

Doğaltaş Ocaklarında Kullanılan Ayırma/Gevşetme Yöntemlerinin AHP ile Karşılaştırılması

Mohammad Tamim AHMADI¹, Merve KARAABAT VAROL^{*2}, Servet DEMİRDAĞ³

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2672-1098), mtameem2002@yahoo.com
² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3736-5180), mervevarol@sdu.edu.tr
³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7838-388X), servetdemirdag@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 04.09.2023 ve Kabul Tarihi 08.02.2024)

(DOI: 10.35354/tbed.1351822)

ATIF/REFERENCE: Ahmadi, M. T., Varol, M. K., & Demirdağ, S. (2024). Doğaltaş Ocaklarında Kullanılan Ayırma/Gevşetme Yöntemlerinin AHP ile Karşılaştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 14 (1), 1-8.

Öz

Türkiye’de doğaltaş üretimi ihracat açısından önemlidir. Bu nedenle doğaltaş ocaklarında üretilen blokların ve bloklardan elde edilen plaka/levhaların ekonomik değere sahip boyut ve kalitede olmasına dikkat edilmektedir. Blok üretimi sırasında uygulanan işlemler, hazırlık, kesme/ayırma, sayalama, taşıma ve stoklama işlemlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada, ekonomik değer taşıyan bloklara ulaşmak için yaygın olarak kullanılan ayırma/gevşetme yöntemlerinden hidrolik kırıcılar, piroteknik kaya kırıcılar, genleşme harçları ve geleneksel patlayıcılar Kabul/Afganistan bölgesindeki bir mermer ocağında incelenerek en uygun yöntem tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu yöntemler; fiyat, zaman, atık malzeme, ticari blok kalitesi, çevresel etkiler ve güvenlik kriterleri açısından Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda piroteknik kaya kırıcılar ile ayırma/gevşetme yönteminin az gürültü, düşük titreşim ve hava şoku nedeniyle diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğundan en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ayırma/Gevşetme yöntemleri; Hidrolik kırıcı; Piroteknik kaya kırıcılar; Genleşme harçları

Comparison of Splitting/Loosening Methods Used in Natural Stone Quarries With AHP

Abstract

In Turkey natural stone production is important in terms of export. For this reason, it is made a point of the blocks produced in natural stone quarries and the plate/slabs produced from the blocks to have economic value in size and quality. The operations applied during block production consist of preparation, cutting/splitting, sizing, transport and stocking operations at the marble quarry in Kabul/Afghanistan region. In this study, hydraulic hammers, pyrotechnic rock breakers, expanding mortars and traditional explosives, which are commonly used splitting/loosening methods to reach blocks with economic value, were carried out and the most suitable method was tried to be defined. These methods are; price, time, waste material, commercial block quality, environmental effects and safety criteria were analyzed with the AHP (Analytic Hierarchy Process) method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making Methods. As a result of this analyses, it was concluded that the splitting/loosening method with pyrotechnic rock breakers was the most suitable method as it is more advantageous than other methods due to less noise, low vibration and air shock.

Keywords: Splitting/Loosening Methods; Hydraulic Hammers; Pyrotechnic Rock Breakers; Expanding Mortars

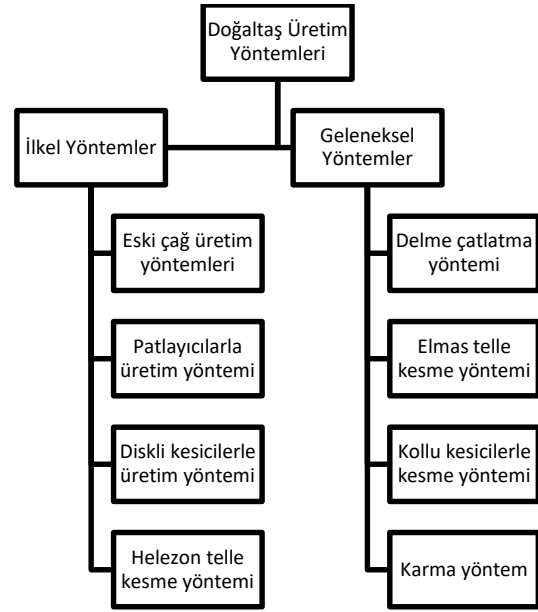
1. Giriş

Türkiye doğaltaş rezervi çok olan ve ihracatta önde gelen ülkeler arasında yer almakta olup, doğaltaşlar ülkemizde ve dünyada inşaat ve dekoratif amaçlı kullanımları açısından önemli bir endüstriye sahiptir. Bu amaçla doğaltaş ocaklarında kaliteli, ekonomik değere sahip boyutlarda blok çıkartılması önemlidir. Doğaltaş ocaklarında amaç ekonomik değere sahip uygun boyut ve kalitede blokları çıkartmaktır. Ekonomik değeri olmayan, alterasyona uğramış kısımlar ve/veya kırık-çatlak sistemlerinin fazla geliştiği oluşumlar ocak verimini düşürmektedir. Ekonomik değere sahip doğaltaş bloğunu efektif bir şekilde çıkartmak için bu oluşumların (pasanın) serbest hale gelmesi gerekmektedir. Doğaltaş ocaklarında üretim hedefinde blokların ticari değerinin yanında bu bloklardan elde edilecek plaka/levha boyutları da doğaltaş üretimi için oldukça önemlidir. Üretim yöntemi seçimindeki en önemli etkenlerden biri ebatlı taşın özellikleri ve talep edilen boyutlardır. Burada doğaltaşın çıkartılması sırasında oluşabilecek istenmeyen bir durum (çatlak, kırık, vb.) ilave bir maliyet ile sonuçlanabilmektedir [8].

Doğaltaş ocaklarında blok üretimi sırasında uygulanan aşamalar sırasıyla; planlama ve hazırlık, kesme/ayırma, sayalama, taşıma ve stoklama faaliyetlerinden oluşmaktadır. Planlama ve hazırlık aşamasında kesilecek olan bölgenin temizlenmesi, delme ve kesme noktalarının belirlenmesi ve ekipmanların kurulumu işlemleri yapılır. Kesme/ayırma aşamasında çıkarılacak olan bloğun ana kayadan kesilerek serbestleşmesi ve çalışma alanından ileriye devrilerek ya da sürüklenerek ötelenmesi işlemleri yapılır. Ebatlama ve/veya sayalama aşaması ise kesilen bloğun ticari boyuta ulaşması için istenilen gerekli olan boyutlarda kesilmesidir. Taşıma ve stoklama aşaması ise ekonomik değeri olan bloğun stok sahasına ve/veya tesise taşınması işlemi ile doğaltaş üretimi sonuçlanmaktadır [19].

Üretim yönteminin türünü belirleyen en önemli faktörler, formasyonun yapısal özellikleri ve maliyetlerdir. Bu yöntemler Şekil 1' de gösterildiği gibi ilkel yöntemler ve geleneksel yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [18].

Günümüzde doğaltaş ocaklarında blokları ana kütlede ayırmak için elmas tel kesme ve zincirli kollu kesme olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Elmas tel kesme makinesi ile üretimde aynaya dik ve paralel olmak üzere açılan iki delikten geçirilen elmas tel, makinanın tamburundan geçirilerek iki ucun birleştirilmesi ve tamburun hareket etmesiyle elmas telin kayacı kesme işlemi gerçekleşmektedir. Zincirli kollu kesme makinesinde ise ray üzerine yerleştirilmiş kollu kesicinin yatay/düşey kesme düzlemi boyunca hareket ettirilmesi ile kesme işlemi gerçekleşmektedir [4,18].



Şekil 1. Doğaltaş Üretim Yöntemleri

Elmas tel kesme makinesi ve/veya zincirli kollu kesme makinesi yardımı ile alt, yan ve arka kesimleri tamamlanan kütleler, ana kayadan ya ötelenerek ayrılır ya da devrilir. Eskiden kamalar ile açılan V şeklinde bir oluğu ya ıslakken genişleyen ahşap takozlarla ya da soğuk havalarda gece boyunca bu oluğu buza dönüştüren su ile doldurarak ayırma işlemi gerçekleştirilmekteydi. Günümüzde doğaltaş ocaklarında en yaygın kullanılan ayırma/gevşetme yöntemleri ise, hidrolik kırıcılar, piroteknik kaya kırıcılar ve genleşme harçlarıdır.

Bu çalışmada, doğaltaş ocaklarında zaman ve maliyet açısından ekonomik değeri olan bloğa ulaşmak için dekapaj faaliyetinde ve/veya söküm işlemlerinde kullanılan ayırma/gevşetme yöntemleri incelenmiştir. Geleneksel patlayıcılar, doğaltaş ocaklarında ekonomik değere sahip bloklara zarar verebileceği ve/veya var olan kırık-çatlakların yanında yeni kırık-çatlak oluşturma potansiyeline sahip olduklarından, doğaltaş ocaklarında kullanılması ile ilgili yasalar ve/veya yönetmeliklere bağlı olarak özel durumlar haricinde kullanılamamaktadır. Doğaltaş ocaklarında ister hazırlık aşamasında ister üretim aşamasında hidrolik kırıcılar, piroteknik kaya kırıcılar ve genleşme harçları ile bloğu ana kayadan ayırmak ve ekonomik değere sahip olmayan oluşumları gevşetmek mümkündür. Bu yöntemler geleneksel patlayıcılara göre çevreye zarar vermeden yaşam alanlarına yakın maden ocaklarında ve/veya inşaat alanlarında da en çok tercih edilen yöntemlerdir.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 1977 yılında Saaty tarafından önerilen, kriterler arasındaki nitel ve nicel özellikleri değerlendirmek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. AHP yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırası ile hiyerarşik problemin oluşturulması, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması, öncelik vektörlerinin bulunması, karşılaştırma matrislerinin tutarlılığının kontrol edilmesi ve alternatiflerin sıralanmasıdır [20].

AHP yönteminde takip edilecek aşamalar ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır [5]. Proses belirli ve belirsizlik altında, çok sayıda karar verici tarafından değerlendirilen, çok sayıda seçeneklerin olduğu durumda seçim yapmak için kullanılmaktadır. Proses de önceden tanımlanan kriterler, karar verici tarafından göreceli olarak değerlendirilmektedir. Sonraki adım, her iki kritere göre karar matrisi oluşturularak karar

alternatifleri arasında seçim yapılmaktadır. Prosesin uygulanması kolay olmakla birlikte en önemli avantajı sayısal olarak belirlenen objektif yargılar ile subjektif yargıların bir arada değerlendirilmesidir. Subjektif yargılar, sayısal değerlere dönüştürülerek, alternatifler arasında sayısal bir ölçek üzerinden sıralama yapılır [30, 36].

Literatürde sıkça kullanılan yöntemlerden biri olan AHP ile madencilik üzerine yapılmış birçok çalışma ile karşılaşmak mümkündür. Bu çalışmalardan bazıları ekipman seçimi [12, 31], madencilik üretim yöntemi seçimi [33, 3, 13, 10], patlatma patern seçimi [38], nakliye seçimi [16, 21], çevresel etki değerlendirmesi [24, 7], reklamasyon [12, 2] ve havalandırma ile iş sağlığı ve güvenliğidir [34, 26, 37, 27, 28].

AHP ile yapılan çalışmalar arasında ayırma/gevşetme yöntemleri üzerine yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında son zamanlarda doğaltaş ocaklarında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan piroteknik kaya kırıcılar, genleşme harçları ve hidrolik kırıcılar kullanılarak yapılan ayırma/gevşetme yöntemleri ile sınırlı kullanıma sahip (granit ocakları vb.) geleneksel patlayıcılar Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve değerlendirme yapılmıştır.

2. Literatür Araştırması

Literatür araştırıldığında madencilikte ve inşaat sektöründe kullanılan farklı kaya kırma metodları olduğu görülmektedir. Bu metodlar çevresel etki, hava şoku, kaya fırlaması, patlama sırasında çıkan gaz, toz, gürültü ve patlatmadan dolayı oluşan hasar üzerine yapılmış çalışmalardır.

Hidrolik kırıcılar, genleşme harçları ve düşük detonasyon hızına sahip patlayıcı olmayan kimyasallardan piroteknik kaya kırıcılar doğaltaş ocaklarında hem hazırlık hem de üretim aşamasında yaygın olarak kullanılabilir. Bu nedenle doğaltaş ocaklarında ayırma/gevşetme üzerine yapılmış olan çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Bakhtavar (2011), İran'daki granit ve mermer gibi kaya türlerini genleşme harçları kullanarak ebatlı blok çıkarılması üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada, genleşme harçları kullanılarak ticari değeri olan blok elde edilmesi açısından paralel delik aralığının belirlenmesi önemli olduğundan regresyon ve boyutsal analizin kombinasyonunu kullanmıştır [9].

Dambov vd. (2017) Makedonya' daki doğaltaş ocaklarında ticari değeri olan beyaz mermer bloklarını kesmek ve devirmek için FRACT.AG genleşme harcı kullanmıştır. Bu metodun diğer metodlara göre daha ekonomik ve zaman açısından daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır [15].

Afradi vd. (2021) yaptıkları çalışmada inşaat ve doğaltaş sektöründe verimliliği ve üretimi arttırmak amacıyla kayaçların çıkartılması için elmas tel kesme, patlatma, genleşme harcı gibi teknikler arasında uygun olan tekniği, bulanık AHP yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir [1].

Rehman vd. (2018), yüksek geri kazanım, minimum kayıp ve yüksek üretim elde etmek için madencilik teknikleri üzerine odaklanmışlardır. Bu çalışmada, Pakistan'daki granit ocağında elmas tel kesme, genleşme harçları gibi teknikler maliyet, kalite, kazanç ve geri kazanım açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada elmas tel kesme tekniğinin genleşme harcına göre daha etkin olduğu kanaatine varmışlardır [32].

Cardwell (2005), patlayıcı olmayan kaya kırma tekniklerini doğaltaş ocağı ve personel açısından karşılaştırmıştır. Cardox, Nonex ve Penetrating Cone Fracture (PCF) kullanıldığında gürültü, titreşim, toz ve kaya kırılması etkilerinin azaldığını, doğaltaşlarda mikro çatlaklar ve düşük kaya kırılmasının oluştuğunu gözlemlemiştir [14].

Özсарıkamış (2015) yaptığı kazı çalışmalarında piroteknik kaya kırma kartuşlarının düşük titreşim, ses ve toz açısından alternatif bir metod olarak kullanılabilirliğini belirtmiştir [29].

Güneş (2017) doğaltaş ocaklarında ekonomik değeri olan bloklara zarar vermeden pasanın gevşetilmesi için piroteknik kaya kırıcılar olarak adlandırılan piroteknik malzeme ile ayırma işlemi üzerine araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada, Hidrolik Kırıcı ve Piroteknik Kaya Kırıcı+Hidrolik Kırıcı ile pasanın iletilmesi yöntemlerinin ekonomik değeri olmayan bölgelerde pasanın iletilme performans analizleri zaman ve maliyet açısından değerlendirilmiştir. Piroteknik kaya kırıcıların zaman, ses, gürültü, titreşim ve maliyet açısından mermer ocaklarında uygulanabilir bir yöntem olduğu kanaatine varılmıştır [21].

Doğaltaş ocaklarında kesme, delme vb. konularında yapılmış çalışmalar mevcuttur. Fakat doğaltaş ocaklarında kesim sonrası sökülme, devirme, gevşetme ve ayırma konularında sınırlı sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle bu çalışma hidrolik kırıcı, piroteknik kaya kırıcı, genleşme harçları ve geleneksel patlayıcılar ile yapılan ayırma/gevşetme tekniklerinin karşılaştırması açısından ilk olma özelliğindedir.

3. Doğaltaş Ocaklarında Ayırma/Gevşetme Teknikleri

Doğaltaş ocaklarında blok üretimi sırasında ayırma/gevşetme aşamaları ocağın yapısı, maliyet, çevre etkileri, zaman, ticari boyuttaki blok kalitesi göz önünde bulundurularak değerlendirilmektedir. Günümüzde ekonomik değeri olan ticari boyutlardaki bloğa ulaşmak için bazı teknikler bulunmaktadır. Bu teknikler; Hidrolik Kırıcılar, Genleşme harçları, Piroteknik kaya kırıcılar ve Geleneksel Patlayıcılar ile ayırma/gevşetme yöntemleridir.

3.1. Hidrolik Kırıcılar ile Ayırma/Gevşetme

Ayırma/gevşetme tekniklerinden ilki mekanik ayırma tekniği olan hidrolik kırıcıların kullanımı son yıllarda inşaat ve maden sektörlerinde artmıştır. Maden, doğaltaş ve taş ocaklarında kayaç sökülme, kayaç taşlama ve düzeltme, büyük kayaçları küçültme gibi işlemlerde kullanılmaktadır [35]. Kepeçli ekskavatörün kepeçsinin sökülerek, darbeli kırıcı ünitesinin yerleştirilmesi ile 1964 yılından beri kullanılan hidrolik kırıcıların mekanizmaları, serbestçe hareket eden piston darbe enerjisini, çok kısa bir sürede gerekli hacimdeki yağı, hidrolik pompa ile şarj edilen aküden alarak sağlamaktadır. Pistondaki kinetik enerjinin gerilme enerjisine dönüşmesiyle yağdaki basınç yükselmekte ve kırıcı uç ileri giderken biriken basınç tekrar kinetik enerjiye dönüşmektedir [25].

Hidrolik kırıcı kullanımının en önemli avantajı ataşmanı zaman kaybetmeden değiştirilebilmesidir. Ayrıca hidrolik kırıcı ile ekonomik değeri olmayan kayaçları kırarak genişletme çalışması yapılabilmektedir. Dezavantajları ise; yüksek titreşim ve sese maruz bırakmakta, ayrıca bu durum ekipmanın ekonomik ömrünü azaltmakta ve yeni yatırıma neden olmaktadır. Sonuç olarak hidrolik kırıcılar işletme açısından ekstra maliyet ve zaman kaybı olabilmektedir [22].

3.2. Genleşme Harçları ile Ayırma/Gevşetme

Genleşme harcı, patlayıcı olmayan yıkım maddesi olarak bilinen genleşme tozu, kalsine edilmiş kalsiyum, silikon ve alüminyum oksitlerinden oluşan toksik olmayan sementasyon tozudur. Bu tozlar su ile karıştırıldığında 18.000 PSI (Pounds per Square Inch)(yaklaşık 124.110 kN/m²)'lık basınç sayesinde doğaltaş, granit, kireçtaşı, kaya ve çıkıntılar; gürültü, titreşim veya kaya fırlaması olmadan kırılmaktadır. Özellikle çevre kısıtlaması olan veya patlayıcı kullanımına izin verilmediği durumlarda kullanılmaktadır. Madencilik ve taş ocakçılığı endüstrisinde genleşme harçları ile kireçtaşı, oniks, doğaltaş, granit veya diğer taş türlerinden istenilen ebatta plaka ve bloklar elde etmek mümkündür [32].

3.3. Piroteknik Kaya Kırıcılar (PRB) ile Ayırma/Gevşetme

Piroteknik Kaya Kırıcılar, düşük detonasyon hızına (VOD) sahip patlayıcı olmayan kimyasallardır, bu nedenle patlatılmazlar, alev alırlar. Piroteknik kaya kırıcılar, ateşlendiğinde çok hızlı tepki veren ve esas olarak nitrojen, karbon dioksit ve buhardan oluşan yüksek hacimlerde zararsız gaz üreten bir kartuş içinde bulunan patlamayan bir itici bileşiğe dayanmaktadır. Kartuş bir sondaj deliğine sıkıldığında, itici gazın ateşlenmesiyle üretilen yüksek basınçlı gaz, darbeli delme işleminden oluşan mikro çatlaklara, kayanın doğal kırıklarına ve zayıf düzlemlerine girerek kırıkları genişletmekte ve çatlaklar kayanın en yakın serbest yüzeyine doğru yayılmaktadır [17].

Şehirleşmenin olduğu veya şehirleşmeye yakın olan bölgelerde sağlam kaya zeminlerinde yapılacak olan kaya patlatmaları yerine Piroteknik Kaya Kırıcılar ile blok kırımı söz konusu olabilmektedir. Blok kırımı sırasında kullanılan kartuş çapına göre delikler delinmekte ve kartuş dolumu yapılmaktadır. Kartuşların ateşlenmesi ile de taş fırlaması olmadan bloğun parçalanması sağlanmaktadır [29].

Piroteknik Kaya Kırıcıların verimli uygulanabilmesi için bölgenin sert, sağlam ve serbest bir yüzeye sahip olması gerekmektedir. Titreşim standart değerlerin altında olduğu için ticari değeri olan blokların çıkartılması sırasında kayalara zarar vermemektedir [21]. Gevşetme işlemlerinde, ana kayaya zarar vermeden sadece mevcut çatlaklar açılmaktadır. Böylece hidrolik kırıcıların gereksiz kullanılmasının önüne geçilerek, yakıt tasarrufu, kırıcının kullanım ömrü ve zaman tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca piroteknik kaya kırıcıların kullanımı ile minimum titreşim ve kaya fırlaması ile daha güvenli bir ortam oluşturulabilmektedir. Güneş vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada Piroteknik Kaya Kırıcıları geleneksel kaya kırıcılar ile kıyasladıklarında piroteknik kaya kırıcıların genel olarak sert formasyonlarda (bej, dolomit, dolomitik kireçtaşı, mermer, kumtaşı, ofiyolit vb.) pasanın kaldırılması için uygulanabilir bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır [22].

3.4. Geleneksel Patlayıcılar ile Ayırma/Gevşetme

Doğaltaş ocaklarında yol genişletme çalışması/örtü tabakası kaldırılması gibi özel durumlar ve granit ocakları dışında geleneksel patlayıcılar kullanılarak üretim ve hazırlık yapmak, ilgili kanun ve yönetmelikler kapsamında gerekli izinlerle sınırlandırılmıştır [21].

Doğaltaş ocaklarında geleneksel patlayıcılar ile ayırma/gevşetme tekniği boyut küçültme işlemidir. Bu yöntemde taş fırlaması olabileceği için çevreye çeşitli zararlar verebilmektedir. Doğaltaş ocaklarında geleneksel patlatma tekniklerinin dezavantajlı olduğu, ekonomik değeri olan blok kazanımının düşük olduğu ve mikro çatlakların oluştuğunu söylemek mümkündür.

4. MATERYAL-METOT

Bu çalışmada bej mermer doğaltaş ocaklarında kullanılan farklı ayırma/gevşetme teknikleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda doğaltaş ocaklarında kullanılan hidrolik kırıcı, genleşme harçları, piroteknik kaya kırıcılar ve geleneksel patlayıcılar Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Ayırma/Gevşetme Yöntemleri

karşılaştırılan 4 farklı ayırma/gevşetme teknikleri 6 kriter altında değerlendirilmektedir. Bu kriterler; fiyat, zaman, atık malzeme, ticari blok kalitesi, çevresel etkiler ve güvenlik kriterleri açısından incelenmiştir (Tablo 1). Burada belirtilen çevresel etkiler literatürde üzerinde çalışmalar yapılmış olan ekipmanların/patlayıcıların titreşim, gürültü, kaya fırlaması gibi taşın kalitesini bozacak ve insan sağlığını etkileyebilecek olan etkilerdir. Bu kriterler, Aryafar vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada TOPSIS yöntemi ile blokların çıkartılması için geliştirilen metotların sıralanmasında kullanılan kriterler referans alınarak değerlendirilmiştir [6]. Aryafar vd. yaptığı çalışmada belirlenen bu kriterler ise Afganistan'da Khir Khana Mermer ve Anjirak Mermer ocaklarında çalışan mühendis ve kalifiye personel olan uzman kişiler tarafından değerlendirilmiştir. Uzman kişiler tarafından kriterler bakımından Tablo 1'de karşılaştırılan seçenekler Tablo 2'de belirtilen ölçeğe göre nicelleştirilmiştir [7].

Tablo 1. Kriterlere göre doğaltaş ocaklarında ayırma/gevşetme tekniklerinin karşılaştırılması

No	Kriter	Hidrolik Kırıcı	Genleşme Harcı	Piroteknik Kaya Kırıcı	Geleneksel Patlayıcılar
1	Fiyat (USD/m ³)	4	6	3	2
2	Zaman (saat)	12	18	5	5
3	Atık malzeme	az	az	az	çok
4	Ticari Blok Kalitesi	Normal	Çatlaklı	Normal	İyi değil
5	Çevresel Etkiler	İyi değil	Normal	Normal	İyi değil
6	Güvenlik	İyi değil	İyi	Çok iyi	İyi değil

Tablo 1 incelendiğinde maliyet ve üretim bakımından zaman kaybı çok fazla olan yöntemin Genleşme harcı ile ayırma-gevşetme yöntemi olduğu görülmektedir. Geleneksel patlayıcı kullanımı diğer yöntemlere göre daha uygun gibi değerlendirilse de elde edilecek blok kalitesi, çevresel etkiler ve güvenlik açısından tercih edilen bir yöntem değildir. Piroteknik kaya kırıcı ile ayırma/gevşetme yöntemi zaman, kalite ve güvenlik açısından en çok tercih edilen yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Doğaltaş ocaklarında kullanılan 4 yöntem, uzman kişiler tarafından nitelik özelliklerine göre '1' en kötü '5' en iyi olacak şekilde bir önem skalası oluşturulmuş, bu skalaya göre

değerlendirilmiştir. Oluşturulan bu skala kriterleri nicelleştirerek karar matrisini oluşturmada kolaylık sağlamaktadır.

Tablo 2. Nitelik özellikleri nicelik özelliklere dönüştürme

Nitelik	Kötü	İyi	Çok iyi	Daha İyi	En iyi
Nicelik	1	2	3	4	5

Nicelik özelliklerine göre değerlendirilen seçenekler Tablo 3'de geometrik ortalamaları belirlenerek karar matrisi oluşturulmuştur. Burada öncelikli olarak seçenek-seçenek matrisi oluşturulmakta ve her bir kriter için ayrı ayrı matris oluşturularak tutarlılıkları kontrol edilmektedir.

Tablo 3. Her bir yöntemin nicelik özellikler açısından değerlendirilmesi

No	Kriter	Hidrolik Kırıcı	Genleşme Harcı	Piroteknik Kaya Kırıcı	Geleneksel Patlayıcılar	Geo.Ort.
1	Fiyat (USD/m ³)	2	1	3	4	2,2134
2	Zaman	2	1	4	4	2,3784
3	Atık malzeme	4	4	4	1	2,8284
4	Kalite	3	2	3	1	2,0598
5	Çevresel Etkiler	2	4	4	2	2,8284
6	Güvenlik	1	2	5	1	1,7783

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) karar alırken tek bir birey ya da grup fikirlerini de dikkate alarak, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir [5]. Bu bölümde AHP ile ilgili kısaca bahsedilmesinin sebebi ayırma/gevşetme yöntemlerinin önemini açıklamaktır.

AHP ile Karar Verme süreci 5 adımdan oluşmaktadır [39]:

1. Karar Probleminin Tanımlanıp Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Seçeneklerin belirlenen kriterlere göre değerlendirildiği en önemli aşamadır.

2. İkili Karşılaştırma Matrislerinin (A) Oluşturulması

Kriterler ve seçenekler arasında birbirlerine göre önem derecelerini belirlemek için matrisler arasında şöyle bir ilişki vardır:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}$$

3. Görelî Önem Vektörünün (GÖV) Hesaplanması

Matristeki her bir değer diğerine göre önemini bulur. GÖV aritmetik ortalama, geometrik ortalama ve matris karesi ile

hesaplanmaktadır. Bu çalışmada geometrik ortalama ile görelî önem vektörü hesaplanmıştır.

4. Tutarlılık Testi

Karşılaştırma matrisinin tutarlı olması için matrisin en büyük özdeğerinin matris boyutuna eşit olması istenir.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} x w_j}{w_i} \right]$$

$$TG = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$TO = \frac{TG}{RG} \leq 0,1$$

Burada;

λ_{max} : Matrisin en büyük özdeğeri

n : Matrisin boyutu

a_{ij} : İkili karşılaştırma matrisinin (i,j). değeri

w_j : Görelî önem vektörünün j. elemanı

w_i : Görelî önem vektörünün i. elemanı
 TG : Tutarlılık göstergesi
 TO : Tutarlılık oranı
 RG : Rassallık göstergesi

5. Bileşik Görelî Önemler Vektörünün Bulunması ve Karar

Matrislerin tutarlılığı kontrol edildikten sonra bütünlük matristeki görelî önem vektörleri bulunur ve sıralanır.

5. Bulgular

Bu çalışmada hidrolik kırıcı, genişleme harcı, piroteknik kaya kırıcı ve geleneksel patlayıcılar ile ayırma/gevşetme yöntemlerini karşılaştırmak ve sıralamak için altı kriter belirlenmiştir. Bu kriterler AHP yöntemi ile analiz edilmiştir. İlk olarak uzman kişiler, Tablo 2’de verilen Kötü ‘1’, En İyi ‘5’ olacak şekilde bir skala üzerinde kriterleri farklı ağırlıklarla tanımlamışlardır (Tablo 3). Ayrıca her bir kriter içerisinde seçeneklerin ikili matrisleri oluşturularak tutarlılık analizleri yapılmıştır (Tablo 4). Kriterlerin geometrik ortalamalarına göre Tablo 5’de belirtildiği üzere ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4. Kriterler arasında ikili karşılaştırma

	Fiyat	Zaman	Atık malzeme	Kalite	Çevresel Etkiler	Güvenlik	Geo. Ort.	Görelî Önem Ağırlık (GÖV)
Fiyat	1,000	0,931	0,783	1,075	0,783	1,245	0,956	0,1580
Zaman	1,075	1,000	0,841	1,155	0,841	1,337	1,027	0,1698
Atık malzeme	1,075	1,189	1,000	1,373	1,000	1,591	1,187	0,1962
Kalite	0,931	0,866	0,728	1,000	0,728	1,158	0,889	0,1471
Çevresel Etkiler	1,278	1,189	1,000	1,373	1,000	1,591	1,221	0,2019
Güvenlik	0,803	0,748	0,629	0,863	0,629	1,000	0,768	0,1270

Tablo 5. Nihai karar matrisi

	Fiyat	Zaman	Atık malzeme	Kalite	Çevresel Etkiler	Güvenlik	Ağırlıklı Ortalama	Sıralama
Hidrolik Kırıcı	0,29	0,18	0,31	0,33	0,17	0,11	0,233	2
Genişleme Harcı	0,14	0,09	0,31	0,22	0,33	0,22	0,227	4
Piroteknik Kaya Kırıcı	0,43	0,36	0,31	0,33	0,33	0,56	0,377	1
Geleneksel Patlayıcılar	0,57	0,36	0,08	0,11	0,17	0,11	0,231	3
GÖV	0,1580	0,1698	0,1962	0,1471	0,2019	0,1270		

Her bir matris, kriter-kriter ve kriterlere göre seçeneklerin ayrı ayrı karşılaştırılması şeklinde oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan her bir matrisin tutarlılıkları kontrol edilmiş ve her bir matrisin birbiri ile tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan

kriter-kriter matrislerinden hesaplanan önem ağırlıkları Tablo 6’da görüldüğü gibi nihai karar matrisinin alt satırında belirtilmiştir. Önem ağırlıklarına göre (GÖV) seçenekler arasında ağırlıklı ortalama hesaplanmıştır.

Tablo 6. Nihai karar matrisi

	Fiyat	Zaman	Atık malzeme	Kalite	Çevresel Etkiler	Güvenlik	Ağırlıklı Ortalama	Sıralama
Hidrolik Kırıcı	0,29	0,18	0,31	0,33	0,17	0,11	0,233	2
Genişleme Harcı	0,14	0,09	0,31	0,22	0,33	0,22	0,227	4
Piroteknik Kaya Kırıcı	0,43	0,36	0,31	0,33	0,33	0,56	0,377	1
Geleneksel Patlayıcılar	0,57	0,36	0,08	0,11	0,17	0,11	0,231	3
GÖV	0,1580	0,1698	0,1962	0,1471	0,2019	0,1270		

Tablo 6’daki nihai karar matrisinde görüldüğü gibi seçenekler arasında AHP sonucuna göre piroteknik kaya kırıcı ile ayırma/gevşetme yöntemi ilk sırada yer almakta olup, sırasıyla

hidrolik kırıcı, geleneksel patlayıcı ve genişleme harcı ile ayırma/gevşetme yöntemi birbirini takip etmektedir. Hidrolik kırıcı, genişleme harcı ve geleneksel patlayıcılar ile

ayırma/gevşetme yöntemlerinin tercih edilmesi kriterler açısından birbirlerine çok yakın sonuçların çıktığını söylemek mümkündür.

Doğaltaş ocaklarında geleneksel patlayıcı kullanımı daha önce de belirtildiği gibi tercih edilen bir yöntem değildir. Ancak bazı durumlarda fiyat ve zaman açısından değerlendirildiğinde geleneksel patlayıcı kullanımı genişleme harcına göre daha avantajlı bir yöntemdir. Doğaltaş ocaklarında ayırma/gevşetme yöntemlerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için piroteknik kaya kırıcı kullanımı ilk sırada yer almakta olup, ayrıca bu yöntem az gürültü, düşük titreşim ve hava şoku nedeniyle diğer yöntemlere göre daha avantajlı olmaktadır. Zaman açısından değerlendirildiğinde ise, geleneksel patlayıcılar kadar çabuk ve etkili, kaliteli üretim açısından ise hidrolik kırıcılar ile eş değerdedir.

6. Tartışma ve Sonuçlar

Ticari boyutta blok üretimi hedeflenen bir doğaltaş ocağında ayırma/gevşetme yöntemlerinin minimum maliyet, minimum zaman, minimum atık malzeme ve maksimum kalitede blok üretiminin minimum çevresel etki ve maksimum güvenlik sınırları içerisinde olması istenmektedir. Bu anlamda Afganistan'daki bir çalışma sonucundan alınan kriterler ile dört farklı ayırma/gevşetme yöntemlerinin ölçüm ve bulguları araştırılmış ve bir sıralama yapılmıştır.

Çalışma, genel olarak Afganistan'daki mermer ocakları göz önünde bulundurularak yapılmış bir değerlendirme olmakla birlikte masif ve sert formasyonlara sahip doğaltaş ocakları için de uygulanabilir ve kıyaslanabilir bir çalışmadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan karşılaştırmada genişleme harçlarının zaman kaybı açısından dezavantajlı olmakta, geleneksel patlayıcılar ise doğaltaşın yapısına zarar verme ihtimalinden dolayı tercih edilmemektedir. Piroteknik kaya kırıcı ile ayırma/gevşetme yönteminin kullanılan diğer yöntemler arasında en verimli olduğunu söylemek mümkündür. Ancak yine de daha fazla araştırma yapılması ve daha fazla kriter ile değerlendirilerek kullanılabilirliğinin artması incelenmelidir sonucuna varılmıştır.

Günümüzde doğaltaş ocaklarında üretim ve hazırlık aşamalarında hidrolik kırıcı, genişleme harcı, piroteknik kaya kırıcı ve geleneksel patlayıcılar ile ayırma/gevşetme yöntemleri arasında en yaygın kullanılanı hidrolik kırıcı olduğu görülmüş olup, zaman kaybı, maliyet ve çevresel etkiler değerlendirildiğinde ise dezavantajlı olabilmektedir. Bu çalışmada piroteknik kaya kırıcılar ile ayırma/gevşetme yönteminin doğaltaş ocaklarında daha uygun olduğu ve buna bağlı olarak kullanılabilirliğinin artması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda işletmelere piroteknik kaya kırıcının önemi ve avantajları belirtilmeye çalışılmıştır.

Doğaltaş ocaklarında farklı ayırma/gevşetme yöntemleri uygulansa da hidrolik kırıcılar her yöntemin tamamlayıcısıdır. Kısacası diğer yöntemler tek başına söküm ve/veya devirme işlemi gerçekleştirememekte olup ancak hidrolik kırıcılar sayesinde bu süreç tamamlanmaktadır. Bu yöntemler esasında hidrolik kırıcının işini kolaylaştırmakta ve böylece zamandan ve maliyetlerden tasarruf sağlanmaktadır.

Bu çalışmada gevşetme ve ayırma teknikleri sırasında karşılaşılan parametreler göz önünde bulundurularak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Piroteknik kaya kırıcı ile hidrolik

kırıcıların birlikte kullanımı zaman ve maliyet kavramları ile birlikte değerlendirildiğinde işletmeler açısından en tercih edilen yöntemler olduğunu söylemek mümkündür.

Ayrıca bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda kriterlerin dağılım aralığı göz önünde bulundurularak duyarlılık analizi yapılması ve bu analiz sonucuna göre AHP de bulunan ağırlıkların ve sıralamanın ne denli değiştiğinin gözlemlenmesi kararına varılmıştır.

Kaynakça

- [1] Afradi, A., Alavi, I. and Moslemi, M., 2021. Selecting the Most Suitable Method for Extracting Construction Materials in Iran Through the Fuzzy Multi-attribute Decision-Making Model. Journal of The Institution of Engineers (India): Series D volume, 102, 113–123.
- [2] Alavi, I., 2014. Fuzzy Ahp Method For Plant Species Selection In Mine Reclamation Plans: Case Study Sungun Copper Mine. Iranian Journal Of Fuzzy Systems, 11(5), 23-38.
- [3] Alpay, S. ve Yavuz, M., 2007. A Decision Support System for Underground Mining Method Selection. In: Okuno, H.G., Ali, M. (eds) New Trends in Applied Artificial Intelligence. IEA/AIE 2007. Lecture Notes in Computer Science(), vol 4570. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] Aktaş Ö., 2012. Elmas Tel Kesme Yöntemi ile Mermer İşletmeciliğinde Elmas Tellerin Kesim Performanslarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 58s, Konya.
- [5] Arslankaya, S., Göraltay, K., 2019. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar. İksad Yayınevi, 99s, Ankara.
- [6] Aryafar, A., Mikaeil, R. and Ataei, M., 2010. Selection of an Appropriate Method to Extract the Structural Stones Using TOPSIS Multi Criteria Method. Journal of Jeotechnical Geology, 6(3), 162-169.
- [7] Aryafar, A., Yousefi, S. and Doulati Ardejani, F., 2013. The weight of interaction of mining activities: groundwater in environmental impact assessment using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP). Environ Earth Sci 68, 2313–2324.
- [8] Ashmole, I. and Motluong, M., 2008. Dimension Stone: The Latest Trends In Exploration And Production Technology. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 35-70.
- [9] Bakhtavar, E., 2011. Parallel holes spacing for the extraction of dimension stones using expansive mortars. Archives of Mining Sciences, 56(4), 621-628.
- [10] Balusa, B.C. and Singam, J., 2018. Underground Mining Method Selection Using WPM and PROMETHEE. J. Inst. Eng. India Ser. D 99, 165–171.
- [11] Bascetin A., 2004. Technical note: An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine. Mining Technology, 113(3), 192-199.
- [12] Bascetin, A., 2007. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. Environ Geol 52, 663–672.

- [13] Bogdanovic, D., Nikolic, D., and Ilic, I., 2012. Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, 84(1), 219-233.
- [14] Cardwell, T., 2005. "A comparison of non-explosive rock breaking techniques." *Proceedings of the 12th Australian Tunnelling Conference*.
- [15] Dambov R., Brandi F. and Dambov, I., 2017. Expansive Mortar to Demolish and Cut Rocks and Concretes. 7th Balkan Mine Congress – Proceedings, 129-134, Prijedor.
- [16] Despodov, Z., Mitić, S. and Peltečki, D., 2011. Application of the AHP method for selection of a transportation system in mine planning. *Podzemni Radovi*, (19), 93-99.
- [17] Duran Z., Çakmak M., Şengün B., Doğan T. ve Erdem B., 2013. Rock Breaking Technique with Non-Explosive Rock-breaking Cartridges, *Proceedings of the 7th Drilling and Blasting Symposium*, Eskişehir, Turkey, 145-152. (in Turkish)
- [18] Eleren, A. ve Ersoy, M., 2007. Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Madencilik*, 46(3), 9-22.
- [19] Eleren, A. ve Ersoy, M., 2011. Mermer Ocaklarında Elmas Tel Ve Kollu Kesiciyle Kesme Teknolojilerinin İş Güvenliği Bakımından Karşılaştırılmasında Hata Türü Etki Analizi Yönteminin Uygulanması. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4(1), 9-19.
- [20] Eray, E., 2015. İnşaat Sektöründe Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Çok Amaçlı Karar Destek Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 105s, İstanbul.
- [21] Gupta P., Mehlatat M.K., Aggarwal U. and Charles, V., 2021. An integrated AHP-DEA multi-objective optimization model for sustainable transportation in mining industry. *Resources Policy*, 74.
- [21] Güneş, A., 2017. Mermer Ocaklarında Piroteknik Kaya Kırıcı Malzemelerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 70 s, Isparta.
- [22] Güneş A., Demirdağ S., Üner C.O. ve Demirbaş E.O., 2017. Piroteknik Kaya Kırıcı Malzemelerin Mermer Ocaklarında Pasa Söküm İşlemlerinde Kullanılması. *Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi (MERSEM)*, 53-64, Antalya.
- [23] Güneş A., Demirdağ S., Demirbaş E.O. ve Üner C.O., 2022. Investigating the Usability of Pyrotechnic Rock Breaker Materials in Natural Stone Quarrying. *Journal of Mining Science*, 58(6), 973-991.
- [24] Huang, S., Li, X. and Wang, Y., 2012. A new model of geo-environmental impact assessment of mining: a multiple-criteria assessment method integrating Fuzzy-AHP with fuzzy synthetic ranking. *Environ Earth Sci* 66, 275-284.
- [25] İmanbekov, D., 2012. Melen Projesi Kapsamında Cendere I, Cendere II ve Kağıthane Tüneli Açımında Hidrolik Kırıcı ve Delme-Patlatma Yöntemi Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 109 s, İstanbul.
- [26] Jianjing, Z., 2011. The Application of Analytic Hierarchy Process in Mine Gas Prevention System. *Procedia Engineering*, 26, 1576-1584.
- [27] Kasap, Y. ve Subaşı, E., 2017. Risk assessment of occupational groups working in open pit mining: Analytic Hierarchy Process. *Journal of Sustainable Mining*, 16(2), 38-46.
- [28] Li, M., Wang, H., Wang, D., Shao, Z. and He, S., 2020. Risk assessment of gas explosion in coal mines based on fuzzy AHP and bayesian network. *Process Safety and Environmental Protection*, 135, 207-218.
- [29] Özsarıkamış E. 2015. Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşların Kullanım Alanları ve İlgili Kaya Biriminde Maksimum Parçacık Hızı Tahmini, 8. Delme-Patlatma Sempozyumu, İstanbul, 139-150.
- [30] Öztel, A., 2016. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 156s, Ankara.
- [31] Patyk, M., and Bodziony, P., 2022. Application of the Analytical Hierarchy Process to Select the Most Appropriate Mining Equipment for the Exploitation of Secondary Deposits. *Energies*, 15, no. 16: 5979.
- [32] Rehman, Z.U., Hussain, S., Noor Mohammad, Salim Raza, Saira Sherin, Mujahid Khan, Muhammad Tahir and Murtaza Khan, 2018. Comparative Analysis Of Different Techniques Used For Dimension Stone Mining. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 51(1), 23-33.
- [33] Shahriar, K., Bakhtavar, E., Saeedi, G., and Akbarpour, S. 2007. A new numerical method and AHP for mining method selection. In *Proc. 4th Int. Symp. on 'High performance mine production*, 289-306.
- [34] Song, Y. and Hu, Y., 2009. Group Decision-Making Method in the Field of Coal Mine Safety Management Based on AHP with Clustering. *Proceedings of the 6th International ISCRAM Conference – Gothenburg, Sweden*, J. Landgren and S. Jul, eds.
- [35] Tunçdemir H., 2007. Hidrolik Kırıcıların Performans Tahmini ve Seçim Kriterleri. *Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu*, İstanbul, 15-17 Kasım, 215-226.
- [36] Ünal Z., 2015. Tedarikçi Seçiminde Bulanık AHP ve TAGUCHI Kayıp Fonksiyonunun Kullanımı: Bir Otel İşletmesinde Uygulama. *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 88s, Antalya.
- [37] Wang, Q., Wang, H. and Qi, Z., 2016. An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine. *Safety Science*, 86, 78-87.
- [38] Yari, M., Monjezi, M. and Bagherpour, R., 2013. Selecting the most suitable blasting pattern using AHP-TOPSIS method: Sungun copper mine. *J Min Sci* 49, 967-975.
- [39] Yavuz, M., 2016. Madencilikte Optimizasyon Uygulamaları Ders Notu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü.