mishra, A.K., Ohtsubo, M., Li, L.Y., Higashi, T., 2012. Influence of various factors on the difference in the liquid limit values determined by Casagrande's and fall cone method. *Environmental Earth Science*, **65 (1)**, 21–27. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1061-5>
- Mitchell, J.K., Soga, K., 2005. Fundamentals of Soil Behavior, 3rd edition, John Wiley and Sons (577 p).
- Munirwan, P. R., Taha, R. M., Taib, M. A., Munirwansyah, M., 2022. Shear Strength Improvement Of Clay Soil Stabilized by Coffee Husk Ash. *Applied Science*, **12(11)**, 5542. <https://doi.org/10.3390/app12115542>
- Öcal, H., Turhan, N., Göktaş, F., 2011. 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Afyon K-25 paftası ve raporu. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Yayını, No: 159, 33s, Ankara.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., 2017. Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **60**, 169-188. <https://doi.org/10.25288/tjb.302914>
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., 2020. Structural Evidence For Extensional Domain-Type Geothermal Play in Western Anatolia: A Case Study From Afyon-Akşehir Grabeni. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Journal of Science and Engineering*, **20(4)**, 693-702. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.704433>
- Rao, B.H., Venkataramana, K., Singh, D.N., 2011. Studies on the determination of swelling properties of soils from suction measurements. *Canadian Geotechnical Journal*, **48**, 375–387. <https://doi.org/10.1139/T10-076>
- Rastegarnia, A., Lashkaripour, R. G., Teshnizi, S. E., Ghafoori, M., 2021. Evaluation of engineering characteristics and estimation of static properties of clay-bearing rocks. *Environmental Earth Sciences*, **Volume: 80**, Article Number: 621. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09914-x>
- Saka, A. H., 1997. Mineralojik Analizler X-Işınları Toz Kırınım Yöntemlerinin Temel Prensipleri ve Laboratuvar Şartlarının Standardizasyonu.
- Samuels, S. G., 1950. The Effect of Base Exchange on the Engineering Properties of Soils, Building Research Station, Britain, Note C176.
- Sorsa, A., 2022. Engineering Properties Of Cement Stabilized Expansive Clay Soil. *Civil and Environmental Engineering*, **18**, 1, 332-339. <https://doi.org/10.2478/cee-2022-0031>
- Tripathy, B., Raha, S., 2019. Formation of Soil. *Thematics Journal of Geography*. **8(8)**, 144-150. <https://doi.org/10.26643/tjg.v8i8.8140>
- Türk Standartları Enstitüsü, 2006a. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar DeneYleri Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- Wesley, L.D., 2003. Residual strength of clays and correlations using the Atterberg limits. *Géotechnique* **53 (7)**, 669–672. <https://doi.org/10.1680/geot.53.7.669.37386>
- Winterkorn, H. F., 1950. Engineer Properties of Clay Soils. *Soil Science*, **71 (4)**, p. 326. <https://doi.org/10.1097/00010694-195104000-00014>
- Xu, Y., Wu, S., Williams, J. D., Serati, M., 2018. Determination of peak and ultimate shear strength parameters of compacted clay. *Engineering Geology*, **Volume: 243**, pp. 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.07.001>
- Yıldız, A., 2000. Bentonitlerin Teknolojik Özelliklerini Belirleme Yöntemiyle Kullanım Alanlarının Tespiti, 61.