



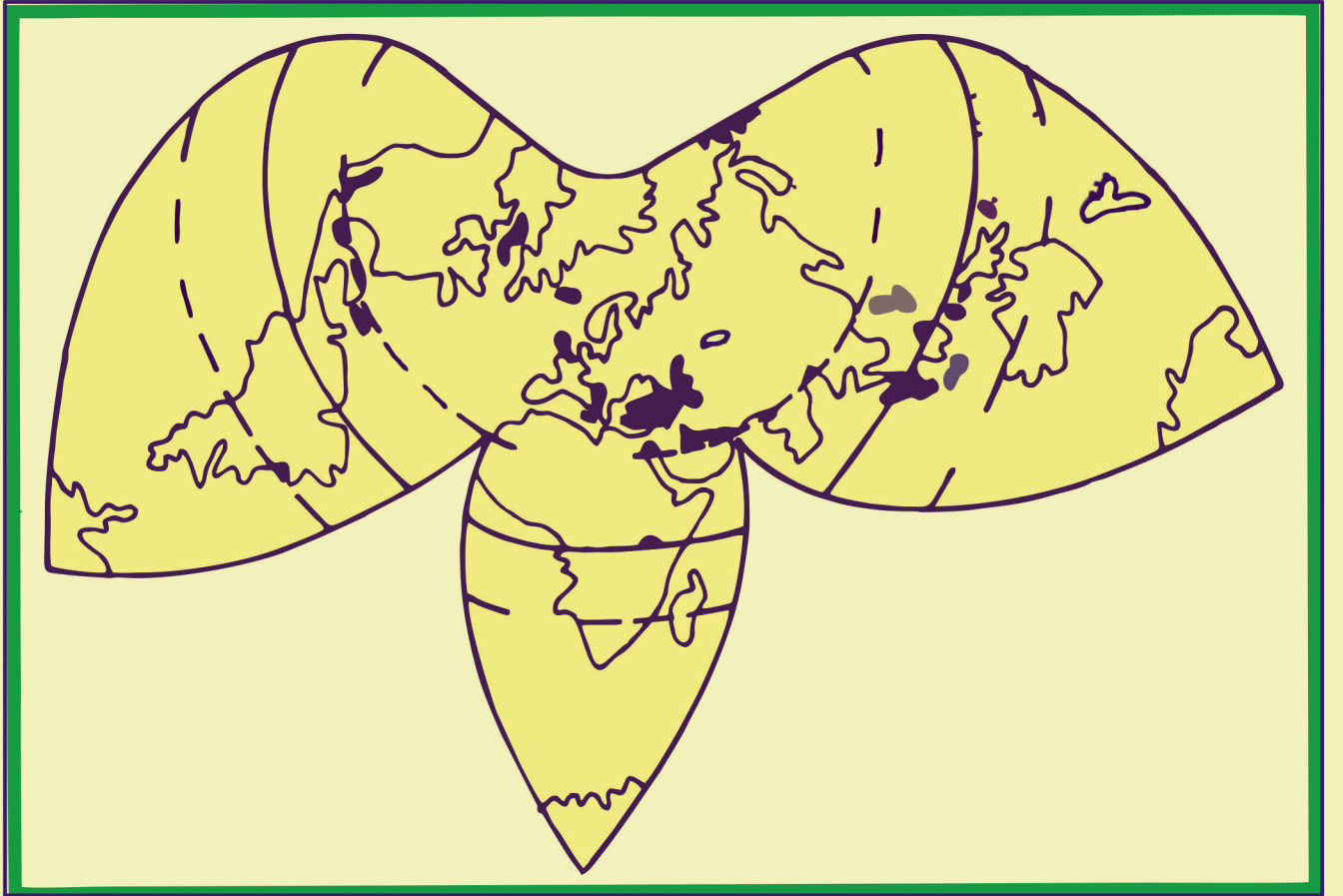
GEOSOUND



YERBİLİMLERİ

Science and Technology

Online Bulletin on Earth Science



SAYI
NUMBER

61

HAZİRAN
JUN
2025



2023 Kahramanmaraş Depremlerinde Hasar Gören Yapılarda Yapı Malzeme Kalitesinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Building Material Quality in Buildings Damaged in 2023 Kahramanmaraş Earthquakes

İsmail Hakkı ÇAĞATAY Orcid: 0000-0001-5182-776X

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş (received): 30/10/2024

Kabul (Accepted): 30/05/2025

ÖZ

Bu çalışmada 6 Şubat depremlerinde yıkılan ve hasar gören yapıların malzeme kalitesi incelenmiştir. Betonarme yapıların beton özellikleri, beton kalitesi araştırılmıştır. Hasarlı ve yıkılmış yapıların beton kalitesinin oldukça yetersiz olduğu, betonda ayrışmalar, iri agrega kullanımı tespit edilmiştir. Hasarlı veya yıkılmış binaların malzeme kalitesi ile ilgili örnekler gösterilmiştir. Depremlere karşı güvenli yapılarda yapı malzeme özelliklerinin nasıl olması ile ilgili çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kahramanmaraş depremleri, deprem, beton, betonarme yapılar, malzeme kalitesi

İsmail Hakkı ÇAĞATAY

hcagatay@cu.edu.tr

DOI: 10.70054/geosound.1576123

ABSTRACT

In this study, the material quality of the buildings collapsed and damaged in the February 6 earthquakes was examined. Concrete properties and concrete quality of reinforced concrete structures were investigated. It has been determined that the concrete quality of damaged and collapsed structures is quite inadequate, there are segregations in the concrete and the use of coarse aggregate. Examples of the material quality of damaged or collapsed buildings are shown. Solution suggestions have been made regarding the properties of building materials in buildings that are safe against earthquakes.

Keywords: *Kahramanmaraş earthquakes, earthquake, concrete, reinforced concrete, material quality*

GİRİŞ

06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş ilimizde merkez üssü Pazarcık ve Elbistan olan büyüklükleri Mw 7.7 ve Mw 7.6 olarak belirlenen iki büyük deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2023). 7.7 büyüklüğündeki deprem yerin 8.6 km derinliğinde, 7.6 büyüklüğündeki deprem ise yerin 7 km derinliğinde meydana gelmiştir. Depremler 11 İlimizi etkilemiştir. Ülkemizin bir deprem kuşağında yer aldığı bilinmekte ve hemen hemen her büyük depremde çok sayıda can ve mal kayıpları meydana gelmektedir, (Çağatay, 2024).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı verilerine göre 332 bin 947 bağımsız bölümden oluşan 84 bin 726 bina yıkık, acil yıkılacak ve ağır hasarlı olarak tespit edilmiştir, (www.csb.gov.tr, 2023). İçişleri Bakanlığı verilerine göre depremlerde 38 bin 901 bina yıkılmıştır. 60 bin 421 acil yıkılacak ve yıkık bina, ağır hasarlı 200 bin 401 bina tespit edilmiştir, (www.icisleri.gov.tr, 2023).

Ülkemizde oluşan önceki depremlerde benzer hasarlar oluşmuştur, (Çağatay, 2005). Hasarların en büyük nedenleri yeterli ve uygun malzeme kullanılmaması, kullanılan agregaların granülometrilерinin uygun olmaması, yetersiz çimento kullanımı, betonda vibratör kullanılmaması veya yetersiz kullanım, beton kürünün yeterli yapılmaması, donatı olarak

kullanılan çeliğin uygun olmaması, etriye aralıklarının yetersiz olması, etriye kancalarının 135° olmaması ve korozyon olarak sayılabilir.

YAPI MALZEMESİ, DEPREM VE BETON

İnşaat mühendisliğinde özellikle en çok kullanılan binalar betonarme olarak yapılmaktadırlar. Betonarme yapı beton ve çelik malzeme ile oluşturulmaktadır. Beton basınç dayanımı yüksek ancak çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir. Beton agrega denilen doğal veya kırma taşların su, çimento ve gerektiğinde bazı katkı malzemelerinin birlikte karılmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir. Beton diğer bazı malzemelere göre kıyaslandığında ucuz olarak üretilen ve özellikle ülkemizde en çok kullanılan yapı malzemesidir. İyi kaliteli beton elde edebilmek ancak iyi kalitede malzeme ve bu malzemelerin uygun oranlarda kullanılmasıyla mümkündür. Uygun olmayan malzeme ve karışım oranları, betonun da niteliksiz ve güvensiz olmasına neden olabilir.

Betonarme yapılarda yapının moment, kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve bu etkilerden oluşan gerilmelere yeterince dayanıklı olması gerekmektedir. Betonun yeterli dayanım, dayanıklılık ve kalitede olması önemlidir. Yapıların servis ömrü süresince depreme karşı dayanıklı olması ancak yapıda kullanılan malzemelerin, kaliteli ve standartlara uygun olması ile sağlanabilir. Beton ve çelik betonarmeyi oluşturan malzemelerdir. Bu malzemelerden beton ve çeliğin yeterli aderansla betonarmeyi oluşturması gerekir. Betonun yetersiz olması ile betonarme dayanım da yetersiz olabilir. Betonun kalitesiz olması sadece beton dayanımının az olmasına neden olmaz, donatıların paslanmasına ve aderansın azalmasına neden olabilir. Bu nedenle beton yeterli dayanım, dayanıklılıkta olmalıdır.

Agregalar ince ve iri olmak üzere iki kısımdan oluşmakta ve elendiğinde 4 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçen agregalara ince agrega, bu elek üzerindeki agregaya da iri agrega denmektedir. İnce agregalara kum, iri agregalara çakıl da denmektedir.

Çimento bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimento kalker ve kilden elde edilmektedir. Çimento, su ve ince agregadan oluşan karışıma ise harç denilmektedir. Çimento ve su ile oluşturulan karışım başlangıçta yumuşak ve şekil verilebilen bir malzeme durumundadır. Harç

daha sonra bu yumuşak durumunu kaybetmeye başlar. Böylece, birkaç saat içerisinde harç katılaşmakta daha sonra ise tamamen katı durumda olmaktadır. Harç malzemesi birkaç saat yumuşak olarak kaldığı için kalıplara dökülebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi mümkün olmaktadır.

Depreme dayanıklı betonarme yapı için nitelikli malzemeler kullanılarak elde edilmiş beton gereklidir. Kalitesiz ve uygun olmayan beton kullanarak sağlam betonarme yapı yapmak mümkün değildir.

BETONDAN BEKLENİLEN PERFORMANS

Yapıda istenilen şekil ve boyutlarda betondan yapılmış elemanların kullanılması için, önce kalıplar hazırlanmakta ve içerisine taze beton yerleştirilmektedir. Kalıplar daha sonra sökülmetedir. Beton çok uzun yıllar dayanım gösteren bir malzemedir. Betonun gerek üretimi gerekse üretiminden sonra gerekli bazı özelliklerde olması gerekmektedir.

Taze beton kolayca işlenebilir olmalıdır. Yani beton kalıbına rahatça yerleştirilebilmelidir. Taze beton segregasyona yani ayrışmaya uğramamalıdır. Beton yapı servis ömrü süresince gerekli dayanımı gösterebilmelidir. Örneğin beton dayanımı deprem bölgelerinde tasarımda belirlenen en küçük değerden daha düşük olmamalıdır. Beton sınıfı deprem bölgelerinde yapılan binalar için en az C25 olmalıdır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Beton sadece fiziksel olarak dayanım göstermemeli aynı zamanda kimyasal olarak da dayanım gösterebilmelidir. Betonun kimyasal etkilere karşı dayanımı durabilite olarak tanımlanmaktadır. Bazen kimyasal etkilere karşı dayanım daha önemli olabilmektedir. Özellikle zararlı kimyasal suların etkisindeki beton bu etkilere karşı güvenli bir şekilde dayanım gösterebilmelidir.

Beton hedeflenen dayanım değerleri sağlamalıdır. Örneğin, 1, 3, 7, 28, 90 gün ve herhangi bir zaman için beton gerekli dayanımı sağlayabilmelidir. Beton yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır. Rötre ve genleşme aşırı ise zararlı olabilir.

Betonun gerilme şekil değiştirme özellikleri, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, sünme etkisi önemli karakteristiklerindendir. Betonun basınç dayanımı C20 sınıfı beton için 20 MPa, çekme dayanımı 2 MPa, elastisite modülü yaklaşık 25000 MPa, Poisson oranı 0.20 kadardır.

BETONUN BASINÇ MUKAVEMETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Betonda aranan en önemli özelliklerden biri yüksek bir basınç mukavemetidir. Yapı elemanları çekme, basınç, kayma ve bunların grupları olan çeşitli gerilmelere maruz kalırlar. Beton, basınç mukavemeti çok yüksek bir malzeme olduğu için elemanlarda basınç gerilmelerinin fazla olduğu yerlerde çalışır. Çekme gerilmeleri, betona aderans ile bağlı çelik çubuklar tarafından karşılanır. Kayma gerilmeleri de beton ve çeliğin ortak çalışmasıyla önlenir.

Betonun basınç dayanımına etki eden yüzlerce parametre vardır. Bu parametrelerin birbirleriyle çok iyi bir etkileşiminin olduğu ve herhangi birinin değerinin düşük veya kötü olmasının betonun basınç mukavemetine dolayısı ile yapıların dayanımına direkt olarak etki edebileceği asla gözden uzak tutulmamalıdır.

Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler genel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir: Agregası ile ilgili faktörler, Çimento ile ilgili faktörler, Karışım suyu miktarı, Taze beton üretme, nakletme, kalıba dökme yöntemleri, prizlenmiş betonun bulunduğu sıcaklık ve nem ortamı ile prizlenmiş betonun bakımı ile ilgili faktörler.

Agregası ile ilgili faktörler

En küçük boyutu 0-1mm olan, en büyük boyutu ev, okul, büro gibi normal betonarme yapılarda 4 cm, beton gövde barajlar gibi geniş yapılarda 15 cm kadar olabilen tabii veya suni olarak elde edilebilen taş veya kaya parçacıklarına agregası denir. Dane çapı 4 mm'den küçük olan agregalara ince agregası (kum), dane çapı 4 mm'den büyük olan agregalara iri agregası, (çakıl) denmektedir.

Betonun hacim olarak %75 civarında kısmını agregalar oluşturduğu için betonun asıl mukavemeti en fazla agregalar tarafından sağlanır. Betonun basınç mukavemetinin aslı, iri agregası tarafından meydana getirilmektedir. Yani beton elemanın maruz kaldığı basınç gerilmesine asıl iri agregalar karşı koyar. Kum, iri agregalar arasında kalan boşlukları doldurur. Çimento hamuru da kum ve iri agregası taneleri arasındaki boşlukları doldurur ve agregası tanelerini birbirine bağlayarak çalışmaları esnasında gerilmeleri birbirlerine iletmelerini sağlar.

Betonda kullanılacak agregalar için eski nehir yatakları ve eski buzul vadileri ideal kaynaklardır. Betonda deniz kumu kullanılmamalıdır. Deniz kumu nehir kumlarına göre daha yuvarlaktır. Dolayısı ile betonda iyi bir dayanım elde edilemez. Ayrıca içerisinde bulunan deniz kabukları ve tuz gibi maddelerin çok iyi temizlenmiş olması gerekmektedir. Deniz kumundaki tuz betondaki donatının paslanmasına neden olmaktadır. Bu tür kum binaların dayanımını büyük ölçüde azaltmaktadır, Şekil 1.

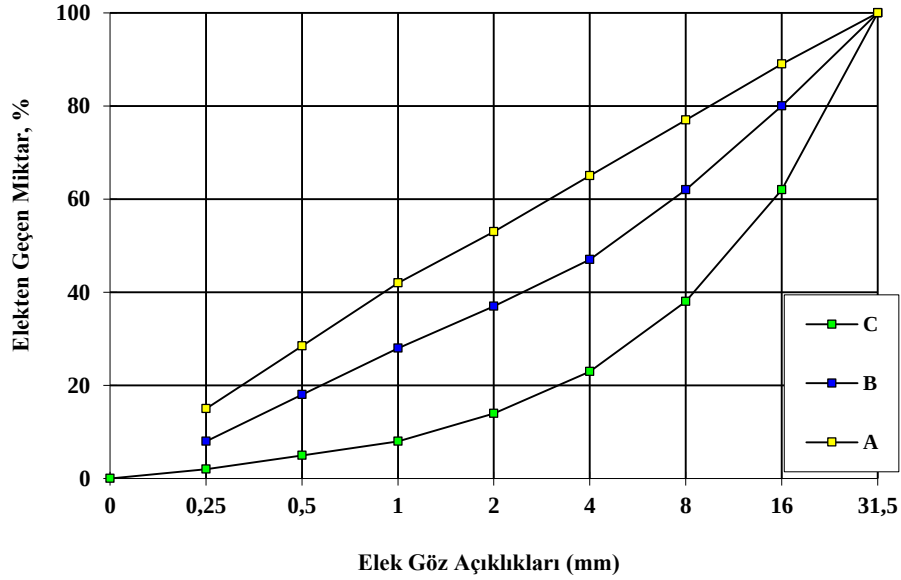


Şekil 1. Deniz Kumu Kullanılarak Yapılan Beton

Figure 1. Concrete Made with Sea Sand

Agregalar birbirleriyle gerilmeleri iletebilecek şekilde bağımlı olmalıdır. Agregalar arası boşlukları iyi bir şekilde çimento hamuru doldurur, agregalara yapışacak yekpareliği sağlar. Dolayısıyla, yüksek kaliteli betonda agreganın değişken boyutlu olması önemlidir.

Agreganın granülometrisi betondaki agrega dağılımını göstermektedir. TS 802'ye göre dane çapı en çok 31.5 mm olan agregalar için (normal betonarme inşaatlar için) gradasyon değeri Şekil 2' de görülmektedir. Şekilde B ve C eğrileri arasında kalan bölge iyi bir beton için gereklidir. Bu bölgenin dışında değerler beton için iyi değildir. A ve B eğrileri arasında kalan bölge kabul edilebilirdir.



Şekil 2. Maksimum Dane Çapı 31.5 mm Olan Agregalar İçin Granülometri Eğrisi

Figure 2. Granulometry Curve for Aggregates with Maximum Grain Diameter of 31.5 mm

Betonun mukavemeti çimento dozajı ile artar. Diğer bir deyişle, betonun mukavemeti 1 m³ taze beton için gerekli çimento miktarı arttıkça sertleşmiş betonun mukavemeti de artacaktır. Çok fazla çimento ilave etmek ise rötreyi artıracığından, bu çatlaklara sebep olduğu müddetçe uzun zamandaki mukavemet zararlı kimyasal olayların etkisiyle azalabilir.

Çimentonun zamanla hidrasyonunu su sağlar. Su ihtiyacı teorik, deneysel ve tecrübeye dayanan çalışmalar sonucu agrega ve çimento özelliklerinin ve kalıplarının biçimi, taze betonu sıkıştırma yani kalıbına döküp sıkıştırma yöntemi ve bunlar gibi çeşitli etkenlerin fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Genel olarak beton karışımlarında gereğinden daha fazla su kullanılması betonun dayanımını azaltmaktadır.

Beton kalıbına dökülüp sıkıştırıldıktan sonra birkaç saat sonra prizlenir. Prizlendikten sonra betonun suyunu buharlaşma yoluyla kaybetmesi mümkün mertebe azaltılmalıdır. Hava sıcaklığının 35 °C derece üstünde olması bu açıdan zararlıdır. Sıcaklığın 5 °C derecenin altına düşmesi hidrasyon hızını çok yavaşlatır.

1 m³ betonda kullanılan karışım suyunun miktarının, çimentonun miktarına ağırlık bazında oranına su/çimento oranı denir. Diğer şartlar yerindeyken mukavemet su/çimento oranına bağlıdır. Su/çimento oranı 0.35~1.0 arasında değişir, su/çimento oranının artması ile betonun mukavemeti düşer. Su miktarı arttıkça işlenebilirlik artar ancak beton mukavemeti azalır.

Ayrışma ileride mukavemetin azalmasına neden olur. Beton ne kadar sulu ise ayrışma o kadar çok olur. Su miktarı arttıkça aynı mukavemeti elde etmek için çimento miktarı da arttırılmalıdır. Agregada içinde iri taneler çoksa karışım suyu miktarı azalır ve aynı mukavemet için daha az çimento gerekir.

YIKILAN BİNALARIN MALZEME KALİTESİ

2023 Kahramanmaraş depremlerinden sonra, depremlerde yıkılan veya hasarlı binalar malzeme kalitesi bakımından incelenmiştir. Betonarme yapılarda kullanılan beton ve çelik malzemelerin durumları hasarlı olup olmadıkları ve varsa da hasar nedenleri incelenmiştir.

Şekil 3'te hasar gören bir yapının kirişi ve donatıları görülmektedir. Betonarme kirişin betonu yeterli tane dağılımına uygun değildir. Betonun bu durumu kirişte bulunan donatıların korozyonuna da neden olmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistem yapı elemanlarında beton ve donatı arasında tam aderans olmalıdır. Bu nedenle beton ve çelik uygun kalitede olmalıdır. Uygun olmayan beton ile bunu sağlamak mümkün değildir.

Şekil 4'te görülen beton kalitesinin oldukça az olmasından dolayı yeterli kesme dayanımı bulunmadığından kolonda hasar oluşmuştur.

Şekil 5'te iyi yerleştirilmediği için segregasyon göstermiş beton görülmektedir. Böyle bir betonda boşluk olacağından beton kesiti azalacaktır. Böyle betonda dayanım çok düşük olacaktır.



Şekil 3. Betonarme Kiriş ve Donatılar

Figure 3. Reinforced Concrete Beam and Reinforcements



Şekil 4. Betonarme kolon ve donatılar

Figure 4. Reinforced Concrete Column and Reinforcements

Şekil 6’da bir kolondaki beton ve donatılar görülmektedir. Betonda uygun olmayan iri agregalar beton kalitesinin düşmesine neden olur. Şekilden ayrıca etriye olarak kullanılan donatılar arasındaki mesafenin uygun olmadığı görülmektedir.



Şekil 5. Segregasyon göstermiş beton

Figure 5. Segregated Concrete



Şekil 6. Betonda uygun olmayan gradasyon

Figure 6. Improper Gradation in Concrete

Şekil 7’de betonda kullanılan agregalar çok iri olup beton kalitesini etkilemektedir. Genel olarak konut yapılarında maksimum agrega tane çapının 31.5 mm olması istenir. Betonda kullanılacak agrega, yapının kullanılma şekli ve yapı çevresindeki durum da dikkate alınarak, TS 706’ya uygun olmalıdır. TS 500’ e göre agrega granülometrisinin beton niteliği üzerindeki önemli etkisi nedeniyle, kullanılacak agrega ile önceden yapılacak deneylerle amaca en uygun granülometri belirlenmelidir, (TS 500, 2000). Betonda kullanılacak agreganın en büyük dane büyüklüğü, kalıp genişliğinin 1/5 inden, döşeme kalınlığının 1/3 ünden, iki donatı çubuğu arasındaki uzaklığın 3/4 ünden ve beton örtüsünden büyük olamaz. Ancak buradaki beton agregalarının tane çapı çok daha fazladır. Böyle agregalar ile betonun gradasyonu uygun olmaz. Şekil 8’de uygun olmayan dağılıma sahip agrega ile üretilmiş beton görülmektedir.

Betonun bir özelliğini olumlu veya olumsuz hale getirince diğer özellikleri buna göre olumlu veya olumsuz olur. Örneğin, betonda iyi gradasyon betonda daha az boşluk olmasına, daha az betonda su kullanılmasına neden olur, dolayısıyla daha sağlam ve kaliteli, dırabilitesi yüksek betonlar üretilir. Bu nedenle beton sadece agrega, su ve çimento gibi malzemeleri karıştırarak üretilmez. Üretilcek betonda bu malzemelerin uygun oranlarda da olması gerekmektedir.



Şekil 7. Betonda uygun olmayan gradasyon

Figure 7. Improper Gradation in Concrete

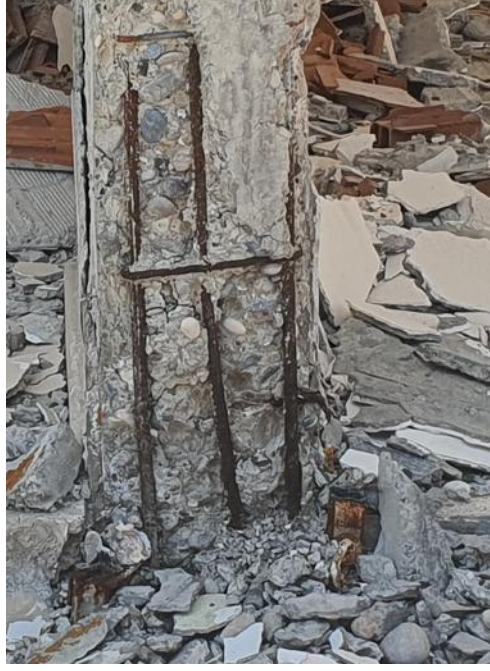


Şekil 8. Betonda uygun olmayan gradasyon

Figure 8. Improper Gradation in Concrete

Şekil 9’da hasarlı bir kolon görülmektedir. Kolondaki beton agregaları uygun gradasyona sahip olmadığından beton kalitesi düşüktür. Beton kalitesinin düşük olması nedeniyle betonarme kolondaki paspayı betonları dökülmüş ve donatılar görülmektedir. Donatıların oldukça paslı olduğu anlaşılmıştır. Bu ise beton ve çelik arasındaki aderansı azaltmaktadır. Düşük aderanslı betonarme elaman yeterli kesme kuvvetlerini karşılayamaz. Betonarmenin oluşabilmesi beton ile çelik arasında tam bir aderansın olması ile sağlanır. Tam aderans olmaz ise betonarme eleman görevini yeterli olarak yapamaz ve taşıma gücü kapasitesi oldukça düşer.

Şekil 10-12’de düşük kaliteli beton örnekleri görülmektedir. Betonun yeterli kalitede olmaması nedeniyle beton pas payları kolayca kırılabilmekte, donatılar paslanmakta ve yapı elamanı hasar görmektedir.



Şekil 9. Betonda uygun olmayan gradasyon

Figure 9. Improper Gradation in Concrete



Şekil 10. Betonda uygun olmayan gradasyon

Figure 10. Improper Gradation in Concrete



Şekil 11. Betonda uygun olmayan gradasyon

Figure 11. Improper Gradation in Concrete

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

06 Şubat 2023 Depremlerinde ülkemizde çok sayıda can kaybı olmuş, çok sayıda bina yıkılmış veya hasar almıştır. Bu çalışmada depremlerde yıkılan ve hasarlı olan binaların bulunduğu Kahramanmaraş, Hatay, Osmaniye ve Adana'daki yapılar incelenmiş, yapılarda kullanılan beton ve çelik malzemelerin malzeme özellikleri ve hasar durumları incelenmiş ve çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Ülkemizde önceki depremlerde oluşan benzer malzeme kullanımları bu depremlerde de genel olarak değişmemiştir. Beton düşük dayanımlı, yetersiz kalitede üretilmiştir. Betonun düşük kalitede olması binaların yıkılmalarında ve hasar görmelerinde en önemli etkenlerden olmuştur. Beton üretiminde gereken önem verilmemiş ve beton uygun üretilmiştir. Betonun üretiminde yapılan olumsuzluklar betonun kalitesine ve

betonarme yapının deprem davranışına da yansımış ve betonarme yapı gereken davranışı gösterememiştir.

Deprem bölgelerinde yapılan inceleme ve araştırmalardan betonda görülen hasarların en önemli nedenleri aşağıda özetlenmiştir.

Betonda kullanılan malzemeler yeterli kalitede agregalar değildir. Bazı yapılarda kullanılan agregalar beton yapımına uygun değildir. Agregaların uygun granülometrisi yoktur. Dolayısıyla granülometrik bir hesap yapılmadığı, agregaların uygun olmayan oranlarda betona karıştırıldığı anlaşılmıştır.

Bazı yapılarda kullanılan agregaların maksimum tane çapları çok fazladır. Böyle agregalar ile beton üretimi uygun değildir.

Beton üretiminde vibratör kullanılması zorunludur. Ancak, bazı yapılarda vibratör kullanılmadığından betonun yeterli sıkıştırılması yapılmamış ve betonda segregasyon oluşmuştur.

Betonun istenen kalitede olmaması, paspayının yetersiz olması nedeniyle donatılar paslanmıştır. Donatının paslanması beton örtüsünün kırılmasına ve aderansın azalmasına neden olmuştur.

Beton üretiminde gerekli olan itina gösterilmemiştir. Beton üretimi uygun yapılmamış ve üretiminden sonra gereken kür uygulanmamıştır.

Tüm olumsuz özellikler yapıların hasar görmesine neden olmuştur. Standart dışı beton ve çelik ile sağlam bina üretmek mümkün değildir.

Depremlerde binaların yıkılmaması için beton ve çeliğin standartlara uyularak üretilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Afad.gov.tr.

Çağatay, İ. H., 2024. 2023 Kahramanmaraş Earthquakes and Investigation of Their Effects on Buildings, Geosound, 60.

<https://www.csb.gov.tr>

<https://www.icisleri.gov.tr>

Çağatay, İ. H., 2005. Experimental Evaluation of Buildings Damaged In Recent Earthquakes In Turkey, Engineering Failure Analysis, 12, 440-452.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018.

TS 802, 1985, Beton Karışım Hesap Esasları.

TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.



Tarihi Köprülerde Deprem Hasarları ve Restorasyonu: Adana Misis

Köprüsü Örneği

Earthquake Damages And Restoration Of Historical Bridges: A Case Study Of Adana Misis Bridge

MUSTAFA YEĞİN Orcid: 0000-0002-0025-6589

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Adana

Geliş (received): 16/04/2025

Kabul (Accepted): 16/06/2025

ÖZ

Misis Köprüsü, Ceyhan Nehri üzerinde, Adana'nın Yüreğir ilçesine bağlı Misis Beldesinde yer almaktadır. Köprü taş köprülerimiz içinde Roma devri eserlerinden olup günümüze kadar özelliklerini kaybetmeden ayakta kalabilmiş önemli örneklerden biridir. Tarihi köprü imparator Konstantin (306-337) tarafından IV. yüzyılda yaptırılmış, imparator Justinianus (527-565) tarafından onartılmıştır. Yakın geçmişe gelinceye kadar tarihte birçok kez onarım ve müdahale görmüştür. Adana Ceyhan'da 27.06.1998 tarihinde meydana gelen depremden sonra kullanılamaz duruma gelen köprü'nün kısa zamanda restorasyonu gerçekleştirilmiş ve kullanıma açılmıştır. 06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinden sonra bölgedeki tarihi yapılarda deprem hasarları oluşmuş birçok taş yapıda yıkılmıştır. Deprem gibi doğal etkiler altında köprüler, kısmen ya da tamamen hasar görmektedir. Restorasyon sonrası yirmi beş yıldır kullanımda olan tarihi köprü'nün deprem etkisi altındaki son durumunu ve performansını değerlendirmek bu çalışmanın başlıca amacıdır. Yapıda gerçekleştirilen onarım ve güçlendirmeler sonrası yaşamış olduğu son depremlerin yapısal durumuna etkilerinin neler olduğu, yapının kullanımında değişiklik olup olmadığı gibi soruların yanıtlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada deprem etkilerine maruz kalmış tarihi yığma taş kemer köprüde oluşan hasarlar ve hasarlara karşı gerçekleştirilen onarım yöntemleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taş Köprü, Yapım Tekniği, Yapısal Performans, Deprem Etkisi

Mustafa YEĞİN, myegin@cu.edu.tr

DOI: 10.70054/geosound.1677355

ABSTRACT

Misis Bridge is located on the Ceyhan River, in Misis Town of Adana's Yüreğir district. Among our stone bridges, the bridge is one of the works of the Roman period and is one of the important examples that have survived until today without losing its features. The historical bridge was built by Emperor Constantine (306-337) IV. It was built in the century and was repaired by the emperor Justinian (527-565). Until the recent past, it has been repaired and intervened many times in history. The bridge, which became unusable after the earthquake in Adana Ceyhan on 27.06.1998, was restored in a short time and put into use. After the Kahramanmaraş earthquakes that took place on 06.02.2023, many stone structures that had earthquake damage in the historical buildings in the region were destroyed. Bridges are partially or completely damaged under natural effects such as earthquakes. The main purpose of this study is to evaluate the current state and performance of the historical bridge, which has been in use for twenty-five years after restoration, under the effect of earthquakes. It is very important to determine the answers to questions such as what the effects of the last earthquakes experienced after the repairs and reinforcements in the building were on the structural condition, and whether there was a change in the use of the building. In this study, the damages observed in a historical masonry stone arch bridge affected by earthquakes and the repair methods applied to address these damages have been evaluated.

Keywords: *Stone Bridge, Construction Technique, Structural Performance, Earthquake Effect*

GİRİŞ

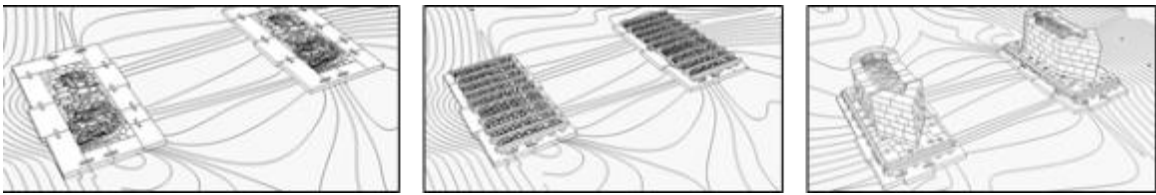
Toplumların ulaşım sistemi üzerinde yer alan köprüler, ticari, iktisadi, askeri, sosyal ve kültürel konulara hizmet eden yararlı yapılar olarak, kültür tarihinde yerlerini almışlardır. Sivil mimari eserlerimiz olan tarihi köprülerimiz, toplumun ekonomik ve ticari gelişmesine katkı sağlayacak olan kervan ve posta yolları üzerinde inşa edilmiştir. Tarih boyunca ulaşım sistemleri sürekli gelişme göstermiş ve bu süreçte köprüler, ulaşım ağının en önemli yapıları arasında yer almıştır. Köprüler, yalnızca iki noktayı kapsayan fiziksel yapıların ötesinde, ekonomik, ticari, askeri, sosyal ve kültürel açılardan da büyük bir tanesine sahiptir. Tarihi köprüler, bulundukları dönemin ekonomik ve ticari dönemine tanıklık eden önemli miras eserleridir. Roma, Doğu Roma, Selçuklu, Osmanlı ve Erken Cumhuriyet tarihinin ulaştığı toplam 1493 tarihi köprü tespit edilmiştir (KGM, 2009). Yurt dışında Osmanlı devletine ait, büyük çoğunluğu Bosna-Hersek'te olmak üzere, 306 köprü inşa edilmiştir. Tarihi köprüler, yalnızca taşımayı sağlayan yapılar ötesinde, aynı zamanda su yapıları olarak da değerlendirilmektedir. İler, köprülerin başlangıçta

doğal olarak oluşan fiziksel engelleri aşmak amacıyla inşa edildiğini belirtmektedir (İlter, 1978). Ancak toplumların ilişkilerine paralel olarak bu yapılar ticari, ekonomik, askeri, sosyal ve kültürel işlevlerin üstlendiği, kentlerin ve medeniyetlerin geliştiği görülmektedir. Yapıldıkları dönemdeki teknik ve mühendislik seviyesini koruyan tarihi köprüler, aynı zamanda estetik ve mimari açıdan da büyük bir başarı örneğidir. Bu yapısal, tarihi köprüler yalnızca fiziksel geçişi sağlayan yapılar olarak değil, aynı zamanda kültürel değişimin korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından da büyük bir öneme sahiptir.

06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinden sonra bölgedeki tarihi yapılarda deprem hasarları oluşmuştur. Misis köprüsünün deprem etkisi altındaki son durumunu ve performansını değerlendirmek bu çalışmanın başlıca amacıdır. Yapılan çalışmada tarihi taş köprü materyal olarak kullanılmıştır. Taş köprünün tarihsel süreç içinde yapım sistemi, malzeme kullanımları, yapı elemanları, hasar çeşitleri ile güçlendirme çözüm ve önerileri gibi konular detaylandırılarak ele alınmıştır. Köprü literatür ve yerinde incelemelerle ortaya konularak deprem sonrası günümüz durumu ve deprem hasarları tespit edilmiştir.

TAŞ KEMER KÖPRÜLERDE YAPIM TEKNİĞİ VE TEMEL SİSTEMLERİ

Anadolu'da Roma ve Doğu Roma dönemine ait köprülerde büyük taş bloklar kullanılmış ve bu blokları bir arada tutmak için çeşitli kenet sistemleri geliştirilmiştir. Selçuklu ve Osmanlı döneminde ise bağlayıcı malzeme olarak horasan harcı tercih edilmiş, ayrıca temel ve üst yapıda zıvana ile kenetlerden yararlanılmıştır. Bu dönemde inşa edilen çok açıklıklı köprülerin çoğunun temelleri ahşap ızgaralar veya ahşap kazıklar üzerine oturtulmuştur.



Şekil 1. Konjic Köprüsü, Osmanlı Dönemi, 17.yy., Bosna-Hersek (Sert ve diğ. 2009).

Figure 1. Konjic Bridge, Ottoman Period, 17th Century, Bosnia and Herzegovina (Sert et al., 2009).

Çizelge 1. Anadolu'daki Roma ve Bizans Dönemi taş köprülerin karşılaştırmalı incelemesi

Table 1. Comparative Analysis of Roman and Byzantine Stone Bridges in Anatolia

Köprü Adı	Yer	Nehir / Çay	Dönem (Tarih)	Boyutlar (m)	Malzeme
Cendere	Adıyaman	Kahta Çayı	Roma (2. yy.)	133,74 x 8,00	Kesme taş
Yukarı (Koca)	Kütahya	Çavdarhisar Çayı	Roma (MS 157)	42,00 x 4,50	Kesme taş
Aizonai	Kütahya	Çavdarhisar Çayı	Roma (MS 157)	45,66 x 4,20	Kesme taş
Sulusaray	Tokat	Çekerek Irmağı	Roma	75,00 x 4,50	Kesme taş
Misis	Adana	Ceyhan Nehri	Roma (4. yy.)	132,70 x 6,50	Kesme taş
Mıhlı	Çanakkale	Mıhlı Çayı	Roma	17,00 x 2,00	Kesme taş + moloz taş
Kırkgöz	Afyon	Akar Çayı	Roma / Doğu Roma /Osmanlı	402,00 x 4,45 / 5,50	Kesme taş
Sangarios (Justinianus)	Sakarya	Çark Deresi (Melas Çayı)	Erken Bizans (MS 561)	356,50 x 10,00	Kesme taş
İnikli (Taşköprü)	Bursa	Dere kurumuş	Bizans (11–12. yy.)	50,50 x 5,10	Kesme taş + tuğla + moloz taş
Taşköprü	Adana	Seyhan Nehri	Roma (4.yy)	310,00 x 11,40	Kesme taş

Çizelge 1’de, Roma ve Bizans dönemlerine ait Anadolu’daki bazı taş köprülerin temel özelliklerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Köprüler; konumları, yapım yılları, bulundukları su yolları, malzemeleri ve ölçüleri bakımından değerlendirilmiştir. Günümüzde ayakta kalan tarihi köprülerin büyük kısmı taş köprülerden oluşmaktadır. Taş, dayanıklı ve uzun ömürlü bir yapı malzemesi olması nedeniyle köprü inşasında yaygın olarak tercih edilmiştir. Taş köprülerin ana bileşenleri; temeller, tempan duvarlar, kemerler ve döşeme sistemlerinden meydana gelir. Bunların yanı sıra, köprülerdeki taşıyıcı unsurların dışında baba taşı, çörten, korniş, korkuluk, hafifletme (boşaltma) gözü, hafifletme odacığı, selyaran, seyir terası ve kitabe gibi mimari özellikler de yer alabilmektedir (Sert ve ark., 2009).

Köprüler, birçok farklı nedene bağlı olarak zaman içinde yapısal bütünlüklerini kaybedebilirler. Bu nedenler arasında malzeme yorgunluğu, çevresel etkenler, insan müdahaleleri ve doğal afetler yer almaktadır. Ancak, tarihi köprüler için en büyük tehditlerden biri sismik hareketlerdir. Depremler, ani ve güçlü yer hareketleri nedeniyle yapılarda ciddi hasarlara yol açabilir ve geri dönüşü olmayan tahribatlara sebep olabilmektedir.

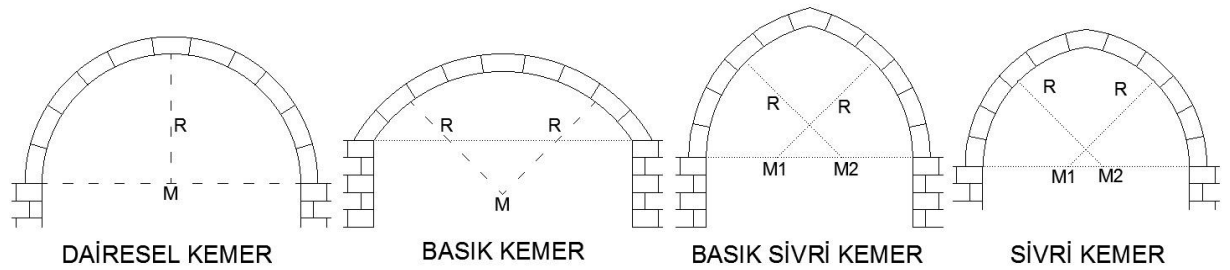
Anadolu coğrafyası, aktif fay hatlarının yoğun olarak bulunduğu bir bölgedir ve tarih boyunca büyük yıkıcı depremlere maruz kalmıştır. Bu durum, özellikle geleneksel yapı teknikleriyle inşa edilen tarihi eserler açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. Depremler sırasında, bir yapının

belirli bölgelerinde aşırı yüklenme meydana gelir ve bu yük taşıma kapasitesinin sınırlarını zorlayarak iç gerilmeleri artırır. Sonuç olarak, taşıyıcı sistemin zayıf noktalarında çatlaklar, deformasyonlar ve hatta çökme gibi ciddi yapısal bozulmalar görülebilmektedir.

Basınç gerilmelerine karşı yüksek dayanıma sahip taş malzeme ile inşa edilen köprüler, düşey yükler altında büyük direnç gösterebilmektedir. Ancak, deprem gibi dinamik etkiler sonucu ortaya çıkan yatay kuvvetler, bu tür yapıların en zayıf noktalarından biridir. Taş köprüler, kemer formu sayesinde kendi ağırlıkları ve taşıdıkları yükleri etkin bir şekilde zemine aktarabilirler. Ancak, yatay yönde gelen sismik kuvvetler, taş yapıların dayanım sınırlarını zorlayarak kemerlerde çatlaklara, bağlantı noktalarında ayrılmalara yol açabilmektedir.

Bu tür tarihi köprülerin deprem riskine karşı korunabilmesi için modern mühendislik teknikleriyle güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle yatay kuvvetlere karşı dayanımı artıran esnek derz sistemleri, çelik gergiler ve karbon fiber destekler gibi yenilikçi yöntemler kullanılarak yapısal bütünlük sağlanabilmektedir.

Kemer Geometrisi; köprünün ayakta kalmasını sağlayan yapı, taşıyıcı öğelerin yapımıyla başlar. Taş köprülerde bu öğe, kemerdir. Kemer geometrisindeki gelişmeler zaman içinde değişmiştir. Roma ve Doğu Roma dönemi köprülerinde genellikle dairesel kemerler kullanılırken; Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde ise daha gelişmiş bir teknik olan sivri veya basık sivri kemerler tercih edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Köprülerde kullanılan kemer çeşitleri (Cevahir, 2019)

Figure 2. Arch types used in bridges (Cevahir, 2019)

Köprü yapısında en önemli taşıyıcı öğe kemerdir ve üzerine binen yükler kemer öğeleri aracılığıyla basınç şeklinde diğer taşıyıcı öğelere aktarılır. Kemerin taşıyıcı görevini tam olarak

yerine getirebilmesi için, kemer taşlarının doğru yerleştirilmesi son derece önemlidir. Kemer taşlarının derz doğrultuları, yayın merkezine doğru birleşmeli ve kilit taşı tam olarak kemer açıklığının merkezinde yer almalıdır. Kemer geometrisinin doğru bir şekilde hesaplanması ve uygulanması, köprünün stabilitesi için kritik bir faktördür.

TAŞ KÖPRÜLERDE MEYDANA GELEN HASARLAR

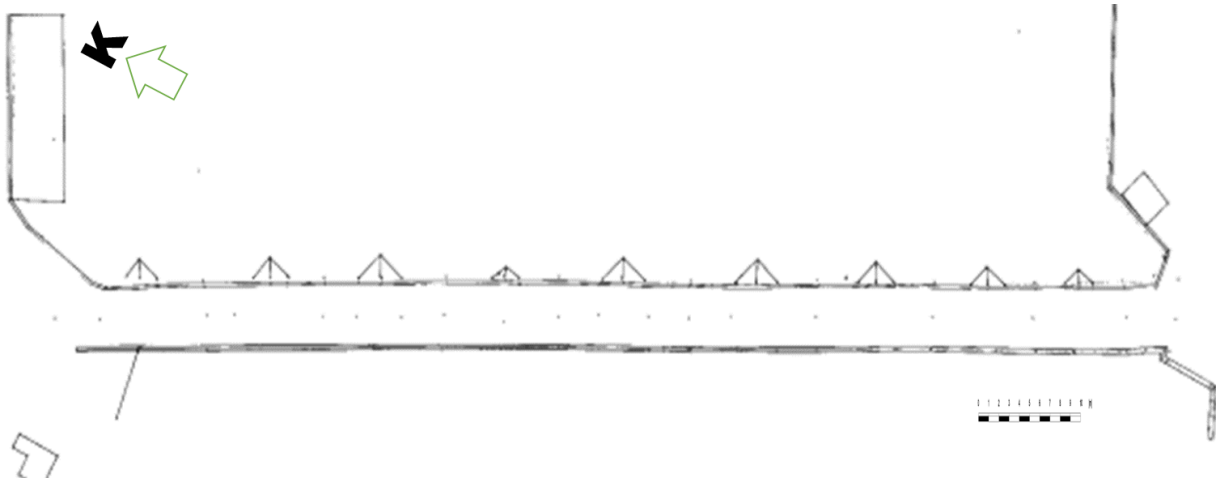
Köprülerin stabilitesini en çok etkileyen faktörlerden biri, temellerin oturduğu zeminin nehir tabanı seviyesindeki değişikliklerdir. Bu değişiklikler sonucu, temeller oyularak açığa çıkabilir ve köprünün yıkılmasına neden olabilir. Ayrıca, zamanla ırmak yatağı dolacak ve su seviyesi yükselecektir. Bu durum, taş malzemenin bozulmasına ve kemerin stabilitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Sıcaklık, don, rüzgâr ve bitki oluşumu gibi diğer faktörler de köprülerin hasar görmesine neden olabilir. Misis Köprüsü'nde görüldüğü gibi ağır tonajlı kamyonlar ve yolcu otobüsleri/ belediye servis otobüsleri de hasarların oluşmasında bir etkindir. Depremler de köprülerde ciddi hasarlara yol açabilmektedir.

27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi sonrası kullanılamaz duruma gelen köprünün onarımı için çeşitli teknik araştırmalar yapılmıştır. Restorasyon uygulama projelerinin nitelikli ve uygulanabilir olabilmesi için, öncelikle yapı ve yapıya ait sorunlar analiz edilmiştir. Bu kapsamda yapılan teknik araştırmalar, köprünün sağlıklı bir şekilde restorasyonuna olanak sağlamıştır. Bu teknik araştırmalar arasında köprüden sondaj yoluyla alınan karot numuneleriyle, orijinal malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin tespiti yer almaktadır. Bunun yanı sıra yapı ve üzerinde bulunduğu zeminin tanımlanması için jeolojik-jeoteknik araştırmalar yapılmış, köprü ve yakın çevresindeki dere tabanının topografik haritası çıkarılarak akarsu rejimine etki eden taban profilinin köprü temeliyle ilişkisi belirlenmiştir. Ayrıca, sismik araştırmalar, hidrolojik araştırmalar, iklimsel ve meteorolojik araştırmalar ve doğrusal elastik sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal analiz çalışmaları da gerçekleştirilerek köprü restorasyonu için gerekli nitelikli ve uygulanabilir projeler Çukurova Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde proje müellifleri olan Erten, E., Yeğın, M., Köse, A., tarafından hazırlanmıştır.

Bu dönemde inşa edilen köprülerin birçoğunda, sağlam zeminlerde ahşap ızgaralar üzerine inşa edilmiş temeller kullanılırken, taşıma gücü zayıf bataklık zeminlerde ise ahşap kazıklar üzerine temel sistemi uygulanmıştır. Bu temel sistemi, büyük boyutlu bir 'elastomer mesnet' ile desteklenerek, zemin ile yapının tabanı arasına esnek enerji sönümleyici elemanlar yerleştirilmiştir. Bu sayede, zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetleri azaltılmıştır.

TARİHİ MİSİS KÖPRÜSÜ VE DEPREM HASARLARI

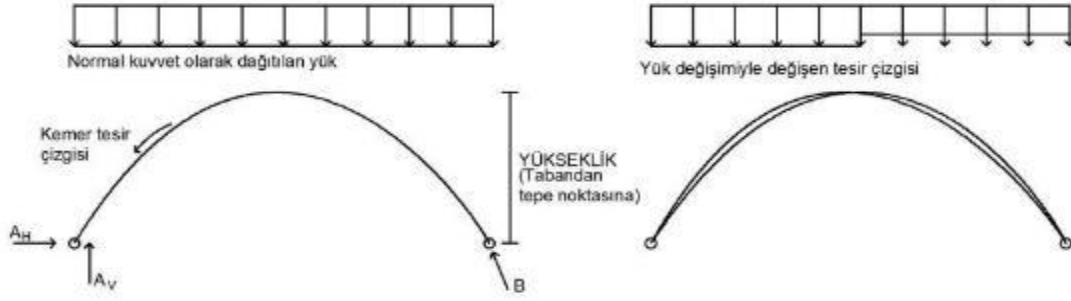
Misis Adana ilinde, Adana-Ceyhan yolu üzerindedir. Bir bucak merkezi olan Misis, Ceyhan (Pyramus) Nehri'nin kuzey kıyısında 'Eski Misis' ve 'Yeni Misis' olmak üzere iki mahalleden meydana gelmiştir. Misis köprüsü, nehrin kuzeyindeki Yakapınar ve güneyindeki Geçitli beldelerini birbirine bağlayarak işlevini bu güne kadar sürdürmüştür. Evliya Çelebi Seyahatname 'sinde köprünün başında küçük bir han olduğunu yazmaktadır. Misis Köprüsü, Adana ilinde bulunan ve Roma Dönemi'nde inşa edilmiş bir köprüdür. Ceyhan Nehri üzerinde bulunan köprü, 135,5 metre uzunluğunda ve dokuz gözlüdür. Köprünün temel sistemi, büyük taş bloklarının birbirine demir kenetlerle bağlanmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Misis Köprüsü Planı

Figure 3. Misis Bridge Plan

Misis Köprüsü muntazam kesme taşlarla yapılmıştır. Roma devri eseri olan köprü orta kısma doğru yükselmektedir. Ayakların önündeki selyaranlar memba tarafta sivri, mansap tarafta ise köşeli takviye çıkıntısı şeklindedir. İki tam tonoz olmak üzere diğerleri sivri dokuz adet kemerden meydana gelmektedir. 27 Haziran 1998 Adana Depreminden sonra köprü'nün 7. ve 8. kemerlerinde önemli derecede hasarların meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5, 6).



Şekil 4. Kemerler tarafından dağıtılan yükler (Meistermann 2007)

Figure 4. The loads distributed by the belts (Meistermann 2007)

Kemerler, çelik halatlı sistemlere benzer şekilde, mesnet noktalarına hem yatay hem de düşey kuvvetler iletirler (Şekil 4). Kemer yüksekliği ile yatay kuvvetler arasında ters orantılı bir ilişki vardır; kemer yüksekliği azaldıkça, yatay itki kuvvetleri artmaktadır. Yığma kemerlerde genellikle ölü yükler büyük olur. Ölü yüke kıyasla hareketli yüklerin etkisi daha küçüktür; bu nedenle, tesir çizgisi değişse de bu etki minimal olup, kemerin stabilitesini önemli ölçüde etkilememektedir (Meistermann, 2007).



Şekil 5. 8. Açıklık ve Kemerde Hasar (Yeğin, 1998)

Figure 5. 8. Damage to the Opening and Arch (Yeğin, 1998)



Şekil 6. 7.Açıklık ve Kemerde Hasar (Yeğın, 1998)

Figure 6. 7. Damage to the Opening and Arch (Yeğın, 1998)



Şekil 7. 1., 2. Kemerlerde Çatlamalar (Yeğın, 1998)

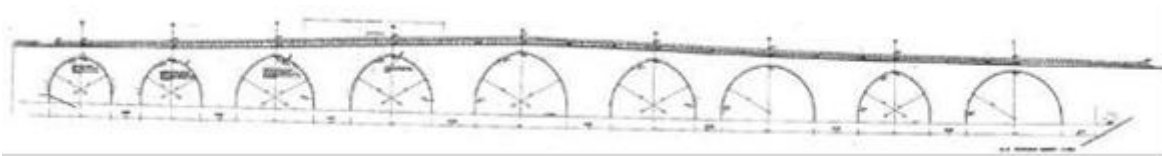
Figure 7. 1., 2. Cracking in Arches (Yeğın, 1998)

Misis Köprüsü, Seyhan nehri üzerinde olan Taşköprü ile aynı yılda inşa edilmiştir. Köprünün kitabesi yoktur. 7.70 mt eninde olan köprünün en büyük kemer açıklığı 11.20 metredir. Sel yaranlar ve kemerler üzerinde kabartma halinde rölyefler (rozetler) vardır. Köprünün inşasında ve sonraki onarımlarda killi kireç taşı kullanıldığı tespit edilmiştir. Zaman içinde köprüye bazı

müdahalelerde bulunduğu anlaşılmaktadır (Yeğın, Misis Köprüsü Restorasyon Projesi Raporu, 1998).

27 Haziran 1998 Adana Depreminden sonra köprüde gözlenen hasarlar şu şekilde sıralanabilir:

- Köprünün 8. ayağında bir çökme gözlenmiştir. Çökmenin ne zaman gerçekleştiğı belirlenememiştir. Hem deprem etkisiyle, hem de köprüde meydana gelen oturma sebebiyle bu ayakla bağlantısı olan kemerlerde çatlamalar olmuştur.
- Depremden sonra 6., 7., ve 8. kemerlerde çatlamalar oluşmuş; 7. ve 8. kemerlerin doğu cephelerinde kemer kenarlarından içeriye doğru devam eden taş dökülmeleri meydana gelmiştir (Şekil 7).
- Köprü ayaklarında meydana gelen oturmalar, üst yapı elemanlarında çeşitli hasarlara yol açarak yapısal bütünlüğü olumsuz etkilemektedir. Ayaklarda oluşan oturmalar, üst yapıda malzeme ezilmesi, duvar düzlemi doğrultusunda kesme çatlakları, rijit gövde şekline dönüşüm ve hatta yıkıma neden olabilecek denge bozulmalarına sebebiyet vermektedir. Bu tür oturmalar özellikle tarihi ve taş köprülerde daha belirgin olup, zamanla yapının taşıyıcı sisteminde ciddi deformasyonlara yol açabilmektedir.
- Deprem kuvvetleri, köprüde aksel kuvvetler, kesme kuvvetleri, eğilme ve burulma momentleri oluşturarak ciddi yapısal hasarlara sebep olabilmektedir.
- Deprem sırasında meydana gelen yatay ve düşey hareketler, yapı elemanlarında gerilme birikimlerine yol açarak çatlak, kesme, kayma ve kırılmalara neden olmuştur. Ayrıca, deprem yüklerinin düzensiz dağılması sonucu yapıdaki rijitlik düzensizlikleri ortaya çıkmış ve taşıyıcı sistemin kapasitesini aşan deformasyonlara sebep olmuştur (Çizelge 2).



Şekil 8. Köprü Boy Kesiti (Yeğın, 1998)

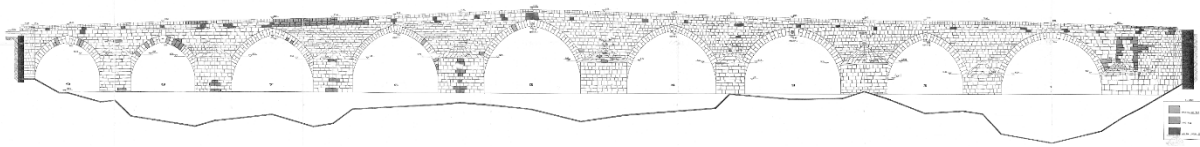
Figure 8. Bridge Length Section (Yeğın, 1998)

Çizelge 2. 1998 Depreminde Misis Köprüsünde oluşan hasarlar ve yapılan müdahaleler

Table 2. Damages and Interventions on the Misis Bridge During the 1998 Earthquake

KÖPRÜ /KEMER	1.KEMER 1.AYAK	2.KEMER 2. AYAK	3.KEMER 3. AYAK	4.KEMER 4.AYAK	5.KEMER 5.AYAK	6.KEMER 6.AYAK	7.KEMER 7. AYAK	8.KEMER 8. AYAK	9.KEMER
HASARLAR	Düz çatlaklar Kemer taşlarında bozulmalar	Çatlamalar Kilit Taşlarında Deplasman Kemer taşlarında bozulmalar	Çapraz Çatlaklar Kemer taşlarında bozulmalar	Düz çatlaklar Kemer taşlarında bozulmalar	Çatlama, ayrılma	Çatlama, ayrılma	Çatlama, Kemerde Taş dökülmesi,	Çatlama, Kemerde Taş dökülmesi,	Çatlama, Ayrılma
ONARIM ve GÜÇLENDİRME (müdahaleler)	Hasar görmüş Tonoz ve duvarların yeniden yapımı	Hasar görmüş Tonoz ve duvarların yeniden yapımı	Hasar görmüş Tonoz ve duvarların yeniden yapımı	Tonoz ve duvarların yeniden yapımı	Tonoz ve duvarların Yeniden yapımı	Tonoz ve duvarların Yeniden yapımı	Tonoz ve duvarların Yeniden yapımı	Tonoz ve duvarların Yeniden yapımı	Tonoz ve duvarların Yeniden yapımı

Köprünün planda tümüyle düzgün bir hatta sahip olmaması ve harpuştalarda düşeyde ve yatayda deformasyonlar bulunması, ölçümlerin çok hassas alınması zorunluluğunu getirmiştir. Rölövelerin hazırlanmasında ölçümlerin olabildiğince hassas olabilmesi için düşey ve yatay ölçümlerin tümü total station ile alınmıştır. Restorasyon projelerinin hazırlık sürecinde köprü yaya ve taşıt trafiğine kapatılmıştır. Adana Kültür Varlıkları Koruma Kurulu'nun 24.07.1998 gün ve 3137 sayılı kararı ile uygun görülen ve onaylanan projeler doğrultusunda onarım uygulamaları Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tamamlanarak köprü 2001 yılında kullanıma açılmıştır. Restorasyon sürecinde tonozların üzeri açıldıktan sonra sağlam taşlar aynı yerlerinde kullanılarak ve hasar gören taşların yerine aynı malzemeden aynı ölçü ve biçimde yeniden yapılanları yerleştirilerek, tonozlar yerinde örülmüştür. Kenar duvarlarındaki taşların onarımında olabildiğince orijinal taşların kullanımı sağlanmıştır (Şekil 8, 9, 10).



Şekil 9. Köprü Görünüş (Yeğin, 1998)

Figure 9. Bridge View (Yeğin, 1998)



Şekil 10. Köprü Kemerlerinin Restorasyonu (Yeğin, 1998)

Figure 10. Restoration of Bridge Arches (Yeğin, 1998)



Şekil 11. Misis Köprüsü görünüş mansap (Yeğin 2005)

Figure 11. Misis Bridge view mansap (Yeğin, 2005)

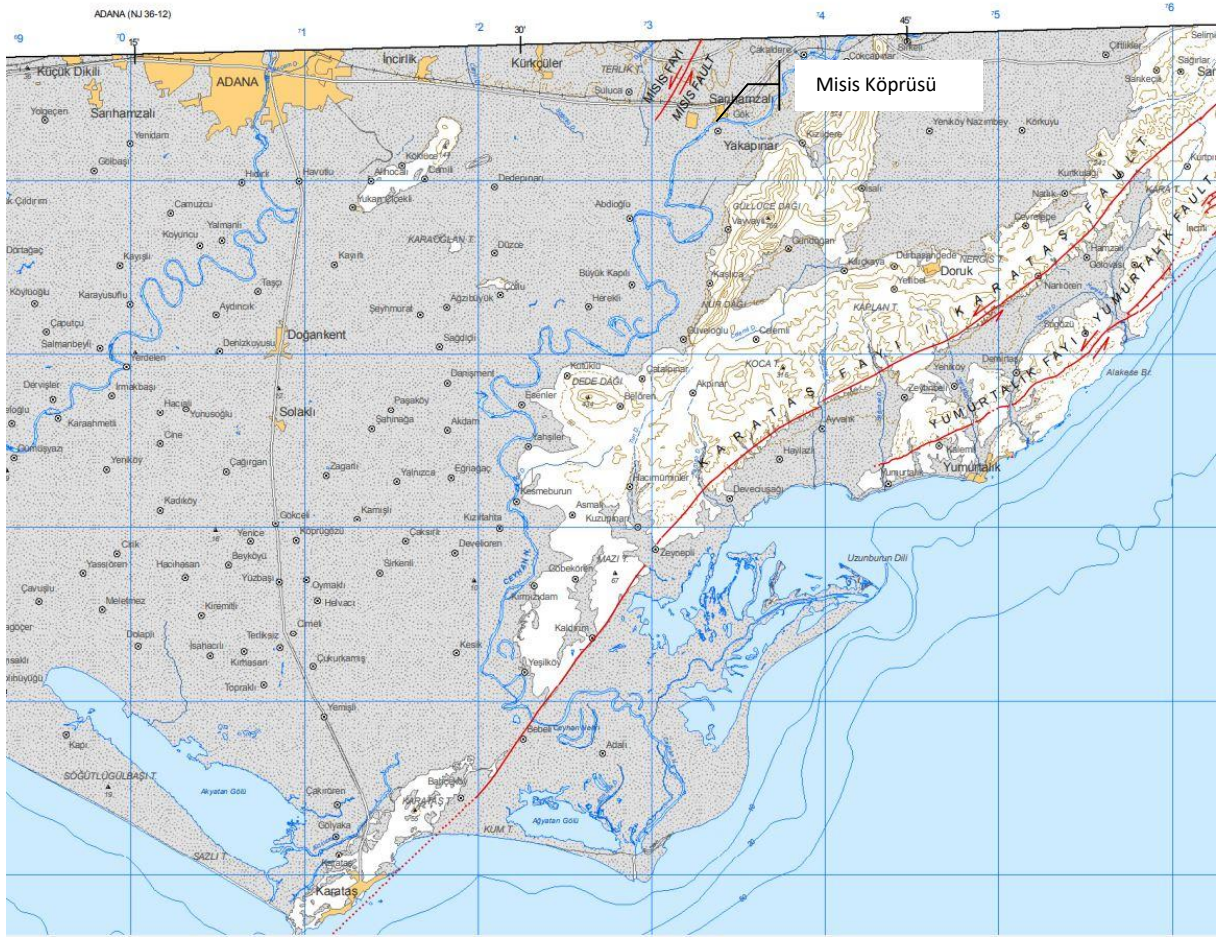


Şekil 12. Misis Köprüsü Görünüş Memba (Yeğın 2005)

Figure 12. Misis Bridge View Memba (Yeğın, 2005)

06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinden sonra Şekil 14’da görülebileceği gibi ayak üzerindeki tonoz taşlarında açılmalar oluşmuştur (Şekil 14). Açıklıklarda tonozların ayaklarla birleşim derzlerinde selyaran seviyesinde yatay açılmalar oluşmuştur. 7. ve 8. gözlerde kemerlerde düşeyde açılmalar gözlenmiştir. Misis ve Yumurtalık fay hattına yakın olan köprünün, 1998, 2000, 2005 ve 2010 yıllarında yerinde yapılan gözlem ve fotoğraflamalar ile tespitleri yapılmıştır. Yapılan müdahalelerin sonuçları ve üzerindeki taşıt trafiğine ve çok yoğun araç yüküne karşı kemerler ve ayaklar periyodik olarak kontrol edilmiştir. Restorasyon teknikleri ile ilgili yapılan bu gözlem ve teknikler deprem sonrası değişimleri karşılaştırabileceğimiz bilgileri elde etmemize olanak tanımıştır.

06.02.2023 depremi sonrasında, köprüde meydana gelen yapısal hasarlar ve sismik kuvvetlerin etkisi altında; korkuluklar, tonozlar, ayaklar ile mansap ve memba cephelerindeki duvarların mevcut durumları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler, deprem öncesine ait fotoğraf ve görsel verilerle karşılaştırılarak meydana gelen yapısal değişiklikler kapsamlı bir biçimde ortaya konulmuştur (Şekil 11,12, 14).



Şekil 13. Misis Fayı ve Misis Köprüsü (MTA harita arşivinden)

Figure 13. Misis Fault and Misis Bridge (from MTA map archive)

Yakapınar'da yer alan Misis Köprüsü'nün kuzeyinde Misis Fayı, güneyinde ise Karataş ve Yumurtalık fayları bulunmaktadır (Şekil 13). Bu fay sistemlerinin mekânsal dağılımı, bölgenin tektonik yapısı ve sismik aktivitesinin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Yapısal durumun değerlendirilmesi ve hasarların tespiti için, yapısal analizler ve alan çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizler, köprünün statik ve dinamik davranışlarının incelenmesi için kullanılmıştır. Alan çalışmaları kapsamında, köprünün görsel incelemesi yapılmış, yapı elemanlarının durumu belirlenmiş ve hasarlı bölgeler tespit edilmiştir. Ayrıca, köprünün temel, ayak, kemer ve üstyapı elemanlarındaki yapısal durumları incelenmiştir.



Şekil 14. Misis Köprüsü 1. Göz ve Ayak 2005 (yazar arşivi)

Figure 14. Misis Bridge: 1st Arch and Pier (2005) (Author's Archive)

06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında, Şekil 15'te de görülebileceği üzere, mansap yönünde konumlanan ayak üzerinde yer alan tonoz taşlarında belirgin açıklıklar ve ayrılmalar gözlemlenmiştir. Bu açılmalar, tonoz sisteminde meydana gelen yatay itkilere bağlı olarak taşlar arasındaki derzlerde oluşan kaymaların ve bağlayıcı malzemenin zayıflamasının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir.

Ayrıca, söz konusu açıklıklar, kemer sisteminin rijitliğinde azalma meydana geldiğini ve taşıyıcı sistemde yerel stabilite kayıplarının yaşandığını işaret etmektedir. Bu durum, yapının deprem etkileri altındaki dinamik davranışına yönelik detaylı bir yapısal analiz yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 15. Misis Köprüsü 1. Göz ve Ayak 2023 (yazar arşivi)

Figure 15. Misis Bridge: 1st Arch and Pier (2023) (Author's Archive)

Hasar gören korkuluk ve tempan (kılıf duvarı) taşlarında, mansap ve memba yönlerinde, kemer kilit taşları hizasında belirgin açılmalar kaydedilmiştir.



Şekil 16. Korkuluk Duvarlarında ve Yol Kaplamasında Açılmalar 2023 (yazar arşivi)

Figure 16. Cracks in the parapet walls and road pavement. (2023) (Author's Archive)



Şekil 17. Korkuluk Duvarlarında ve Yol Kaplamasında Açılmalar 2023 (yazar arşivi)

Figure 17. Cracks in the parapet walls and road pavement. (2023) (Author's Archive)

Açıklıkların üst noktalarında tonoz sırtlarında yol üzerinden korkuluklara doğru devam eden ve korkuluk duvarların da görülen açılmalar mevcuttur (Şekil 16,17).



Şekil 18. Batı Cephesi 6.,7.,8. Gözlerin Kemerlerinde Açılma ve Çatlaklar (2023)

Figure 18. Cracks and openings in the arches of the 6th, 7th, and 8th spans on the western facade (2023)

Tarihi köprünün nominal taşıma kapasitesi 10 ton olarak belirlenmiş olmasına rağmen, toplu taşıma araçları kullanımı sırasında gözlemlenen ağırlık yaklaşık 25 tona ulaşmakta olup, belirlenen kapasitenin önemli ölçüde üzerinde seyretmektedir. Bu durum, köprünün yapısal bütünlüğü, dayanıklılığı ve güvenliği açısından kritik bir risk oluşturmaktadır (Şekil 16, 17, 18).



Şekil 19. 5. Göz Korkuluk Duvarında Açılma ve Çatlaklar (2023)

Figure 19. Cracks and separation in the parapet wall of the 5th span (2023)

Deprem sonrasında, 5. göz konumundaki korkuluk ve tempan (kılıf duvarı) taşlarında belirgin açılmalar gözlemlenmiştir (Şekil 19). Köprü genelinde, deprem etkisi altında kemer sisteminin basınç gerilmelerini büyük ölçüde karşıladığı gözlemlenmiştir. Ancak, kemer elemanlarında dinamik etkiler sonucu oluşan kesme kuvvetlerine bağlı olarak çeşitli çatlakların meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, duvar elemanlarında gerilme dağılımının homojen bir karakter sergilemediği; bu dağılımın, farklı duvar yüzeylerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Yerinde yapılan incelemelerde köprünün onarımlar geçirdiği bununla birlikte köprünün yoğun olarak kullanıldığı üzerinden ağır vasıtalar geçtiği görülmüştür. Köprünün doğu (membra) cephesinde kemer ayaklarında özellikle 5.,6.,7. ayaklarda derzlerde açılmalar oluşmuştur. Depremle birlikte aşırı yüklü araç geçişleri bu problemleri giderek arttırmaktadır. Tarihi köprülerin taşıyıcı sistemleri genellikle basınç kuvvetleri ile çalışır. Ancak, su akışı, deprem gibi yatay yükler hem basınç hem de çekme gerilmeleri oluşturabilir. Bu nedenle, restorasyon çalışmalarında, orijinal yapıya ait esnek temel bağlantı sistemi korunarak, temelin rijit hale getirilmesine neden olacak uygulamalardan kaçınılmalıdır. Restorasyon sırasında, köprüde kullanılan taş malzemenin niteliklerine uygun taşlar ve orijinal harç karışım oranlarına uygun harçlar kullanılmalıdır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Misis Köprüsü, Roma dönemine tarihlenen ve özgün mimari özelliklerini büyük ölçüde koruyarak günümüze ulaşabilmiş nadir taş köprü örneklerinden biri olarak kültürel ve mühendislik mirasımız açısından önemli bir yapı niteliği taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, köprünün mimari karakteristikleri ile inşa tekniği detaylı bir biçimde incelenmiş; 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında gerçekleştirilen yerinde gözlemler doğrultusunda tespit edilen yapısal hasarlar sistematik biçimde belgelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Tarihsel süreçte birçok depreme maruz kalan bu yapının taşıyıcı sistemini sürdürülebilir kılmak ve özgün karakterini koruyarak gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlamak amacıyla, bütüncül bir koruma ve güçlendirme yaklaşımının benimsenmesi gereklidir. Bu doğrultuda yürütülecek müdahalelerde, yapının tarihi kimliği ile mimari özgünlüğünün korunması, temel ilke olarak ele alınmalıdır. Yerinde yapılan incelemeler, köprünün farklı dönemlerde çeşitli onarımlardan geçtiğini ortaya koymakta; ancak günümüzde ağır taşıt trafiğine açık olması nedeniyle, taşıma kapasitesinin üzerinde yüklemelere maruz kaldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, yapısal bütünlük açısından ciddi bir tehdit oluşturmakta ve acil önlem alınmasını gerekli kılmaktadır.

Köprünün yapısal performansının artırılmasına yönelik müdahaleler, kapsamlı bir restorasyon projesi kapsamında ele alınmalı; düzenli bakım ve izleme sistemleri oluşturulmalı, ihtiyaç hâlinde ilave güçlendirme uygulamaları gündeme alınmalıdır. Deprem sonrası oluşan hasarlar kapsamında, özellikle korkuluk ve tempan (kılıf duvarı) taşlarında, kemer açıklıkları içerisinde ve ayak hizalarında meydana gelen açılma ve yer değiştirmeler, restorasyon sonrası yapılan müdahalelere rağmen taşıyıcı sistemin sürekliliğinde sorunlar bulunduğu işaret etmektedir. Bu durum, yapının hem taşıyıcılık hem de koruma bağlamında çok yönlü değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Deprem etkilerine karşı yapının dayanıklılığının artırılması amacıyla, modern mühendislik yaklaşımları çerçevesinde detaylı yapısal analizlerin gerçekleştirilmesi ve elde edilen bulgulara uygun güçlendirme yöntemlerinin uygulanması büyük önem arz etmektedir. Söz konusu

müdahaleler, yalnızca yapının uzun ömürlü olmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda can ve mal güvenliği açısından da kritik rol oynamaktadır.

Misis Köprüsü'nün, artan taşıt yükleri ve sismik etkiler nedeniyle günümüzde önemli ölçüde yapısal stres altında olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, özgün yapısal sisteminin bozulmadan korunabilmesi için bilimsel verilere dayanan koruma, denetim ve müdahale stratejilerinin ivedilikle uygulanması gerekmektedir. Köprülerin temel işlevi olan ulaşım fonksiyonunun güvenli bir biçimde sürdürülebilmesi için yapısal stabilitenin sağlanması, her türlü restorasyon ve müdahale sürecinde öncelikli hedef olmalıdır.

Bu kapsamda, özellikle taş köprülerde, yapım tekniklerinin özgün biçimiyle analiz edilmesi; kemer geometrisinin doğru şekilde modellenmesi ve tempan duvarlarının tarihsel özgünlüğe uygun olarak yeniden ihyası, yapı bütünlüğünün korunması açısından hayati bir rol üstlenmektedir.

Tarihi taş köprüler yalnızca mimari miras olarak değil, aynı zamanda dönemin mühendislik birikimini ve estetik anlayışını yansıtan çok katmanlı yapılar olarak değerlendirilmelidir. Bu yapıların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması, yalnızca günümüz kuşaklarının değil, aynı zamanda gelecek nesillerin de hakkı ve sorumluluğudur. Dolayısıyla, bakım, onarım ve restorasyon süreçlerinin bilimsel, çok disiplinli ve bütüncül yaklaşımlar çerçevesinde yürütülmesi; hem kültürel mirasın korunması hem de yapısal güvenliğin temini açısından vazgeçilmez bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

06.02.2023 tarihli Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası yapılan yerinde gözlemler, yapıdaki hasar düzeyinin, hem geçmiş depremlerin birikimli etkilerini hem de mevcut kullanım koşullarının (ağır taşıt trafiği, yetersiz bakım, uygun olmayan restorasyon müdahaleleri gibi) yapının dayanımını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

Köprüde meydana gelen çatlaklar, taş ayrışmaları, korkuluk ve tempan duvarlarındaki açılmalar; taşıyıcı sistemin, özellikle kemer-tonoz ilişkilerinin sismik etkiler altında zayıf kaldığını göstermektedir. Statik olarak oldukça rijit bir yapıya sahip olan Misis Köprüsü'nün, dinamik etkiler karşısında sergilediği performans, yapısal süreklilik ve malzeme homojenliği açısından değerlendirilmiş ve belirli zayıf bölgeler tespit edilmiştir.

Diğer tarihi taş köprülerle karşılaştırıldığında örneğin Malabadi, Uzunköprü veya Mostar Köprüsü gibi Misis Köprüsü, plan organizasyonu ve kemer geometrisi açısından oldukça klasik bir Roma yapısı örneği sergilemekte, fakat sismik direnç bakımından daha fazla hasar gösterebilen bir karaktere sahiptir. Özellikle temellerin bulunduğu zemin koşulları ve taşıma kapasitesini aşan güncel kullanım şekli, Misis Köprüsü'nü benzerlerinden farklı olarak daha kırılğan bir yapı haline getirmiştir. Bununla birlikte, köprünün günümüze kadar büyük ölçüde özgün mimari niteliklerini koruyarak ulaşabilmiş olması, onun korunmaya değerliğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, Misis Köprüsü'nün yapısal bütünlüğünü ve tarihi kimliğini koruyarak gelecek kuşaklara aktarılması temel amaç olmalıdır. Bu doğrultuda; düzenli izleme, bilimsel temelli yapısal analizler, özgün malzeme ve tekniklerle uyumlu restorasyon uygulamaları ve modern mühendislik yaklaşımlarıyla geliştirilecek güçlendirme çözümleri, bütüncül bir koruma stratejisinin parçası olarak ele alınmalıdır. Ayrıca, köprünün taşıma kapasitesi sınırında kullanılması, ağır vasıta trafiğinden arındırılması ve kontrollü kullanım esaslarının uygulanması, yapının uzun ömürlü korunumu açısından kritik öneme sahiptir.

Misis Köprüsü gibi yapılar, yalnızca geçmişin mimarlık ve mühendislik bilgi birikimini yansıtan örnekler değil; aynı zamanda kültürel sürekliliği simgeleyen canlı miraslardır. Bu mirasın korunması, yalnızca teknik bir görev değil; toplumsal, tarihsel ve kültürel bir sorumluluktur.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Bozkurt, O., (1952). Koca Sinan'ın köprüleri; İstanbul, Türkiye

Cevahir, Ç., (2019). 'Tarihi Taş Köprülerin Yapım Teknikleri ve Malzeme Kullanımı Açısından İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı, Bursa.

- Çulpan C., (1975). Türk Taş Köprüleri, Türk Tarih Kurumu Yayınları, Ankara, Türkiye
- Ener, E., Sert, H., (2010). “Taş Köprü Restorasyonlarına Yönelik Teknik Araştırmalar ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi”, Karayolları Bülteni, Sayı:570, KGM, Ankara, Türkiye
- Ener, K., (1964). ‘Tarih Boyunca Adana Ovasına Bir Bakış’ altıncı baskı.
- Goykoviç M., (1989). Eski Taş Köprüler, Belgrad, Yugoslavya
- İlter, F. (1978). ‘Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri’, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını, No:244, Ankara.
- KGM, (2009). Tarihi Köprüler Kitabı, Yayın No:268, Ankara, Türkiye
- KGM, (2009).Köprüler Dairesi Başkanlığı Tarihi Köprüler Şubesi Müdürlüğü Envanteri, Ankara, Türkiye
- Meistermann, A., (2007). Adım Adım Taşıyıcı Sistemler. Çev. Tuğçe Selin Tağmat. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları: 192. İstanbul, Türkiye, 85 s.
- Misis Köprüsü Restorasyon Projeleri, (1998). Ç.Ü. Mimarlık Bölümü Proje Arşivi.
- Sert, H., Partal, E.M., Demirci, H., Akbulut, T., Avşın, A., Üste, C., Yılmaz, S., Nas, M., Kasap, F., Turan, G.S., Korkmaz, İ.H. (2009). TARİHİ KÖPRÜLER Teknik Şartname, Mevzuat, Envanter, Proje, Bakım ve Onarımı. KGM Yayınları: 268, Ankara, 410 s.
- Tunç, G., (1978). ‘Taş Köprülerimiz’, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın no; 237, s. 142.



Investigation of Quartz Sand as Filtration Reducer in Drilling Fluids

Sondaj Sıvılarında Filtrasyon Azaltıcı Olarak Kuvars Kumunun Araştırılması

ONUR ESER KÖK Orcid: 0000-0002-7061-2921

İskenderun Technical University, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, 31200, Hatay, Turkey

Geliş (received): 27/03/2025

Kabul (Accepted): 11/06/2025

ÖZ

Sondaj işlemleri, birincil enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı için çok önemlidir ve sondaj sıvısı ile doğrudan etkileşim halindedir. Bu nedenle, başarılı bir sondaj için verimli bir sondaj sıvısı gereklidir. Sondaj sıvısının akış özellikleri, filtrasyon özellikleri başta olmak üzere birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, ticari kuvars kumunun su bazlı sondaj sıvılarında filtrasyon azaltıcı bir katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda, sondaj uygulamalarına uygun spud tipi sondaj sıvıları hazırlanmış ve ardından kuvars kumları farklı oranlarda (ağırlıkça %0,25-0,50-1,0-1,5-2,0) ilave edilmiştir. Daha sonra farklı sürelerde (15-30-60 dk) filtrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda kuvars kumunun önemli ölçüde filtrasyonu azaltıcı etkiye sahip olduğu ve spud tipi sondaj sıvılarında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvars kumu, Sondaj, Filtrasyon, Sondaj akışkanları

Onur Eser Kök oeser.kok@iste.edu.tr

İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay

DOI: 10.70054/geosound.1666845

ABSTRACT

Drilling operations are significant for producing and utilising primary energy resources and directly interacting with drilling fluid. Therefore, efficient drilling fluid is required for successful drilling. The flow properties of drilling fluid vary depending on many parameters, especially filtration properties. In this study, investigated the usability of commercial quartz sand as a filtration-reducing additive material in water-based drilling fluids. In the experimental studies, spud-type drilling fluids were prepared suitable for drilling applications, and then quartz sands were added at different ratios (0.25-0.50-1.0-1.5-2.0 wt.%). Then, filtration measurements were performed at different times (15-30-60 min). As a result of the measurements, it has been determined that quartz sand has a significant filtration-reducing effect and can be used in spud-type drilling fluids.

Keywords: Quartz sand, Drilling, Filtration, Drilling fluids

1. INTRODUCTION

Nowadays, many energy sources are used. Despite the wide use of renewable energy sources (geothermal, solar, wind, etc.), there is still a need and demand for primary energy sources (oil, coal, natural gas, etc.). The high-efficient production and utilization of primary energy resources are important from environmental and economic perspectives (Balat, 2007). Nowadays, drilling method is one of the most common methods to produce primary energy resources. Drilling is very important for exploring and producing to fossil energy resources (Abas et al., 2015; Forsberg, 2009).

A successful drilling operation which is completed in a short time is an important factor in producing of the energy source. For this reason, many parameters should be carried out together and harmoniously for drilling to succeed. Drilling fluid is one of the most important factors for a successful drilling operation. Other factors such as drilling time, rate of penetration, cost, and production efficiency are directly depended to the drilling fluid (Caenn & Chillingar, 1996).

Drilling fluid has many tasks in any drilling operation such as cleaning the hole, lubricating the drill string, cooling the bit, suspending cuttings at no circulation condition, and balancing formation pressure. Thus, ensure these tasks, different types of drilling fluids are used, and rheology and flow properties are controlled with organic or inorganic additives (Caenn et al., 2011).

Many factors related to drilling are determined by drilling fluids. Its are prepared according to formation type, targeted depth, type of energy source, drilling method, and equipments. For a general drilling, three basic drilling fluids (Spud, Lignosulfonate, and Polymer type) and base additives (bentonite, caustic soda, soda ash, barite etc.) are used. However, spud-type drilling fluid which is the most common type in first stage of drilling operations is used (Davoodi et al., 2024).

Spud-type drilling fluids consist of basic additive components (bentonite, sodium hydroxide, sodium carbonate, barite, and water). However, flow parameters are controlled with many additives to ensure their tasks due to deepening of the drilling and the differences in the formation structure and flow properties in borehole. These additives are used to control the parameters such as fluid loss (filtration), viscosity, and pH (Bleier, 1990).

Filtration control is important among the spud-type drilling fluid flow properties. It should be controlled to prevent formation collapses and fluid leaks and monitoring the flow properties of the drilling fluid. For this reason, many organic and inorganic additives are used in current industrial applications. However, scientific and sectoral researches for enhance low-cost, eco-friendly, and highly efficient additives are continuing, nowadays (Glenn et al., 1957; Bezemer & Havenaar, 1966).

Quartz sand is industrial raw material formed as a result of the weathering of quartz-rich rocks and has a quartz content of at least 95% contains low amounts of clay, feldspar, iron oxide, and carbonate, and has grain size below 2 mm, white-cream-pink colour, high Mohs hardness and porous structure (Derakhshani et al., 2015). According to industrial consumption, it's among the world most consumed low-cost raw materials. It is widely used in sectors such as the foundry industry, brick production, glass production, purification and filtration, sandblasting, construction, and metallurgy (Shaffer, 2006; Moss, 1966).

This study aims to evaluate quartz sand as a new low-cost filtration-reducing additive material for drilling operations. Quartz sand was chosen because of its a lot of advantages (such as low-cost, production abundance, easy supply, and easy storage conditions) in comparison with the materials used in industrial applications. The novelty of this study is the development of a new low-cost and high-efficiency fluid loss control material. In this purpose, quartz sand was experimentally investigated and its use in drilling muds was evaluated both as an import substitute product and as a new product that is easily and abundantly available. For this

reason, in the experimental studies carried out within the scope of the study, spud-type drilling fluids were prepared, different amounts of quartz sand were added, and their effects on filtration properties were examined at different times. The optimum additive ratio and filtration time were determined by the results obtained.

2. MATERIALS AND METHOD

The materials were obtained from commercial factories. Bentonite (drilling grade) was taken from RBS in Niksar, Turkey. Sodium hydroxide (NaOH) and sodium carbonate (Na_2CO_3) were taken from TEKKIM Company as technical grade. Barite (BaSO_4) was taken from Barit Maden Turk Company in Osmaniye, Turkey, as micronized size. Quartz sand was taken from SİSECAM in Mersin, Turkey. Its technical properties are given in Table 1 and digital microscope images are given in Figure 1.

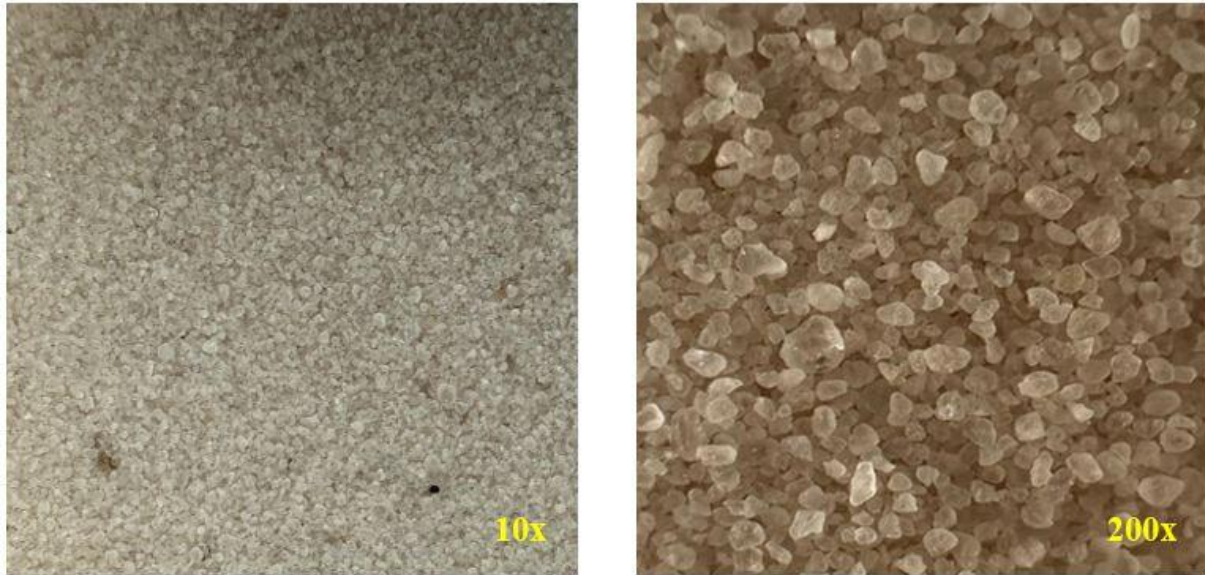


Figure 1. Digital microscope images of quartz sand

Table 1. Properties of the quartz sand (SISECAM, 2025)

Chemical Content (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
	97.00	1.05	0.112	<0.08	<0.39	0.11	<0.02	0.72
Particle Size (%)	-1000 +500 μm		-500 +300 μm		-300 +106 μm		-106 μm	
	<0.2		11.3		71.5		17.0	
Moisture (%)	<7.0							

The drilling fluids were prepared with the above materials according to spud-type drilling mud concentrations. Quartz sand was added to the drilling fluids in different amounts. All of the drilling fluids were prepared in atmospheric pressure and room temperature conditions. The preparation properties of the drilling fluids are given in Table 2.

Table 2. Preparation properties of the drilling fluids

Materials and Concentrations (ppb: pound per barrel, wt. %: weight percentage)	Details of the Drilling Fluids
Bentonite - 25 ppb NaOH - 0.30 ppb Na ₂ CO ₃ - 0.35 ppb BaSO ₄ - 2.5 ppb	Base drilling fluid
Base Drilling Fluid + 0.25 wt.% Quartz sand (QS-1) Base Drilling Fluid + 0.5 wt.% Quartz sand (QS-2) Base Drilling Fluid + 1.0 wt.% Quartz sand (QS-3) Base Drilling Fluid + 1.5 wt.% Quartz sand (QS-4) Base Drilling Fluid + 2.0 wt.% Quartz sand (QS-5)	Quartz sand added drilling fluids

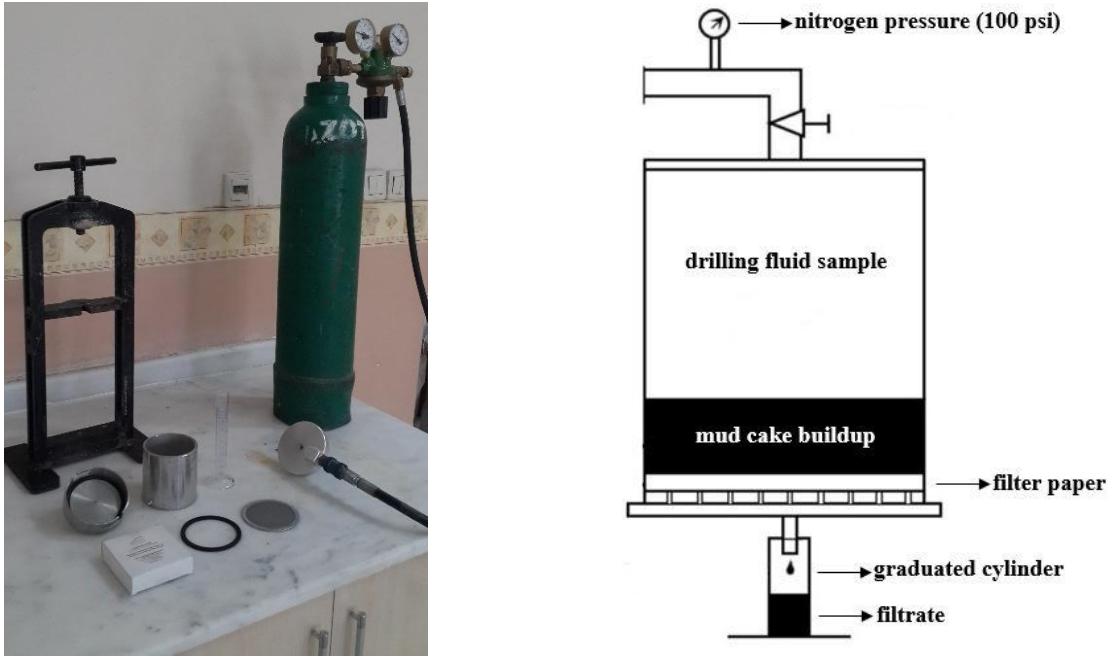


Figure 2. API filtration kit and schematic sketch of filtration cell (Sharma et al., 2025)

Filtration measurements were applied using API filtration kit developed by the American Petroleum Institute (see Fig. 2) at 15, 30, and 60 min. under 100 psi nitrogen pressure. The filtrates were collected in graduated cylinder, and the amounts were recorded. The measurements were applied according to the API RP 13B-1 test procedure (API, 2017).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Filtration measurements were applied according to the average non-circulation times of the drilling. The times were determined as 15 minutes for adding or removing drill pipe, 30 minutes for compliance with API standard, and 60 minutes for long-term non-circulation time, such as cementing or failures. The results were also compared with base drilling fluid to determine the effects of quartz sand, and all results are shown in Figure 3.

Firstly, it was determined that the results showed that the filtrate volumes were decreased with the addition of quartz sand in all drilling fluids. According to the results, it is seen that there is a decrease in filtrate volumes due to the increase in the amount of quartz sand at all

measurement times. However, this decrease is not in linear; although linear, although there are sharper decreases at low additive rates, the rate of decrease decreased at high additive rates.

According to the additive ratios, the filtrate volumes decreased by 1.92 ml, 4.93 ml, 8.21 ml, 11.77 ml and 12.87 ml for the samples coded QS-1 (0.25 wt.%), QS-2 (0.5 wt.%), QS-3 (1.0 wt.%), QS-4 (1.5 wt.%) and QS-5 (2.0 wt.%) at 15 min. measurement time, respectively. At 30 min. measurement time, the decreases in filtrate volumes were determined as 2.71 ml, 6.97 ml, 11.62 ml, 16.65 ml, and 18.20 ml, respectively. At 60 min. measurement time, the decreases in filtrate volumes were determined as 3.83 ml, 9.86 ml, 16.43 ml, 23.55 ml, and 25.74 ml, respectively. According to the average effect of quartz sand, it was determined that it had a filtration reduction effect of 2.82%, 7.25%, 12.09%, 17.32%, and 18.94% for drilling fluids coded QS-1, QS-2, QS-3, QS-4, and QS-5, respectively.

According to the American Petroleum Institute (API), the filtrate volumes obtained as a result of 30 min. filtration should be a maximum of 15 ml. For this reason, it was seen that the prepared base drilling fluid does not meet API requirements. However, according to the decreases in the filtrate volumes with the addition of quartz sand, it was seen that it complies with the API standard with a filtrate volume of 14.71 ml after 1 wt.% additive ratio (QS-3). This indicates that quartz sand addition should be at least 1% for drilling applications.

Statistical evaluation shows that all the filtration measurements have a polynomial slope. According to 15 min. filtration time, the optimum equation is determined as $y=0.0342x^2-3.0167x+22.041$ and $R^2=0.9858$. In the 30 min. filtration time, the optimum equation is determined as $y=0.0484x^2-4.2661x+31.17$ and $R^2=0.9855$. In the 60 min. filtration time, the optimum equation is determined as $y=0.0685x^2-6.0345x+44.09$ and $R^2=0.9857$. The results showed that the measurements and results were applied with high accuracy according to the R^2 values.

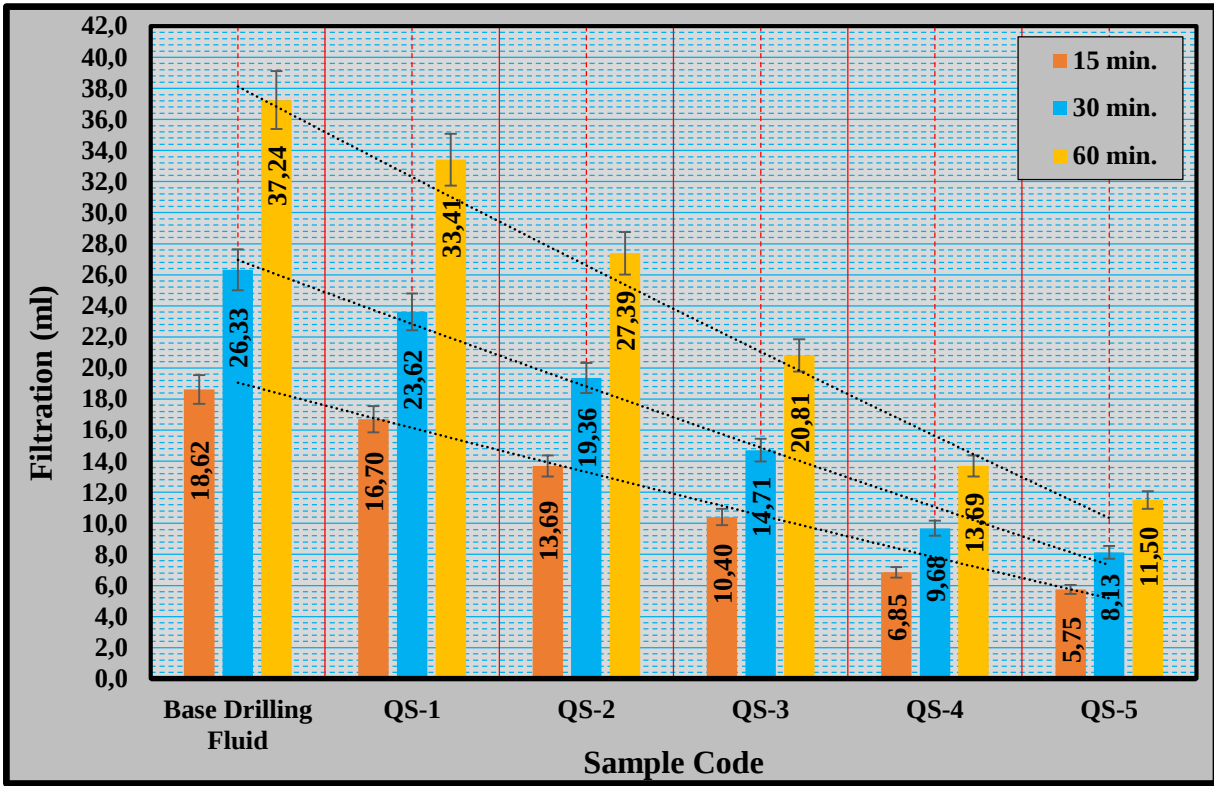


Figure 3. Filtration results of the drilling fluids

In the literature studies, there are generally studies on the filtration properties of drilling fluids with SiO₂ additives. The use of quartz shows the originality of this study. Ismail et al. (2016) determined that SiO₂ improved the filtration properties of drilling fluids. However, no comparison was made with basic drilling fluids. Salih and Bilgesu (2017) determined that increasing the concentration of SiO₂ reduced the filtrate volume of drilling fluids. Smith et al. (2018) determined that SiO₂ (<12 nm) reduced filtrate volume up to 0.5 wt.%. Bardhan et al. (2024) synthesized mesoporous silica for the performance of water-based drilling fluids and reported that a significant reduction in fluid loss was achieved by mesoporous silica. Li et al. (2024) used hydrophobic SiO₂ in water-based drilling fluids and reported that hydrophobic SiO₂ contributes to reducing filtration of drilling fluids in room temperature conditions. According to the results obtained from the experimental studies of this study, filtrate volumes of the quartz sand added drilling fluids were measured in the range of 5.75-16.7 ml, 8.13-23.62 ml, and 11.5-33.41 ml at 15-30-60 min. test times, respectively. These results showed that quartz sand has a reducing effect on the filtration of water-based drilling fluids and is

compatible with the literature. In addition, polyanionic cellulose (PAC) is used as a major filtration control agent in water-based drilling fluids in industrial applications. Saadi et al. (2025) investigated to effect of PAC variants such as PAC-R (regular), PAC-L (low viscosity) and PAC-UL (ultra-low viscosity) on filtration properties of water-based drilling fluids. The base mud was prepared with 26 g bentonite (sodium type) and 350 ml distilled water. Then, PAC variants were added at 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 and 0.9 by weight of percentage and filtration measurements were made at 30 min. time. The results show that filtrate volumes are between 6.5-5.0 ml. for PAC-R added drilling fluids, 8.3-5.5 ml for PAC-L added drilling fluids and 8.4-6 ml for PAC-UL added drilling fluids. Also, carboxymethyl cellulose (CMC) is one of the most commonly used filtration control materials in water-based drilling fluids after PAC. Iscan and Kok (2007) investigated to API fluid loss of CMC added drilling fluids. They prepared drilling fluids with 350 ml distilled water, 22.5 g bentonite and 45.8 g barite, then CMC added with between 0-4 g and recorded of API fluid loss as between 7.8-9.2 ml. Okon et al. (2014) prepared drilling fluids with 350 ml distilled water, 25 g bentonite and 5 g Na_2CO_3 , and then 2.5-10 g CMC added in the drilling fluids. Results showed that API fluid loss varies between 17.5-38.5 ml. Saboori et al. (2018) investigated to effect of CMC addition on the filtration properties of drilling fluids. They prepared to drilling fluids with 350 ml distilled water, 10 g bentonite and 1-10 g CMC. Results showed that API fluid loss of the samples is between 8-15 ml. According to performance comparisons between QS and two important fluid loss control material used in drilling operations (PAC and CMC), it is determined that QS has lower yield than PAC. However, it can be an alternative for CMC in some industrial applications. In addition, QS can be used as supporting additive material for PAC and CMC added drilling fluids.

4. CONCLUSION

This study investigated the effect of quartz sand as a filtration reducer additive material in drilling fluids. Experimental studies showed that quartz sand has a decreasing effect on the spud-type drilling fluids at all additive ratios. However, at 1.0 wt.% and more ratios, the filtrate volumes were obtained as suitable to API standard. With the laboratory experiments, quartz sand (>1.0 wt.%) could be used in drilling operations for filtration reducer. However, it may vary in field applications depending on drilling conditions.

REFERENCES

- Abas, N., Kalair, A., Khan, N., 2015. Review of Fossil Fuels and Future Energy Technologies. *Futures*, 69, 31-49. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.03.003>
- American Petroleum Institute (API). (2017). 13B-1. Recommended practice standard for field testing water-based drilling fluids.
- Balat, M., 2007. Status of Fossil Energy Resources: A Global Perspective. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2(1), 31-47. <https://doi.org/10.1080/15567240500400895>
- Bardhan, A., Vats, S., Prajapati, D. K., Halari, D., Sharma, S., Saxena, A., 2024. Utilization of Mesoporous Nano-Silica as High-Temperature Water-Based Drilling Fluids Additive: Insights into the Fluid Loss Reduction and Shale Stabilization Potential. *Geoenergy Science and Engineering*, 232, 212436. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212436>
- Bezemer, C., Havenaar, I., 1966. Filtration Behavior of Circulating Drilling Fluids. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 6(04), 292-298. <https://doi.org/10.2118/1263-PA>
- Bleier, R., 1990. Selecting a Drilling Fluid. *Journal of Petroleum Technology*, 42(07), 832-834. <https://doi.org/10.2118/20986-PA>
- Caenn, R., Chillingar, G. V., 1996. Drilling fluids: State of the Art. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 14(3-4), 221-230.
- Caenn, R., Darley, H. C., Gray, G. R., 2011. *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. Gulf professional publishing.
- Davoodi, S., Al-Shargabi, M., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S., Minaev, K. M., 2024. Synthetic Polymers: A Review of Applications in Drilling Fluids. *Petroleum Science*, 21(1), 475-518. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2023.08.015>
- Derakhshani, S. M., Schott, D. L., Lodewijks, G., 2015. Micro–Macro Properties of Quartz Sand: Experimental Investigation and DEM Simulation. *Powder Technology*, 269, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.072>
- Forsberg, C. W., 2009. Sustainability by Combining Nuclear, Fossil, and Renewable Energy Sources. *Progress in Nuclear energy*, 51(1), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2008.04.002>

- Glenn, E. E., Slusser, M. L., Huitt, J. L., 1957. Factors Affecting Well Productivity-I. Drilling Fluid Filtration. Transactions of the AIME, 210(01), 126-131. <https://doi.org/10.2118/720-G>
- Iscan, A., Kok, M. V., 2007. Effects of Polymers and CMC Concentration on Rheological and Fluid Loss Parameters of Water-Based Drilling Fluids. Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects, 29, 939–949. <https://doi.org/10.1080/00908310600713966>
- Ismail, A. R., Wan Sulaiman, W. R., Jaafar, M. Z., Ismail, I., Sabu Hera, E., 2016. Nanoparticles Performance as Fluid Loss Additives in Water-Based Drilling Fluids. In Materials science forum, 864, 189-193. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.864.189>
- Li, X., Wang, K., Lu, Y., Shen, X., Zhang, H., Peng, J., Jiang, S., Duan, M., 2024. Compatibility and Efficiency of Hydrophilic/Hydrophobic Nano Silica as Rheological Modifiers and Fluid Loss Reducers in Water-Based Drilling Fluids. Geoenergy Science and Engineering, 234, 212628. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212628>
- Moss, A. J., 1966. Origin, Shaping and Significance of Quartz Sand Grains. Journal of the Geological Society of Australia, 13(1), 97-136. <https://doi.org/10.1080/00167616608728607>
- Okon, A. N., Udoh, F. D., Bassey, P. G., 2014. Evaluation of Rice Husk as Fluid Loss Control Additive in Water-Based Drilling Mud. In Paper presented at the SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition.
- Saadi, R., Hamidi, H., Wilkinson, D., 2025. Optimizing Filtration Properties of Water-Based Drilling Fluids: Performance of PAC Variants and Synergistic Effects. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 136590. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.136590>
- Saboori, R., Sabbaghi, S., Kalantariasl, A., Mowla, D., 2018. Improvement in Filtration Properties of Water-Based Drilling Fluid by Nanocarboxymethyl Cellulose/Polystyrene Core–Shell Nanocomposite. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 8(2), 445–454. <https://doi.org/10.1007/s13202-018-0432-9>

- Salih, A. H., Bilgesu, H., 2017. Investigation of Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Fluids using Various Anionic Nanoparticles. In SPE Western regional meeting. SPE. <https://doi.org/10.2118/185638-MS>
- Shaffer, N. R., 2006. The Time of Sands: Quartz-Rich Sand Deposits as a Renewable Resource. Electronic Green Journal, 1(24). <https://doi.org/10.5070/G312410669>
- Sharma, G., Tandon, A., Guria, C., 2025. An Improved Model for Static Filtration of Water-Based Drilling Fluids and Determination of Mud Cake Properties. Fuel, 393, 134882.
- SISECAM, Internet resources: <https://www.sisecam.com.tr/en/business-segments/mining/silica-sand> Access: January, 22, 2025.
- Smith, S. R., Rafati, R., Haddad, A. S., Cooper, A., Hamidi, H., 2018. Application of Aluminium Oxide Nanoparticles to Enhance Rheological and Filtration Properties of Water-Based Muds at HPHT Conditions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 537, 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.10.050>



Kaya Kütlelerinin Ayırışmaya Göre Sınıflandırılmasında Yeni Yaklaşım ve Uygulaması

New Approach for Classification of Rock Masses According to Weathering and its Application

SAMET BERBER¹ Orcid: 0000-0002-8747-9346

NURCİHAN CERYAN² Orcid: 0000-0002-1657-1102

ŞENER CERYAN¹ Orcid: 0000-0002-1927-6985

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

²Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Balıkesir

Geliş (received): 01/12/2024

Kabul (Accepted): 06/01/2025

ÖZ

Bu çalışmada, kaya kütlelerinin ayırışma derecesini belirlemek için yeni bir sayısal yaklaşım önerildi. Bu yeni yaklaşımı oluşturmak için Kaya Mühendislik Sistemi (RES) kullanılmıştır. RES doğal sistemi etkileyen parametrelerin karşılıklı etkileşimini gösteren etkileşim matrisinin oluşturulması esasına dayanır. Bu çalışmada kaya kütlelerinin ayırışma durumunu tanımlamak ve derecelendirmek için kurulan etkileşim matrisinde kullanılan parametreler; kaya malzemesi ayırışma durumu (P1), kaya ve toprağın oranı (P2), süreksizlik yüzeyinin ayırışma durumu (P3), kaya kütlesi yapısının korunması (P4), süreksizlik sıklığı (P5) ve süreksizlik yüzey malzemesinin ayırışma derinliğidir (P6). Ağırlık faktörü P1 için 2.8368, P2 için 2.2855, P3 için 2.7356, P4 için 1.497, P5 için 3.4042 ve P6 için 1.1032 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada kaya kütleleri için geliştirilen ayırışmaya sınıflandırılması Gümüşhane-Giresun yolu kazılarında yüzeylenen volkanik kayalara uygulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen Kaya Kütle Ayırışma Puanı (Wres) ile Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), tek eksenli, basınç dayanımı (σ_{cm}) ve deformasyon modülü (E_m) arasında anlamlı istatistiksel ilişki olduğu ve Wres kullanılarak GSI, σ_{cm} ve E_m 'nin güvenilirlikle tahmin edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ayırışma sınıflandırması, Kaya Kütlesi, Kaya Mühendislik Sistemi, Volkanik kayaç

*Samet Berber, sametberber@balikesir.edu.tr

DOI: 10.70054/geosound.1594479

ABSTRACT

In this study, a new numerical approach was proposed to determine the weathering degree of rock masses. Rock Engineering System (RES) was used to create this new approach. RES is based on the creation of an interaction matrix that shows the interaction of the parameters affecting the natural system. In this study, the parameters used in the interaction matrix established to define and grade the weathering state of rock masses are; rock material weathering state (P1), rock and soil ratio (P2), weathering state of discontinuity surface (P3), preservation of rock mass structure (P4), discontinuity frequency (P5) and weathering depth of discontinuity surface material (P6). The weight factor was obtained as 2.8368 for P1, 2.2855 for P2, 2.7356 for P3, 1.497 for P4, 3.4042 for P5 and 1.1032 for P6. In this study, the weathering classification developed for rock masses was applied to volcanic rocks exposed in the Gümüşhane-Giresun road excavations. In this study, it was observed that there was a significant statistical relationship between the Rock Mass Weathering Score (Wres) obtained and the Geological Strength Index (GSI), uniaxial, compressive strength (σ_{cm}) and deformation modulus (E_m), and that GSI, σ_{cm} and E_m could be estimated reliably using Wres.

Keywords: Weathering classification, Rock Mass, Rock Engineering System; Volcanic rock

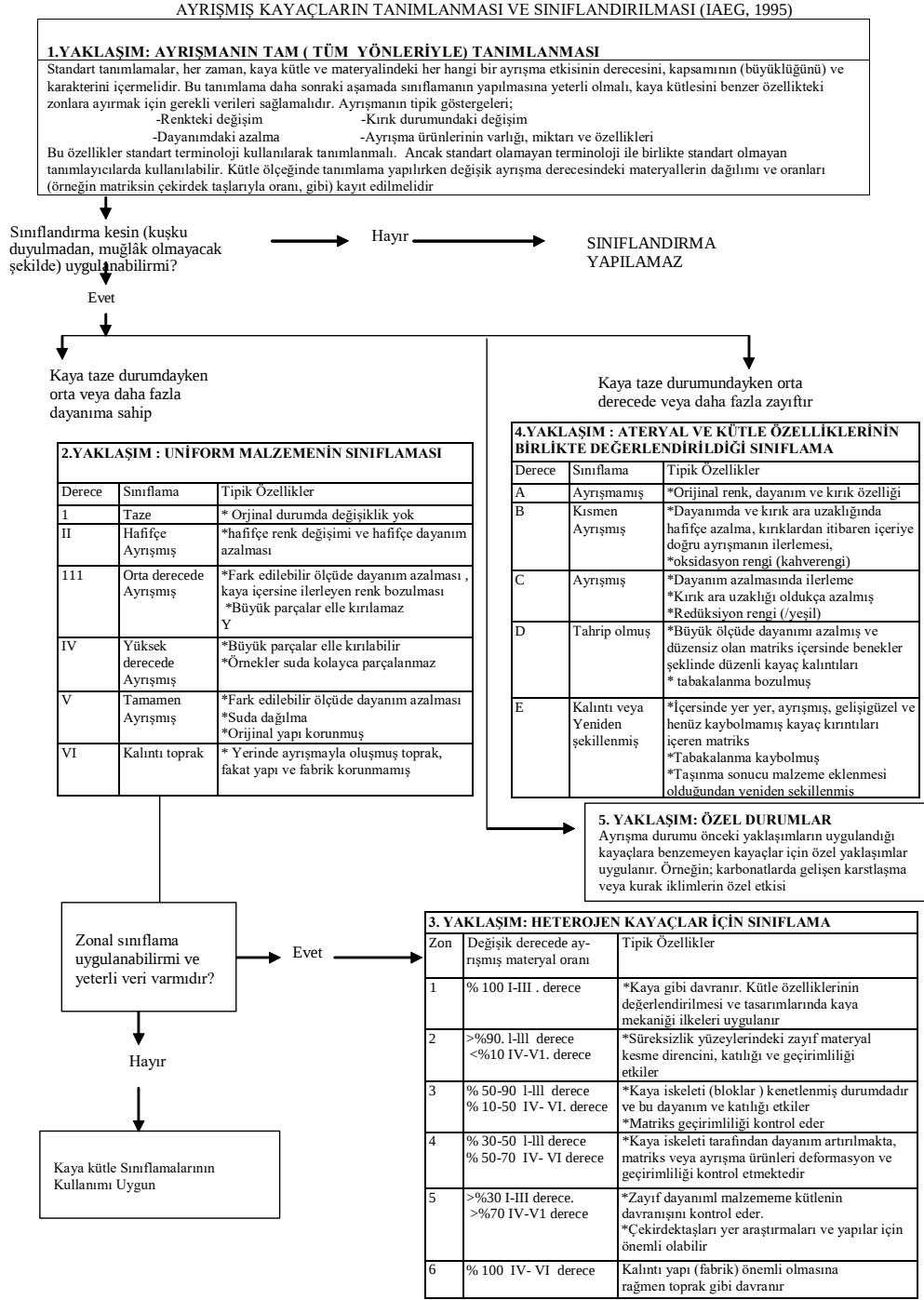
1. GİRİŞ

Kayanın mühendislik davranışı yalnızca gerilme durumuna ve geçmişine değil, aynı zamanda kayanın ayrışma nedeniyle fiziksel ve kimyasal değişimine de bağlıdır (Ceryan vd., 2021). Bu nedenle, jeoteknik mühendislerinin ayrışma sırasındaki değişimleri sayısal olarak tahmin etmeleri önemlidir. Bir kayanın toprağa dönüşme sürecindeki çeşitli aşamalar tanınabilir ve ayrışmış kayaların mühendislik sınıflandırmalarının temelini oluşturmak için kullanılabilir (IAEG 1995). Ayrışmış kayaçların tanımlanması ve sınıflandırılması, mühendislik özelliklerindeki değişiklikleri elde etmek için gereklidir. Sınıflandırmadaki ilk adım, sınıflandırma amacıyla ilgili kayaçların parametrelerini belirlemek ve kayacı bu parametrelere ve özelliklere göre tanımlamaktır (Ceryan, 2012). Ayrışmış kaya kütlelerinin sınıflandırma sistemleri hakkında esas olarak iki yaklaşım vardır. Bunlardan biri nitel ayrışma sistemidir. Nitel ayrışma sistemleri, esas olarak jeolojik özelliklerin görsel tanımına, indeks özelliklerine ve sahada da uygulanabilen temel mekanik teste dayanmaktadır (Ceryan, 2012). Ayrıca,

kayaçların mühendislik özellikleri nitel sınıflandırmalar tarafından bir aralıkta tahmin edilebilir. Ancak, her bir ayrışma derecesi için tahmin edilen mühendislik özelliklerinin bu aralığı, sınıf sınırlarında diğer sınıfın aralığıyla örtüşebilir (Ceryan vd., 2008). Ayrıca nitel ayrışma sınıflandırmaları, kayacın ayrışma derecesi ile mühendislik özellikleri arasında sayısal ilişkilerin kurulmasına izin vermemektedir. Nitel ayrışma sınıflandırmasının diğer bir dezavantajı, bu sistemlerde kullanılan özelliklerin öznel (kullanıcıya bağlı) olması ve her ayrışma derecesi için birbirinden farklı özelliklerin kullanılmasıdır (Ceryan vd., 2008).

Günümüzde literatürde nitel sınıflandırma sistemleri arasında en yaygın kullanılan ayrışma sınıflandırma sistemi IAEG (1995) tarafından önerilmiştir (Şekil 1). Ayrışmış kayaçlar için diğer sınıflandırma sistemi türü sayısal (nicel) sistemdir. Price (1995) tarafından önerilen kaya kütlesini ayrışma durumuna göre puanlama sistemi sayısal sistem için bir örnektir (Çizelge 1, Çizelge 2). Price (1995) geliştirdiği sistemde kaya malzemesi ayrışma durumunu ve süreksizliğin ayrışma durumunu puanlamış ve bu puanların toplamından da kaya kütlesi ayrışma puanı elde etmiştir. Price (1995) kaya malzemesi ayrışma durumunu puanlarken, ayrışmamış kaya malzemesi, rengi bozulmuş kaya malzemesi ve jeoteknik anlamda toprak malzemesinin oranını dikkate almıştır. Süreksizliklerin ayrışma durumu puanlanırken süreksizlik yüzeyindeki ayrışmamış kısım, yüzeyi boyanmış kısım, ayrışma derinliği>pürüzlülük olan kısım ve jeoteknik anlamda topraktaki kalıntı süreksizliklerin oranları dikkate alınmıştır. Çizelge 2’de Price (1995) puanlama sisteminde toplam puanlara göre ayrışma sınıfları ve bu sınıflardaki kayaçlarda rastlanılacak mühendislik problemleri verilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, kaya kütleleri için sayısal bir ayrışma sisteminin geliştirilmesidir. Bu sistem Kaya Mühendislik Sistemi (Hudson, 1992) kullanılarak elde edilmiştir. Kaya kütlelerinin ayrışma puanını bulabilmek için kurulan etkileşim matrisinde kullanılan parametreler kaya malzemesi ayrışma durumu, kaya ve toprağın oranı, süreksizlik yüzeyinin ayrışma durumu, kaya kütlesi yapısının korunması, süreksizlik sıklığı ve süreksizlik yüzey malzemesinin ayrışma derinliğidir. Bu çalışmada geliştirilen kaya kütlesi ayrışma sınıflandırması Gümüşhane-Giresun karayolunun Kürtün-Torul ilçesi arasındaki yol şevlerinde (Şekil 2) yüzeylenen volkanik kayaçlara uygulanmıştır.



Şekil 1. IAEG (1995) tarafından önerilen kayaçların ayrışmaya göre tanımlama ve sınıflandırma yaklaşımı

Figure 1. The approach to the identification and classification of rocks according to weathering proposed by IAEG (1995).

Çizelge 1. Price (1995) tarafından geliştirilen kaya kütleleri için ayrışma sınıflandırmasında puanlama

Table 1. Scoring for weathering classification of rock masses developed by Price (1995)

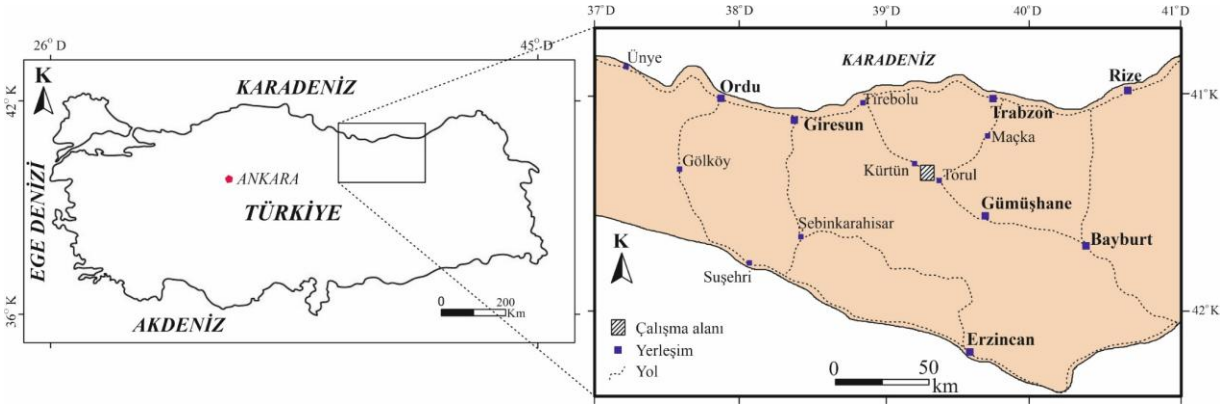
Kaya malzemesi için puanlama				
Oran	Taze	Renk değiştirmiş. Dayanım kaybı var		Ufalanabilir (ve renk değiştirmiş). Dayanım kaybı önemli miktarda. Jeoteknik anlamda toprak
±4 / 4	40	0		0
±3 / 4	30	5		5
±2/4	20	10		10
±1 / 4	10	15		15
0	0	20		20
Mağmatik kayaçlardaki kırıklar için puanlama				Tüm kayaçlardaki tüm süreksizlikler için puanlama
Oran	Ayrış-mamış	Yüzey boyanmış	Kaya malzemesi ayrışma derinliği> yüzey pürüzlülüğü	Jeoteknik anlamda topraklardaki kalıntı süreksizliklerin oranı (*)
±4/4	40	0	0	-20
±3/4	30	5	5	-15
±2/4	20	10	10	-10
±1/	10	15	15	-5
0	0	20	20	0
Tortul ve başkalaşım kayaçlarındaki kırıklar için puanlama				
Oran	Ayrış-mamış	Yüzey boyanmış veya çözülmeye yeniden şekillendirilmiş		Kaya malzemesi ayrışma derinliği> yüzey pürüzlülüğü veya yüzey çözülmeye pürüzlülüğünden daha fazla ayrılmış
±4/4	40	0		0
±3/4	30	5		5
±2/4	20	10		10
±1/	10	15		15
0	0	20		20
Tabaka ve foliasyon düzlemleri için puanlama				
Oran	Ayrış-mamış	Yüzey boyanmış veya çözülmeye yeniden şekillendirilmiş		Kaya malzemesi ayrışma derinliği> yüzey pürüzlülüğü veya yüzey çözülmeye pürüzlülüğünden daha fazla ayrılmış
±4/4	40	0		0
±3/4	30	5		5
±2/4	20	10		10
±1/	10	15		15
0	0	20		20

(*: renk değiştirmiş ve ufalanabilir kaya malzemesi oranı $\frac{3}{4}$ den fazla ise uygulanır)

Çizelge 2. Price (1995) puanlama sisteminde toplam puanlara göre ayrışma sınıfları ve bu sınıflardaki kayaçlarda rastlanılacak mühendislik problemleri

Table 2. Price (1995) grading system classifies weathering classes according to total scores and engineering problems encountered in rocks in these classes.

Sınıf	Puan ve Tanım	Tortul Kayaçlar	Kireçtaşı
A	Puan: >100 Fiilen ayrışmamış	Kaya malzemesi ve süreksizlik özelliklerine bağlı olarak mühendislik problemleri. Ayrışma etkisi yok	Kaya malzemesi ve süreksizlik özelliklerine bağlı olarak mühendislik problemleri. Ayrışma etkisi yok
B	Puan: 100-50 Önemli derecede ayrışmış	Eklem ve tabaka düzlemlerindeki dayanımın azalmasına bağlı olarak şev, tünel ve temellerde problemler	Eklem ve tabaka düzlemlerindeki açılma geçirimsizliğin ve süreksizlik yüzeyleri dayanım azalmasındaki en önemli parametredir (Yeraltı kazıları için). Patlatmayla yapılan kazılarda problem
C	Puan: 50-20 Şiddetli derecede ayrışmış	Taşıma gücünde büyük miktarda azalma. Şev duraylılığı kalıntı topraktaki gibi ele alınır. Tünel için zayıf kaya koşulları	Kaya kütlelerinde erime boşlukları. Bütün mühendislik çalışmaları için problem. Yersel çökme problemleri
D2	Puan: 20-0 Kalıntı süreksizlikler içermeyen jeoteknik anlamda toprak	Ayrışmış kaya malzemesi jeoteknik anlamda toprak olarak ele alınmaktadır. Mühendislik problemlerinde zemin parametreleri gibi dizayn edilir.	Kalıntı toprak orijinal kayaçtan oldukça farklı, yüksek demir ve kil içeriği
D1	Puan: 0-(-20) Kalıntı süreksizlikler içeren jeoteknik anlamda toprak	Ayrışmış kaya malzemesi jeoteknik anlamda toprak olarak ele alınmaktadır. Mühendislik problemlerinde zemin parametreleri gibi dizayn edilir. Ancak kalıntı süreksizlik şev duraysızlığında olumsuzluk oluşturur.	Kristalli kireçtaşlarına uygulama yok. Oldukça yumuşamış (zayıflamış) kalsilutit ve kalsiarenitlerde karbonatlı çamur ile birlikte kalıntı süreksizlikler. Bütün mühendislik çalışmaları için problem.



Şekil 2. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Figure 2. The location map of the study area

Bu çalışmada öncelikle söz konusu kaya kütle yüzeylenmeleri litolojik özellikler, ayrışma durumu ve süreksizlik sıklığı dikkate alınarak homojen birimlere (jeoteknik birimlere) ayrılmıştır (Şekil 3). Her bir jeoteknik birim ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Söz konusu jeoteknik birimlerin mekanik özellikleri Hoek-Brown yenilme ölçütü (Hoke vd., 2002) ile elde edilmiştir. Daha sonra, RES sistemi kullanılarak elde edilen kaya kütleli ayrışma puanı (Wres) Price'ın puanlama sistemi (Price, 1995) ve IAEG tarafından önerilen nitel ayrışma sınıflandırması (IAEG, 1995) ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Wres ile jeoteknik birimlerin mühendislik özellikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır.



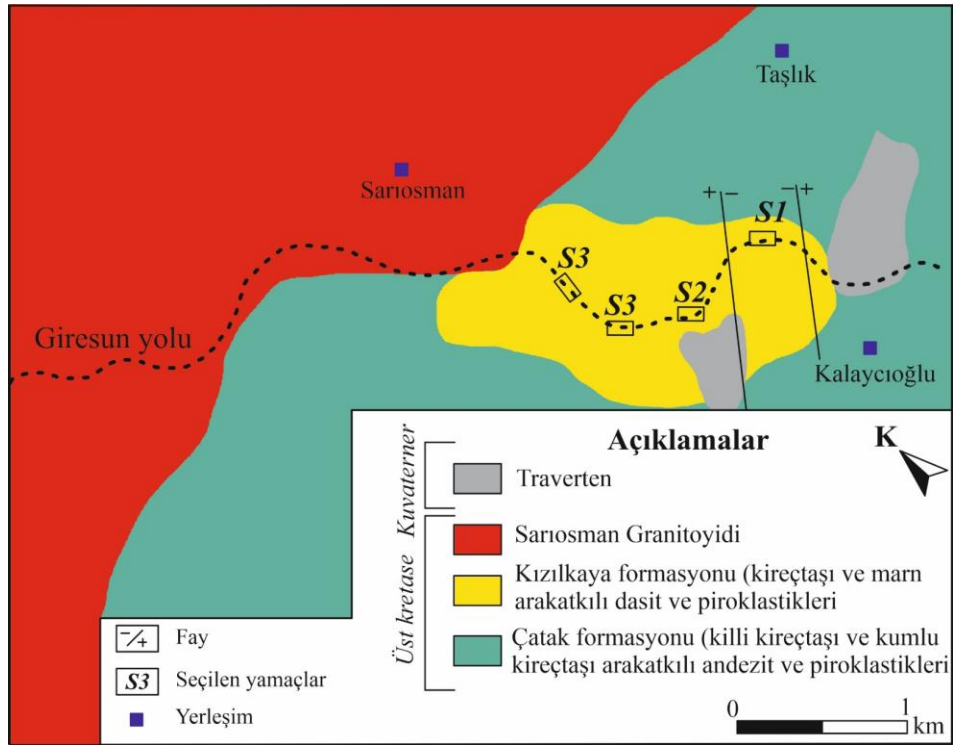
Şekil 3. Gümüşhane-Giresun yol kazı şevlerinde ayrıtlanan bazı jeoteknik birimler; a) 3. jeoteknik birim, b) 5. jeoteknik birim, c) 11. jeoteknik birim

Figure 3. Some geotechnical units distinguished in the Gümüşhane-Giresun road excavation slopes; a) 3rd geotechnical unit, b) 5th geotechnical unit, c) 11th geotechnical unit

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Jeolojik Özellikler

Çalışma alanında en eski kayalar, Turoniyen-Santoniyen yaşlı koyu kırmızı renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ara katkılı andezit ve piroklastikleridir (Ceryan, 2010) (Şekil 4). Çatak formasyonu olarak adlandırılan bu birim üzerine kireçtaşı ve marn ara katkılı Turoniyen-Santoniyen yaşlı dasit ve piroklastiklerinden oluşan Kızılkaya formasyonu gelmektedir. Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Sarıosman Granitoyidi bu iki formasyonu da kesmiştir (Ceryan, 2010). Kuvaterner yaşlı Traverten çalışma sahasındaki tüm birimlerin üzerine gelmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanı jeoloji haritası

Figure 4. The geological map of the study area

2.2 Kaya Mühendisliği Sistemi ve kaya kütleleri için nicel sınıflandırma sisteminin oluşturulması

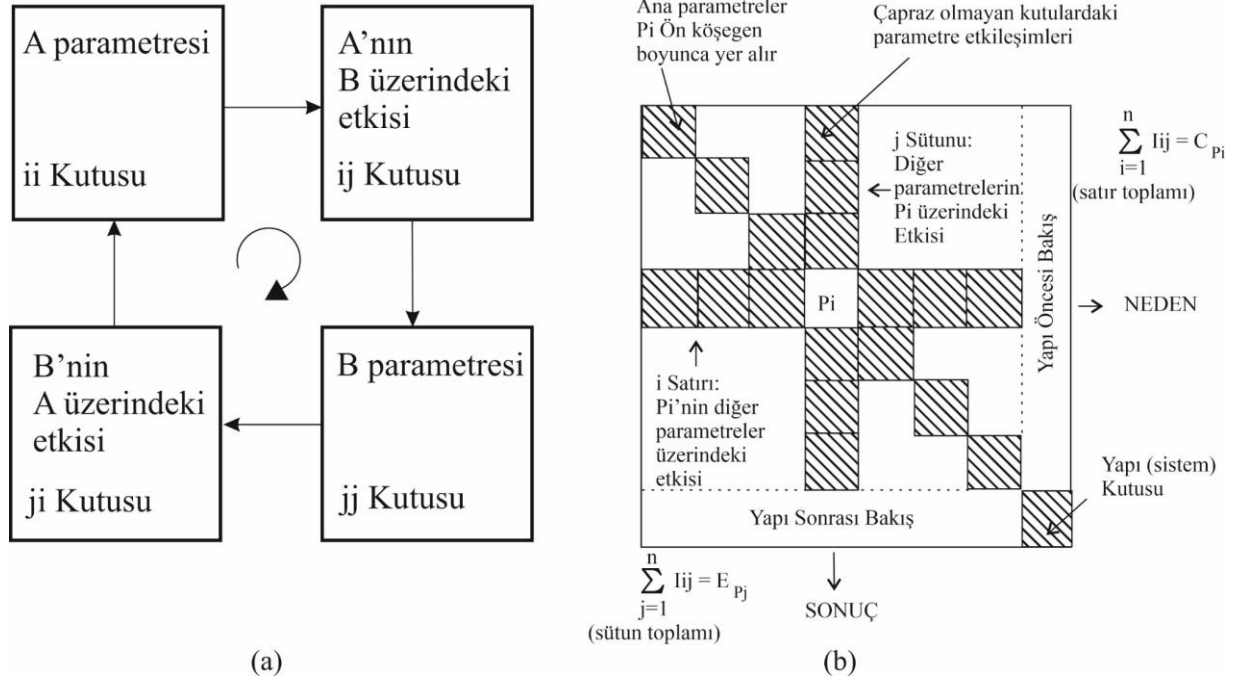
Bazı parametrelerin herhangi bir doğal sistem üzerinde diğerlerinden daha büyük bir etkiye sahip olabileceği bilinmektedir. Parametrelerin diğer parametrelerden etkilenebilirliği ve etkileyebilme derecesini ölçme yaklaşımı, Hudson (1992) tarafından sayısallaştırılmıştır. Bu sayısallaştırma işlemi (kaya mühendislik sistemi, RES), seçilen her bir parametrenin bir matrisin (etkileşim matrisinin) köşelerinde gösterilmesi ve her parametrenin sistemi etkileme şiddeti ve sistemden etkilenme derecesini kodlayarak elde edilmiştir. RES birçok doğal sistemlerde parametrelerin etkileşimini anlamak, sistemi tanımlamak için, dolayısıyla da birçok mühendislik çalışmalarında kullanılmıştır (Faramarzi vd., 2013; Huang vd., 2013; Rafiee vd., 2016; Ahmad vd., 2021; Vianello vd., 2023; Fattahi ve Ghaedi, 2024; Golmohammadi ve Bidgoli, 2024).

Etkileşim matrisinin kurulmasında ilk işlem doğal sistemi etkileyecek parametrelerin seçimidir. Bu çalışmada, kaya kütlelerin ayrışma derecesini sayısal olarak tanımlamak için altı parametre seçilmiştir. Bu parametrelerden ilki (P1) kaya malzemesi ayrışma durumudur. Kaya malzemesinde ayrışma derecesi arttıkça kayacın tek eksenli basınç dayanımı (ve sertliği) azalmaktadır (Koca ve Kıncal, 2016). Bu çalışmada bu azalmayı ifade etmek için sağlam, ayrışmamış kaya malzemesinde ölçülen Schmidt çekici geri tepme sayısının seçilen kaya malzemesinde ölçülen geri tepme sayısına oranı (R_f/R_w oranı) (Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000) dikkate alınmıştır. İkinci parametre (P2) ayrışma zonundaki kaya ve toprağın (mühendislik açıdan toprak) oranıdır. Bu oran kaya kütlelerinin niteliksel ayrışma sınıflandırmalarında en çok kullanılan parametrelerinden biridir (Örn. Little, 1969; IAEG, 1995; Ceryan ve Ceryan, 2008). Ayrışma ilerledikçe, kaya toprağa dönüştükçe kaya oranı azalmakta toprak oranı artmaktadır. Süreksizlik yüzeyinin ayrışma durumu etkileşim matrisini oluşturmak için seçilen üçüncü parametredir (P3). Ayrışma ilerledikçe süreksizlik yüzey malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ve sertliği azalacaktır (Ceryan vd., 2016). Bu parametreyi tanımlamak için de sağlam kaya malzemesindeki Schmidt çekici geri tepme sayısının süreksizlik yüzeyindeki geri tepme sayısına oranı (Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000) dikkate alınmıştır. Bu oran ayrışma ilerledikçe artmaktadır. Ayrışma ilerledikçe (kaya kütleleri toprağa dönüştükçe) kaya kütle

yapısı da değişmekte, giderek kaybolmaktadır. Nitel ayrışma sınıflandırmalarının çoğunda kullanılan kaya kütlesi yapısının korunması parametresi (P4) (IAEG, 1995; Ceryan ve Ceryan, 2008) bu çalışmada da dikkate alınmıştır. Süreksizlik yüzeyindeki zayıf malzemenin (dolgunun, ayrıışmış yüzey malzemesinin) kalınlığı süreksizliklerin kayma dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Süreksizliklerin kayma dayanımını etkileyen bir diğer önemli faktör süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Ayrışma ilerledikçe süreksizlik yüzeyindeki ayrışma derinliği ve ayrıışmış kayadan oluşan dolgu kalınlığı artmakta ve bu duruma bağlı olarak süreksizliklerin kayma dayanımı azalmaktadır (Ceryan vd., 2016). Bu nedenle bu çalışmada süreksizlik yüzey malzemesinde ayrışma derinliği (P5) bir parametre olarak dikkate alınmış ve bu derinlik süreksizlik yüzeyi pürüzlülüğünün genliği ile karşılaştırılmıştır. Kaya kütlesinde süreksizlik sıklığı artıka yüzey ve yeraltı suları daha çok kaya yüzeyi ile temas etmekte ve ayrışma daha çok ilerlemektedir. Öte yandan ayrışma ilerledikçe kaya kütlesinde yeni kırıklar oluşmakta süreksizlik sıklığı artmaktadır. Bu nedenle kaya kütlesinin ayrışma durumunu tanımlamak için süreksizlik sıklığı parametresi (P6) dikkate alınmıştır. Bu çalışmada süreksizlik sıklığı hacimsel eklem sayısı ile ifade edilmiştir.

Kaya kütlesinin ayrışma durumunu belirlemek için parametreler seçildikten sonra bu parametrelerin karşılıklı etkileşimini puanlamak için etkileşim matrisi kurulmuştur. Yaklaşımın genel karakteristiği kavramsal olarak Şekil 5a'da gösterilmiştir (Hudson, 1992; Ceryan ve Ceryan, 2008). Daha önce anlatılan parametrelerin etkileşimini anlamak için, “faktörlerden birindeki değişimin diğerlerinde nasıl değişikliklere yol açabileceği” sistematik bir şekilde araştırılmıştır. Bu parametre etkileşimleri, parametrelerin kare bir matrisin ana köşegeni boyunca listelendiği ve etkileşimlerin Şekil 5b'de verildiği gibi matrisin köşegen dışı kutularında dikkate alındığı bir matris gösterimi (Hudson, 1992) kullanılarak gösterilmiştir. Ana parametreler, P_i , Şekil 5b'de vurgulandığı gibi, köşegen boyunca verilir. Matrisin yapısından anlaşılacağı gibi, P_i 'den geçen satırdaki değerler P_i 'nin sistemdeki diğer tüm parametreler üzerindeki etkisini temsil etmektedir. Öte yandan, P_i 'ye kadar olan sütundaki değerler, diğer parametrelerin, yani sistemin geri kalanının P_i üzerindeki etkisini temsil eder. Matris yaklaşık olarak kodlandıktan sonra, her satırın ve her sütunun toplamı bulunmaktadır. Satır toplamı her bir parametrenin diğer parametreler üzerindeki etkisi, sütun toplamı her bir parametrenin diğer parametrelerden (sistemden) etkilenmesini gösterir. Başka anlatımla satır

değerlerinin toplamı 'neden' (C) ve sütun terimlerinin toplamı 'sonuç' (E) olarak belirlenir. Etkileşimlerin farklı şiddetlerini ölçmek için bir kodlama yöntemi oluşturulmuştur (Hudson, 1992; Ceryan ve Ceryan, 2008).



Şekil 5. 2x2 etkileşim matrisi (a) ve her bir parametrenin yer aldığı satır ve sütundaki kodlama değerlerinin toplamıyla, neden ve sonuç değerlerinin oluşması (b) (Hudson 1992).

Figure 5. 2x2 interaction matrix (a) and the formation of cause and effect values by summing the coding values in the row and column of each parameter (b) (Hudson 1992).

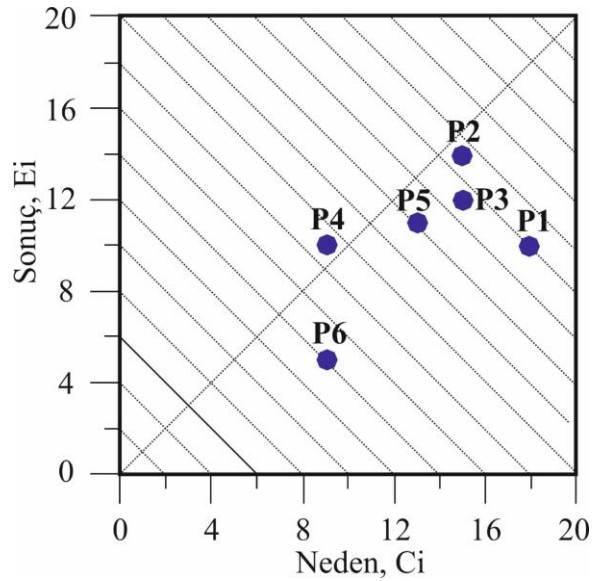
Etkileşim matrisi geliştirilirken, genel matris kodlama yöntemi kullanılır. Bu çalışmada parametrelerin etkileşimi için sıfırdan dörde kadar değişen beş kategori vardır ve bunlar sırasıyla 'hiç', 'zayıf', 'orta', 'güçlü' ve 'kritik' etkileşimlere karşılık gelir (Çizelge 3). Bu çalışmada kaya kütlelerinin ayrışma durumunu tanımlamak için geliştirilen etkileşim matrisi Çizelge 3'te verilmiştir. Neden-sonuç grafiği, bir projedeki her parametrenin rolünü anlamak için faydalıdır ve bir mühendislik projesinin karar aşamasında kullanılabilir. Şekil 6'da, çalışma alanındaki kaya kütlelerinin ayrışma durumunun tanımlanmasında en etkili parametrelerinin kaya malzemesi ayrışma durumu ve süreksizlik sıklığı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Kaya kütlelerinin ayrışma durumunu tanımlamak için oluşturulan etkileşim matrisi

Table 3. Interaction matrix created to define the weathering status of rock masses

	Ci						
P1	5	4	3	2	1	3	18
4 P2	3	2	2	1	3	15	
2 3 P3	1	4	1	4	15		
1 2 1 P4	1	1	3	9			
2 3 3 2 P5	1	2	13				
1 1 1 " 2 P6	2	9					
0 0 0 0 0 0 P7	0						
Ei	10	14	12	10	11	5	17 79

(P1: Kaya malzemesi ayrışma durumu, P2: Kaya ve toprağın oranı, P3: Süreksizlik yüzeyinin ayrışma durumu, P4: Kaya kütlelerinin yapısı, P5: Süreksizlik yüzey malzemesinin ayrışma derinliği, P6: Süreksizlik sıklığı ve P7: Ayrışma derecesi, C: Neden, E: Sonuç)



Şekil 6. Neden-sonuç ilişkisi

Figure 6. Cause-effect relationship

Çizelge 4. Önerilen ayrışma sınıflandırmasını oluşturmak için kullanılan parametrelerin tanımı ve puanlaması

Table 4. Description and scoring of the parameters used to create the proposed weathering classification

Kaya malzemesi ayrışma durumu (P1) ve süreksizlik yüzeyinin ayrışma durumu (P3)			Kaya-toprak oranı (P2)		
Wc (R_f/R_w)	Tanımlama	Puan	Kaya oranı (%)	Puan	
<1.1	Ayrışmamış	1	>90	1	
1.1-1.5	Az ayrışmış	3	90-70	2	
1.5-2.0	Orta derecede ayrışmış	5	70-50	4	
>2.0	Yüksek derecede ayrışmış	7	50-30	6	
			30-10	8	
			<10	9	
Kaya kütle yapısı (P4)			Puan		
Bloklar birbirine sıkıca bağlıdır			1		
Bloklar köşelidir ve birbirine bağlıdır.			2		
Kaya kütle yapısı korunmuştur. Ancak bloklar birbirinden ayrılma eğilimindedir			4		
Çekirdek taşları kırılmaya başlamıştır Kaya kütle iskeleti hala korunmuştur			6		
Toprak gibi davranabilir ancak kalıntı kayaç doku önemli olabilir. Zayıf malzeme (Toprak) oranı kaya kütleinin davranışını kontrol eder.			8		
Kaya kütle yapısı korunmamıştır			9		
Süreksizlik yüzey malzemesinin ayrışma derinliği (P5)			Süreksizlik sıklığı (P6)		
Süreksizlik yüzey malzemesi ayrışma derinliğinin pürüzlülük genliği ile karşılaştırılması		Derece	Jv	Tanım	Derece
Süreksizlik yüzey malzemesi ayrışma derinliğinin > pürüzlülük		1	<1	Büyük	1
Süreksizlik yüzey malzemesi ayrışma derinliğinin = pürüzlülük		3	1-3	Bloklu	3
Süreksizlik yüzey malzemesi ayrışma derinliğinin < pürüzlülük		5	3-10	Çok Bloklu	5
			10-30	Bloklu/Bozulmuş	7
			>30	Parçalanmış	9
			(Jv: Hacimsel eklem sayısı)		
(Rf: Ayrışmamış kaya malzemeleri için Shimidt çekiç geri tepme değeri, Rw: Ayrışmış kaya malzemesinin veya süreksizlik yüzeyi için Shimidt çekiç geri tepme değeri, Wc; ayrışma derecesi (Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000))					

Parametrelerin karşılıklı etkileşimleri tanımlanmasından sonra, gerçek parametre değerleri arazide ölçülmüştür ve bu ölçümlere göre puan atanmıştır. Bu tür verileri sağlamak için kapsamlı bir saha çalışması yürütüldü. İlgili parametreler hakkındaki veriler incelenen jeoteknik birimlerden toplandı ve ardından ölçülen parametre değerleri dikkate alınarak Çizelge 4'e göre puanlama yapıldı. İncelenen her jeoteknik birim için Çizelge 4'ten alınan parametre puanları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 4'te ayrıca kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci} , MPa), hacimsel eklem sayısı (J_v), Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), Price sistemine göre kaya malzemesi durumu puanı (R_m), süreksizlik puanı (R_d) ve kaya kütlesi ayrışma puanı (R_w), IAEG'ye göre ayrışma derecesi tanımı (WD^*), kaya kütlesinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm} , MPa), ve deformasyon modülü (E_m , MPa) verilmiştir. Jeoteknik birimlerin basınç dayanımı ve deformasyon modülü Hoek-Brown yenilme ölçütü (Hoek vd., 2002) kullanılarak bulunmuştur (Eşitlikler 1-5).

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot S^a \quad (1)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_{ci} \leq 1000 \text{ MPa için} \quad E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (4)$$

$$\sigma_{ci} > 1000 \text{ MPa için} \quad E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (5)$$

Çizelge 5. Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı, hacimsel çatlaklılık sayısı, Price sistemine göre puanlamalar, IAEG sistemine göre ayrışma derecesi, kaya kütlesi tek eksenli basınç dayanımı ve deformasyon modülü, parametre puanları ve kaya kütlesi ayrışma puanı (Wres)

Table 5. Rock material uniaxial compressive strength, volumetric cracking number, scores according to Price system, degree of weathering according to IAEG system, rock mass uniaxial compressive strength and deformation modulus, parameter scores and rock mass weathering score (Wres)

SN	jnt	σ_{ci}	Jv	GSI	Rm	Rd	Rw	WD*	σ_{cm}	E_m	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	Wres
1	1	152	2.72	42	20	40	60	MW	1.11	3155	3	4	5	4	2	3	49.8
	2	184	6.04	57	65	60	125	F	7.98	9725	1	1	5	1	1	5	33.2
	3	171	3.91	62	60	50	110	SW	7.17	9976	3	2	5	2	1	5	42.6
	4	152	5.91	52	60	40	100	SW	2.69	5610	3	2	5	2	1	5	42.6
2	5	196	3.66	65	80	60	140	F	10.5	11857	1	1	3	1	1	5	27.7
	6	110	1.83	49	20	40	60	MW	1.51	4720	5	4	7	6	1	3	60.5
	7	86	24.85	33	20	20	40	HW	0.27	1759	7	8	7	6	5	7	96.5
	8	117	6.09	39	20	30	50	HW	0.64	2654	5	6	5	6	5	5	77
3	9	114	10.8	30	20	20	40	HW	0.26	1581	5	6	7	6	3	7	79.5
	10	133	2.83	53	35	40	75	MW	2.558	5942	5	4	5	4	3	3	58.9
	11	161	5.47	48	35	30	65	MW	2.01	4456	3	4	5	4	1	5	50.2
	12	163,1	4.72	49	35	40	75	MW	2.21	4720	3	4	5	4	1	5	50.2
	13	181,6	5.47	61	65	50	115	SW	6.92	9418	3	2	3	2	1	5	37.1
	14	163,1	5.48	58	35	50	85	MW	4.81	7924	3	4	5	2	1	5	47.2
4	15	103,7	4.97	35	20	30	50	HW	0.39	2108	5	8	7	6	5	5	87.1
	16	185,6	4.84	54	35	40	75	F	3.88	6295	1	1	3	1	1	5	27.7
	17	97	5.42	53	35	40	75	SW	1.87	5862	7	2	5	2	1	5	54
	18	138	3.43	68	60	50	110	SW	9.51	14092	3	2	5	2	1	5	42.6
	19	100	3.5	43	20	30	50	MW	0.79	3342	7	8	7	8	5	5	95.7
	20	114,1	4.44	39	20	20	40	MW	0.257	1581	5	8	7	8	5	5	90.1
	21	164	6.28	46	35	30	65	SW	1.7	3972	3	2	5	2	1	5	42.6
	22	119	8.05	39	20	30	50	MW	0.66	2654	3	4	5	6	1	5	53.2

Yukarıdaki eşitliklerde σ_{ci} kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı, s ve a kaya kütle yapısına bağlı katsayılar, GSI Jeolojik Dayanım İndeksi, D kaya kütlesi örselenme sayısı, σ_{cm} kaya kütlesi tek eksenli basınç dayanımı ve E_m kaya kütlesi deformasyon modülüdür.

Jeoteknik birimlerin yüzeylendiği şevler kötü patlamayla açıldığı için örseleme sayısı $D=0.7$ olarak alınmıştır.

Jeoteknik birimlerin ayrışma derecesini elde etmek için çeşitli her parametre için ağırlık faktörüne (a_i) ihtiyaç vardır. Ağırlık faktörü aşağıdaki eşitlik (Hudson, 1992) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$a_i = \left(\frac{C_i + E_i}{\sum (C_i + E_i)} \times 100 \right) / (P_{max}) \quad (6)$$

Yukarıda verilen eşitlikte $(C_i + E_i)$ her bir parametrenin neden + sonuç değeridir, toplam $(C_i + E_i)$ etkileşim matrislerindeki P7 hariç tüm satır ve sütunların toplamıdır, P_{max} sahada ölçülen parametre değerine göre Çizelge 3'ten atanan maksimum puandır.

Ağırlık faktörü (a_i) P1 için 2.8368, P2 için 2.2855, P3 için 2.7356, P4 için 1.497, P5 için 3.4042 ve P6 için 1.1032 olarak elde edilmiştir.

Her parametre için ağırlık faktörü hesaplandıktan sonra Kaya Kütlesi Ayrışma Puanı, $Wres$, Eşitlik 7 (Hudson, 1992) kullanılarak bulunmuştur (Çizelge 4).

$$Wres = \sum_{i=1}^6 a_i P_{ij} \quad (7)$$

Burada i indeksi parametreleri (1'den 6'ya kadar), j indeksi jeoteknik birimi ifade eder, a_i ağırlık faktörü ve P_{ij} parametrenin ölçülen değerleri dikkate alınarak Çizelge 4'e göre atanan puanlardır. $Wres$ 'in mümkün olan maksimum değeri 100'dür.

2.3 Kaya Kütlesi Ayırışma Puanının Price ve IAEG ayırışma sınıflandırmalarıyla karşılaştırılması ve jeoteknik birimlerin mühendislik özellikleriyle ilişkisi

Bu çalışmada Kaya Kütlesi Ayırışma Puanı (W_{res}) >30 olduğunda kaya kütlesi için “efektif olarak ayırışmamış”, 30-45 arasında olduğunda “az ayırışmış”, 45-65 arasında olduğunda “orta derecede ayırışmış”, 65-85 arasında olduğunda “yüksek derecede ayırışmış”, 85-95 arasında olduğunda “tamamen ayırışmış” ve <95 olduğunda “kalıntı toprak” tanımı yapılmıştır (Şekil 7). Çalışmada önerilen yeni yaklaşımla elde edilen Kaya Kütlesi Ayırışma Puanı Derecesi, W_{res} , Price'ın sistemi (Price, 1995) ve IAEG sistemi (IAEG, 1995) ile karşılaştırılmıştır (Şekil 7 ve Eşitlik 8). IAEG sınıflamasına göre ayırışmamış jeoteknik birimlerin W_{res} puanı 0 ile 33 arasında az ayırışmışların W_{res} puanı 35 ile 52 arasında, orta derecede ayırılmışların W_{res} puanı 45 ile 65 arasında, yüksek derecede ayırışmışların puanı 65 ile 95 arasında değişmektedir. Eşitlik 8’de Price sistemiyle bulunan ayırışma puanı (R_w) ile W_{res} arasında anlamlı istatistiksel ilişki olduğu ve Price ayırışma puanının W_{res} ile güvenilirlikle tahmin edilebileceği görülmektedir.

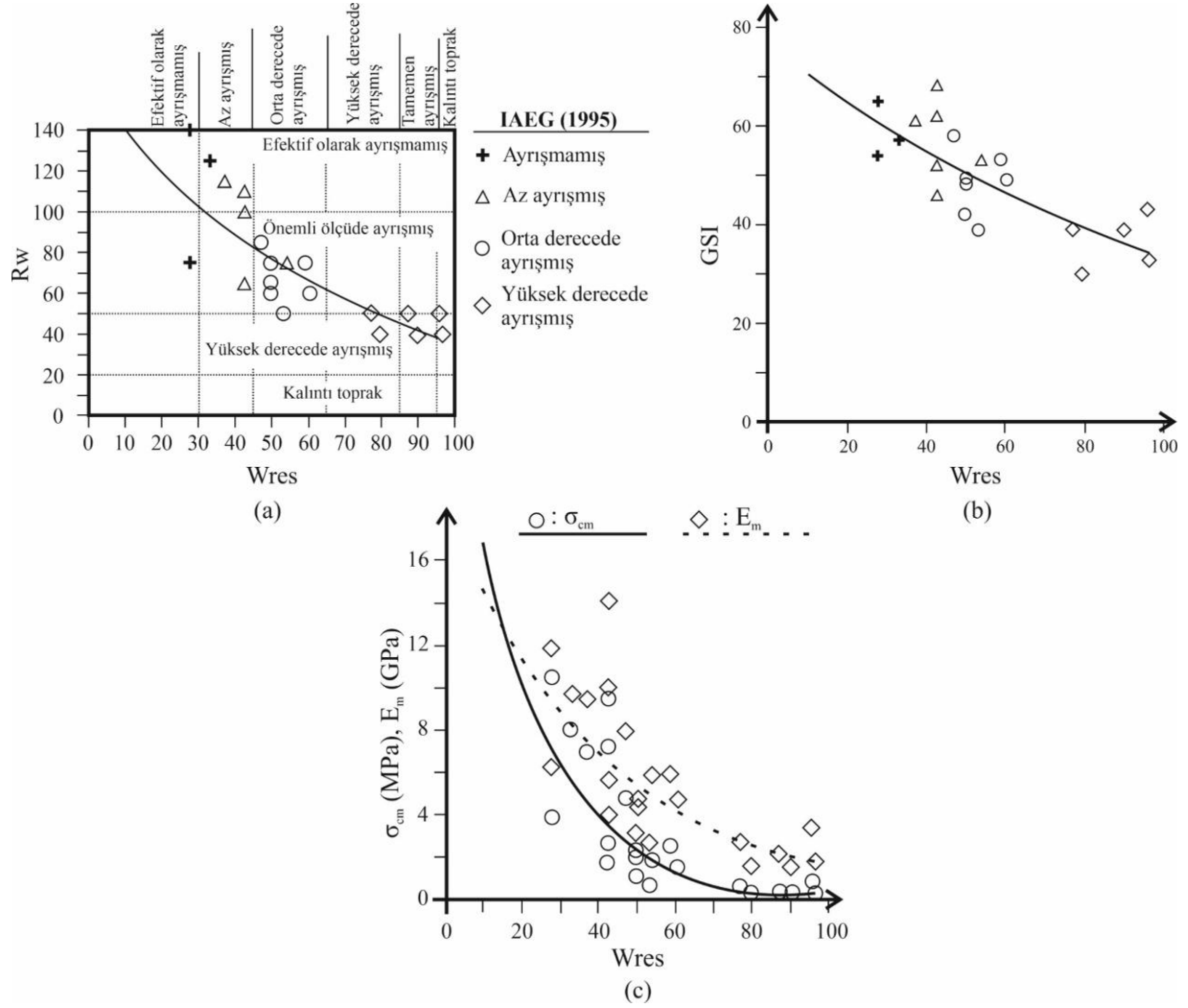
$$R_w = 163.79 e^{0.0115W_{res}} \quad (R^2=0.706) \quad (8)$$

Bu çalışmada, ayrıca jeoteknik birimler için elde edilen Kaya Kütle puanı (W_{res}) ile jeoteknik birimlerin Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), tek eksenli, basınç dayanımı (σ_{cm} , MPa), deformasyon modülü (E_m , GPa) arasında istatistiksel ilişki aranmıştır (Eşitlik 9-11, Şekil 7). Eşitlikler 9-11 bu çalışmada elde edilen Kaya Kütle Ayırışma Puanı (W_{res}) ile GSI, σ_{cm} ve E_m arasında anlamlı istatistiksel ilişki olduğunu ve incelenen jeoteknik birimlerde W_{res} kullanılarak GSI, σ_{cm} ve E_m ’nin güvenilirlikle tahmin edilebileceğini göstermektedir.

$$GSI = 76.36 e^{0.0083W_{res}} \quad (R^2=0.636) \quad (9)$$

$$\sigma_{cm} = 27.3 e^{-0.0483W_{res}} \quad (R^2=0.754) \quad (10)$$

$$E_m = 18.776 e^{-0.0248W_{res}} \quad (R^2=0.661) \quad (11)$$



Şekil 7. Jeoteknik birimlerin Kaya Kütlesi Ayrışma Puanı (Wres) ile IAEG sistemi ve Price sisteminin karşılaştırılması (a) Wres ile tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm} , MPa) (b) ve deformasyon modülü (E_m , GPa) (c) arasındaki ilişkiler. (R_w : Price sistemine göre elde edilen kaya kütlesi ayrışma puanı)

Figure 7. Comparison of IAEG system and Price system with Rock Mass Weathering Score (Wres) of geotechnical units (a) Relationships between Wres (b) and uniaxial compressive strength (σ_{cm} , MPa) and deformation modulus (E_m , GPa) (c) (R_w : The weathering rating of rock mass according to Price system)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, nitel ayrışma sistemlerinin eksikliğini gidermek için nicel (sayısal) bir ayrışma sistemi önerilmiştir. Bunun için Kaya Mühendislik Sistemi (RES) kullanılmıştır. AHP gibi çok değişkenli bazı yöntemler parametrelerin puanlamasına dayanmaktadır. Ancak söz konusu yöntemler parametrelerin önemine göre puanlama yaparken parametrelerin arasındaki etkileşimi dikkate almazlar. Kaya Mühendislik Sistemi bu yöntemlerden farklı olarak parametreler arasındaki etkileşimi dikkate aldığından tercih edilmiştir. Sayısal ayrışma derecesini tanımlamak için kurulan etkileşim matrisinde, kaya malzemelerinin ve süreksizlik yüzey malzemelerinin ayrışma durumu (P1, P3), ayrışma zonundaki kaya ve toprağın oranı (P2), kaya kütle yapısının korunması (P4), süreksizlik yüzeyindeki kaya malzemesinin ayrışma derinliği (P5) ve süreksizlik sıklığı (P6) girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Bu parametreler arazide kolayca ölçülebilir ve puanlanabilir. Ayrıca bu parametreler ayrışmayla değişen özelliklerle ilgili olup ayrılmış kayaçların tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında sıkça kullanılan kaya ve süreksizlik özellikleridir. Neden-sonuç diyagramına göre, çalışma alanındaki kaya kütlesi ayrışma durumunun tanımlanmasında en önemli faktörler, kaya malzemesindeki ayrışma durumu ve süreksizlik sıklığıdır. Daha az etkileşimli parametreler ise kaya ve zemin oranı ve süreksizlik yüzeyinin ayrışma durumudur. Ağırlık faktörü P1 için 2.8368, P2 için 2.2855, P3 için 2.7356, P4 için 1.497, P5 için 3.4042 ve P6 için 1.1032 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada önerilen Kaya Kütlesi Ayrışma Puanı (Wres) kullanılarak, incelenen jeoteknik birimlerinin GSI değerleri, tek eksenli basınç dayanımı ve deformasyon özelliklerinin yüksek güvenilirlikle ve hızlı bir şekilde tahmin edilebileceği görülmüştür.

IAEG (1995)'te önerilen ayrılmış kayaçların tanımlanması ve sınıflandırma yaklaşımı Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Gurubu'nun (IAEG) farklı ülkelerden çok sayıda araştırmacının bilgi birikimi ve deneyimleri toplanarak oluşturulmuş ve bu yüzden literatürde geniş kabul görmüştür. Bu nedenle bu çalışmada etkileşim matrisi kullanılarak elde edilen Kaya Kütlesi Ayrışma puanı IAEG (1995) sistemi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Kaya Kütlesi Ayrışma puanı sayısal bir sistem olan Price (1995) sistemi ile de karşılaştırılmış olup önerilen sistemin Price (1995) sistemi ve IAEG (1995) sistemi ile uyumlu olduğu görülmüştür. IAEG

(1995) sistemi nitel bir sistem olup kaya kütlelerinin mühendislik özellikleriyle sayısal ilişki kuramamaktadır. Öte yandan Price (1995) sistemi sayısal bir sistem olmasına rağmen genellikle kireçtaşı, marn ve kil taşı gibi tortul kayalarla uygulanmaktadır. Kaya kütlelerinin ayrışma durumunu tanımlamak için bu çalışmada geliştirilen sistem tüm kayalarla uygulanabilir. Ayrıca Kaya Kütlesi Ayrışma Puanı (Wres) sayısal bir değer olup kaya kütlelerinin mühendislik özellikleriyle Wres arasında istatistiksel ilişkiler kurulabilir ve Wres kullanılarak kaya kütlesi mühendislik özellikleri tahmin edilebilir. Ayrıca bu çalışmada önerilen puanlama sistemi kolayca ve aynı şekilde uygulanabilir.

Bu çalışmada önerilen Kaya Kütlesi Ayrışma puanı sistemi değişik arazilerdeki kaya kütleleri içinde uygulanmalı ve geçerliliği test edilmelidir.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmad, M., Tang, X., Ahmad, F., Hadzima-Nyarko, M., Nawaz, A., & Farooq, A., 2021. Elucidation of seismic soil liquefaction significant factors. In Earthquakes-From Tectonics to Buildings. IntechOpen
- Ceryan, S., Tudes, S. and Ceryan N., 2008. A new quantitative weathering classification for igneous rocks, Environmental Geology, 55, 1319-1336
- Ceryan, N. and Ceryan, S., 2008. An application of interaction matrix method for slope failure susceptibility zoning: Dogankent settlement area (Giresun, NE Turkey), Bulletin of Engineering Geology and Environment, 67,375-385
- Ceryan, N., 2010. Relationships between Excavatability of Rocks and GSI: An Example Study from the Rock Masses Exposed Along Gumushane-Giresun (NE Turkey) Motonvay. 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, 27-30 September 2010 Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, p.1-6

- Ceryan, S., 2012. Weathering Indices for Assessment of Weathering Effect and Classification of Weathered Rocks: A Case Study from NE Turkey. Earth Sciences (Editor: Imran A. Dar), ISBN 978-953-307-861-8, InTech Publication, p.19-44
- Ceryan, S., Berber, S., Ceryan N., 2016. The Effects of Weathering State on the Shear Strength of Discontinuity A Case Study on the Weathered Granitic Rock Joints NE Turkey. 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences, 9, 2353-2362
- Ceryan, N., Özkut, E. C., Korkmaz, C. N., Ceryan, S., 2021. Machine learning models to estimate the elastic modulus of weathered magmatic rocks. Environmental Earth Sciences(80), 1-24
- Faramarzi, F., Mansouri, H., & Farsangi, M. E., 2013. A rock engineering systems based model to predict rock fragmentation by blasting. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 60, 82-94
- Fattahi, H., & Ghaedi, H., 2024. Improving Accuracy in Shallow Foundation Settlement Prediction Using Rock Engineering System Method. Indian Geotechnical Journal, 1-13
- Gokceoglu, C., Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses”. Engineering Geology, 58, 1-23
- Golmohammadi, S., & Bidgoli, M. N., 2024. Development of Rock Engineering System-Based Models for Tunneling Progress Analysis and Evaluation: Case Study of Tailrace Tunnel of Azad Power Plant Project. International Journal of Geotechnical and Geological Engineering, 18(2), 47-52
- Hoek, E., Carranza-Tore, C. and Corkum, B., 2002. Hoek-Brown failure criterion -2002 Edition”. In: Proceedings of the Fifth North American Rock Mechanics Symposium, Vol 1, Toronto, Canada, pp 267–273
- Huang, R., Huang, J., Ju, N., & Li, Y., 2013. Automated tunnel rock classification using rock engineering systems. Engineering geology, 156, 20-27
- Hudson, J.A., 1992. Rock engineering systems: theory and practice. Ellis Horwood, Chichester
- IAEG, 1995. The description and classification of weathered for engineering purposes” Geological Society Engineering Group Working, Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 207-242.

- Koca, M. Y., Kınal, C., 2016. The relationships between the rock material properties and weathering grades of andesitic rocks around A degrees zmir, Turkey Bulletin Of Engineering Geology And The Environment, cilt.75, sa.2, ss.709-734
- Little, A.L., 1969. The engineering classification of residual tropical soils, Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engr., Mexico, Vol. I, 1-10.
- Price, D. G., 1995. Weathering and Weathering Processes”, Quarterly Journal Engineering Geology, 28, 234-252
- Rafiee, R., Ataei, M., KhaloKakaie, R., Jalali, S. E., & Sereshki, F., 2016. A fuzzy rock engineering system to assess rock mass cavability in block caving mines. Neural Computing and Applications, 27, 2083-2094
- Vianello, D., Vagnon, F., Bonetto, S., & Mosca, P., 2023. Debris flow susceptibility mapping using the Rock Engineering System (RES) method: a case study. Landslides, 20(4), 735-756



Investigation of Raw Material Properties of Türkoğlu (Kahramanmaraş) Region Dolomites

Türkoğlu (Kahramanmaraş) Yöresi Dolomitlerinin Hammadde Özelliklerinin İncelenmesi

ÖZEN KILIÇ¹ Orcid: 0000-0002-8398-0897

AHMET MAHMUT KILIÇ¹ Orcid: 0000-0002-2082-749X

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş (received): 17/12/2024

Kabul (Accepted): 20/06/2025

ABSTRACT

This study was carried out with the aim of determining the raw material properties of the dolomites of the Türkoğlu (Kahramanmaraş) region. In this study, samples were taken from the dolomites of occur widely area in Turkoglu (Kahramanmaraş) and the chemical composition, mineralogical structure, petrographic properties, physico-mechanical and thermal properties of the dolomite samples were determined. Thermal characterization experiments (TG-DTA) were carried out to determine the thermal behavior of dolomites under high temperature conditions. As a result of the experiments, it was understood that the properties of the examined dolomite samples were suitable for use in various sectors (lime, glass and refractory production, etc.).

Keywords: Dolomite, MgO, CaO, TG-DTA, Turkoglu (Kahramanmaraş)

Özen KILIÇ¹ zenkilog@cu.edu.tr

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ADANA

DOI: 10.70054/geosound.1603377

ÖZ

Bu çalışma, Türkoğlu (Kahramanmaraş) yöresi dolomitlerinin hammadde özelliklerini belirlemek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Türkoğlu yöresinde oldukça geniş bir bölgede oluşmuş dolomitlerinden örnekler alınmış ve dolomit örneklerinin kimyasal bileşimi, mineralojik yapısı ve petrografik özellikleri, fizikomekanik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Termal özellik belirleme deneyleri (TG-DTA) dolomitlerin yüksek sıcaklık şartları altındaki ısı davranışlarını belirlemek amacı ile gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sonucunda, incelenen dolomit örneklerinin özelliklerinin çeşitli sektörlerin (kireç, cam ve refrakter üretimi vb) kullanımı için uygun olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dolomit, MgO, CaO, TG-DTA, Türkoğlu (Kahramanmaraş)

INTRODUCTION

Dolomite, the rock, contains a large proportion of dolomite the mineral. Dolomite typically occurs as the major constituent of sedimentary formations in association with calcite. Carbonate rocks tend to be composed either mostly of calcite or mostly of dolomite. Ideal dolomite has a crystal lattice consisting of alternating layers of Ca and Mg, separated by layers of CO_3 and is typically represented by a stoichiometric chemical composition of $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ where calcium and magnesium are present in equal proportions. The layer-type structure of dolomite is responsible for the strong anisotropy of the physical properties, including the thermal expansion. Theoretical composition of the dolomite is 21.86% MgO, 30.42% CaO and 47.73% CO_2 . Varying amounts of impurities including SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 are present in dolomite. The amounts and types of these impurities may have a large effect on the extent of densification. Dolomite occurs widely scattered in nature and is an important material for the metallurgical (as flux, as fettling material for the hearth of furnaces), pharmaceutical, paper and fertilizer industries (Leighton and Pendexter, 1962).

Thermal analysis might offer the means of defining the fraction of each mineral lattice in such mixtures and the concentration of each cation in each lattice. The correlation of the thermal data with the structural pattern should provide a broader understanding of these minerals in their natural occurrence. A general review of the literature on the decomposition of carbonates indicates that a great deal of variability exists in the reported values of the decomposition temperatures, activation energies and rates of decomposition. The decomposition of dolomite has been studied extensively because of its mineralogical interest and industrial importance (Warren, 2000).

This study was carried out with the aim of determining the raw material properties of the dolomites of the Turkoglu (Kahramanmaraş) region. The sampled area is located approximately 1 km to the west of Türkoğlu District and approximately 25 km to the southwest of Kahramanmaraş Province (Demirkol, 1988).

MATERIAL AND METHOD

The dolomite samples were taken from Turkoglu region (Kahramanmaraş) in Turkey (Figure 1). During sampling, rock types having no bedding planes were selected to eliminate any anisotropic effects in the measurements of the samples. The dolomite samples present macroscopically light and dark grey coloured comprising discrete and tiny crystals. Microcracks were not present throughout the mass of dolomite samples.

Analyses were performed on dolomite samples, specifically on portions obtained from samples collected in a manner and quantity representative of the field, using the following analytical procedure. In the chemical analysis and thermal experiments (TG, DTA analysis) ground -0.5 mm size dolomites were used. Specimens of ~5-10 cm mean edges were for the physical experiments. The compressive strength of the dolomites was determined by the Schmidt hammer in situ (field).

- XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) was used to determine the chemical compositions of dolomite samples.
- Physical properties (the bulk density, effective porosity, water absorption rate) of the limestones were determined using saturation and buoyancy techniques, as recommended by ISRM and TSE (TS 699, 2009; TS EN 12407, 2019).
- Transmitted light microscopy (Olympus BH-2) was carried out on polished thin sections of the limestone in order to identify the texture, shape, and size of the grains.
- The compressive strength of the dolomite was determined by the Schmidt hammer. Schmidt hammer tests were carried out on in situ (field). The tests were performed with an N-type hammer having impact energy of 2.207 Nm. All tests were conducted with the hammer held vertically downwards and at right angles to the horizontal rock surface. In the tests, the ISRM method was applied for each rock type. ISRM suggested that 20 rebound values from single impacts separated by at least a plunger diameter should be recorded and the upper 10 values averaged. The test was repeated at least three times on each rock type and the average value was recorded as the Schmidt hammer value.

- Differential thermal and thermogravimetric analyses (simultaneous TG/DTA, SII Exstar 6000 DTA-TG) were carried out to determine quantitatively and qualitatively the various compounds presented in samples. Analysis was performed in sample of dolomite at a temperature range of 25-900°C and gradient of 10°C/min.



Figure 1. The dolomite area, Turkoglu region (Kahramanmaraş)

Şekil 1. Dolomit sahası, Türkoğlu bölgesi (Kahramanmaraş)

RESULTS AND DISCUSSION

Dolomite Characteristics

The chemical analyses results of dolomite sample is presented in Table 1. It was found that the studied dolomite sample is MgO higher than 20%, the impurities (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 and MnO) are very low. Since the $\text{MgCO}_3/\text{CaCO}_3$ ratio varies with the type of dolomitic limestone, the decomposition temperature does not remain constant.

Table 1. Chemical composition of dolomite sample

Tablo 1. Dolomit örneğinin kimyasal içeriği

Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	LOI (%)
0.82	0.79	1.57	0.027	29.50	21.10	46.193

In details, following the standard procedure outlined by ISRM (1979), physical properties (unit weight, water absorption ratio, porosity) were determined. The analysis results of physical properties of the dolomite sample are shown Table 2. Dolomite sample indicated medium void

volume values in porosity (2.5-5%) (Tarhan, 1989). The value of unit weight (2.8-2.9 g/cm³) was found to be characteristic for a dolomite.

Table 2. Physical properties of the dolomites

Tablo, Dolomit örneğinin fiziksel özellikleri

Unit weight (g/cm ³)	Water absorption ratio (%)	Porosity (%)
2.78	1.45	1.1

In petrographic investigation, in thin section, dolomite shows very high relief and it is colorless at PPL, displaying strong birefringence with characteristic very high five order colors at CPL. Petrographic property shows that most of the dolomite crystals are of medium to coarse crystal size, light to dark brown in colour. It shows a perfect rhombohedral cleavage and very commonly shows lamellar twinning. The main component proved to be calcite (CaCO₃) and dolomite (CaMgCO₃) for dolomite sample, although this does not preclude the possibility of the presence of small quantity (SiO₂) (Figure 2).

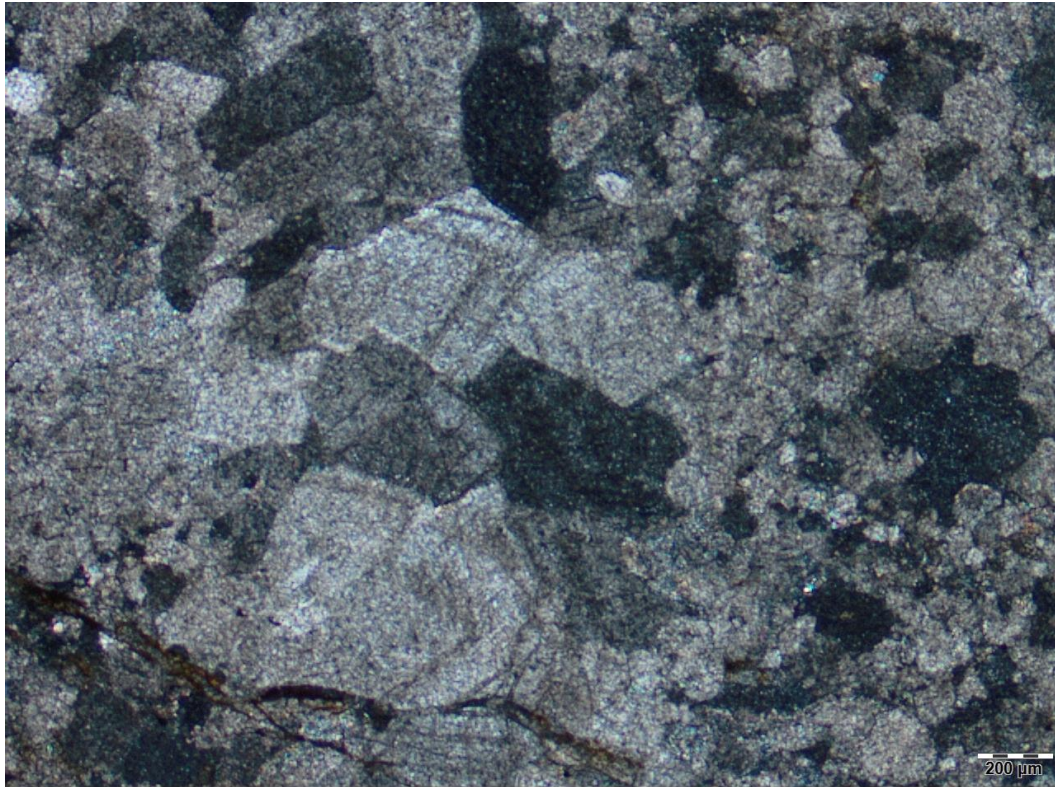


Figure 2. Thin Section Image of Dolomite

Şekil 2. Dolomit İnce Kesit Görüntüsü

Uniaxial compressive strength was indirectly determined with the Schmidt hammer test using a Schmidt hammer instrument according to ISRM. Schmidt hammer test is considered as a famous testing for rock strength and deformability characterization owing to its quickness, portability, low cost and non-destructiveness. Schmidt hammer was originally developed for measuring the strength of hardened concrete (Schmidt 1951). It correlates with rock compressive strength (Barton and Choubey, 1977). Schmidt hammer can be used easily in the field. Its indirect test is simpler, faster, and cheaper (Kilic, 2006).

In the present work, the uniaxial compressive strength (UCS) (MPa) of the studied Turkoglu region dolomite determined with the Schmidt hammer test using an Schmidt hammer, has been calculated according to Deere and Miller (1966). According to Deere and Miller, (1966), the rebound numbers are used to estimate uniaxial compressive strength of the Turkoglu region dolomite in vertical direction (normal to bedding plane). The obtained values of UCS range from 29.7 to 51.8 MPa for the vertical direction (Figure 3).

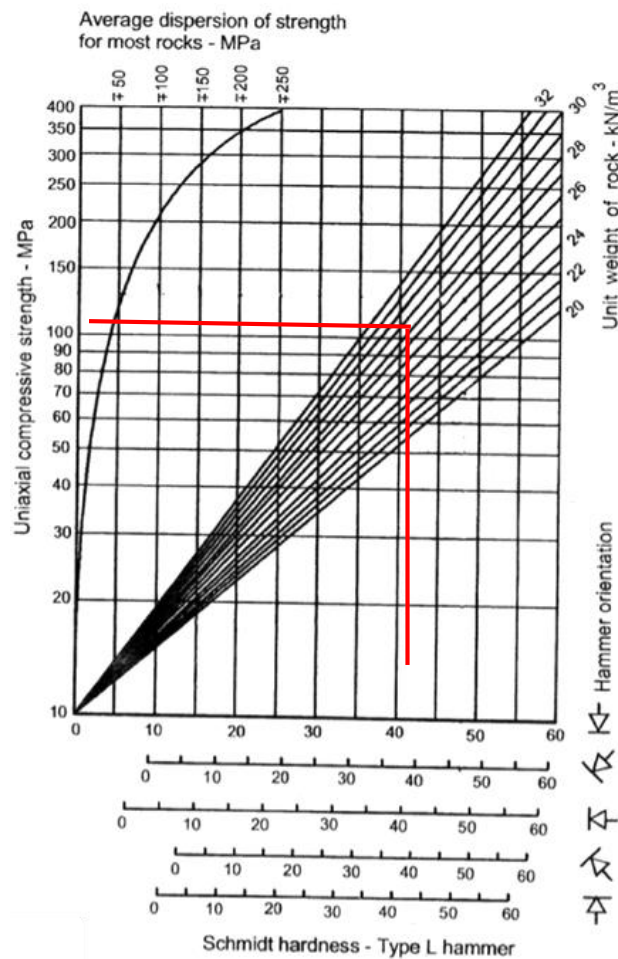


Figure 3. The estimated UCS of dolomite (Deere ve Miller, 1966)

Şekil 3. Dolomit UCS (Tek Eksenli Basma Dayanımı) Tahmini

Thermal analysis was performed in a simultaneous TG–DTA. The experimental conditions were: (i) continuous heating from room temperature to 900°C at a heating rate of 10°C /min, TG and DTA curves were obtained. The following data was obtained by thermal analysis: (i) reaction peak temperature and main effect (endothermic or exothermic) and (ii) content of bound water, which is the weight loss in the temperature range 450–800±3°C and content of CO₂ released during the decomposition of magnesium carbonate phase (Figure 4, Figure 5).

The internal structure of a rock having open and closed pores in its texture affects its heat transfer. The changes in pore structure also play a significant role on the calcination mechanism and the reactivity of a calcined dolomite is strongly dependent on its physical and structural properties, which in turn are highly dependent on calcination conditions (Boynton, 1980). Pure dolomite decomposes in two separate stages (eq. 1-2).

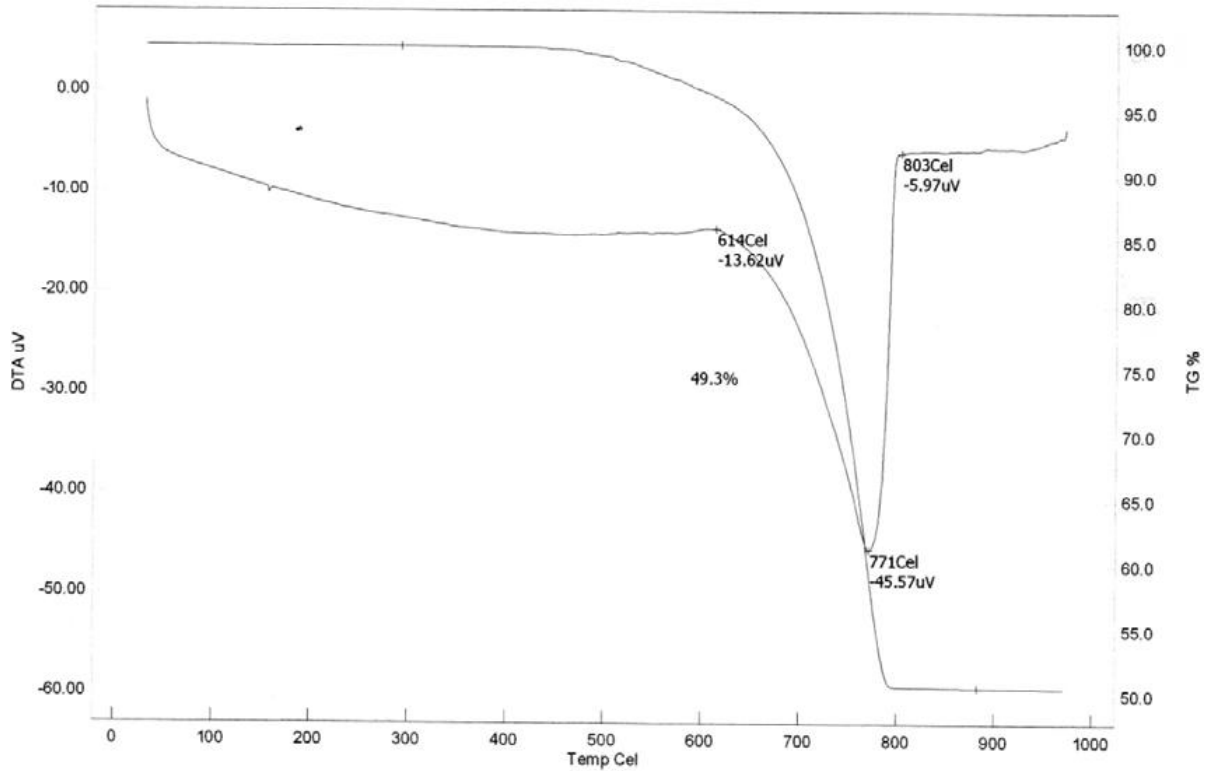
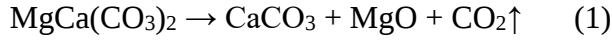


Figure 4. The Result of TG-DTA Analysis

Şekil 4. Örneğin TG-DTA Analiz Sonucu

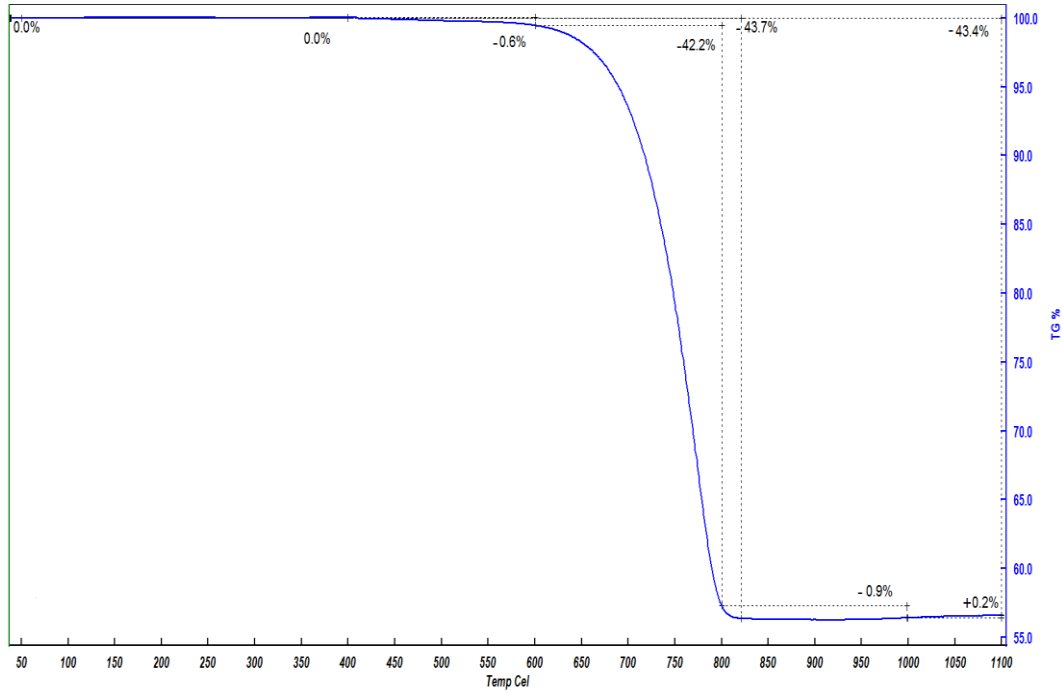


Figure 5. The Result of TG Analysis (% Loss of Weight)

Şekil 5. Örneğin TG Analiz Sonucu (Ağırlık Kayıpları %)

CONCLUSIONS

In this study, dolomites of the Turkoglu (Kahramanmaraş) region, raw material properties, chemical composition, mineralogical structure, petrographic properties and physical properties; such as unit weight, water absorption ratio, porosity, mechanical property; uniaxial compressive strength (UCS) and thermal behavior were determined.

Based on the experimental results obtained in this work, the conclusions can be summarized in the following points:

According to chemical analyses results, the studied dolomite sample is MgO higher than 20%, the impurities (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 and MnO) are very low. Since the $\text{MgCO}_3/\text{CaCO}_3$ ratio varies with the type of dolomitic limestone, the decomposition temperature does not remain constant. Mineralogical and petrographic analyses results show that the main component proved to be calcite (CaCO_3) and dolomite (CaMgCO_3) for samples, although this does not preclude the possibility of the presence of small quantity (SiO_2).

According to ISRM (1981), carbonate (dolomite) was classified into medium to strong rocks. Physical, mechanical and thermal properties indicated that the changes in pore structure also play a significant role on the calcination mechanism and the reactivity of a calcined dolomite is strongly dependent on its physical and structural properties.

As a result of the experiments, it was understood that the properties of the examined dolomite samples were suitable for use in various sectors (lime, glass and refractory production, etc.).

REFERENCES

Barton, N., Choubey, V. 1977. The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice. Rock Mechanics, 10, 1-65.

Boynton, R.S., 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, (2nd ed), Wiley, New York.

Deere, D.U. and Miller, R.P. 1966. Engineering Classification and Index Properties of Rock, Technical Report Air Force Weapons Laboratory, New Mexico, p. 65-116.

Demirkol, C. 1988. Stratigraphy, Structural Geology and Geotectonic Evolution of Amanos Mountains West of Türkoğlu (K.Maraş). Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 108(108), 1-1.

ISRM, 1979. Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials, Int J Rock Mech Min Sci. 16 (2), 135-140.

ISRM, 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Method. Int. Soc. Rock Mech. 211.

Kılıç, Ö., 2006. The Influence of High Temperatures on Limestone P Wave Velocity and Schmidt Hammer Strength, Technical Note, International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 43, 980-986.

Leighton, M. W., Pendexter, C. 1962. Carbonate Rock Types. Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol. 1, 33-61.

Schmidt, E. 1951. A Non-Destructive Concrete Tester. Concrete, 59, 34-35.

Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Yayınları, Trabzon.

TS EN 12407, 2019. Doğaltaşlar-Deney Yöntemleri-Petrografik inceleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1367-2 (İngilizce Metin), 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Ankara.

TS EN 1097-6 (İngilizce Metin), 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.

TS EN 1097-7 (İngilizce Metin), 2009. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler- Bölüm 7: Dolgu (filler) Tane Yoğunluğunun Tayini - Piknometre Yöntemi, Ankara.

TS EN 1744-1:2009+A1, 2013. Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz. TSE, Ankara.

TS 699, 2009. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları. TSE, Ankara.

Warren, J. 2000. Dolomite: Occurrence, Evolution and Economically Important Associations, Earth-Science Reviews, Volume 52, Issues 1–3, Pages 1-81.