

Derleme / Review

Agrega Üretim Sahalarındaki Belirsizlik ve Risklerin Azaltılmasında Jeoloji ve Mühendislik Jeolojisi Araştırmalarının Önemi

The Importance of Geology and Engineering Geology Studies in Reducing Uncertainties and Risks in Aggregate Production Sites

Atiye TUĞRUL , Murat YILMAZ 

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar/İstanbul

Geliş (Received): Geliş 24 Mayıs (May) 2023 / Kabul (Accepted): 10 Haziran (June) 2023

ÖZ

Agrega ocaklarında üretilen malzemeler, beton ve çimento hammaddesi, asfalt ve dolgu agregası, demiryolu balast malzemesi vb. olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Çoğunlukla şehir içlerinde veya şehirlere yakın bölgelerde yürütülen agrega üretim faaliyetleri, jeolojik, çevresel, sosyal, yasal ve ekonomik belirsizlikler nedeniyle riskli bir faaliyettir. Teknik ve bilimsel verilere dayalı, belirsizlik ve riskleri azaltılmış, şeffaf ve tutarlı verilerle geliştirilmiş projeler iç ve dış tüm paydaşların proje riskleri hakkında doğru bilgiye sahip olmalarını sağlayacaktır.

Kayaçların kullanım alanlarına göre beklenen kaliteleri değişkenlik sunmaktadır. Birçok ocak yerinde, kayaçların bileşim ve dokuları, organik madde ve kavkı içeriği, yapısal unsurların kayaç kalitesine etkisi, farklı ayrışma türleri ve ürünleri, kayaçların kökeni ile ilgili zararlı bileşenler vb. unsurların çok kısa mesafelerde değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle, ocaklarda işletme öncesi jeoloji ve mühendislik jeolojisi araştırmaları yapılmalıdır. Ocaklarda bulunan kayaçların bileşim ve kalite değişimleri ile jeolojik, hidrojeolojik, jeoteknik ve çevresel risklerinin belirlenmesi üretimin devamlılığında önemli rol oynayacaktır. Bu çalışmanın amacı; ocak alanlarında belirsizlik ve risklerin azaltılması için gerekli detaylı jeoloji ve mühendislik jeolojisi araştırmalarının önemini vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler: Agrega üretimi, agrega kalitesi, mühendislik jeolojisi araştırmaları, risk

ABSTRACT

Materials produced in rock quarries have many uses, such as concrete and cement raw material, asphalt and embankment aggregates and railway ballast. Aggregate production activities, which are mostly carried out in urban areas, are a risky activity due to geological, environmental, social, legal and economic uncertainties. Projects based on technical and scientific data have reduced uncertainty and risks; furthermore, projects developed with transparent and consistent data, will ensure that all internal and external stakeholders have accurate information about project risks.

Tuğrul, Yılmaz

The quality expectations of rocks change according to their planned use. Many quarries exhibit parametric differences within very short distances. For example rock composition and texture, organic material and shell content, structural characteristics, weathering types and their products, and the presence of dangerous substances can all vary. For this reason, pre-operation geology and engineering geology studies should be carried out in the quarries. Determining the composition and quality changes of the rocks in the quarries and the geological, hydrogeological, geotechnical and environmental risks will play an important role in the quarry and facility planning. The aim of this study is to emphasize the importance of detailed geology and engineering geology surveys in reducing uncertainty and risks in quarry areas.

Keywords: Aggregate production, aggregate quality, engineering geological studies, risk

GİRİŞ

Son yıllarda yoğun göçe maruz kalan ülkemizin özellikle büyükşehirlerinde büyüme süreci oldukça hızlanmıştır. Bu durum, beton ve çimento hammaddesi (kırmataş, kum-çakıl, kil, kireçtaşı, tras vb.), asfalt ve dolgu agregaları, anroşman malzeme vb. ihtiyacını arttırmıştır (Çizelge 1). Bu bağlamda, bölgeye en yakın kaynaklar, çoğunlukla bilimsel ve teknik verilere dayalı planlama ve projelendirme yapılmadan günümüze kadar işletilmiştir. Hızlı büyüme nedeniyle, şehirlerin hammadde ihtiyacını karşılayan agrega sektörü giderek şehir içinde kalmalarının yanı sıra, iklim değişikliği vb. ile

mücadele nedeniyle gün geçtikçe artan çevresel baskılar ve kısıtlara maruz kalmıştır. Buna karşın risk ve belirsizlikleri azaltmaya yönelik teknik ve bilimsel çalışmaları yetersizdir (Tuğrul vd. 2016; Tuğrul, 2018).

Agrega üretimi için, yatırım öncesi yapılması gerekli arama faaliyetleri, kaynak tahmini ve rezerv hesabı yatırımın en önemli faaliyetlerinden birini oluşturmaktadır. Zira sahada jeolojik risk varsa, örneğin sahadaki bir fay ile jeolojik koşullar değişiyor ve kaynak sınırlanıyorsa bu durum proje açısından çok önemli bir risktir.

Çizelge 1. Doğal yapı malzemelerinin kullanım alanları (McNally (1998)'den değiştirilerek)

Table 1. Usage areas of natural building materials (modified from McNally (1998)).

Malzeme Türü	Kullanım Alanları
Kaya Blokları	<ul style="list-style-type: none"> Dalgakıran Dolgularda yamaçları koruyan bloklar Barajlarda kaya dolgu ve riprap malzeme
Kırmataşlar	<ul style="list-style-type: none"> Beton ve asfalt agregaları Demiryolu balast malzemesi, gabion vb. inşasında kullanılan malzeme Filtre malzemesi
Doğal Kum ve Çakıllar (Karasal çökeller, nehir çökelleri, gölsel çökeller, deniz kumları ve çakılları)	<ul style="list-style-type: none"> Beton ve asfalt agregaları Dolgu malzemeleri Filtre malzemesi Harç kumu

Ancak, sürdürülebilirlik bakımından çevresel, sosyal ve yönetsimsel konular da raporlanmalıdır (Tuğrul, 2021). Zira, bu konularda risk taşıyan bölgelerde, sahada ekonomik değeri yüksek agrega kaynağı olsa dahi, üretim yapılması mümkün olmayabilir. Bu nedenle yatırım birçok yönüyle değerlendirilmelidir. Örneğin, Dünya Ekonomik Forumu'nun 2014 yılında yayımladığı rapora göre; endişe duyulan küresel risklerin en önemlilerinden biri su krizidir (su kaynaklarının azalması/ kirlenmesi). Nitekim, ülkemizde ve dünyada madencilığe karşı görülen halk hareketlerinin çoğu su kaynaklarının kirlenmesi ile ilgilidir.

Pazarda rekabet etmek, satış fiyatını düşürerek değil; doğru bilgilerle, inovasyon ve Ar-Ge çalışmalarından elde edilen verilere dayalı ekonomik üretimle mümkündür (Tuğrul, 2021). Piyasa arzının sürdürülebilir olması için risk değerlendirme ve entegre risk yönetimi kritik husustur. Riskini yönetebilen ve en aza indirmeyi başaran şirketlerle, klasik yöntemlere başvurarak veya fiyat düşürerek rekabet etmek, günümüz

ve gelecek şartlarında mümkün olmayacaktır; zira karlılığını artırmak isteyen madencilik şirketleri günümüzde uluslararası mutabakatlar, sözleşmeler, anlaşmalara uygun üretim yapmak durumundadır. Madencilik şirketleri ile ilgili riskler Şekil 1'de özetlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada; kum-çakıl ve kırmataş ocaklarından çıkarılan malzemelerin efektif bir şekilde değerlendirilmesinin yanı sıra, ocak işletmeciliği sırasında karşılaşılabilecek risk ve belirsizlikleri en aza indirmek amacıyla yapılması gerekli jeoloji ve mühendislik jeolojisi araştırmalarının önemi vurgulanmaktadır. Bu kapsamda; özellikle jeolojik açıdan heterojen kaya ortamlarında açılan ocak yerlerinde, ocak açımı öncesi ve sırasında, çok farklı amaçlar için, ocaktaki malzemenin mümkün olduğunca değerlendirilebileceği üretimi sağlayabilmek, ocakların üretim aynalarında oluşabilecek şev yenilmelerini önceden belirlemek, ocakların çevresel etkilerini değerlendirmek için gerekli olan mühendislik jeolojisi parametrelerine değinilmiştir.

Sosyal Riskler

(Toplum sağlığı ve güvenliği, iş ve işçi güvenliği/sağlığı, paydaşların katılımı, acil durumlar, paylaşılan değerler, sosyal durum, bölge halkının istihdamı vb.)

Kurumsal Yönetişim

(Kamusal yönetim, şirket yönetimi, paydaşların katılımı, izinler, şikayetler, şeffaflık, iş/meslek etiği vb.)

Üretim kaynaklı riskler

(Üretim, güvenlik, ekipmanlar vs.)

Çevresel riskler

(Arazi kullanımı, biyoçeşitlilik, toz, gürültü, titreşim, maden atık ve atıkları, su kaynaklarının kirlenmesi, CO₂ emisyonu, izinler vd.)

Küresel Riskler

(İklim değişikliği, Kovid-19 pandemisi, Volkan patlaması)



EKONOMİK RİSK

Jeolojik riskler

(jeolojik belirsizlik, maden kaynak ve rezervinde belirsizlik, depremler vd.)

Jeoteknik riskler

(kayaç stabilitesine uygun ocak dizaynı, Maden atık yığınları, heyelanlar, atık barajları vd.)

Su kaynaklı riskler

(hidrojeolojik riskler, sellenme, su kaynaklarının azalması vd.)

Şekil 1. Madencilik endüstrisinde riskler (Tuğrul, 2021).

Figure 1. Risks in the mining industry (Tuğrul, 2021).

RİSK VE BELİRSİZLİKLERİN AZALTILMASINDA MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ARAŞTIRMALARININ ÖNEMİ

Agrega üretim sahalarındaki belirsizlik ve risklerin azaltılmasında jeoloji ve mühendislik jeolojisi araştırmalarının önemli bir adımı da bir sahada agrega üretimi açısından aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir.

- *Kaynak/Rezerv*
- *Kaynak Kalitesi*
- *Kaynak özelliklerine uygun kaliteli üretim*
- *Jeoteknik ve hidrolojik/hidrojeolojik riskler*
- *Çevresel etkiler*
- *Lokasyon*

Bu koşulların herhangi birinin sağlanmaması ocaktaki veya tesistesi pazarlanabilir ürün miktarını sınırlar veya üretimi engeller. Bu nedenle detaylı ve dikkatli araştırmaların yapılması gereklidir.

Jeolojik kaynak agrega olarak kullanıma uygun ve yeterli miktarda olmalıdır. Üretim ekonomisini etkileyen dekapaj miktarı (yüzeydeki farklı litolojiler veya kalın ayrışma zonu, kullanılmayan kayaçların varlığı) az olmalıdır. Kaynağın görünür rezerve dönüştürülebilmesi diğer bir deyişle işletilebilecek durumda olabilmesi için madencilik, ekonomik, pazarlama, yasal, alt yapı, çevresel, sosyal, yönetsimsel ve düzenleyici/idari faktörler açısından sorun olmamalıdır.

Agrega kaynağı, bileşim, fiziksel ve kimyasal yönden uygun olmalıdır. Öte yandan, Ocak üretim planı, kaynak modeli, mühendislik jeolojisi modeli/haritası ile ilişkilendirilmezse üretim sırasında beklenmedik problemlerle karşılaşılabilir. Ülkemizde üretimlerin çoğu

genellikle mühendislik jeolojisi haritalarına gerek duyulmadan ocaktaki agregaların ortalama kalitesi dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu durum Avrupa'nın birçok ülkesinde benzer şekildedir (Raisanen, 2005). Birçok ocakta farklı kaya birimleri sıklıkla çıkarılmakta, kırılmakta ve birbirleriyle karıştırılmak suretiyle düşük dirence sahip kayaların üretimi minimize edilmekte, ancak bu sırada bazı yüksek kaliteli agrega kayıpları olmaktadır. Eğer ocak yerindeki kalite değişimi önceden araştırılmışsa ve üretim yapılacak malzeme yeterince yaygın ve ocak alanı yeterince genişse, daha yüksek kaliteye sahip malzemeler ayrı bir şekilde üretilebilir (Raisanen, 2005). Van Loon (2002) tarafından belirtildiği gibi; bir agrega ocağında üretim kalitesi, ocağın bulunduğu alanın jeolojik özelliklerine bağlıdır. Agreganın tane şekli, üretim tekniğinin yanısıra, kayacın yapısal ve dokusal (fabrik) özelliklerinden kaynaklandığı bilinmektedir (Ramsey vd., 1974). Birçok standartta verilen testler agrega kaynaklarını yeterince karakterize etmemektedir (Langer, 2001). Bu nedenle jeolojik araştırmalar mutlaka yapılmalıdır.

Kaya kalitesi değişiminin detaylı araştırıldığı heterojen kaya ortamlarında, seçici ocak işletmeciliği agrega kaynağının etkin bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Örneğin düşük kaliteli agrega kullanımının uygun olduğu alanlarda, iyi kaliteli agregaların kullanılarak en uygun şekilde değerlendirilmelerini engeller (Raisanen, 2005). Ayrıca; ocakta seçici üretim yapılmayıp, farklı kaya birimlerine ait agregaların karıştırıldığı durumda daha düşük kaliteli agregalar elde edilir. Öte yandan karıştırılan malzemeler arasında zararlı reaksiyonlar da oluşabilir. Örneğin; mafik lavlardaki karbonatlar, sülfite zengin mika şistlerden oluşan asidik akışkanlarla reaksiyona girerek sülfatları oluşturabilir veya diğer ayrışma ürünlerinin artışına neden olabilir. Bu durum su

absorbsiyonunu artırır ve malzemenin donma-çözülmeye karşı direncini düşürür (Raisanen, 2005).

Ocaklardan üretilen farklı agregaların uygunluğunun değerlendirilmesi için, üretici, fabrika üretim kontrolü için başlangıçta bazı araştırma ve testleri yaptırmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesinde ilk adım; ocaklar için detaylı jeoloji haritalarının hazırlanmasıdır. Ancak örtülü arazilerde, özellikle jeolojik olarak heterojen kaya ortamlarında yüzey verilerine göre detaylı jeoloji haritası yapımı zordur. Bu da agregaların efektif bir şekilde kullanımlarını azaltır. İşletilen bir ocağın planlamasının ve üretiminin ocak yeri ile ilgili jeolojik verilere dayandırılmadığı durumda daha az verimli olması kaçınılmazdır (Raisanen, 2005). Ocak yerinde bulunan kaya birimlerinin özellikleri ve bu özelliklerin değişimi ocak ekipmanı ve maliyetini etkilemektedir. Ayrıca, Lizotte ve Scoble (1994)'de belirttiği gibi; kayaçların jeolojik özelliklerinin, üretim proseslerine (patlatma, kırma vb.) etkisinin önemli olmasının bilinmesine rağmen, bununla ilgili bilgiler yeterli değildir. Patlatma ve kırma sonucu, bazı kayaç türlerinde çok ince malzeme oranı, bazılarında uzun ve/veya yassı tane oranının yüksek olmasına karşın, bazılarında ise herhangi bir problem görülmemektedir (Jern, 2001). Kırılan tanenin yüzey geometrisi ve şekli kayacın kırma ve patlatma prosesine karşı davranışı ile ilgilidir (Briggs ve Bearman, 1996; Evertsson, 2000). Özellikle heterojen kaya ortamlarında ocak yeri değerlendirmesi yapılırken kayacın jeolojik ve mekanik özelliklerinin dikkate alınması işletmeye ekonomik yönden yarar sağlayacaktır (Stubbs ve Smith, 1997; Houston ve Smith, 1997; Lolcama vd., 2002; Persson, 2002; Raisanen, 2005). Smith ve Collis (1993)'e göre; bir ocak yerinin planlanmasında çevresel ve jeolojik faktörlerin yanı sıra üretim sistemi

ve bunun ekonomik boyutu değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmelerin temelinde mühendislik jeolojisi araştırmaları önemli yer tutar.

Agrega üretim sahalarındaki kalıntı toprak, zayıf, tutturulmamış ve/veya az tutturulmuş zemin niteliğindeki örtü birimler ve ayrılmış kayaçlar zayıf jeolojik malzemeler, süreksizlikler (tabaka, fay, birim sınırı vb.), patlatmadan kaynaklı ve deprem kaynaklı titreşimler ve yüzey ile yeraltı su koşulları jeoteknik risklerin temel sebepleridir. Bu sebepler agrega üretim sahalarında ayna bazında stabilite problemlerinin oluşmasına, buna ilaveten üretimden kaynaklı ocak derinliğinin artması ile global şev stabilite problemlerinin de oluşmasına neden olmaktadır. Bunun dışında pasa döküm sahalarındaki kontrolsüz dökülen ve uzun yıllar biriken pasa yığınlarında meydana gelen stabilite sorunları agrega üretim sahalarındaki jeoteknik risk olarak değerlendirilmektedir.

Yüzey ve yeraltı sularının yarattığı hidrojeolojik riskler, agrega üretim sahalarında önemli bir işletme sorunu ve potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularının üretim sahasına sızması, madencilik faaliyetlerinin ilerlemesi ile uyumlu olarak artmaktadır. Örneğin, ocak derinliği arttıkça yer altı sularının depolandığı akiferin daha geniş kesimleri açığa çıkacaktır. Bu durum sızma alanını arttırarak işletme alanlarına boşalımı çoğaltacaktır. Böylece ocak içi üretim ve nakliye koşullarını olumsuz etkileyecektir. Bunun dışında, yeraltısuyunun agrega üretim sahalarındaki en önemli etkisini şevlerde görmektedir. Burada, yeraltısuyunun oluşturacağı hidrostatik basınç, şevlerde kaymalara yol açmaktadır. Yeraltı sularının etkilerinin yanı sıra üretim sahaları yüzey suları ve yağışlardan da doğrudan etkilenmektedir. Özellikle ani kar erimeleri ve sürekli yağışlar işletme faaliyetlerini bir süre durmasına neden olabilir.

Agrega ocaklarının çevresel etkileri göz ardı edilemez. Bu ocakların en belirgin çevresel etkileri; morfolojinin değişmesi ile arazi kullanımının şekli ve koşullarının değişimidir. Özellikle orman ve tarım arazileri, geniş bir açıklığa dönüşmektedir. Diğer etkiler; bölgedeki canlıların yerleşim alanlarının ve bitki örtüsünün azalması, yerüstü ve yeraltı suyu rejiminin değişmesi, çevreye yayılan tozlar nedeniyle su kaynakları ve havanın kirlenmesi, gürültü, patlatma etkileri, erozyon ve görüntünün bozulmasıdır. Bu yüzden bu tür ocakların çevreyi etkileme düzeyleri önceden belirlenmelidir. Uygun olmayan çevresel koşullar rezervlerin değerlendirilmesini kısıtlayabilir. Madencilik nedeniyle, çevresel etkilerin yoğunluğunda jeolojinin önemli etkisi vardır. Bazı jeolojik ortamlar iyi anlaşılır ve kolaylıkla karakterize edilir. Bu tür ortamların çevresel etkilerini belirlemek ve doğal sistem içerisinde kontrol etmek kolaydır. Ancak, akarsu yatakları, karstik ortamlar ve potansiyel heyelan alanları gibi bazı ortamların çevresel etkilerinin yayılım ve şiddetinin tahmini daha zordur.

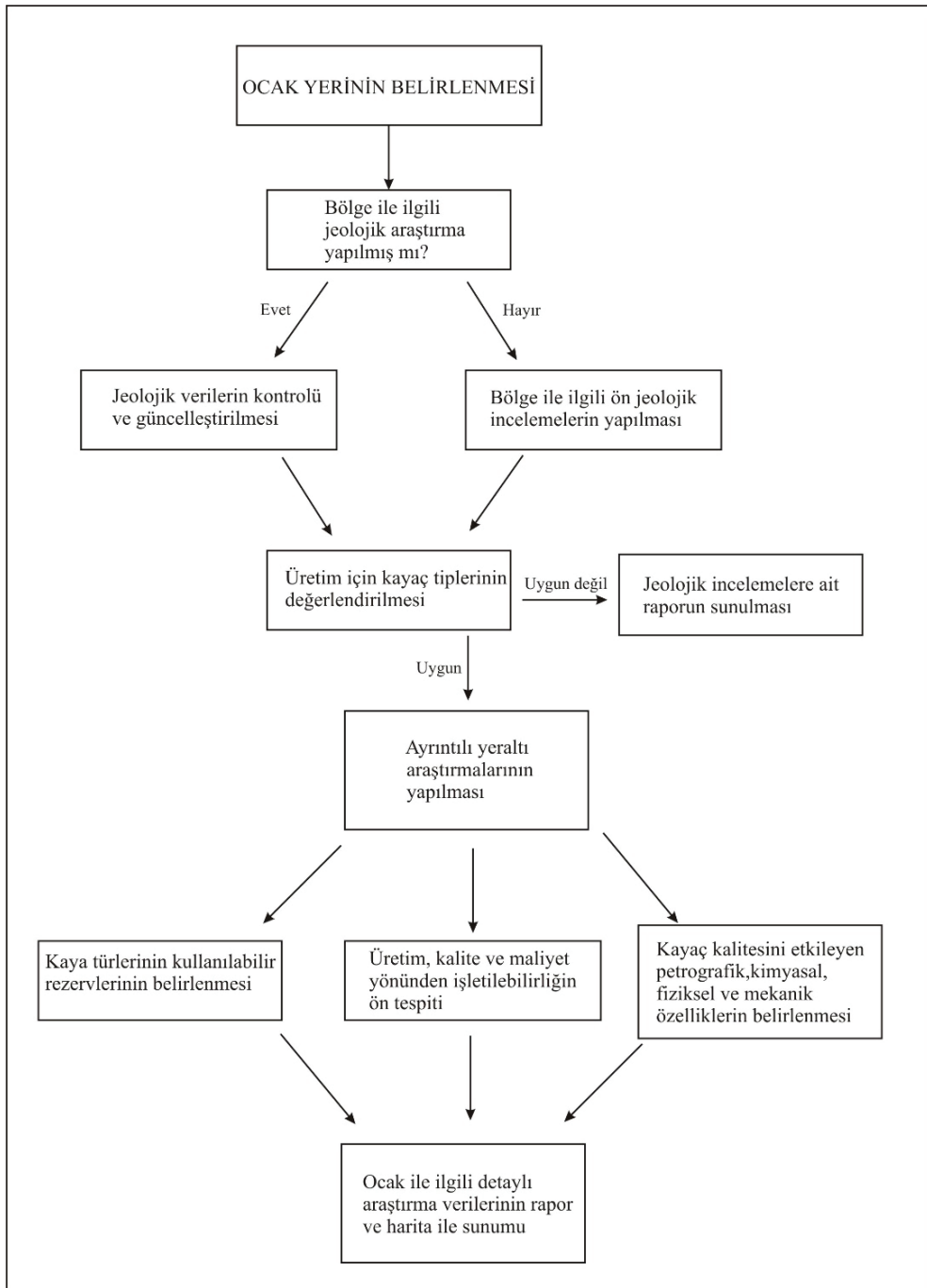
Agrega kaynağı pazara yakın olmalıdır. Zira birçok ülkede olduğu gibi, ülkemizdeki yakıt maliyetleri nedeniyle nakliye mesafesi en önemli rekabet unsurlarından biridir. Kaynağın pazara yakın olması CO₂ emisyonu açısından da önem arz etmektedir.

OCAK YERLERİNDEKİ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ARAŞTIRMALARI

Ocakta bulunan tüm malzemelerin kazı ve agregası olarak kullanımları yönünden değerlendirilmeleri açısından doğru ve yerinde kararlar alınabilmesi için, ocakla ilgili tüm veriler birlikte değerlendirilmelidir (Şekil 2). Ocaklar açılmadan önce, yüzeyde yapılan araştırmalarla birlikte, özellikle örtülü arazilerde, ortamdaki bitkisel toprak, örtü malzemesi veya ayrılmış malzemenin altındaki ana kayanın incelenmesi için araştırma sondajı ve galerilerinden yararlanılmasının yanı sıra, jeofizik araştırmaların (sismik, jeoradar vb.) yapılması gereklidir (Tuğrul ve Yılmaz, 2007). Bu araştırmalar ile ocak yerlerindeki etkin jeolojik faktörler, ocak açılmadan önce mümkün olduğunca belirlenir (Çizelge 2).

Kayaların jeolojik geçmişleri kaya kalitesi üzerinde oldukça etkilidir (Persson, 2002). Kaya gruplarının genel özellikleri birçok kaynaktan bulunmaktadır (Johnson ve DeGraff, 1988; Smith ve Collis, 1993; Goodman, 1993). Farklı kökenli kumlar, çakıllar ve kayaçlar, bunların agregası olarak kullanılmaları durumunda oluşturabilecekleri problemler ile dikkat edilmesi gerekli hususlar ise Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Mühendislik jeolojisi araştırmalarında; ocak yerindeki detaylı jeolojik araştırmaların yanı sıra, ocağı temsil eden örneklemenin yapılması diğer önemli adımlardan biridir (Yılmaz ve Tuğrul, 2013). Taşların yüzeylendiği yarmalardan, sondajlardan veya ocakta işletme devam ediyorsa aynalardan örnekleme yapılabilir. Bu işlemin mutlaka konusunda uzman jeoloji mühendisleri tarafından yapılması gereklidir (Tuğrul ve Yılmaz, 2007).



Şekil 2. Ocak yeri seçiminde aşamalar

Figure 2. Stages in choosing a quarry location

Tuğrul, Yılmaz

Çizelge 2. Agregaya kaynakları ile ilgili mühendislik jeolojisi araştırmaları

Table 2. *Engineering geology studies on aggregate resources.*

Araştırılması Gereken Unsurlar	Araştırma Yöntemleri	Verilerin Değerlendirilmesi
Önceki çalışmalar	Literatür, rapor, harita, CBS ve uzaktan algılama verileri, hava fotoğrafları, uydu görüntülerinin vb. sağlanması	Ocak yerinin belirlenmesi Rezervin saptanması Stok sahası seçimi
Ocak yerindeki malzemenin jeolojik özellikleri (Malzemelerin türleri, stratigrafik konumları, araldanmaları, kalınlıkları ve birbirleriyle olan ilişkileri) Dayk vb. sokulumların yoğun olduğu alanlar	Saha çalışması Yeraltı araştırmaları (Araştırma çukuru, sondaj, araştırma galerileri, jeofizik yöntemler vb.) Temsili örnekleme (yüzeyden örnekleme, sondaj karotları)	Üretim sistemi (Patlatma ve kırıcı dizaynı) İşletme projesi Ocak verimi Örtü malzemesi ve miktarı
Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar	Saha çalışmaları, uydu görüntüleri vb. incelenmesi	Kazı öncesi ve sonrası stabilite
Örtü malzemesi kalınlığı	Yüzey ve yeraltı çalışmaları	Ocaktaki malzemenin değişimi ve uygunluğu
Kayalardaki birincil süreksizlikler (Tabakalanma, şistozite, lineasyon vb. yapıların yatay ve düşey doğrultudaki değişimleri, yönelimleri, kalınlıkları ve ilişkileri)	Saha gözlemleri Yeraltı araştırmaları	Ürün kalitesi (agrega tane şekli, ince madde oranı, dayanım, durabilite vb.)
İkincil süreksizlikler (Fay, eklem, kıvrımlanma vb.), yüzey ve yeraltındaki değişimleri	Uzaktan algılama vb. Saha gözlemleri Yeraltı araştırmaları Petrografik incelemeler	Zararlı reaksiyonlar Tehlikeli bileşenler ve insan sağlığına etkisi
Süreksizliklerin mühendislik özellikleri (doğrultu ve eğimleri, açıklıkları, dolguları, ilişkileri, yoğunlukları vb.)		Malzemenin etkin değerlendirilmesi Çevresel Etkiler-ÇED Raporu Atık ürünler
Mikroçatlak yoğunluğu		Ocak yerinin rehabilitasyon ve renovasyonu
Mineralojik ve petrografik özellikler (Ocaktaki kaya türlerinin modal bileşimleri, doku-fabrik, tane boyu, tane sınırları vb.)	Mineralojik ve petrografik araştırmalar (Polarizan mikroskobu ile inceleme, XRD Analizleri, SEM görüntüleri vb.)	Ekonomik analiz
Kimyasal özellikler Zararlı Kimyasal Bileşenler	Kimyasal analizler	Yatırım (Tesis, enerji, nakliye yolu vb.) Maliyet analizi (sabit ve değişken maliyetler)
Kayacın jeomekanik özellikleri (yoğunluk, porozite, su absorpsiyonu, direnç, elastisite modülü, ultrasonik hız vb.)	Laboratuvar deneyleri (Yüzey numunesi ve sondaj karotları üzerinde) Pratik arazi testleri	Pazar araştırması (yıllık tüketim, güncel üreticiler vb.) Nakliye ve pazarlama
Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri, dinamik parçalanması, aşındırabilirliği, durabilitesi (alkali-agrega reaksiyonu, donma-çözülme vb.)	Laboratuvar deneyleri (Yüzey numunesi ve sondaj karotları üzerinde)	

Çizelge 2. Agregat kaynakları ile ilgili mühendislik jeolojisi araştırmaları (devam)

Table 2. *Engineering geology studies on aggregate resources. (continued)*

Araştırılması Gereken Unsurlar	Araştırma Yöntemleri	Verilerin Değerlendirilmesi
Malzeme özelliklerinin kullanım yerindeki performansına etkisinin araştırılması	Performans deneyleri Uygunluk kriterleri	
Ayrışma tipi, derecesi, derinliği vb (Kayada ve süreksizlik yüzeylerinde)	Yüzey ve yeraltı araştırmaları Mineralojik ve petrografik araştırmalar Kimyasal Analizler Laboratuvar deneyleri	
Hidrotermal Alterasyon (klorit, epidot, ikincil kalsit vb. oluşumu)	Yüzey ve yeraltı araştırmaları Mineralojik ve petrografik araştırmalar Kimyasal Analizler	
Yüzey ve yeraltı suyundaki değişimler	Yüzey ve yeraltı araştırmaları Kimyasal analizler	

Çizelge 3. Farklı agregatlar, muhtemel problemler ve dikkat edilecek hususlar

Table 3. *Different aggregates, possible problems, considerations*

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
Sedimanter Kayaçlar (Kireçtaşı, kumtaşı, kiltası vb.)	Tabakalanma-ardalanma (Yönelim, kalınlık, farklı tabakalardaki bileşim değişimleri)	Karmaşık, heterojen tabakalar Kalite değişimi Yassı ve uzun taneler
	Çimentolanma derecesi ve çimentonun türü	Direnç değişimi
	Kireçtaşları	Erime
	Çamurtaşı, grovak	Betonda büzülme
	Şeyl, çört, bazı kumtaşları	Alkali-silis reaksiyonu
	Kuarsit	Konkoidal kırılma, köşeli taneler, Üretim maliyeti artışı (Ekipman aşınması, ekipman bakım süresi) Pompalama güçlüğü
	Dolomit içeriği	Alkali-karbonat reaksiyonu
Mika, jips vb. içeriği (kumtaşlarında)	Aderans düşüklüğü Betonda su ihtiyacı artışı Dayanım ve durabilitede azalma	

Tuğrul, Yılmaz

Çizelge 3. (devam)

Table 3. (continued)

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
	Opal, kriptokristalin ve mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu, çimento malzemesi)	Alkali-silis reaksiyonu
	Vermikülit, klorit, mika vb. içeriği (grovak, çamurtaş vb.)	Alkali-silikat reaksiyonu
	Volkanik kırıntılı içeriği (Tüf, Aglomera, Lapilli v.s.)	Düşük direnç
	Zayıf düzeyler (kıltaşı, marn, kil çimentolu kayaç vb.)	Düşük direnç İnce madde ve yassı tane oranında artış
	Kükürtlü bileşenler, klorür ve sülfat içeriği	Aderans düşüklüğü Demir donatıya etki
	Fosfat mineralleri, flor, sodyum ve silisli bileşikler, Fe, Pb, Cu, Zn, Cd, U, Mn, As, Sb, Hg içeriği	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	Çatlak yüzeylerindeki pirit, kalkopirit	Sülfatların oluşumu
	Fosil ve kavkı içeriği	Düşük direnç
	Organik madde içeriği	Çimento hidratasyon hızı Betonun priz alma süresinde uzama
Volkanik Kayaçlar (Bazalt, andezit, piroklastikler vb.)	Heterojen yapı, yönlenebilirliğe bağlı bileşim ve doku değişikliği (farklı fasiyesler)	Kalite değişimi
	Kristobalit, tridimit ve volkanik cam içeriği	Alkali-silis reaksiyonu
	Asidik-ortaç kayaçlar (andezit, riyolit, tüf, dasit, andezitik bazalt vb.)	Alkali-silis reaksiyonu
	İnce taneli ve camsı volkanikler	Konkoidal kırılma Keskin köşeli yassı taneler Pürüzsüz yüzeyler

Çizelge 3. (devam)

Table 3. (continued)

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
	Hamur malzemesinin türü ve miktarı	Direnç değişimi
	Bazalt, dolerit vb.	Köşeli taneler Betonda büzülme Ekipman aşınması
	Zayıf düzeyler (Bazı tüfler, volkanosedimanter kayaçlar vb.)	Direnç azalması İnce madde ve yassı tane oranı artışı
	Opal, kriptokristalin ve mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu)	Alkali-silis reaksiyonu
	Bazik olanların (bazalt vb.) Cr, Ni, Co, Cu, Fe, Pb, Zn, Cd, Ag içerikleri, Asidik olanların (andezit vb.) Si, Ag, Cu, Pb, Zn, W, Sn, Cd, Mo, U, Th, F, As, Sb, Hg içeriği	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	Zeolit oluşumu	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	<i>Çatlak yüzeylerindeki pirit, kalkopirit</i>	Sülfatların oluşumu
	Gaz boşlukları (bazalt)	Kalite değişimi
Plütonik Kayaçlar (Granit, diyorit, siyenit vb.)	Kayaç değişimleri	Direnç değişimi Tane şekli
	Kristallenme ve kenetlenme derecesi Kristal boyutu	Direnç değişimi
	Mika içeriği (Granitlerde)	Aderans düşüklüğü Betonda su ihtiyacı artışı Dayanım ve durabilitede azalma
	Anklav içeriği	Düşük direnç, kusurlu taneler
	Opal, kriptokristalin ve mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu)	Alkali-silis reaksiyonu

Tuğrul, Yılmaz

Çizelge 3. (devam)

Table 3. (continued)

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
	Si, Ag, Cu, Pb, Zn, W, Sn, Cd, Mo, U, Th, F, As, Sb, Hg içeriği	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	<i>Çatlak yüzeylerindeki pirit, kalkopirit</i>	Sülfatların oluşumu
Metamorfik kayaçlar (Gnays, mermer, şist vb.)	Genellikle karmaşık ve heterojen yapı	Direnç ve durabilitede değişim Zararlı reaksiyonlar
	Foliasyon, şistozite, klivaj	Zayıflık zonları, Ocak stabilitesinde bozulma
	Kuarsit	Alkali-silis reaksiyonu Konkoidal kırılma, köşeli taneler, Üretim maliyeti artışı (Ekipman aşınması, ekipman bakım süresi) Pompalama güçlüğü
	Gnays	Alkali-silis reaksiyonu
	Zayıf düzeyler (Yoğun şistoziteli, ince taneli, yoğun deformasyona uğramış, kırıklı)	İnce madde ve yassı tane oranında artış Aderans düşüklüğü Düşük direnç Ayrışma ve dondan etkilenme Stok süresince yeniden ufalanma
	Metamorfik kuvars içeriği	Alkali-silis reaksiyonu
	Vermikülit, klorit, mika vb. içeriği (fillitlerde)	Alkali-silikat reaksiyonu
	Yersel bileşim değişimleri (mika bandları vb.)	İnce madde oranında artış Düşük direnç Aderans düşüklüğü Beton çimento ihtiyacında artış İşlenebilirlikte azalma
	Opal, kriptokristalin ve mikrokristalin kuvars, kalsedon içeriği (çatlak ve boşluk dolgusu)	Alkali-silis reaksiyonu

Çizelge 3. (devam)

Table 3. (continued)

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
Denizel çökeller Kıyı çökelleri	Kaynak kaya ile ilgili olarak ortalama Fe, Cu, Pb, Cu, Cr, Cd, Ni, Co, As, Sb, ve Hg içerikleri	İnsan sağlığı açısından tehlikeli
	Pirit, kalkopirit içeriği	Sülfatların oluşumu
	Kristalizasyon, metamorfizma derecesi ve ürünleri	Alkali-silis reaksiyonu
	Farklı kökenli taneler	Alkali-agrega reaksiyonu Direnç değişimi
	Biçimsiz ve ince dane yoğunluğu	Beton su ihtiyacında artış
	Kavkı içeriği	Düşük direnç
	Klorür ve sülfat içeriği	Aderans düşüklüğü Demir donatıda korozyon etkisi Betonda şişmeye bağlı hasar
Alüviyal çökeller (dere yatağı, alüviyal taraça, alüviyal koni)	Çok farklı kökenli taneler	Alkali-agrega reaksiyonu
	Çoğunlukla pürüzsüz yüzeyle, yuvarlak taneler (dere yatağı, alüviyal taraça)	Aderans düşüklüğü
	Tanelerin silisle kaplanması (alüviyal taraça)	Alkali-silis reaksiyonu
GölSEL Çökeller	Bileşim değişimi	Kalite değişimi
	Kavkı içeriği	Düşük direnç
	Organik madde içeriği	Çimento hidratasyon hızı Betonun priz alma süresinde uzama
	Kil içeriği	Aderans düşüklüğü Beton su ihtiyacında artma Dayanım ve durabilitede azalma
Karasal kum ve çakıllar (rüzgar çökelleri, buzul çökelleri, kolüviyal çökeller vb.)	Çok değişken tane boyu dağılımı	İnce madde oranında artış

Tuğrul, Yılmaz

Çizelge 3. (devam)

Table 3. (continued)

Kayaç Türü	Dikkat edilecek hususlar	Muhtemel problemler
	Çok değişken kalınlık ve yayılım	Düşük agrega potansiyeli
	Çok farklı kökenli taneler (buzul çökelleri) Genellikle aynı kökenli taneler (yamaç molozu çökelleri)	Alkali-agrega reaksiyonu
	Fiziksel parçalanma (Buzul çökelleri) Kil, mika vb. içeriği	Agrega olarak sınırlı kullanım Aderans düşüklüğü Beton su ihtiyacında artma Dayanım ve durabilitede azalma

Mühendislik Jeolojisi araştırmalarında önemli adımlardan diğeri olan deneysel çalışmalarda, agreganın kullanım alanı ile ilgili olarak uygun deney programının uygulanması gereklidir. Bu deneylerden elde edilen verilere göre; ocaklardan üretilen malzemeler özelliklerine göre mümkün olduğunca sınıflandırılmalıdır. Ayrıca; agregalardaki zararlı ve tehlikeli maddeler ile depolanma sürecinde agregalarda meydana gelebilecek özellik değişimlerinin (ayırışma, dağılma vb.) belirlenmesi gereklidir. Özellikle magmatik ve metamorfik kayalarda tehlikeli maddelerin bulunması muhtemeldir. Bu nedenle bu tür kayaların işletilmesi söz konusu olduğunda, işletme öncesi, bu tip kayaçların, insan sağlığı açısından toksik özellikler arz eden metal elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi son derece önemlidir (Çizelge 3).

Mühendislik Jeolojisi araştırmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile ocak için uygun kazı planının hazırlanması, ocaktaki malzemeye uygun üretim prosesinin belirlenmesi, uygun üretim ekipmanının seçimi, üretim maliyetinin (delme, kazma, çıkarma, nakletme) önceden hesaplanması, üretilecek

malzemenin etkin bir şekilde değerlendirilmesi, ocaktaki yeraltı suyu durumunun belirlenmesi gibi ocak işletmeciliği açısından oldukça önemli işlemler (Çizelge 2) uygun ve doğru bir şekilde yapılacaktır.

Mühendislik jeolojisi araştırmalarından elde edilen verilere göre hazırlanan "Ocak Yeri Mühendislik Jeolojisi Haritası" önemli ve son adımdır. Bu harita ile ruhsat alanında ocağın açılacağı en uygun yerin seçimi, kazı planlaması, kullanılmayacak durumda olan ürünlerin kaldırılması ve depolanmaları için uygun yer seçimi, stok alanının seçimi doğru bir şekilde yapılabilir. Ocak üretim planı detaylı mühendislik jeolojisi haritaları ile ilişkilendirilmezse üretim sırasında beklenmedik problemlerle karşılaşılabilir.

SONUÇLAR

Agrega üretim faaliyetlerinin oluşturabileceği çevresel, sosyal ve üretim kaynaklı risklerin temelinde jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik riskler bulunmaktadır. Tüm bu risklere neden olan faktörlerin dikkate alınmaması durumunda

üretim faaliyetleri olumsuz etkilenecek ve ekonomik riskler kaçınılmaz olacaktır. Bu yüzden jeoloji ve mühendislik jeolojisi araştırmaları agrega konusunda yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

Günümüzde agrega üretimi ile ilgili ülkemiz ve dünyada birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar kalite ile çevresel, sosyal ve yönetişimsel konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Kalite konusunda kalite sürekliliği, dayanıklılık, kaynak verimliliğinin artırılması, üretim ve kontrolü için dijitalleşme, atıkların azaltılması ve döngüsel ekonomi üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Çevresel, sosyal ve yönetişimsel konular üzerinde ise çoğunlukla; ekonomik, çevresel ve sosyal politikalar, planlama politikaları, sorumlu kaynak kullanımı ve sorumlu madencilik, enerji verimliliği, düşük karbon emisyonu, toz emisyonlarının azaltılması, su kaynaklarının korunması ve atıkların geri dönüşümü ile ilgili çalışılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Briggs, C. A., & Bearman R. A., (1996). An investigation of rock breakage and damage in comminution equipment. *Miner Eng.*, 9, 489–497.
- Evertsson, C. M., (2000). Cone crusher performance. PhD Thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg.
- Goodman, R. E., (1993). *Engineering Geology, Rock in Engineering Construction*, John Wiley and Sons Inc. (Publisher), 412 p.
- Houston, E. C., & Smith, J. V., (1997). Assessment of rock quality variability due to smectitic alteration in basalt using X-ray diffraction analysis. *Eng Geol.*, 46, 19–32.
- Jern, M., (2001). Determination of the damaged zone in quarries, related to aggregate production. *Bull Eng. Geol. Environ.*, 60, 157–166.
- Johnson, R.B., & DeGraff, V.J., (1988). *Principles of Engineering Geology*, John Wiley and Sons Inc. (Publisher), New York, 497 p.
- Langer, W.H., (2001). Geological considerations affecting aggregate specifications. 9th Annual Symposium of the International Center for Aggregates Research, Austin, Texas, April 23–25.
- Lizotte, Y.C., & Scoble, M.J., (1994). Geological control over blast fragmentation. *Can Mining Metallurgical Bull.* 87(983), 57–71.
- Lolcama, J. L., Cohen, H. A., & Tonkin, M. J., (2002). Deep karst conduits, flooding, and sinkholes: lessons for the aggregates industry. *Engineering Geology*, 65, 151–157.
- McNally, G.H., (1998). *Soil and Rock Construction Materials*, E & FN Spon, London, 403 p.,
- Persson, L., (2002). Rock materials for construction: Resources, Properties, Heterogeneity and suitability for use: Examples and Issues from the Precambrian of Sweden, Proceedings of 9th IAEG Congress, Durban, South Africa, 105-120.
- Raisanen, M., (2005). Quality assessment of a geologically heterogeneous rock quarry in Pirkanmaa county, southern Finland, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, 409-418.
- Ramsay, D. M., Dhir, R. K., & Spence, I. M., (1974). The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate, *Engineering Geology*, 8, 267-285.
- Smith, M. R., & Collis, L., (1993). *Aggregates. Geological Society Engineering Geology Special Publication*, Vol 9. 339 p.
- Stubbs, B. J., & Smith, J. V., (1997). Weathered bedrock as a source of sand and gravel aggregate in north-eastern New South Wales, Australia. *Environ Geol.*, 32(1), 64–70.
- Tuğrul, A. ve Yılmaz, M., (2007). Taş Ocaklarında Kayaç Kalitesinin Değişimi ve Ocak Yerlerinde Mühendislik Jeolojisi Araştırmalarının Önemi, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, Türkiye, ss.63-72.

- Tuğrul, A., Yılmaz, M., Hasdemir, S., & Sönmez, İ., (2016). Sustainable management of aggregate resources in İstanbul, From: Eggers, M. J., Griffiths, J. S., Parry, S. & Culshaw, M. G. (eds) 2016. Developments in Engineering Geology. Geological Society, London. Geological Society Engineering Geology Special Publication, 27, 55–61.
- Tuğrul, A., (2018). The State of Aggregates in the World Today, 61st Annual Meeting/XIII IAEG Congress, Engineering Geology for a Sustainable World, 15-23 September 2018, San Francisco, USA.
- Tuğrul, A., (2021). Sürdürülebilir madencilik yolunda sorumlu kaynak kullanımı ve sorumlu madencilikte UMREK koduna uygun raporlamanın önemi, Mimar ve Mühendis, sayı: 120, sayfa: 32-37.
- Van Loon, A. J., (2002). The complexity of simple geology. *Earth Sci Rev.*, 59, 287–295.
- Yılmaz, M., & Tuğrul, A., (2013). The Importance of Lithologic Changes in an Aggregate Quarry, Global View of Engineering Geology and the Environment Proceedings, Faquan Wu & Shengwen Qi (eds), pp. 405-412.