

Madencilikte Özel Konular

EdiÖr
Didem EREN SARICI

BİDGE Yayınları

Madencilikte Özel Konular

Editör: Doç. Dr. Didem Eren Sarıcı

ISBN: 978-625-6707-38-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2023

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Yeraltı ve yerüstü maden kaynaklarının bulunması, çıkartılması ve endüstrinin istediği formda hammadde konumuna getirilmesi için işlenmesi süreçlerini ifade eden madencilik, ekonomik kalkınmayı sağlamanın yanısıra çevreye ve sosyal hayata da katkı sunmayı amaç edinen bir sektördür.

Madencilik faaliyetlerinin tek amacı ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmak değil çevresel ve sosyal sorumlulukları da bu faaliyetlerle beraber yerine getirmek olmalıdır. Çevresel sorumluluk kapsamında ele alınacak konu madencilik faaliyetleri başlamadan üretimi planlarken doğaya en az zararı verecek şekilde üretimi gerçekleştirmek ve üretim faaliyetleri sona erdiğinde doğayı onararak eski şekline yakın bir hale getirmek yani rehabilite etmek iken sosyal sorumluluk kapsamında ise istihdam oluşturarak güvenli ve sağlıklı koşullarda çalışılmasına olanak sağlayacak koşulları yaratmaktır.

Bu kitapta madencilik sektörünün sorumluluk alanlarından olan üretim, maden sahalarının onarımı ve rehabilitasyon süreçleri hakkında bilgiler aktarılması hedeflenmiştir.

Editör

Doç. Dr. Didem Eren Sarıcı

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
Malatya Yöresinde Üretilen Kireçtaşı ve Dolomitik Kireçtaşlarının Agrega Özellikleri.....	5
Alper TURGUT.....	5
Didem EREN SARICI.....	5
Galeri Açma Makinelerinin Maruz Kaldığı Titreşimlere Genel Bakış.....	45
Ayla TEKİN	45
Mustafa Oğuz NALBANT	45
Kapanan Mermer Ocaklarının Doğaya Yeniden Kazandırılması ..	72
Didem EREN SARICI.....	72
Melike YAMACI ÜNSAL	72
Nilgün KIZILKAYA	72

BÖLÜM I

Malatya Yöresinde Üretilen Kireçtaşı ve Dolomitik Kireçtaşlarının Agregata Özellikleri

Alper TURGUT¹
Didem EREN SARICI²

1.Giriş

İnsan yaşamı içerisindeki her yapıda gizli özne görevi üstlenen agregaların kalitesinin belirlenmesi üretimine girdikleri betonun kalitesini direkt etkilemektedir. Çünkü agregalar, betonların temel bileşenlerinden bir tanesini oluşturmaktadırlar. Agregaların özelliklerinin belirlenmesi için standartlarda tanımlanan yöntem ve esaslara göre fiziksel, mekanik kimyasal testlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların da yine standart değerlere uygunluk göstermesi gerekmektedir. Betonlu oluşturan temel bileşenler agrega, çimento ve

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, Orcid Id:0009-0007-0553-7148

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, Orcid Id:0000-0003-2639-5226

su olmaktadır. Betonun kalitesini arttırmak için bu bileşenlere katkı malzemeleri de eklenmektedir. Beton yapımında kullanılan bu bileşenlerin içerisinde hacimce en yüksek paya sahip olan materyal agregalardır ve betonun yaklaşık olarak %75- 80 'ini oluşturmaktadırlar. Bu nedenle agregaların seçiminin titizlikle yapılması betonun kalitesini etkilemektedir.

Kayaçların su, erozyon, sıcaklık değişimi gibi dış etkenlerle kırılıp parçalanarak ufalanması neticesinde veya iri taş parçalarının kırıcılarda kırılması ile elde edilen agregalar (kırmataş) doğal veya yapay kökenli malzemelerdir. Agregaların kullanım alanları çok çeşitlidir. Beton üretiminde, demiryollarında balast malzemesi, asfalt inşasında dökme malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Agregalar sahip oldukları yapısal özelliklerini oluştukları kayaçalardan alırlar. Kullanım alanlarına göre agregaların sahip olması gereken bu özelliklerin standartlarda belirtilen değerlerde olması gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenerek uygun malzemenin uygun alanlarda kullanılması ekonomik kayıpların önlenmesinde ve malzeme israfının önüne geçilmesinde önem arz etmektedir. Agregaların kalitesi belirlenirken fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak çeşitli testlere tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu testler kabul edilen belli standartlara göre yapılmaktadır. TSE ve ASTM gibi standartların yanı sıra agregalardan beton üretildikten sonra T.C. Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığının bünyesinde yer alan yapı denetim formalarının kontrolünden geçerek kaliteli ve güçlü betonlar üretilmektedir.

Beton karışımı içerisinde en optimum değerde ve uygunlukta agrega kullanımı betonun dayanım özelliklerine olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Geleneksel betonda kullanılacak agreganın tipi, maksimum tane çapı, granülometrisi, kum/çakıl oranı gibi parametreler kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Beton inşaatlarında, beton yollarda ve beton yapıların tümünde genel olarak ortalama agrega kullanım oranı %75'leri ve daha fazlasını oluşturur. Agreganın bu kadar yüksek seviye de kullanılması hammadde

kaynaklarımızın tükenmesi açısından önemli olduğu gibi karışımların mekanik özelliklerinin üzerinde de oldukça etkilidir (Yu & ark., 2005). Kalite, kullanılabilirlik, estetik ve maliyet gibi konular mühendislik için sınırlayıcı etmenlerdir. Agregada temini için en yakın üretim yerlerinin tercih edilmesi, taşımalarının ekonomikliğı gibi açılardan en önemli konudur (Baradan, 2004).

Beton karışımlarda aranan önemli özellikler şunlardır: kaliteli ve dayanıklı olmalı, donma-çözölmeye dayanıklı olmalı, inert olmalı, bağlayıcılarla beraber aderans (yapışma) sağlamalı, donatıyı korozyona karşı korumalı, homojen şekilde dağılmalı, standart boyutlarda agregada seçilmeli, agregada tehlike içerecek maddelere yer verilmemelidir.

Betonun işlenilebilme kolaylığı, nem oranı, sertleşmiş betonun dayanıklılığı, betonun dayanımı, uzama oranı, ağırlığı, kolayca doldurulabilme olanağı, yüzeyinin mastarlaması, karışım oranlarının miktarı ve ekonomikliğı gibi özelliklerin tümü agreganın özelliklerine bağlıdır ve değışiklik gösterir (Bilgiç, 2009).

Kaliteli ve sağlam bir beton için agregada istenilen nitelikler şunlardır; agregada granölometrisi hem Dünya standartlarının hem de ülkemiz standartlarından TSE 706 EN 12620 +A1 tarafından önerilen aralığı sağlamalı ve üretilen beton içinde boşluk meydana getirmemelidir. Agregada sert ve sağlam olmalıdır. Aşınmaya ve yıpranmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Kübik taneler içermeli ve yassı uzun taneler içermemelidir. Donma-çözölmünün olduğu iklimlerde beton için donmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Betona zarar veren ve dayanımını azaltan organik ve hafif malzemeler ile mil, silt, kil ve toz gibi ince malzemeleri bünyesinde barındırmamalıdır. Agregada, sertleşmiş betonun hacmini artıracak sülfatlar ile beton donatısının korozyonuna neden olacak klorür ve tuzları içermemelidir. Agregada, betonun genişmesine ve çatlamasına neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir. Agregadaların sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir TS 802, (2009).

Tablo1. Agregaların sınıflandırılması

Agrega	Özellik - Kategori
Kaynağına göre	Doğal : Çoğunlukla silikat içeren ve dere yataklarından elde edilen. Kırmataş: Genellikle karbonat içeren ve kaya bloklarının konkasörle kırılmasından elde edilir Yapay: Yan ürün olarak adlandırılan ve bir endüstri kolundan elde edilen.
Özgül ağırlıklarına göre	Hafif: yoğunluğu 2,4 gr/cm ³ 'den küçük Normal: yoğunluğu 2,4-2,8 gr/cm ³ aralığında Ağır: yoğunluğu 2,8 gr/cm ³ 'den büyük
Tane büyüklüklerine göre	İnce (kum) : çapı 4 mm den küçük İri: çapı 4 mm den büyük Yuvarlak: doğal olarak oluşan agregalar bu çeşittedir.
Tane şekline göre	Köşeli: kırmataş (mıcır) Yassı: deniz kumu gibi Uzun Düzdün Pürüzlü
Yüzey dokusuna göre	Granüler Kristalli Petekli Volkanik
Jeolojik kökenine göre	Tortul Metamorfik Silis mineralli
Mineralojik yapısına göre	Karbonat mineralli Mikalı vb.

2.Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Malatya ilinin Yeşilyurt ilçesine bağlı Gözene köyünde faaliyet gösteren kireçtaşı ve Doğanşehir ilçesinde faaliyet gösteren dolomit ocaklarından temin edilen malzemelerin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kireçtaşı ve dolomit birimlerinden alınan kayaç numunelerinden karotlar hazırlanarak; birim hacim ağırlığı, su emme, Schmidt çekici ile sertlik tayini, Brazilian (endirekt) çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Kayaçların agrega özelliklerinin belirlenmesi için konkasör tesislerinden alınan farklı tane

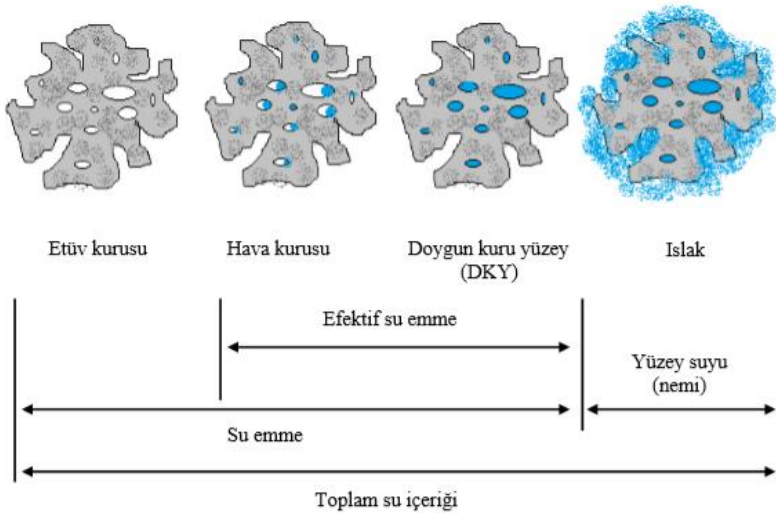
boyutlarındaki numuneler üzerinde elek analizi, yoğunluk ve ince madde tayini ve yüzey nemi oranı tayini deneylerinin yanı sıra Los Angeles parçalanma direnci tayini deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların agregaya standartlarına uygunluğu değerlendirilmiştir.

Agrega Özellikleri

Agrega nem içeriği

Agrega yüzeyinde ne kadar su bulunduğunun ve agregaya boşluk boyutunu göstergesi olan nem içeriği, agregaya içindeki su miktarının agregaya kuru ağırlığına oranı olarak bilinir ve agreganın nem içeriği ve inceliği beton üretiminde yağurma suyu miktarını belirleyen bir agregaya özelliğidir (Ekmekyapar & Özüng, 1997)

Agregaların nem içeriğinin şekilsel gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Agregaların Su İçeriklerine Göre Durumları

Agregaların daha az su emmesi, yani suya doyması ve dolayısıyla minimum karışım suyu gerektirmesi beklenmektedir. Agregaya içindeki su miktarı, agreganın birim ağırlığını ve hatta özgül

ağırlığını etkilemektedir. Agregadaki aşırı boşluklar, agreganın çevresel etkilere karşı dayanıklılığını azaltabilmektedir. Beton üretiminde yüksek su emen agregaların kullanılması betonun mukavemetini ve dayanıklılığını azaltmaktadır (<http://www.teknolojikarastirmalar.com>).

Agrega yoğunluk-birim hacim ağırlığı

Bir metreküp hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim hacim ağırlık denir. Kurutma sırasında agreganın kaba gevşek bir şekilde dökülmesiyle elde edilen birim ağırlık değerine "gevşek birim ağırlık", kurutma sırasında belli bir hacmin 25 şiş ile üç aşamada sıkıştırılmasıyla elde edilen birim ağırlığa "basma birim ağırlığı" denir. Birim ağırlığın bilinmesiyle, agregada içindeki boşluk miktarının yanı sıra agreganın belirli bir kullanım için uygunluğu ve tane boyutu dağılımı ile agreganın mevcudiyeti hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür (Şimşek, 2007).

Agrega özgül ağırlığı

Agrega parçacıklarının kapladığı mutlak birim hacmin ağırlığı şeklinde tanımlanan özgül ağırlığı beton üretiminde kullanılacak agregalar için 2,2–2,9 gr/cm³ arasında değerler almaktadır (Özkul & ark., 1999). Özgül ağırlık agregada kalite belirteci olarak değerlendirilebilen bir özelliktir. Düşük özgül ağırlık, düşük kaliteli agregaları ifade ederken, yüksek özgül ağırlık, yüksek kaliteli betonda kullanılabilen agregaları ifade eder. (Şimşek, 2007).

Aregaların doluluk oranı (Kompozitesi)

Agrega doluluk oranı; agregada içerisindeki katıların toplam hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Bir agreganın yoğunluğu, belirli bir hacimdeki parçacıkların gerçek hacmini ifade eder ve birim hacim ağırlığının özgül ağırlığa oranlanmasıyla elde edilmektedir. Küçük ve yoğun agregalarla üretilen beton da doluluk oranı daha düşüktür ve bu durum da çimento tüketimini arttırmaktadır.

Agrega tane şekli ve en büyük tane büyüklüğü

Agregalarda tane şekli beton üretiminde betonun işlenebilirliği ve kompaktlığını etkilemesi bakımından önem arz etmektedir. Doğal agregalar dış etkilerden dolayı genelde küresel bir şekle sahiptirler. Agregada karışımında en büyük boyutun en küçük boyuta oranı 3'ten büyük olan tanelere şekil kusurlu taneler denmektedir. Doğal agrega ocaklarından çıkan malzemeler genellikle yuvarlak, yassı, uzun kenarlı, köşeli ve şekillerine göre sınıflandırılır. Bu arada kırılmış agregalar da keskin açılı agregalar grubuna girmektedir. Uzun taneler; maksimum tane boyutunun minimum tane boyutuna oranı 2,80'den büyük olan taneler, yassı taneler; kalınlığının maksimum boyuta oranı 0,35'ten az olan tanelerdir (www.teknolojikarastirmalar.com).

Agregaların granülometrisi (tane büyüklük dağılımı)

Yığın haldeki agregaların tane boyutlarına göre dağılımına, granülometri denilmektedir. Granülometrinin saptanmasında, agregada numunesinin içerisindeki taneler, tane boyutlarına göre gruplanmaktadır. Her tane boyutu sınıfında ki agregaların genel yığın içerisinde hangi oranda yer aldığı belirlenmelidir. Uygun granülometri ile üretilmiş homojen betonlar daha ekonomik olmakla birlikte daha yüksek dayanım değerine sahip olmaktadır (Yamacı, 2022).

Agregada dona dayanıklılık

Dayanıklılık, agregaların iklim koşullarına, özellikle donma-çözümeye, ıslanma-kurumaya, veya aşındırıcı elementlerle su hareketine karşı direnme kabiliyetidir. Üretilen beton aynı zamanda soğuk iklim koşullarına karşı da dayanıklı olmalıdır. Agregalar, betonun donma direncinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle beton üretiminde kullanılan agregaların dona karşı dayanıklı olması gerekmektedir (Yapıcı, 2002).

Agregaların Mekanik Özellikleri

Agregalarda aranan en önemli özelliklerden biri yüksek basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı, malzemenin gözenekliliği ile

yakından ilgilidir. Daha küçük gözeneklilik, agrega mukavemetini arttırır. Agreganın jeolojik özellikleri, bize mekanik gücü hakkında bilgi sağlamaktadır (www.teknolojikarastirmalar.com).

Aşınma dayanımı

Hava alanı pistleri ve karayolları gibi dinamik zorlamalı ortamlarda kullanılan agregaların darbeli aşınmaya karşı direncini belirlemek önem arz etmektedir. Darbeye maruz kalacak olan betonun aşınmaya dayanıklı agregalarla üretilmiş olması istenmektedir. Agregaların aşınma direnci, özgül ağırlık ve sertlik gibi özellikleri ile ilişkilidir. Darbe ve aşınma etkilerine maruz kalan betonun bu etkilere direnç gösterebilmesi için üretiminde kullanılan iri agregaların aşınmaya ve darbelere karşı yüksek direnç göstermesi gerekir. Camsı agregalar, şist ve marn aşınmaya dayanıklı değildir. Özgül ağırlığı ve sertliği (bazalt) yüksek olan kayalar yüksek aşınma direncine sahiptir. Yüksek aşınma direncine sahip agregalar da yüksek basınç dayanımına sahiptir (www.teknolojikarastirmalar.com).

Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler

Agregalardaki tehlikeli maddeler, betonda kullanıldıklarında genellikle olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu maddeler bağlayıcının bozunmasına, bağlayıcının genişmesi betonun kırılmasına ve betonda çatlaklar oluşturarak çimento şerbeti ile agrega arasındaki yapışmanın engellemesine neden olur. Beton bileşimine girecek olan agregalar genelde temiz ve oluşturdukları karışımların dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilecek çeşitli tehlikeli maddelerden arındırılmış olmalıdır. Yıkabilir maddeler, dağılımlarına ve miktarlarına göre organik maddeler, sertleşmeyi bozan maddeler, bazı kükürt bileşikleriyle yumuşayan, genişleyen ve hacmi artıran maddelerdir (TS 706 EN 12620+A1, 2009). Silt, mika, kömür, humus, talaş, kimyasal tuz, yumuşak parçalar, kil gibi organik maddeler ve agregaların etrafındaki yabancı maddeler zararlı maddeler olarak adlandırılır. Bunlar betonun dayanıklılığını ve görünümünü etkileyebilir. Betonun işlenmesini ve karıştırılmasını zorlaştırır ve su gereksinimlerini artırır. Hava

koşullarına bağlı olarak betonda bozulmaların meydana gelmesine neden olabilirler (Tutmaz, 2009).

Yıkanabilir (ince) malzeme

Kil, silt ve çok ince taş tozu, agrega içinde ince bir şekilde dağılabilir veya bir blok haline getirilebilir veya yıkanabilir malzeme olarak adlandırılan agrega parçacıklarına yapıştırılabilir. Ek olarak, 0.063 mm'den (63μ) daha küçük partiküller içeren malzemeler ince malzeme olarak tanımlanır. Bunlar istenmeyen malzemelerdir ve agregalarda sınırlı miktarlarda bulunmalıdır (TS 706 EN 12620+A1, 2009). TS 706 EN 12620'ye göre 0,05-0,005 mm'den daha büyük maddelere silt, 0,005 mm'den küçük olanlara ise kil denir. Kolloidal kil, silt ve taş gibi aşırı partiküller betona zarar verir. Agregatanelerinin yüzeyine yapışan kil ve silt gibi ince taneli malzemeler agrega ve çimento arasındaki bağı bozabilir. Bu nedenle üretilen betonun dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir.

Organik kökenli maddeler

Çürüyen bitki köklerindeki, humus oranı yüksek topraklardaki ve başka organik maddelerdeki taneler ve türevleri, agregalarda çok küçük parçacıklar halinde dağılır ve çimento hidrasyonunu olumsuz etkileyebilir. Agregada içinde yüksek organik içeriğin varlığında çimentonun priz süresi yavaşlar veya hiç oluşmayabilir. Bu nedenle betonun tüm yapısal özelliklerini olumsuz etkiler.

Organik malzemelerin bu olumsuz etkileri iki nedenden kaynaklanmaktadır; birincisi, bazı organik malzemelerin çimentoda hidratlı kristal oluşumunu engelleyen hidrofobik (su itici) olması, diğeri ise bazı organik malzemelerin hidrofobik olmasıdır. Çimentoda çözünmez ve hidratlı kristal oluşumunu engeller. Agregalarda organik maddelerin varlığı, bu maddelerle üretilen betonun mukavemetini yaklaşık %50 oranında azaltmakta ve betonun sertleşmesini, şişmesini, çimentonun priz almamasını ve korozyonunu bozmaktadır. Kömür parçacıkları ve diğer düşük yoğunluklu malzemeler, uygun yoğunlukta sınırlarda yüzen agregalar tarafından belirlenir (Erdoğan, 1995).

Sertleşmeye zarar veren maddeler

Az miktarda sertleştirici bile betonun ayarını ve sertleşmesini değiştirebilir. Agregada bünyesinde zararlı maddelerin veya çözünmüş tuzların varlığından şüpheleniliyorsa, agrega karşılaştırmalı bir beton testi ile kontrol edilmelidir. İncelenen agrega ile yapılan betonun basınç dayanımı, karşılaştırma betonunun basınç dayanımının % 85'inden az ise, incelenen agreganın betonun sertleşmesini bozan maddeler içerdiği varsayılır (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

Sülfat içeren maddeler

Agregada içindeki sülfatın varlığı, agrega parçacıklarının sülfat alüminat adı verilen şişen bir tuz oluşturmak üzere çimento ile reaksiyona girmesine neden olur. Bu genişleme nedeniyle betonda segregasyon ve ufalanma meydana gelebilir. Bu nedenle sülfatın (SO_3) ağırlıkça %1'i geçmemesine dikkat edilmelidir. 1 dm^3 betondaki sülfat içeriğinin 1.4 g. dan az olması gereklidir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

Çeliğe zararlı olan maddeler

Agregalarda nitrat ve halojenür gibi tuzların bulunması, özellikle betonarmede donatının korozyonunu önler. Betonarme yapılarda kullanılan agregalar ağırlıkça % 0,2'den fazla suda çözünür klorür içermemelidir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

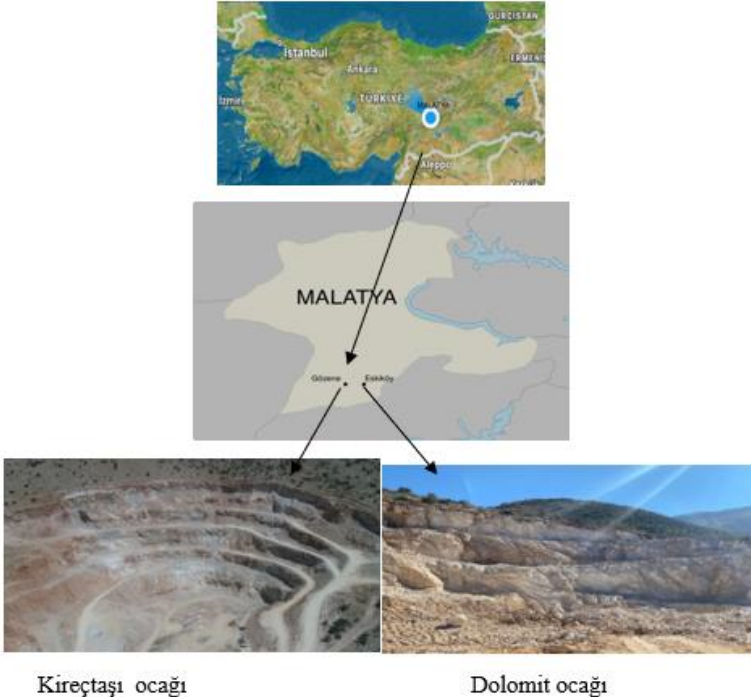
Alkali reaktivite oluşturan maddeler

Agregada alkali reaktivite, agreganın aktif silika bileşeni ile çimentonun alkali arasında meydana gelen kimyasal bir reaksiyondur. Bazı durumlarda çimentoda Na_2O , K_2O gibi alkali metal oksitler bulunabilir. Bu alkali metal oksitler, çört, kumtaşı ve opalinli kaya bazlı agregalarda bulunabilen opal, kuvars, tridimit gibi reaktif silikalarla reaksiyona girerek alkali-silika jelleri oluşturur (Erdoğan, 1995). Bundan dolayı betonun hacim stabilitesi bozulur böylece betonda çatlaklar oluşur. Alkali-agrega reaksiyonunun meydana gelmesi, çimentodaki alkali metal oksitlerin

($\text{Na}_2\text{O}+0.658 \text{K}_2\text{O}$) içeriğine (%0,6'dan fazla), agrega içinde alkaliye duyarlı silisli minerallerin varlığına ve çimentodaki yeterli nem faktörlerine bağlıdır (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

Çalışma Sahası

Çalışma sahası Malatya ili Yeşilyurt ilçesine bağlı, Gözene köyü, Orta Oluklu mevkiinde yer almakta olup, ocak alanına ulaşım Doğanşehir yolu Örnek Köyün bitiminden Oluklu yolu üzerinde 6 km uzunluğundaki asfalt yolla sağlanmaktadır. Çalışılan kayaçlar için kireçtaşı sahasının temsili korninatları x: 4228618 y: 416507, dolomit sahasının temsili kordinatları x: 4222872 y: 410240 olarak alınmıştır. Şekil 2'de agregaların alındığı ocaklara ait yer bulduru haritası ve ocak görüntüleri verilmiştir.



Kireçtaşı ocağı

Dolomit ocağı

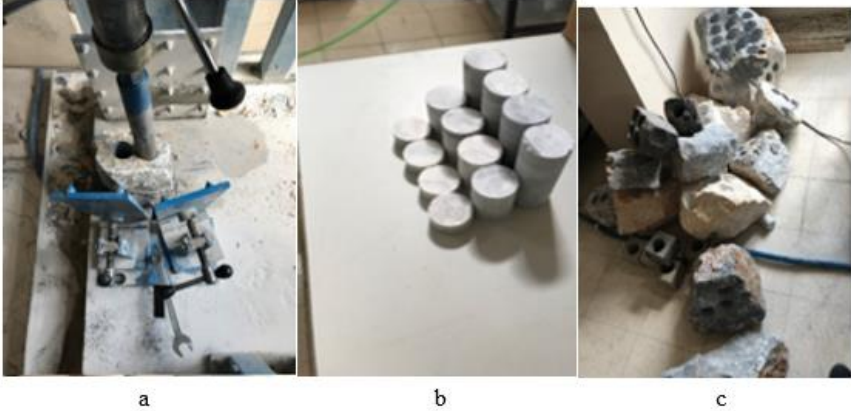
Kireçtaşı ocağı

Dolomit ocağı

Şekil 2. Numunelerin alındığı agrega ocaklarından görünüm

Metod

Araziden getirilen bloklar üzerinde TS standartlarında belirtilen şekilde örnekler alınarak fizikomekanik testler gerçekleştirilmiştir. Blok numunelerden laboratuvarda karot alma makinesiyle örnekler alınarak boy/çap (L/D) oranı, yapılacak olan deneyin ilgili standardında belirtilen şekilde ayarlanmıştır. Alınan karotların uçları karot kesme ve düzeltme makinası ile düzeltilmiştir. Şekil 3 (a-d)'de ki gibi hazırlanan karot örnekleri üzerinde birim hacim ağırlığı, porozite, su emme, tek eksenli basma dayanımı, Brazilian (dolaylı yoldan) çekme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve ultrasonik hız tayini deneyleri yapılmıştır.



Şekil 3. Karot örneklerinin hazırlanma aşamaları

Kayaçların Fiziko-mekanik Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

Birim hacim ağırlık tayini

TS 699'da belirtilen yöntemle göre numunelerin birim hacim ağırlığı belirlenmiştir (TS 699, 2009). Deneyde düzgün geometriye sahip 5 adet silindirik şekilli karot numunesi kullanılmıştır. Hazırlanan örneklerin boy ve çap değerleri kumpas kullanılarak ölçülmüş ve hacimleri hesaplanmıştır. Örneklerin ilk olarak doğal ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında örnekler $105 \pm 5^\circ\text{C}$ etüvde kurutulmuş, desikatörde bekletilerek oda sıcaklığına soğumaları sağlanmıştır.

Soğuma işlemini tamamlamış numuneler tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra, bir kap içerisinde oda sıcaklığında olacak şekilde (20 ± 5 °C) numune boyutunun yarısına gelinceye kadar su doldurulup 1 saat, daha suda bekletildikten sonra numune boyutlarının $\frac{3}{4}$ 'ü su içinde kalacak şekilde su ekleyerek 1 saat daha suda bekletilmiştir. Süre bitiminde örneğin boyunun en az 2 cm üzerinde kalacak şekilde su ilave edilmiş ve numuneler değişmez ağırlığa gelinceye kadar suda bekletilmeye devam edilmiştir. Suya doymun hale getirilen numunelerin üzerindeki su damlaları nemli bir bezle alındıktan sonra, hassas terazi kullanılarak tartımları yapılmış ve doymun ağırlıkları saptanmıştır. Örneklerin doğal, doymun ve kuru birim hacim ağırlıkları Eşitlik 1-3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$dd = \frac{\text{Doymun Ağırlık} * g}{V} \quad 1$$

$$ddoğ = \frac{\text{Doğal Ağırlık} * g}{V} \quad 2$$

$$dk = \frac{\text{Kuru Ağırlık} * g}{V} \quad 3$$

Burada;

d_d : Doymun birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

$d_{doğ}$: Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

d_k : Kuru birim hacim ağırlık (kN/m^3)

V: Hacim (cm^3)

g: Yerçekimi ivme sabiti (9.81 m/s^2)

Ağırlıkça ve hacimce su emme

Kayaçlarda su emme miktarı, kayaçların su emme özelliğine bağlı olarak boşlukların alabileceği maksimum miktarını ifade etmektedir. Kaya kütlesi içerisinde bulunan çatlaklar, boşluklar ve kayacın gözenekli yapısı dayanımı oldukça azaltmaktadır. Açık uçlu boşluklu yapıların su emme ve su geçirme özelliği fazla kapalı uçlu boşluklu yapıların ise azdır.

Kayaçların ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri TS 699 standardında tanımlanan yöntemle göre belirlenmiştir. Birim hacim ağırlığı deneyindeki muameleye tabii tutulan örneklerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları Eşitlik 4 ve 5'e göre hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{d_d - d_k}{d_k} \times 100 \quad (\%)$$

4

$$S_h = \frac{d_d - d_k}{V} \times 100 \quad (\%)$$

5

S_k : Numunenin ağırlıkça su emme oranı (%)

S_h : Numunenin hacimce su emme oranı (%)

d_d : Numunenin doygun haldeki ağırlığı (gr)

d_k : Değişmez kütleyle kadar kurutulmuş numunenin ağırlığı (gr)

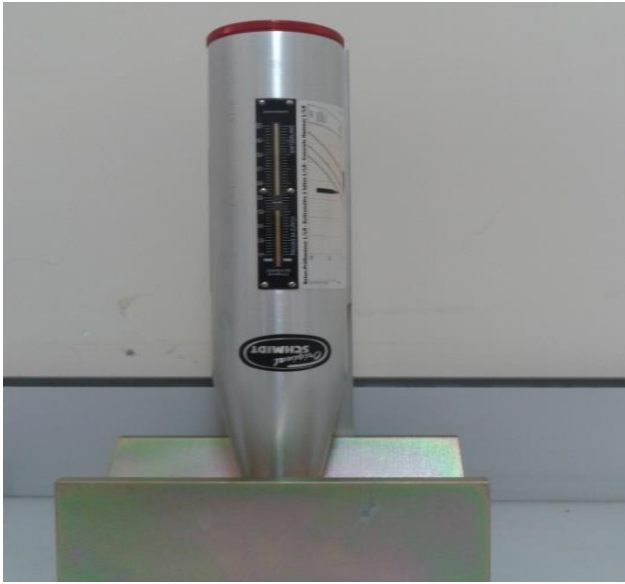
V : Hacim (cm^3)

Schmidt çekici sertlik indeksi tayini

Kayaç örneklerinin Schmidt çekici sertlikleri ISRM 1978' de tanımlanan yöntemle göre belirlenmiştir (ISRM, 1978a). Schmidt çekici kayaçların sertliğini belirlemek için kullanılan sertlik testlerinden en yaygın olanıdır. L ve N tipi Schmidt çekici olmak üzere iki tip sertlik ölçme cihazı bulunmaktadır. Kayaç sertliği belirlemede N tipi sertlik cihazı kullanılmaktadır. Çalışılan kayaç örneklerinin Schmidt çekici sertlik değerleri nin belirlenmesi için numune üzerinde 20 değişik noktadan ölçümler alınarak kaydedilmiştir. En yüksek 10 değer aritmetik ortalaması alınarak sertlik değeri hesaplanmıştır. Tablo 2'de ISRM 1978 tarafından önerilen kayaçların Schmidt sertlik sınıflaması ve Şekil 4'de Schmidt sertlik çekicinin görüntüsü verilmiştir.

Tablo 2. Kayaçların Schmidt sertlik değerlerine göre sınıflandırılması (ISRM, 1978a)

Schmidt çekici değerleri	Kaya tanımlaması
0-10	Yumuşak
11-20	Az yumuşak
21-40	Az sert
41-50	Sert
51-60	Oldukça sert
>60	Çok sert



Şekil 4. Schmidt çekici

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Örneklerin tek eksenli basınç dayanımları ISRM 1978 tarafından belirlenen yöntemle göre yapılmıştır (ISRM 1978 b). Hazırlanan ile 54 mm çaplı karot numuneleri boy/çap oranı 2-2,5 arasında olacak şekilde uçları kesilip düzelterek deneyde kullanılır duruma getirilmiştir. Örneklerin boyları 4 ve çapları 6 noktadan ölçüldükten sonra ortalamaları alınmıştır. Tek eksenle etkileyen

yükün uygulanacağı numune yüzeylerinin alanları hesaplanmıştır. Deney, ELE 3000 marka tek eksenli basınç dayanımı presi ile yapılmış presin uygulayacağı yükleme hızı 0,5 MPa/s olacak şekilde sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Deney numunesinin yenildiği andaki yük presin göstergesinden okunmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı Eşitlik 6 ile hesaplanmıştır.

$$f_b = \frac{P_k}{A} \quad \text{MPa}$$

f_b : Örneğin tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

P_k : Örneğin kırılmasına neden olan en büyük yük (kN)

A : Örneğin yük uygulanan yüzeyinin alanı (cm²)

Şekil 5’de tek eksenli basınç dayanımı presinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı presi

Ultrases geçirgenlik hızzı deneyi

Çalışılan kayaç örneklerinin ultrasonik dalga hızzları tayini, Proceq marka ultrasonik hızz ölçüm cihazı kullanılarak TS EN 12504-4 standardına göre yapılmıştır. Deneyin uygulama prosedüründe verici transdserlerde üretilen elektrik sinyali mekanik titreşime çevrilerek örneğe gönderilmekte, örnek içinden geçen sinyal alıcı transdüserler tarafından kaydedilmektedir. Ultrasonik geçiş hızzı numune içinde sinyalin yayılım hızzının ölçülmesi ile belirlenmektedir. Deneyde her bir kaya biriminden üç farklı örnek kullanılmış yapılan ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. Ultrasonik dalga hızzı değerleri Eşitlik 7’de verilen formül ile belirlenmiştir. şekil 6’da ultrases geçirgenlik hızzı cihazı ölçümüne ait bir görüntü verilmiştir.

$$V = L / T$$

7

V: Ultrases geçirgenlik dalga yayılma hızzı, km/s

L: Mesafe, silindirik deney örneğinin boyu, mm

T: Transdüserler arası ölçülen iletim süresi, μs



Şekil 6. Ultrases geçirgenlik hızı cihazı

Dolaylı yoldan çekme dayanımı (Brazilian)deneyi

Brazilian çekme dayanımı tayini TS 7654 'de tanımlanan yöntemeye göre yapılmış olup deneyde boy/çap oranı 0,5 olan 10 adet disk şekilli örnek kullanılmıştır. Örnekler Brazilian test aparatına yerleştirilmiştir. Brazilian aparatı da, tek eksenli basınç dayanımı test cihazına yerleştirilerek örnek 15-30 sn'de kırılacak şekilde yükleme yapılmıştır. Deneyde yükün artması ile birlikte yatay yönde gelişen çekme gerilmelerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Çekme gerilmesi değeri numunenin çekme dayanımı değerini aştığında kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma yükü değeri cihaz ekranından okunarak kaydedilmiştir. Şekil 7 (a-b) 'de Brazilian deneyin uygulanması ve deneyde tabii tutulan numuneler gösterilmiştir.

Numunenin Brazilian çekme dayanımı Eşitlik 8 ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{0.636 \cdot P_k}{D \cdot t} \quad 8$$

σ : Brazilian çekme dayanımı (Mpa)

P_k : Örneğin kırılma yükü (kN)

D : Örneğin çapı (mm)

t : Örneğin kalınlığı (mm)



Şekil 7. Brazilian deneyine ait görüntüler a: Brazilian deneyinin uygulanması

b: Deneye tabii tutulan numuneler

Agrega Deneyleri

Agrega deneylerini gerçekleştirmek üzere getirilen numuneler, 0-4 mm (1. Boyut), 4-8 mm (2. Boyut), (8-16 mm) 3. Boyut, 16-22.4 mm (4. Boyut) olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Çalışmada Türk Standartları Enstitüsünün önerdiği yöntemlerle elek analizi (granülometrik analiz), metilen mavisi deneyi, özgül ağırlık tayini, nem içeriği, yassılık indeksi tayini, Los Angeles aşınma dayanı deneyleri yapılmıştır.

Agrega tane büyüklüğü dağılımı

Bu deneyin amacı ince ve iri agregaların tane büyüklüğü dağılımlarının (granülometri) belirlenmesidir. TS EN 933-1 standardında tavsiye edilen yönteme göre gerçekleştirilen deneyde, 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-22.4 mm tane boyutu aralığındaki agregaya yığınlarından alınan numuneler kullanılmıştır. Her tane boyut aralığı için ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Standartta belirtilen 22,4 – 16 – 8 – 4 – 2 – 1 - 0,5 - 0,25 - 0,15 - 0,063 mm açıklığında ki elekler kullanılmıştır.

Elekler titreşimli elek cihazının üzerinde elek açıklıkları alta doğru azalacak şekilde sıralanmıştır. Etüvde nemi uzaklaştırılmış olan yaklaşık 500 gr numune en üstteki eleğe boşaltılarak eleme işlemi başlatılmıştır. 5-10 dakika aralığında gerçekleştirilen eleme işlemi sonucunda eleklerin üzerinde kalan malzeme hassas terazi ile tartılarak not edilmiş ve elek analizi tabloları oluşturulmuştur.

Toplam kümülatif ağırlık deney sonunda dikkate alınarak elek üzerinde kalan miktar toplam ağırlığa bölünmüş, elekler üzerinde kalan agregalar yüzdesel olarak ifade edilmiştir.

Şekil 8 (a-d) 'de numunelerin elek analizine hazırlanması ve elek analizi deneyine ait görüntüler verilmiştir.



a



b



c



d

Şekil 8. Elek analizi deneyi görüntüleri a : boyutlarına göre numuneler b: numunelerin tartım aşaması c: numunelerin titreşimli elekten geçirilmesi d : titreşimli elekten geçen numunelerin tartımı

Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deneyi agreganın kil içeriğine bağlı olarak kirlilik oranını belirlemek amacı ile yapılmıştır. TS EN 933-9:2010 standardında belirtilen yöntem kullanılarak yapılan deneyde 0-2 mm tane büyüklüğüne sahip yaklaşık 200 gr agrega kullanılmıştır. 500 g saf su ile agrega numunesi beher içerisinde 600 dk/devir hızla 5 dk süre ile karıştırıldıktan sonra karışıma 10 g/l metilen mavisi çözeltisinden 5 ml kadar eklenmiştir. Beherde ki malzeme 400 devir/dakika hızla 1 dk daha karıştırıldıktan sonra süzgeç kağıdı üzerine karışımdan bir damla damlatılmıştır ve leke oluşumu gözlemlenmiştir. Süzgeç kağıdı üzerinde hare belirmemesi durumunda karışıma 5 ml daha metilen mavisi çözeltisi ilave edilerek 1 dk daha karıştırılmıştır. Süzgeç kağıdı üzerinde hareler belirene dek çözelti ilavesine devam edilmiştir. Deney sonucunda eklenen çözeltinin toplam hacmi hesaplanarak Eşitlik 9 ile agreganın metilen mavisi değeri belirlenmiştir. Şekil 9 (a-d)'de metilen mavisi deney aşamaları gösterilmiştir.

$$MB = \left(\frac{V_1}{M_1}\right)*10 \quad (9)$$

M_1 : Deney numunesi kütlesi (gr)

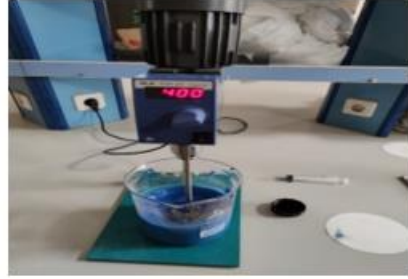
V_1 : İlave edilen mavi çözeltinin toplam hacmi

MB : kullanılan metilen mavisi miktarı

Metilen mavisi deneyi sonucunda 200 gr kireçtaşı ve dolomit örneklerinden 200 er gram malzemeye 3 kez 5 er ml'lik metilen mavisi çözeltisi eklenmiş ve 15 ml lik ekleme neticesinde harenmelerin oluştuğu gözlemlenmiştir.



a



b



c



d

Şekil 9. Metilen mavisi deney yapılışı a: Numunelerin hazırlanması b Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması c: Numunelerin 600 devir/dk da karıştırılması d : Süzgeç kağıdına numune bırakılması

Agrega özgül ağırlık deneyi sonuçları

TS EN 1097-6:2013 standardında belirtilen yöntem ile tayin edilen özgül ağırlık deneyi için 500 g agreg (16-22.4mm tane boyutlu) tavanın içerisine boşaltılmıştır ve üzeri su ile doldurulmuştur. Bu şekilde su içerisinde bekleyen agreg 24 saat sonra suyu süzülerek bir havlu üzerine serilmiş ve yüzeyinde ki ıslaklıklar alınmıştır. Daha sonra hassas terazi ile tartılıp sonuçlar not edilmiştir. Özgül ağırlığı bilinen bir cam kavanozun içine agreg boşaltılmıştır. Cam kavanoz ağzına kadar su ile doldurulmuş ve kabarcıklar oluşmamasına dikkat edilmiştir. Son olarak yüzeyi cam ile sıyrılmış ve kapatılarak tartılmıştır.

Agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları Eşitlik 10 ile hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{W_1}{W_2+W_4-W_3} \quad (10)$$

Burada;

ρ :Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı

W1: Kuru ağırlığı (g)

W2: Doygun kuru yüzey ağırlığı (g)

W3: Ölçü kabı, su ve deney numunesi toplam ağırlığı

W4: Ölçü kabı ile birlikte ağırlığı (g)

Şekil 10 (a-f)'de agrega özgül ağırlık deneyinin yapılışına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 10. Agreganın özgül ağırlık deneyinin yapılışına ait görüntüler. a: deneye tabii tutulan numuneler, b: yüzey kurulum işlemi, c: Kurulanan örneklerin tartılması, d: cam kavanozda numuneler, e: cam ile kapatılan numune kavanozu, f: cam kavanozla birlikte tartılan numuneler

Agrega Nem İçeriği Deneyi sonuçları

TS EN 1097-6:2013 standardında tanımlanan yöntemle göre yapılan agrega nem içeriği tayini deneyinde sahadan alınan 0-4 / 0-8 mm boyutlu numuneler tartılmıştır. Daha sonra alınan numune 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiş ve tekrar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Nemli ve kuru malzeme arasında ki farkın yüzdesi alınarak nem içeriği belirlenmiştir. Agrega örneklerinin nem içeriği Eşitlik 11'e göre hesaplanmıştır.

$$WA = \frac{100*(M_1-M_2)}{M_2}(\%) \quad (11)$$

Burada;

WA: Agreganın yüzey nem oranı

M₁: deney başlangıcındaki numune ağırlığı (g)

M₂: Deney numunesinin doygun kuru yüzey halindeki ağırlığı (g)

Los Angeles aşınma dayanımı deneyi

Özellikle havaalanı pistleri, karayolu kaplamaları, kaldırım örtü ve bina içi parkeleri gibi dinamik zorlamalı ortamlarda agregalar betonun aşınması açısından büyük önem taşımaktadır. Darbe etkilerine maruz kalacak durumlarda kullanılacak betonların, dayanıklı agregalarla yapılmış olması istenmektedir.

Bu deneyde, ayrı ayrı kireçtaşı ve dolomit numuneleri 10-14 mm tane boyutunda elendikten sonra yıkanarak 105°C etüvde 24 saat kurutulmuştur. TS EN 1097-2:2010 standardında belirtildiği üzere 10-11,2 mm arası 2000 g ve 11,2-14 mm arası 3000 g olmak üzere toplamda 5000 g ağırlığında 3 set numune hazırlanmıştır. Her bir numune grubu, U Test marka Los Angeles deney cihazına yüklenerek 12 adet bilye ile birlikte 33 devir/dak hızında 500 devir yapacak şekilde işleme tabi tutulmuştur. Deney sonucunda tamburun içinde ki malzeme, hemen altında ki tavaya dökülerek tambur boşaltılmıştır. Elde edilen malzeme, 1,6 mm göz açıklığı olan elekten yıkanarak elenmiş, sonucunda elek üzeri malzeme bir

tepsiye aktarılarak etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan malzeme, hassas terazide tartılarak ağırlığı not edilmiştir. Los Angeles değeri Eşitlik 12'de verilen formülle hesaplanmıştır.

$$LA = \frac{5000-m}{50} \quad (12)$$

Burada;

LA: Los Angeles parçalanma direnci katsayısı

m: Deney sonunda 1,6 mm açıklıklı elek üzerinde kalan malzemenin ağırlığı (g),

Los Angeles deneyinin uygulamasına ait görüntüler Şekil 11'de verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 11. a: Los Angeles cihazına malzemenin beslenmesi b: Deney sonucunda alınan numune

3. Araştırma Bulguları

Çalışılan Kayaçların XRF Analizi Sonuçları

Çalışılan kayaçların kimyasal içeriklerini belirlemek için yaptırılan XRF analiz neticeleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışılan kayaçların XRF analizi sonuçları

Oksit (%)	Kireçtaşı	Dolomit
Na ₂ O	0,02	0,01
MgO	0,33	15,06
Al ₂ O ₃	0,19	0,18
SiO ₂	0,41	0,38
P ₂ O ₅	0,01	0,01
SO ₃	0,03	0,01
Cl	0,004	0,005
K ₂ O	0,01	0,009
CaO	54,57	36,43
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01
MnO	0,01	0,01
Fe ₂ O ₃	0,09	0,11
CuO	0,02	0,01
ZnO	0,01	
SrO	0,02	
Kızdırma Kaybı	44,25	47,76

Çalışılan kayaçların fizikomekanik Özellikleri

Çalışılan kayaçların fiziko-mekanik test sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

	Kireçtaşı	Dolomit
Doğal Brim hacim ağırlığı kN/m ³	26,75±1,01	27,66 ±0,29
Doygun Brim hacim ağırlığı kN/m ³	26,73 ±1,03	27,61±0,27
Kuru Brim hacim ağırlığı kN/m ³	26,71 ±0,98	27,59 ±0,29
Ağırlıkça su emme (%)	0,07 ±0,01	0,33 ±0,04
Hacimce su emme (%)	0,18 ±0,18	0,93 ±0,11
Schmidt sertliği	34 ±4	29 ±6
Tek eksenli basınç dayanımı MPa	32,39 ±5,51	24,13 ±6,41
Brazilian çekme dayanımı MPa	28,73 ±5,39	20,73 ±0,58
V _p (km/s)	4,87 ±1,14	4,49 ±0,98

Tablo 4 incelendiğinde dolomit agregasının su emme değerlerinin kireçtaşı agregasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Agregaların su emme değeri betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Su emme değeri yüksek olan agrega betonda su ihtiyacını artırarak dayanımın azalmasına neden olmaktadır (Tuğrul & Yılmaz, 2012). Literatürde agrega olarak kullanılan kayaçlarda su emme değerinin %1.5 den küçük olması gerektiği vurgulanmış, su emme değeri %2 den daha düşük olan kayaçların agrega olarak kullanıldığı betonlarda yüksek dayanım elde edilebileceğini belirtmiştir (Elçi & ark., 2014). Bu durumda örneklerin su emme değerleri uygun aralıktadır. Kireçtaşının Schmidt sertlik değeri 34, dolomitin ise 29 olarak hesaplanmıştır. Çalışılan örneklerin Schmidt çekici deneyi

sonucunda sertlik değerleri Tablo 2'ye göre değerlendirildiğinde her iki kayacında "az sert" sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Kireçtaşı ve dolomit numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda kireçtaşı numuneleri için ortalama 32,39 MPa, dolomit numuneleri için ise ortalama 24,13 MPa basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Kireçtaşı örneğinin sertlik değeri de dolomit örneğinden daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucu ile örtüşmektedir.

Kireçtaşına ait Brazilian (endirekt çekme) dayanımının ortalama 4,87 MPa, dolomit için ise 4,49 MPa olduğu görülmektedir. Bu değerlerin kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt sertliği değerleriyle doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Tablo 4 incelendiğinde kireçtaşı numunelerine ait ultrases geçiş hızının ortalama 20,73 km/s, dolomit numuneleri için ise ortalama 28,73 km/s olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre dolomitin kireçtaşına göre daha kompakt bir yapıda olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışılan Kayaçların Agrega zellikleri

Çalışılan agregaların boyutlarına göre yapılan elek analizi sonuçları Tablo 5-8'de verilmiştir.

Tablo 5. 0-4 mm ve 4-8 mm kireçtaşı tozu elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	0-4 mm kireçtaşı tozu				4-8 mm kireçtaşı tozu			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
11,2	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
8	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
5,6	2,1	2,1	0,4	99,6	2,9	2,9	0,6	99,4
4	10,4	12,5	2,5	97,5	45,6	48,5	9,7	90,3
2	67,2	79,7	16,0	84,0	176,5	225,0	45,0	55,0
1	95,2	174,9	35,0	65,0	104,0	329,0	65,9	34,1
0,50	85,2	260,1	52,1	47,9	54,5	383,5	76,8	23,2
0,250	63,1	323,2	64,7	35,3	34,2	417,7	83,6	16,4
0,125	39,0	362,2	72,5	27,5	20,4	438,1	87,7	12,3
0,063	77,1	439,3	88,0	12,0	22,6	460,7	92,2	7,8
Filler	60,0				38,8			
Toplam	499,30				499,50			

Tablo 6. 8-16 mm ve 16-22.4 mm iri kireçtaşı elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	8-16 mm iri kireçtaşı				16-22.4 mm iri kireçtaşı			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	g	yığ. %	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	250,0	250,0	25,0	75,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	382,0	632,0	63,1	36,9
11,2	6,1	6,1	0,6	99,4	332,1	964,1	96,3	3,7
8	96,5	102,6	10,3	89,7	36,8	1000,9	100,0	0,0
5,6	434,0	536,6	53,7	46,3	0	1000,9	100,0	0,0
4	277,3	813,9	81,4	18,6	0	1000,9	100,0	0,0
2	163,1	977,0	97,7	2,3	0	1000,9	100,0	0,0
1	8,3	985,3	98,5	1,5	0	1000,9	100,0	0,0
0,50	0,6	985,9	98,6	1,4	0	1000,9	100,0	0,0
0,250	0	985,9	98,6	1,4	0	1000,9	100,0	0,0
0,125	0	985,9	98,6	1,4	0	1000,9	100,0	0,0
0,063	0	985,9	98,6	1,4	0	1000,9	100,0	0,0
Filler	14,0				0			
Toplam	999,90				1000,90			

Tablo 7. 0-4 mm ve 4-8 mm dolomit tozu elek analizi sonuçları

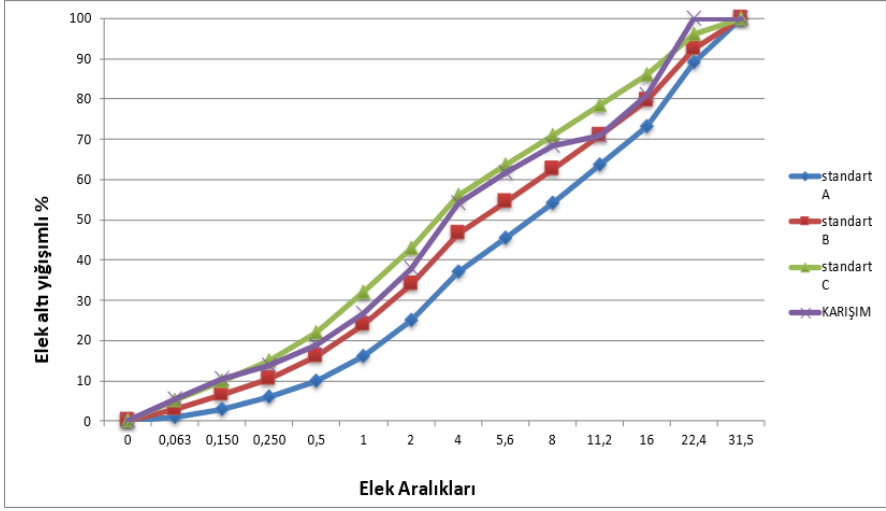
elek açıklığı mm	0-4 mm dolomit tozu				4-8 mm dolomit			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
11,2	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
8	0,00	0,00	0,00	100,0	0,00	0,00	0,00	100,0
5,6	1,2	1,2	0,1	99,9	342,5	342,5	34,3	65,7
4	26,0	27,2	2,7	97,3	492,5	835,4	83,6	16,4
2	310,5	337,7	33,9	66,1	158,8	994,2	99,4	0,6
1	148,9	486,6	48,8	51,2	0,4	994,6	99,5	0,5
0,50	103,1	589,7	59,1	40,9	0,4	995,0	99,5	0,5
0,250	100,0	689,7	69,2	30,8	0,4	995,4	99,6	0,4
0,125	202,4	892,1	89,5	10,5	1,0	996,4	99,7	0,3
0,063	78,6	970,7	97,4	2,6	0,8	997,2	99,7	0,3
Filler	26,4				2,5			
Toplam	997,10				999,70			

Tablo 8. 8-16 mm ve 16-22.4 mm iri dolomit elek analizi sonuçları

elek açıklığı mm	8-16 mm iri dolomit				16-22.4 mm iri dolomit			
	elek üstü			Elek altı	elek üstü			Elek altı
	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %	g	yığ. g	yığ. %	yığ. %
22,40	0,00	0,00	0,00	100,0	0	0	0	100,0
16	0,00	0,00	0,00	100,0	518,2	518,2	51,8	48,2
11,2	286,3	286,3	28,6	71,4	474,4	992,6	99,3	0,7
8	569,0	855,3	85,6	14,4	7,2	999,8	100,0	0,0
5,6	143,2	998,5	99,9	0,1	0	999,8	100,0	0,0
4	1,2	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
2	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
1	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,50	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,250	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,125	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
0,063	0	999,7	100,0	0,0	0	999,8	100,0	0,0
Filler	0				0			
Toplam	999,70				999,80			

Agrega elek analizi sonucunda elde edilen elek altı yığışımı değerler, TS706 12620+A1: 2009 ve TS 802 standartlarında belirtilen agreganın en büyük tane boyutu 22,4 mm olan pompalanabilir beton özelliğinde ki taze beton karışımında kullanılacak granülometri değerlerinden faydalanılarak karışımında kullanılacak agreganın yüzdelere belirlenmesinde kullanılır. Standartda belirtilen alt ve üst sınırlar arasında kalacak şekilde karışımın elek altı yığışımı yüzde değerleri her tane boyut sınıfına göre seçilmiştir. Buna göre Şekil 12’de görülen eğri oluşturulmuştur. İnce agregalar

için bulunan incelik modülü 3,3 olup bu değer TS EN 706 12620'de belirtilen 2,4 ile 4 arasında kalmaktadır. Agregata tane dağılımının ince özellikte olması incelik modülünün küçük değerler almasıyla bağlantılıdır yani agregata taneleri büyüdükçe incelik modülü artar agregata taneleri küçüldükçe incelik modülü azalır (Özkul & ark., 1999; Arıoğlu & ark., 2006).



Şekil 12. Agregata tane büyüklüğü tablosu

Grafikte görüldüğü üzere karışıma ait eğri standartta müsaade edilen sınır değerler arasında olup uygun granülometri olarak değerlendirilmiştir.

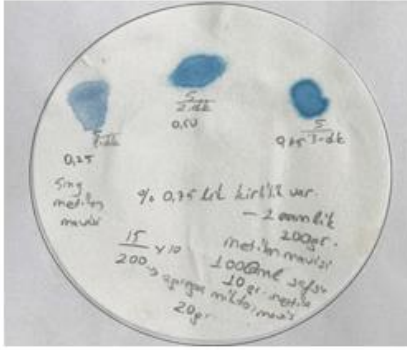
Diğer agregata Özellikleri

Ts standartlarına göre yapılan metilen mavisi (agregata kirlilik oranı tayini), kuru özgül ağırlık, nem içeriği, yassılık indeksi, Los Ageles aşınma dayanımı değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

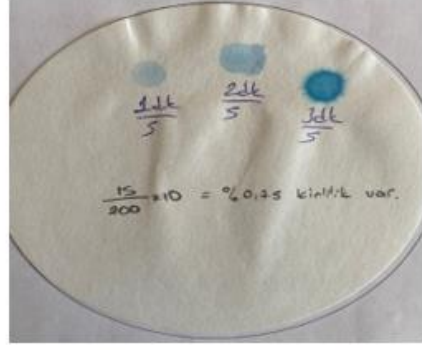
Tablo 9. Diğer agrega özellikleri

	Kirlilik oranı MB değeri (V1/M1)*10	Kuru özgül ağırlığı	Nem içeriği (%)	Yassılık indeksi (M2/M1)*100	Kategori	Los Angeles Aşınma Dayanımı (5000-m)/50
Kireçtaşı	0,75	2,60	1, 0, 2 4	6,16± 3,73	FI15	22,20± 0,57
Dolomit	0,75	2,58	1, 1, 9 6	6,63± 0,84	FI15	36,97± 1,46

Yapılan metilen mavisi deneyi neticesinde süzgeç kağıdı üzerindeki hanelerin kireçtaşı ve dolomit örneklerinin her ikisi içinde üçüncü denemede belirgin hale geldiği görülmektedir (Şekil 13). Agrega kirlilik oranı %75 olarak tayin edilmiştir. Bu değer agregaların kirlilik oranının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu durum agrega ince malzeme miktarının fazla olduğunu, kil mineralleri tarafından tutunan boya miktarının bu nedenle arttığını göstermektedir. Agrega kirlilik oranı artışı hazır beton sanayiinde kullanılacak beton agregaları için önem arzeden bir durumdur. Kirli agrega kullanımı, beton dizaynında fazla su kullanımını gerekli kılmakta kıvam ayarlaması için gerekli önlemler artırılmazsa su/çimento oranındaki artışa bağlı olarak beton dayanımında düşüşler gelişmektedir. Hazır beton tesislerinde kullanılacak olan agregalarda kirlilik miktarının düşük tutulması gerekliliği, konkasör tesislerinin işletme ve üretim dizaynlarını bu koşula göre planlamaları gerektiği bilinmektedir (Özbebek & Açık, 2012). Bu agregaların kirlilik oranlarının olumsuz etkilerini bertaraf etmek için akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanımı önerilebilir.



a



b

Şekil 13. Metilen mavisi deneyinde kullanılan süzgeç kağıtlarının görüntüleri

a-) Kireçtaşı örneği b-) Dolomit örneği

Yapılan özgül ağırlık tayini deneyi neticesinde kireçtaşı ve dolomit agregalarının özgül ağırlık değerleri sırasıyla 2,5-2,9 olarak belirlenmiştir. Literatürde agrega özgül ağırlık değerlerinin 2,5-2,8 arasında olması gerektiği belirtilmektedir (Durmuş & ark., 2009). Elde edilen değerler bu değerler ile uyumludur.

Nem içeriği değerleri incelendiğinde dolomit agregasının doğal nem içeriğinin kireçtaşı agregasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun dolomit agregasının su emme değerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bunun yanısıra tane boyu küçüldükçe numunelerin nem içeriği değerlerinin yükseldiği anlaşılmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe numunenin yüzey alanı arttığı için havadaki nem ve su ile temas eden yüzey alanı artacağı için daha fazla nemi bünyesine aldığı düşünülmüştür.

Yassılık indeksi deneyi sonuçları TS EN 933-3:2012 standardına göre değerlendirildiğinde her iki numunenin FI_{1,5} kategorisinde olduğu görülmektedir. (TS EN 933-3:2012). Bu kategoriye göre betonun içerisinde köprü görevi görerek zayıflık bölgeleri oluşturabilecek nitelikte taneler içermeyeceği düşünülmüştür. Kireçtaşları köşeli parçalar oluşturacak şekilde;

dolomit ve dolomitik kayalar ise kireçtaşlarına nazaran daha yassı taneler şeklinde kırılmaktadır. Literatürde kireçtaşları için uygun yassılık indeksi değerinin %20-32 arasında olduğu dolomitik kayalar için ise bu değer % 42 lere kadar çıkabildiği belirtilmektedir (Elçi & ark., 2014). İncelenen agregaların yassılık indeksi değerleri literatürde belirtilen değerlere uygundur.

Yapılan Los Angeles aşınma dayanımı deneyi neticesinde elde edilen aşınma dayanımı değerleri kireçtaşı için ortalama 22,20, dolomit numuneleri için ise 36,97 olarak elde edilmiştir. Buna göre dolomitin parçalanmaya karşı direnci kireçtaşına göre daha düşüktür. Literatürde Los Angeles aşınma dayanımı değeri için sınır değer %40 olması gerektiğini vurgulanmıştır ve LA değerinin bu değerinin altında olması gerektiğini tavsiye edilmektedir. (Elçi & ark., 2014). Bu değerler, TS 706 EN 12620+A1:2009 standarda göre değerlendirildiğinde kireçtaşı numuneleri LA₂₅, dolomit numuneleri LA₄₀ kategorisinde yer almaktadır. Bu kategoriler çalışılan kayaların agrega olarak kullanımına uygun olduğuna işaret etmektedir. Los Angeles aşınma dayanımı değerleri kayaların tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian deney sonuçlarıyla da doğru orantılıdır.

4.Sonuçlar

Doğada kayaların su, erozyon, sıcaklık değişimlerine maruz kalmaları sonucunda kırılması, ufalanması, parçalanması ile doğal olarak veya iri kaya parçalarının kırıcı makinelerde kırılıp boyutlandırılması ile elde edilen agregalar (kırmataş) kullanım alanı çok çeşitli olan, beton üretimi, demiryolları balastı, asfalt dökme malzemesi olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Özellikle yapıların inşasında önemli bir yer tutan ve Dünyada barınma probleminin giderilmesi amacıyla üretimi hızla artan konut sektöründe en önemli malzeme olan betonun ana bileşenlerinden birini agrega oluşturmaktadır. Beton bünyesine giren malzemeler arasında hacimce en yüksek paya sahip olan agregaların beton bünyesindeki yüzdesi %75-80 civarındadır. Bu nedenle agregaların doğru seçimi üretilen betonun dayanımını etkilemektedir. Bu

bağlamda beton üretimi için reçeteler hazırlanırken ve beton bünyesine girecek olan çinerto-su oranları belirlenirken önce agregaların özelliklerine bakmak gereklidir.

Sahip oldukları özellikleri oluştukları kayalardan alan agregaların tüm karakteristik özelliklerinin ortaya konulmasından sonra standart değerlerle karşılaştırılması ve uygunluğunun belirlenmesi ekonomik kayıpların belirlenmesi ve malzeme israfının önüne geçilmesinde önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Malatya yöresinde üretilen kireçtaşı ve dolomitlerin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla söz konusu kayaların fiziko-mekanik özellikleri ile agrega özellikleri belirlenmiş ve standart değerlere uygunluğu irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre söz konusu kayaların beton agregası olarak kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmayı FYL-2021-2342 nolu proje ile maddi açıdan desteleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

E., Arıoğlu, N. Arıoğlu, & Yılmaz, A.O., (2006). *Çözümlü Beton Agregaları Problemleri*. 2. Baskı, İstanbul: Evrim Yayın Evi,178 s., ,

B. Baradan, (2004). *Yapı Malzemesi. II*. İzmir: DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın No: 207

Bilgiç, M. (2009). *Yüksek Performanslı Prefabrikte Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması*, Isparta:Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,

Durmuş, G., Şimşek, O. & Dayı, M., (2009). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 24:1, 183-189.

Elçi, H., Türk, N. & İşintek, İ. (2014).İzmir Karaburun Yarımadasındaki Farklı Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *Jeoloji Mühendisleri Dergisi*, 38(2), 103-134.

Ekmekyapar, T. & Örüng, İ. (1997) *İnşaat Malzeme Bilgisi*, 3. Baskı. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Yayınları, No:145, 278s,

Erdoğan, Y., T., (1995). *Betonu Oluşturan Malzemeler; AGREGA*, İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını

ISRM, (1978a). *Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks*, International Journal of Rock Mechanic and Mining Science and Geomechanic Abstract, 15, 89-97.

ISRM (1978b). *Suggested Methods For Determining The Uniaxial Compressive Strength*

and Deformability of Rock Materials, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanical Abstract, 16, 135-140.

Özbebek, H. & Açıık, H. (2012). *İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi*. Hazır Beton, Eylül-Ekim, 84-92.

Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M. &Uyan, M. (1999). *Meslek Liseleri İçin HerYönüyle Beton*, İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği

Şimşek, O. (2007). *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri*, (2. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık San, ve A.Ş.

TS 699, (2009). *Tabii yapı taşları- muayene ve deney metodları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

TS 706 EN 12620+A1, (2009). *Beton Agregaları*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

<http://www.teknolojikarastirmalar.com>, (2023). erişim tarihi:15.11.2023.

TS EN 12504-4: (2021). *Determination of Ultrasonic Pulse Velocity*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

TS 7654, (1989). *Kayaçların çekme mukavemetinin dolaylı (indirekt) metotla tayini*, Ankara: TSE

TS EN 933-1, (2012). *Agregaların Tane Büyüklük Tayini, Eleme Metodu*, Ankara:Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 933-9: (2010). *İnce Tanelerin Tayini, Metilen Mavisi Deneyi*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 933-3: (2012). *Agregaların Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi*, Ankara:Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 1097-6: (2013). *Agrega Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 1097-2: (2010). *Agregaların Parçalanma Direncinin Tayini, Los Angeles Deneyi*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS 802, (2009). *Beton Karışım Hesap Esasları*, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

Tuğrul, A. &Yılmaz, M. (2012). *Assesing the quality of sandstone for use as aggregates in concrete*. Magazine of Concrete Research, 64 (12), 1067- 1078.

Tutmaz, Ş. İ. (2009). *Tokat İli Merkez İlçesindeki Agregaya Kaynaklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi*, Tokat: Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yamacı Ünsal, M. (2022). *Mermer Atıkların Üretilen Beton Parke Taşlarının Dayanım Özelliklerinin Araştırılması*, Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Yüksek lisans tezi.

Yapıcı, S. (2002). *Elazığ Yöresindeki Agregaya ve Çimento Malzemesi ile Üretilen Betonlarda Mevcut Katkı Malzemelerinin Uygunluğunun Araştırılması*. Elazığ: Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yu, Z., Shi, C., & Khayat, K. H. (2005). *1st International RILEM Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete-SCC'2005*, China Rilem Publications,

BÖLÜM II

Galeri Açma Makinelerinin Maruz Kaldığı Titreşimlere Genel Bakış

Ayla TEKİN¹
Mustafa Oğuz NALBANT²

ÖZET

Bu çalışma, son yıllarda galeri açma makinelerinin titreşimlerine yönelik araştırmaların kapsamlı bir özetini sunmaktadır. Galeriy açma makineleri (GAM) üzerinde bulunan bütün parçalar, özellikle sert kayaların kesilmesi sırasında

¹Dr. Öğr. Üyesi; Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Manisa, Türkiye. ayla.tekin@cbu.edu.tr
ORCID No: 0000-0002-2547-0872

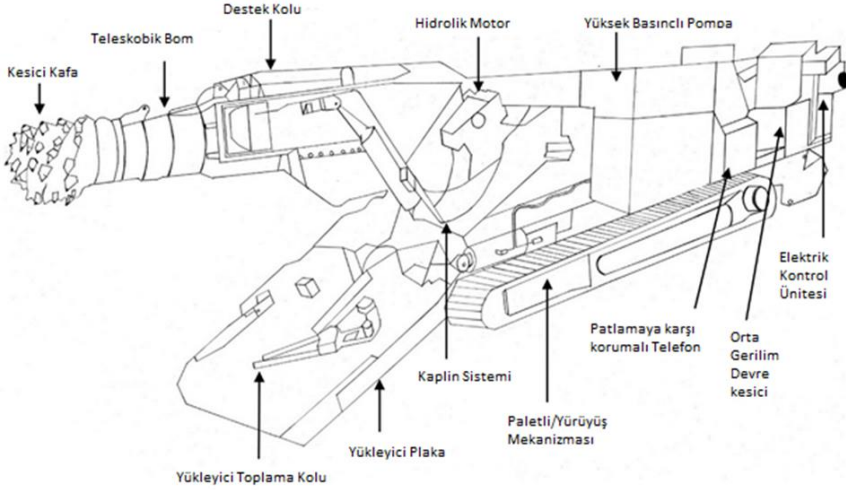
² Öğr. Gör. Dr.; Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Manisa, Türkiye.
mustafa.nalbant@cbu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9311-2241

titreşimlere maruz kalmaktadır. Yapılan araştırmalar, titreşimlerin GAM güvenilirliğini ve performansını etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Titreşimler, GAM bileşenlerinin aşınmasını hızlandırır, makine operatörlerinin güvenliğini tehlikeye atar ve makinenin verimliliğini düşürür. Araştırmacılar, titreşimlerin azaltılması için çeşitli yöntemler önermişlerdir. Bu yöntemler arasında, kesici kafa tasarımının iyileştirilmesi, makine kontrolünün iyileştirilmesi ve titreşim sönümleyicilerin kullanılması yer almaktadır. Gelecekteki araştırmalar, GAM'daki titreşimlerin etkilerini daha iyi anlamaya ve titreşimlerin azaltılması için daha etkili yöntemler geliştirmeye odaklanmalıdır.

GİRİŞ

Galeri açma makineleri demiryolu sistemleri, yol sistemleri, havaalanları, limanların inşaatlarında ve kömür madenciliğinde büyük ölçekli kazı çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha az kazı zemine daha az rahatsızlık verme, patlatma titreşimini ortadan kaldırma, havalandırma gereksinimlerini azaltma ve ilk yatırım maliyetlerini düşürme avantajlarını sağlar. Bu sebeple galeri açma makineleri ile yapılan sert kaya kazısı, mekanik kazı yöntemlerine veya geleneksel delme ve patlatma kazılarına ilginç bir alternatif sunmaktadır. Fakat GAM kesme işlemi sırasında kayanın şekli, sertliği ve çalışma ortamının etkisi nedeniyle kesme kafası tarafından düzensiz şiddetli titreşim üretecektir.

GAM ilk olarak 1950'lerin başında kömürü mekanik olarak kazmak için geliştirildi. Daha sonra kullanımları, yumuşak ve orta derecede sert zemin koşullarında demiryolu tünelleri, karayolları, kanalizasyon ve derivasyon tünellerinin kazılması için GAM'ların yaygın olarak kullanıldığı inşaatlara kadar genişletildi. GAM'lar, 1970'den bu yana, sivil endüstrilerde ana nakliye galerileri, yollar, çapraz kesimler vb. oluşturmak için, madencilik endüstrilerinde ise yumuşak kaya, kömür, endüstriyel mineraller ve evaporit kayaçları çıkarmak için kullanılmaktadır (Deshmukh et al., 2020).



Şekil 1. Tipik bir Galeri Açma Makinasının (GAM) şematik gösterimi

GAM, hibrit bir mekanik ekskavatördür ve kırılmış kayalar için bir konveyöre sahip, boma monteli döner bir kesme kafasından oluşur (Şekil 1). Paletli bir ilerleme yolu, tüm makineyi kaya yüzüne doğru ileri doğru hareket ettirir. Yüksek hareketlilik, ilerleme oranları, güvenlik ve düşük iş gücü GAM'ın avantajlarından bazılarıdır. Yol başlığının ana avantajı, kesme tamburunun küçük çapının sağladığı yüksek kesme gücü yoğunluğudur. Bu, GAM'a diğer mekanik ekskavatörlere göre üstün bir avantaj sağlar. Son gelişmeler sert kaya tünellerinde GAM'ları daha verimli hale getirdi. Zamanla Roadheader'ın gelişimini belirleyen bazı değişiklikler, makine ağırlığının ve boyutunun artması, otomasyon ve uzaktan kontrol özelliklerinin gelişmesi, kesici kafanın ve bomun konumlandırılmasının iyileştirilmesi, hidrolik ve elektrik sistemlerinde ilerlemeler, verimli kesici kafa ve kesici kafa tasarımında metalurjik ilerlemelerdir (Deshmukh et al., 2020).

GAM'ın zaman içindeki gelişimi ve daha sert kayalara uygulanmasıyla birlikte geliştirilmesine odaklandığı açıkça görülmektedir. Ancak iyileştirmelerle birlikte GAM'ın ağırlığı da

arttı; bu da kayanın basınç dayanımı ile makinenin ağırlığının güçlü bir şekilde ilişkili olduğu gerçeğine işaret etmektedir. Bu sonuç aynı zamanda makinenin ağırlığı arttıkça kullanım sorununun da artması şeklindeki dezavantajı vurgulamaktadır.

Bu dezavantajlardan biriside şüphesiz titreşim ve titreşim kaynaklı problemlerdir. Titreşim darbe yükü oluşturur, makine parçalarının yoğunluğuna zarar verir, normal kesme hattı aralığını, kesit derinliğini ve diğer parametreleri değiştirerek makinenin ömrünü ve performans güvenilirliğini etkiler. Bu nedenle, GAM'ın tasarım aşamasında titreşim özellikleri dikkate alınmalı, incelenmeli ve titreşim performansını iyileştirmek için uygulanabilir optimize edilmiş önlemler ortaya konulmalı, makinenin stabilitesi ve güvenilirliği artırılmalıdır. Bu konu galeri açma makineleri hakkında araştırma, tasarım ve üretim yapan bir çok kişi tarafından incelenmiş ve çeşitli araştırmalara konu olmuş ve olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, galeri açma makinelerinin titreşimlerine dair yapılan güncel çalışmalara yer verilmiştir.

Galeri Açma Makinelerinin Titreşim Uygulamaları

GAM kömür veya kayayı kestiğinde, kesmenin döngüsel doğası nedeniyle ciddi bir değişen yoğunluktaki titreşim uyarımlarının aktivitesine maruz kalır. Titreşim darbe yükü oluşturur, makine parçalarına zarar verir, normal kesme hattı aralığını, kesit derinliğini ve diğer parametreleri değiştirerek makinenin ömrünü ve performans güvenilirliğini etkiler. Bu nedenle GAM'ın tasarım aşamasında titreşim özellikleri dikkate alınmalı ve incelenmeli ve titreşim performansını iyileştirmek için uygulanabilir ve optimize edilmiş önlemler ortaya konulmalı, makinenin stabilitesi ve güvenilirliği artırılmalıdır.

Yapılan incelemelerde karşılaşılan ilk çalışmada, Galeri açma makinelerine ait kesici kafalarının titreşimlerini ölçmek için fotogrametrik yöntem ve sensör tabanlı yöntem olmak üzere iki farklı yöntemin değerlendirmesine odaklanıldığı görülmektedir.

Fotogrametrik yöntem: Bu yöntem, kesici kafanın hareketini ve titreşimlerini yüksek hızlı kameralar kullanarak kaydeder. Daha sonra, kaydedilen görüntülerden kesici kafanın konumu ve hareketi hesaplanır.

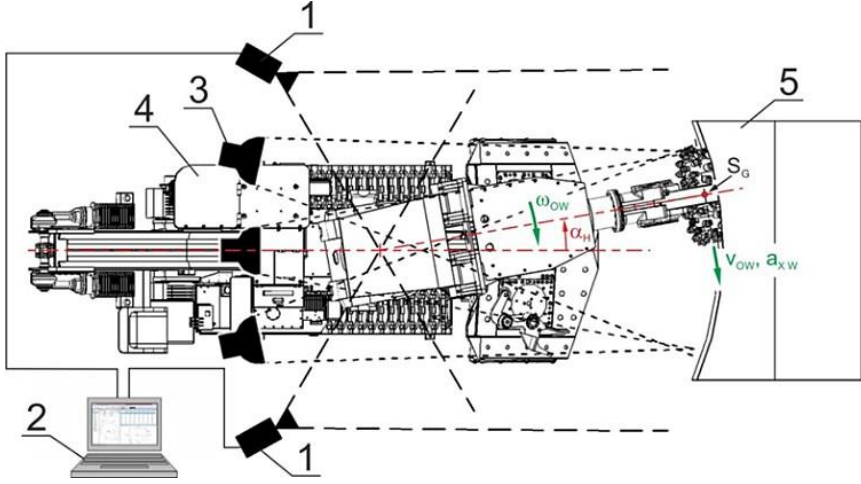
Sensör tabanlı yöntem: Bu yöntem, kesici kafaya doğrudan yerleştirilen sensörler kullanır. Sensörler, kesici kafanın titreşimlerini ölçer ve bu veriler daha sonra analiz edilir.

Araştırma, her iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırmalı olarak sunar ve her yöntemin avantaj ve dezavantajlarını tartışır. Ayrıca, makale kesici kafa titreşimlerinin yol frezesinin performansı üzerindeki etkilerini de tartışmaktadır.

Çalışmanın sonucunda, her iki yöntemin de kesici kafanın titreşimlerini doğru bir şekilde ölçebildiğini göstermiştir. Ancak, fotogrametrik yöntemin daha kapsamlı ve hassas sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Sensör tabanlı yöntem ise daha pratik ve uygun maliyetli bir alternatif olarak sunulmuştur (Cheluska & Mann, 2019b).

Araştırmacıların bir diğer çalışmalarında ise, GAM'ların kesme işlemi sırasında sahip oldukları bomlarda meydana gelen titreşimlerinin analiz edilmesi hedeflenmektedir. Bu amaç için yüksek hızlı kameralardan elde edilen görüntüleri kullanan bir yöntemi sunmaktadır. Yazarlar bu yöntemin geleneksel titreşim sensörlerine göre avantajlarını ve dezavantajlarını tartışmaktadırlar.

Bom tipi GAM'ların özellikle sert kayaların kazılmasında tercih edilmesi bomunda güçlü titreşimler meydana getirmektedir. Bu titreşimler döner tablaya ve GAM'ın gövdesine aktarılır. Bir yandan GAM'ın dayanıklılığı ve güvenilirliği açısından büyük önem taşırken öte yandan, delinmiş bir yol veya tünelin başlık yüzeyinin kesilmesi işleminin gerçekleştirildiği parametrelerin değişkenliğini etkilerler.



Şekil 2. Fotogrametrik ölçüm sistemi elemanlarının test standındaki düzenleme şeması: 1–yüksek hızlı kameralar, 2 – kamera kontrol istasyonu, 3 – aydınlatma, 4 – test nesnesi (R-130 GAM), 5 – kazılmış çimento-kum blok

GAM bomunun titreşim yoğunluğunu belirlemek amacıyla, iki adet yüksek hızlı Phantom Miro LC 120 kameraları temel alan bir fotogrametri sistemi kullanıldı (Şekil 2). R-130 GAM kullanılarak çimento-kum bloğunun kesme işleminin deneysel incelemeleri sırasında bom ve döner tabla hareketleri kaydedildi. Bom ve döner tabla karakteristik noktalarının koordinatlarının zaman akışlarına dayanarak, bomun gerçek titreşim hız ve ivme bileşenlerinin rotaları belirlendi (Cheluska & Mann, 2019a).

Çalışmanın sonucunda, yüksek hızlı kameralar kullanılarak bom titreşimlerinin geleneksel sensörlerden daha doğru ve kapsamlı bir şekilde ölçülebileceğini göstermektedir. Bu yöntem, GAM'ın performansını optimize etmek ve bomun ömrünü uzatmak için kullanılabilir (Cheluska & Mann, 2019a).

Başka bir çalışmada yazarlar, yol inşaatında ve madencilik faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılan GAM'larının çalışması sırasında titreşimlerin meydana gelmesinin kaçınılmaz olduğunu ve hem makine ömrünü hem de çalışma kalitesini etkilediğini

belirtmektedir. Bu nedenle, titreşimlerin doğru bir şekilde ölçülmesi ve analiz edilmesi çok önemlidir.

Çalışmada geleneksel olarak, GAM titreşimlerini ölçmek için ivmeölçerler ve veri kaydediciler gibi sensörler kullanılır. Bu yöntemler, aşağıda ayrıntıları verilen bazı dezavantajlara sahip oldukları vurgulanmaktadır:

Yüksek Maliyet: Sensörler ve veri kaydediciler pahalı olabilir.

Karmaşık Kurulum: Sensörlerin kurulumu ve kablolanması zaman alıcı ve karmaşık olabilir.

Sınırlı Analiz: Geleneksel yöntemler, elde edilen verilerin kapsamlı analizini sınırlandırabilir.

Yazarlar bu dezavantajlar ile karşılaşmamak amacıyla LabVIEW programı tabanında bir çalışmanın doğruluğu söylenmekte ve bu doğrultuda LabVIEW tabanlı test sisteminin, sensörlerden alınan verileri toplamak, analiz etmek ve görüntülemek için LabVIEW yazılımının aşağıdaki avantajlara sahip olduğu savunulmaktadır:

Düşük Maliyet: LabVIEW yazılımı, geleneksel sensörlere ve veri kaydedicilere kıyasla daha uygun maliyetlidir.

Kolay Kurulum: LabVIEW yazılımı, sensörlere kablosuz bağlantı kurmayı kolaylaştırarak kurulum süresini kısaltır.

Kapsamlı Analiz: LabVIEW yazılımı, elde edilen verilerin kapsamlı analizini ve görüntülenmesini sağlar.

Çalışmanın sonucunda sunulan test sistemi, bom tipi GAM'ın titreşimlerini doğru ve güvenilir bir şekilde ölçebildiği ve LabVIEW yazılımının, geleneksel yöntemlere göre titreşim testi işlemini basitleştirmek ve daha uygun maliyetli hale getirmek için etkili bir araç olabileceği vurgulanmaktadır (Zhao et al., 2012).

GAM'larının sürgü kolllarının titreşimleri üzerine yapılan bir çalışmada ise sürgü kolunun GAM stabilitesi üzerindeki etkileri

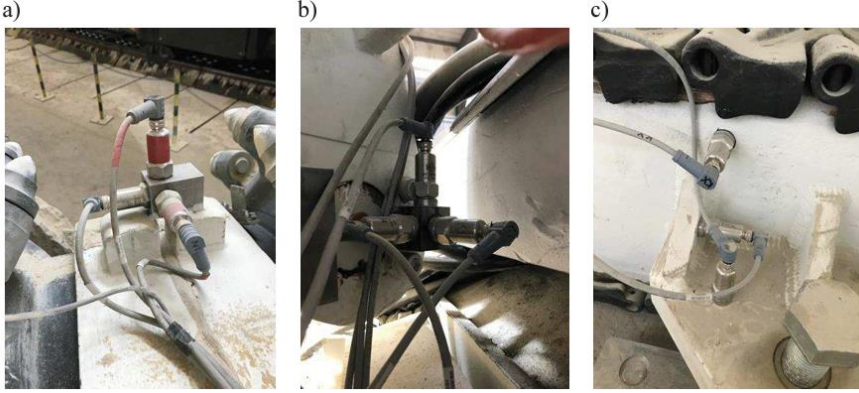
incelenmektedir. Çalışma, sürgü kolunun mekanik yapısına göre bir titreşim modeli oluşturularak ve bu modelin simülasyon yoluyla doğruluğunu test ederek gerçekleştirilmiştir.

Makalenin ilk kısmında, sürgü kolunun mekanik yapısına göre bir titreşim modeli oluşturulmuştur. Bu model, Simulink simülasyon yazılımı kullanılarak simülasyona aktarılmıştır. Simülasyonda, GAM'ın her adımının frekans yanıtı elde edilmiş ve titreşim modelinin doğruluğu teorik değerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

İkinci kısımda, sürgü kolunun çalışma sürecindeki stabilitesi incelenmiştir. Bu inceleme için, GAM ağırlık merkezinin X/Y/Z yönlerindeki titreşim tepkileri simüle edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sürgü kolunun üst ve yan delikleri sürgü kolu tarafından çarpıldığında, titreşimin ağırlık merkezinin yer değiştirmesinin 0.5 mm dahilinde olduğu görülmüştür. Bu da, sürgü kolunun düzgün bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Üçüncü kısımda, tüm makinenin zaman alanı titreşim özellikleri incelenmiştir. Bu inceleme için, GAM'ın sol-sağ salınlı ve yukarı-aşağı salınlı kesme işinin, tüm makinenin titreşim modeli kurulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, sürgü kolu kontrolünün neden olduğu kafa civatası titreşim sapmasının 2 mm dahilinde olduğu görülmüştür. Bu da, GAM kesme performansında sürgü kolunun çok küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Z. Yang et al., 2018).

Bom tipi GAM'ların kollarında kesme işlemi sırasında oluşan titreşimler üzerine yapılan çalışmada ise titreşim yoğunlukları incelenmektedir. Çalışmada, bom kolu üzerinden şekil 3'te görüldüğü gibi çeşitli noktalardan titreşim sinyalleri toplanmıştır. Bu sinyaller RMS (karekök ortalama) yöntemi kullanılarak analiz edilerek bom kolunun mekanik yapısına göre bir titreşim modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3. İvmeölçer sensörlerinin GAM üzerindeki yerleri: a) Bom, b) Döner Tabla c) Gövde

Araştırma sonuçları incelendiğinde, bom kolunun kesme işlemi sırasında oluşturduğu titreşimlerin yoğunluğu, kesici uçların sertliğine, kesicinin hızına ve kesme derinliğine bağlı olarak değiştiği vurgulanmaktadır. Ayrıca kesici uçların sertliği arttıkça, titreşimlerin yoğunluğu azaldığı, kesicinin hızı arttıkça ise titreşimlerin yoğunluğu arttığı gözlemlenmiştir. Kesme derinliği arttıkça ise titreşimlerin yoğunluğu azaldığı sonucuna varılmıştır (Badania, 2019).

GAM'ların dönel tablaların titreşimlerini analiz etmek için yazarlar, yeraltı kömür madenlerinde kullanılan bir GAM'ı incelemişlerdir. Araştırma, döner tablanın çalışma sırasında maruz kaldığı yüklere bağlı olarak titreşimin frekans ve genliğini tespit etmeye odaklanmaktadır.

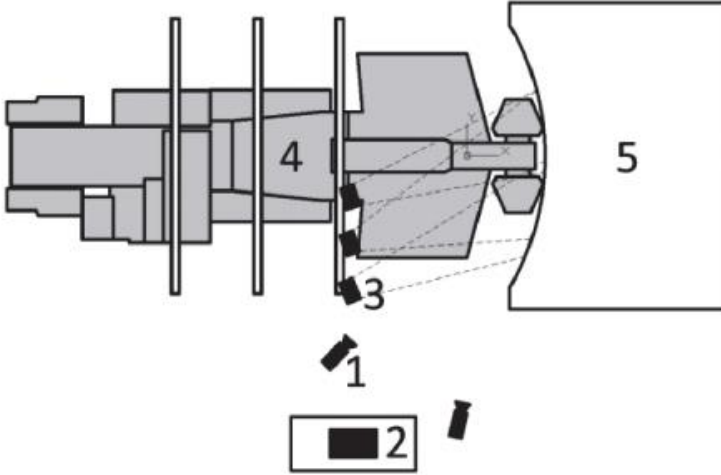
Araştırmacılar, döner tablanın 3D modelini oluşturmak için bilgisayar destekli tasarım (CATIA) yazılımını kullanmış, sonlu elemanlar analizi için ise ANSYS yazılımı kullanmışlardır. Çalışmada döner tablanın yeraltı kömür madenlerindeki gerçek çalışma koşullarını simüle eden çeşitli yükleme senaryolarını oluşturmuştur. Modal analiz, döner tablanın doğal frekanslarını belirlemek için gerçekleştirilmiş ve zaman alan analizi, döner tablanın zaman içindeki titreşimini belirlemek için incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda ise döner tablanın en yüksek titreşim genliğinin kesici aletlerin yakınında meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca döner tablanın frekans spektrumu, kesme işleminin frekansından etkilendiğini göstermiştir. Son olarak ise döner tablanın titreşim genliğinin, çalışma koşullarına bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştır (M. Zhang et al., 2018).

Literatürde karşılaşılan bir diğer çalışmada bom tipi yol GAM'larda kullanılan SGNSS tipi vagonlarda karmaşık titreşim ortamında meydana gelen hataları telafi etmek için çalışmışlardır. SGNSS'nin karmaşık titreşim ortamında oluşan hatalarını telafi etmek için bir yöntem geliştirilmiştir.

Araştırma, SGNSS'nin karmaşık titreşim ortamında oluşan hatalarının, kesme işleminin frekansından ve titreşim genliğinden etkilendiğini göstermiştir. Kesme işleminin frekansı arttıkça, hataların büyüklüğü artmaktadır. Titreşim genliği arttıkça, hataların büyüklüğü de artmaktadır. Araştırmada geliştirilen hata telafi yöntemi, SGNSS'den gelen verilerin gürültüsünü azaltmakta ve hatalarını telafi etmekte başarılı olmuştur. Hata telafi yönteminin uygulanmasıyla, SGNSS'nin konum ve yönelim doğruluğu önemli ölçüde artmıştır (Shen et al., 2021).

Yazarlar çalışmalarında kesici uçların yörünge ve kesici kafanın titreşim seviyesini ölçmek için yüksek hızlı kameraların kullanılmasını önermektedir. GAM'ın kesici kafa kullanılarak madencilik işlemi sırasında kesme uçlarının davranışını belirlemek için bir optik sistem kullanılmaktadır. Sistemin ana unsurları yüksek hızlı kameralar olarak öne çıkmaktadır Şekil 4. TEMA Motion 3D yazılımı (videolarda kayıtlı görüntülere dayalı olarak hareketi analiz etmek için tasarlanmıştır) ile birlikte kesme işlemi sırasında bomun, kesici kafaların ve kesme uçlarının yörüngelerinin ayrıntılı bir analizine olanak sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada ölçümlerin gerçekleştirilme sürecinin yanı sıra, bom titreşimlerinin ve kesici kafa üzerindeki kesme uçlarının hareket yörüngelerinin seçilmiş kesme türleri için (ilerleyen ve azalan) karşılaştırmalı analizinin sonuçları da sunulmaktadır.



Şekil 4. Test istasyonundaki optik ölçüm sistemi bileşenlerinin yerleşimi: 1 – kameralar; 2 – kamera operasyon istasyonu; 3 – aydınlatma; 4 – GAM; 5 – beton blok

Çalışma sırasında belirlenen bom ve kesici kafa titreşimleri önemlidir ve GAM'ın modellenmesi sürecinde veya madencilik sırasında GAM 'ın kazı sisteminin parametrelerinin otomatik olarak kontrol edilmesi sırasında göz ardı edilemeyeceği belirtilmiştir. Ayrıca kesici kafa konumunun ayarlanan teorik konumdan kayıtlı sapmaları genellikle kesici kafa üzerindeki kesme uçlarının kesme derinliğinden daha yüksektir, bu da kesme uçlarının kazılmış kayaya ulaşamamasına veya kesme derinliğinin teorik değerin üzerine çıkmasına neden olduğu görülmektedir. Böylece kesici kafanın güçlü titreşimleri tüm GAM'ın iş dinamiklerinde önemli bir artışa neden olduğu vurgulanmıştır.

Titreşim ölçümleri için yüksek hızlı kameraların kullanılması veya nesnelere hareket yörüngelerinin belirlenmesi teknik endüstrilerde oldukça yaygın olduğu ancak madencilik sektöründe yenilikçi bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Çalışmada optik ölçüm sistemlerini kullanırken karşılaşılan temel sorunlara da değinilmiştir. Yüksek toz içeriği, ölçülen nesnelere çevresinde yeterli alanın

bulunmaması ve yetersiz aydınlatmalar sorunlar olarak öne çıkmaktadır. Ancak laboratuvar koşullarında bu engellerin üstesinden gelinebilir ve yüksek hızlı kameralara sahip optik ölçüm sisteminin, test edilen makinenin bileşenlerinin hareketlerini ve titreşimlerini belirlemede değerli bir araç olduğu da çalışmada kanıtlanmıştır (Mann et al., 2017).

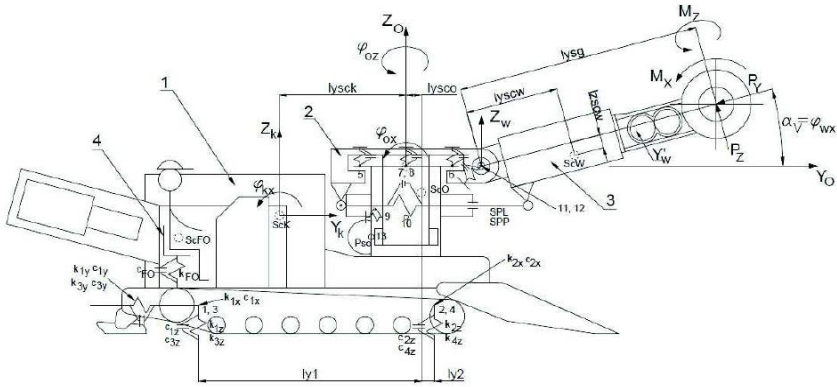
Yapılan diğer bir çalışmada, GAM titreşimlerinde meydana gelen sinyallerinin segmentasyon algoritmasını, sabit dağılım parametrelerine dayanarak analiz etmeyi hedeflemektedir. GAM'ların çalışma sırasında maruz kaldığı çeşitli yükler nedeniyle titreşim sinyallerinin büyük varyanslar gösterebileceğini belirtilmektedir. Bu nedenle, sinyali anlamlı segmentlere bölmek ve analiz etmenin önemi vurgulanmaktadır.

Çalışmanın amaçları olarak; sabit dağılım parametrelerine dayalı yeni bir segmentasyon algoritması geliştirmek, geliştirilen algoritmayı GAM'ların titreşim sinyallerine uygulamak ve segmentasyon algoritmasının etkinliğini değerlendirmek olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda yazarlar ilk olarak GAM'ın çalışma prensibini ve titreşim kaynaklarını incelemişlerdir. Daha sonra sabit dağılım parametrelerinin (karakteristik parametre α , stabilite parametresi β ve ölçek parametresi σ) hesaplanmasını sağlayan yöntemler tanımlanmış ve segmentasyon algoritması, titreşim sinyallerindeki ani değişimleri tespit etmek için kullanılmıştır. Algoritma, GAM'ın gerçek titreşim sinyalleri kullanılarak test edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, sabit dağılım parametrelerine dayalı segmentasyon algoritması, geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi performans gösterdiği, titreşim sinyallerindeki ani değişimleri başarıyla tespit ettiği ve bu algoritmanın GAM'ın anlık durumunu izleme ve arıza tespiti için kullanışlı bir araç olabileceği idda edilmiştir (Wodecki et al., 2015).

GAM'larda meydana gelen titreşimlerin incelendiği bir başka çalışmada, bom tipi GAM gövdesinin dinamik bir modelini sunulmaktadır. İncelenen makinenin temel alt montajlarını ve bir

GAM operatörüyle birlikte bir koltuğu temsil eden dört titreşimli kütle, ayrı bir yapıya sahip şekil 5'te şematize edilen mekansal bir fiziksel model oluşturulmuştur. Matematiksel bir model, ikinci dereceden 19 doğrusal olmayan diferansiyel denklemden oluşmaktadır. Model, simülasyon modelinin oluşturulduğu MATLAB/Simulink ortamında smile edilmiştir. Çalışma, kurulan modeli kullanan sayısal simülasyon sonuçlarının örneklerini sunmaktadır.



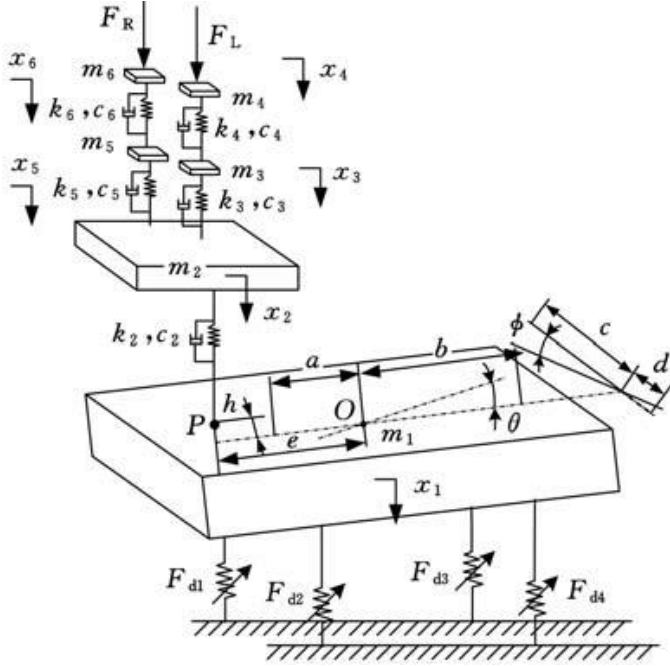
Şekil 5. GAM gövdesinin fiziksel modeli (YZ düzleminin görünümü): 1- GAM kasası, 2- döner tablanın hareketli kısmı, 3- kesme başlıklı bom, 4- yol açma operatörüyle birlikte koltuk

Oluşturulan dinamik model, bom tipi GAM gövdesinin seçilen yapısal düğümlerindeki dinamik yükleri belirlemek ve çalışma sürecinde oluşan titreşimleri analiz etmek amacıyla simülasyon araştırmaları yapılmasına olanak tanır.

Çalışmanın sonucunda, GAM'ın gövde titreşim seviyesi, kesme hızı, kesme derinliği ve kaya sertliği gibi çalışma koşullarına bağlı olarak değiştiği, titreşim seviyesinin GAM'ın çalışma performansını etkilediği, yüksek titreşim seviyelerini GAM'ın aşınma ve yıpranmasına neden olabileceği ve operatörlerin sağlığını ve güvenliğini etkileyebileceği vurgulanmıştır.

Bununla birlikte, yapılan araştırmayı pratik olarak kullanabilmek için deneysel doğrulama gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu amaçla çalışmanın bir sonraki adımında bilgisayar simülasyonu yoluyla elde edilen sonuçların, modellenen makinenin gerçek dinamik özelliklerine uygunluğu deneysel araştırmaların sonuçlarına göre belirleneceği belirtilmiştir (Cheluska & Gawlik, 2016).

Farklı bir teorik çalışmada ise, sanal simülasyon yöntemi, Bekker modeli ve Newmark- β yöntemini birleştirerek, üst deliği delerken yol frezesi üzerindeki bir bolter sisteminin doğrusal olmayan titreşim özelliklerini analiz etmektedir. Çalışmada, DYNA yazılımı ile sanal simülasyon aracılığıyla ankraj bitiminin direnç yükü elde edilmiş ve örnekleme teoremi kullanılarak yük rasgele çalışma yüküne ayrıştırılmıştır. GAM paletinin ve tünel taban zeminindeki doğrusal olmayan ilişki Bekker modeli Şekil 6'daki gibi ile ifade edilmiş ve Newton kinematik yasasına göre GAM'daki bolter sisteminin çok derecelendirmeli doğrusal olmayan titreşim denklemi kurulmuştur. Denklem Newmark- β yöntemi ile çözölmüş ve tüm makinenin titreşim özellikleri analiz edilmiştir.



Şekil 6. GAM makinesinin doğrusal olmayan titreşim modeli

Çalışma sonucunda, tüm makinenin titreşim durumunun, GAM paletinin ve tünel taban zemin arasındaki temas kuvvetinin etkisiyle kaotik durumda olduğunu göstermektedir. Titreşim miktarı, aynı anda pervane titreşimi ve yuvarlanma titreşimi olmasına rağmen çok küçük olduğu ve tüm makinenin dikey titreşimi baskın olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmanın sonuçlarının, GAM'ın tasarımında ve operatörün sağlığını ve güvenliğini iyileştirmek için kullanılabileceği vurgulanmaktadır (Theodoridis & Kraemer, n.d.).

“Derin madencilikte verimli kaya kırma teknolojisi acil olarak çözülmesi gereken önemli bir problemdir. Kömür madeni kazımı için mevcut yardımcı kaya kırma teknolojileri kırım aşamasında kömürde meydana gelen kirlilik ve sonraki yıkama sürecinde zorluklar ve de araç malzemeleri için yüksek gereksinimler ve gibi sorunlarla karşı karşıyadır”. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada değindikleri bu soruna çözüm üretmeyi amaçlamaktadır.

Bu doğrultuda bom tipi GAM'ların döner silindiri için alternatif valfe dayalı aktif bir titreşimli kesme sistemi tasarlanıp performansı araştırılmıştır. Çalışmada ilk etapta MATLAB programında simülasyon yapılarak teorik sonuçlar elde edilmiş. Daha sonra ise tasarımın uygulaması yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

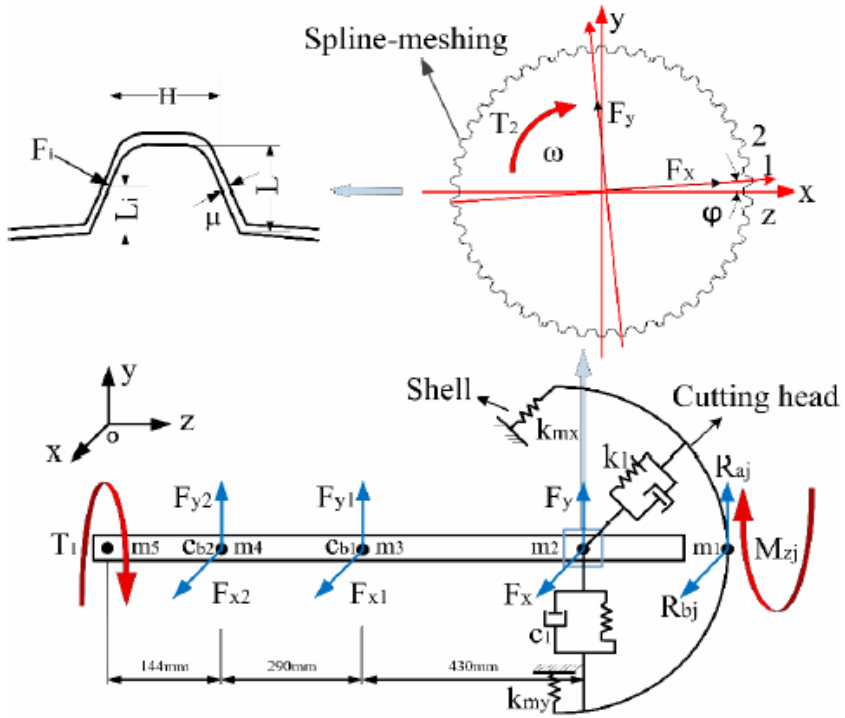
Simülasyon sonuçları ile aktif uyarma durumundaki deneysel sonuçlar arasındaki hata %12'den az olduğu ve ikisi birbirleriyle uyumlu olduğu bildirilmiştir. Sistemin, kesme yükünü azaltarak ve kesme verimliliğini artırarak tünel açma işlemini daha verimli hale getirebildiği belirtilmiştir. Sonuçlar aktif titreşimli kesme sisteminin geleneksel kaya kırma teknolojilerine göre daha iyi kesme performansı sağlayabileceğini göstermektedir (Xie et al., 2023).

GAM'ların titreşimleri üzerine yapılan bir diğer çalışma, GAM'lar da dahil olmak üzere mekanik ekipmanlar için titreşim analizinin, çalışma özelliklerini ortaya çıkarmak, güvenilirliğini incelemek ve yapısının tasarımını optimize etmek için ana yöntemlerden biri olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada GAM'ların yeraltı kazısında yaygın olarak kullanılan makineler olduğu, ancak çalışmaları sırasında yüksek titreşimler ürettikleri, bu titreşimlerin, yeraltı yapılarının hasar görmesine, madencilerin sağlığının etkilenmesine ve çevre kirliliğine neden olabildiği belirtilmiştir. Bu nedenle, GAM'ların titreşim özelliklerini anlamak ve kontrol etmek önemine değinmişlerdir.

Çalışma kapsamında, yeraltı madeninde çalışan bir GAM'ın titreşim testi yapıldı ve kısaca tanıtıldı, ardından makinenin farklı kritik bileşenlerindeki, yani kesme kolu ve onu destekleyen döner tabladaki titreşim gücü ve titreşimin frekans yapısı açıklandı. Ayrıca, sinyallerin zaman-frekans analizine dayanarak, makinenin teorik çalışma frekanslarının ötesinde birkaç tipik anlık frekans seçildi. Vurgulanan bu frekanslar, özel anlık yanıt frekansları olarak ele alındı ve bileşenler üzerindeki etki iş yükü araştırmalarının yanı sıra GAM'ın kritik bileşenlerinin operasyonel titreşim modal

tanımlaması üzerine yapılan araştırmalarda kullanılması için belirlendi (Y. Yang et al., 2017).

GAM'ların performansının ve güvenilirliğinin, kesici kafa-rotor-rulman sistemi gibi önemli bileşenlerin dinamik davranışına bağlı olduğunu savunan araştırmacılar çalışmalarında kesici kafa ve konsol sisteminin dinamik özelliklerini incelemek için, 13 serbestlik derecesine (13-DOF) sahip, yanal burulma bağlantılı şekil 6'da modeli verilen kesici kafa-rotor-yatak sistemine (CHRBS) sahip doğrusal olmayan bir dinamik model kurmuşlardır.



şekil 6. CHRBS'nin dinamik modeli

Çalışma kapsamında spline açıklığı ve yatak temas kuvvetinin doğrusal olmayan bağlı faktörleri temel olarak dikkate alınır ve zamanla değişen yük altında CHRBS'nin dinamik analizi

gerçekleştirilir. Sonuçlar, kesici kaya kalınlığı ile kaotik hareket ve yarı periyodik hareket durumları arasında pozitif bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Sistemin kaotik davranışını azaltmak için rulmanların tasarımı veya amortisörlerin kullanımı gibi önlemler alınabileceği önerilmiştir. Ayrıca, kaya sertliğine bağlı olarak sistemin dinamik davranışını tahmin etmek için bu çalışma kullanılabilirliği, bunun kesici kafa-rotor sisteminin ömrünü uzatmak için bakım programlarının geliştirilmesine yardımcı olabileceği belirtilmiştir (Huang et al., 2019).

Yine bir kesici kafa-rotor sisteminin titreşimlerine odaklanan farklı bir çalışmada, araştırmacılar bom tipi bir GAM'ın kesici kafa-rotor sisteminin rastgele sert kaya yükü altındaki dinamik özelliklerini araştırmaktadır.

Araştırmacılar kesici kol transmisyon mili sisteminin güç aktarım özelliklerine doğru şekilde hakim olmanın, Bom tipi GAM'ın güvenilirliğini ve çalışma kapasitesini artırmanın anahtarı olduğunu vurgulamaktadır. GAM kesme kolunun rijit-esnek kaplin titreşim karakteristiği modellenmesine dayanarak, GAM kesme kolunun transmisyon mili sistemindeki farklı alt yapıların titreşim özellikleri dikkate alınmış, dinamik karakteristik modeli kapsamlı bir şekilde oluşturulmuş ve sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme koşulları altında kesici kafanın titreşim özelliklerini karşılaştırmak için XTR260 model sert kaya GAM'nın parametreleri dikkate alınmıştır. Deney, yapay bir beton duvar kullanılarak gerçekleştirildi ve ölçüm sonuçları, yüksek performanslı bir GAM'ın dinamik tasarımının temelini oluşturan yerleşik dinamik modeli doğruladı. Çalışmanın sonuç kısmında sistemin titreşim seviyelerini azaltmak için;

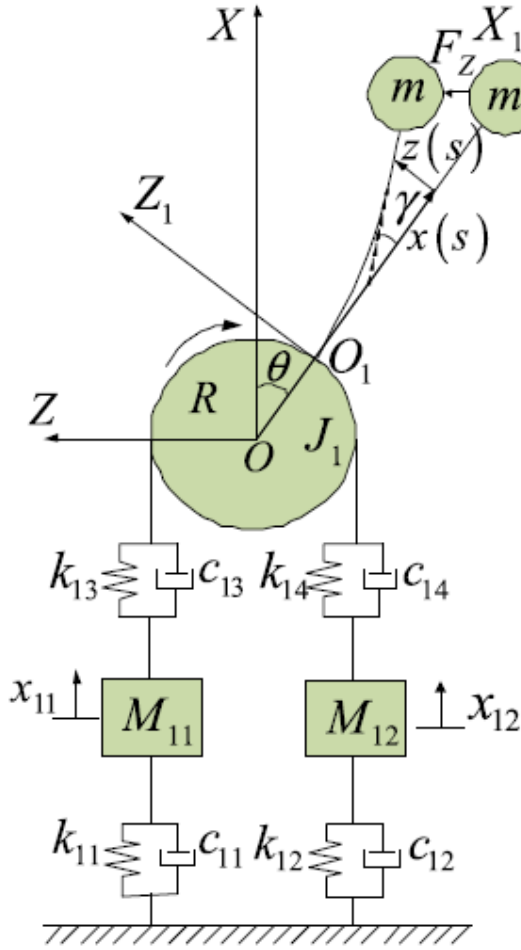
- Daha sert ve dayanıklı malzemelerin kullanımı
- Amortisörlerin kullanımı
- Kesme işleminin optimizasyonunun doğru yapılması önerilerinde bulunulmuştur.

Ayrıca araştırmacılar çalışmanın, kesici kafa-rotor sisteminin ömrünü uzatmak için uygun bakım programlarının geliştirilmesine yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir (Z. Zhang et al., 2022).

GAM'ın kesici kafasının, kesme işleminin ana bileşeni olduğu, çeşitli faktörlerden trr önemli titreşim ve darbe yüklerine maruz kaldığını belirttikleri çalışmada, bu faktörlerin, kesici kafanın performansını ve mrnr önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında araştırmacılar kesici kafanın titreşim özelliklerini ve dinamik yükünü analiz ederek bu bileşenin performansını ve güvenilirliğini artırmak için değerli bilgiler sağlamışlardır.

Çalışmada, kesici kolun kinematik modeli geliştirilmiştir. Bu model, kesici kafanın dinamik davranışını analiz etmek için Lagrange denklemlerinden faydalanılmıştır. Daha sonra, kesici kafanın titreşim davranışı, farklı kesme koşulları altında sayısal olarak simüle edilmiştir. Ayrıca, dinamik yükü tanımlamak için yeni bir yöntem önerilmiştir.

Sonuçlar kısmında, motorun ve kesme tamburunun mafsallı pozisyonundaki ve motorun mafsallı pozisyonundaki titreşim genliğinin diğerlerine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca farklı noktalardaki kesme koşullarının tepkisi de doğrulanmıştır. Yazarlar, kesici kafanın titreşim özelliklerinin ve dinamik yük tanımlamasının, yk spektrumunun daha da geliştirilmesi sonucunda, yapısal tasarımda optimizasyon için teorik bir temel sağlayacağını belirtmişlerdir(Wang et al., 2016).



Şekil 7. Döner kesme altında kesici kafanın doğrusal olmayan dinamik modeli

Dönel kesme yöntemi GAM'ların en önemli kesme işlemlerinden birisi olarak yorumlanan çalışmada, kesme işlemi sırasında oluşan titreşimlerin, ekipmanın performansını ve ömrünü olumsuz yönde etkileyebileceği problemi ele almışlardır.

Çalışmada, döner kesme takımının şekil 7'de verilen kinematik modeli geliştirilmiştir. Bu model, kesme işlemi sırasında

oluşan titreşimi analiz etmek için Lagrange denklemleri ve hızlı Fourier dönüşümü (FFT) ile birlikte kullanılmıştır. Kesme işleminin titreşim davranışı, farklı kesme koşulları altında sayısal olarak simüle edilmiştir. Ayrıca, gerçek GAM üzerinde yapılan deneylerle titreşim özellikleri ölçülmüştür.

Çalışmanın sonuç kısmında, döner kesme işlemi sırasında, yüksek frekanslı (1000 Hz'den fazla) ve geniş bantlı titreşimlerin oluşmakta olduğu, titreşim genliğinin, kesme derinliği, kesme hızı ve kaya sertliği gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği, yüksek frekanslı titreşimlerin, kesme takımının aşınma ve yıpranmasını hızlandırabildiği ve aynı zamanda, ekipmanın gürültü seviyesini de artırdığı gibi bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulguların titreşim izleme sistemlerinin geliştirilmesine de katkı sağlayabileceği ve oluşturulan sistemin ise, kesme işlemi sırasında oluşan titreşim seviyelerini izleyerek kesme takımının aşınma ve yıpranma durumunu tahmin etmek için kullanılabileceği vurgulanmıştır (Ma, 2023).

Deneysel bir çalışmada, kömür madenciliğinde önemli bir ekipman olan ve zorlu çalışma ortamı ve yoğun çalışma şartları nedeniyle daha yüksek bir arızalanma oranına sahip olduğunu vurguladıkları GAM'ları ele almışlardır.

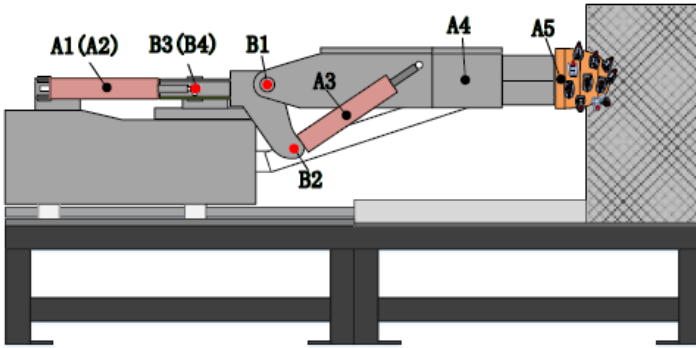
Çalışmada, GAM'ın gerçek çalışma koşulları altında titreşim sinyalleri ölçülmüştür. Bu sinyaller, RML (Referans manifold öğrenme) yöntemi kullanılarak anlamlı bir alt manifolda indirgenmiştir. İndirgenmiş manifold üzerinde küme analizi ile temel titreşim frekansları belirlenmiş ve spektral analiz kullanılarak farklı titreşim kaynaklarının tespiti yapılmıştır.

Çalışmanın sonuçları, RML yönteminin karmaşık titreşim sinyallerinin analizini kolaylaştırdığını göstermektedir. GAM'ların titreşim davranışı, farklı frekans bileşenlerinden oluşmakta olduğu, bu frekans bileşenlerinin, kesme işlemi sırasında oluşan çeşitli titreşim kaynaklarına karşılık gelmekte olduğunu vurgulamışlardır. Bu noktada RML yönteminin, farklı titreşim kaynaklarını tanımlamak için kullanışlı bir araç olduğu belirtilmiştir (Jiang et al., 2023).

İncelenen son çalışmada ise GAM'ların dönel tablası üzerinden gerçek değerler topladıkları deneysel bir çalışma görülmektedir.

Çalışmada, şekil 8'de yerleri belirtilen sensörler ile dönel tablo üzerinde farklı noktalardan gerçek çalışma koşulları altında titreşim sinyalleri toplanmıştır. A1 ve A2 sol ve sağ döner hidrolik silindirlere, A3 kaldırma hidrolik silindirinde, A4 kesme kolunun ön kısmının sağ uç yüzeyinde, A5 kesici kafanın maksimum çap uç yüzeyine, B1-B4, döner tablanın üst, alt, sol ve sağ menteşeli kulak deliklerinin pim mili üzerine, A1-A5 uyarı noktası ve B1-B4 hedef noktası olacak şekilde A5×4 OSPA (Operasyonel Transfer Yolu Analizi) modeli kurulmuştur.

Toplanan bu sinyaller, OSPA yöntemi kullanılarak anlamlı bir alt manifolda indirgenmiştir. İndirgenmiş manifold üzerinde küme analizi ile temel titreşim frekansları belirlenmiştir. Spektral analiz kullanılarak farklı titreşim kaynaklarının tespiti yapılmıştır.



Şekil 8. Döner tablanın titreşim ölçüm noktası düzeni

Çalışmanın sonuç kısmında, OSPA yönteminin döner tablaların titreşim davranışını analiz etmek için etkili bir teknik olduğunu göstermektedir. Ayrıca yöntemin, karmaşık titreşim sinyallerini anlamlı bir şekilde indirgeyebilme ve farklı titreşim kaynaklarını tanımlayabilme yeteneğine sahip olduğu

vurgulanmaktadır (Miao, X. I. E., He, W. A. N. G., & Zhixiang, 2023).

SONUÇ

Son yıllarda galeri açma makinelerinin titreşimleri üzerine yapılan çalışmalarda, aşağıdaki temel konular üzerinde odaklanılmıştır.

Titreşim ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi: Titreşim ölçümleri, galeri açma makinelerinin titreşim özelliklerini belirlemek ve titreşim kaynaklarını tanımlamak için gereklidir. Bu amaçla, yüksek hızlı kameralar, ivme sensörleri ve gerilim sensörleri gibi çeşitli sensörler kullanılmaktadır.

Titreşim modellerinin geliştirilmesi: Titreşim modelleri, makinelerin titreşim özelliklerini analiz etmek ve titreşim kaynaklarını tahmin etmek için kullanılır. Bu amaçla, doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik modeller geliştirilmiştir.

Titreşim azaltma yöntemlerinin geliştirilmesi: Titreşim azaltma yöntemleri, makinelerin titreşimini azaltmak ve makinelerin güvenilirliğini ve performansını iyileştirmek için kullanılır. Bu amaçla, titreşim sönmüleyiciler, ağırlık azaltma ve yapısal tasarım optimizasyonu gibi yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, galeri açma makinelerinin titreşim özelliklerinin daha iyi anlaşıldığı ve titreşim azaltma yöntemlerinin geliştirildiği söylenebilir. Ancak, bu alandaki çalışmalar hala devam etmektedir ve titreşim azaltma konusunda daha etkin yöntemler geliştirilmesi gerekmektedir.

Öneriler

Galleri açma makinelerinin titreşimlerini azaltmak için aşağıdaki öneriler yapılabilir:

Titreşim ölçümlerinin daha yaygın olarak yapılması: Titreşim ölçümleri, makinelerin titreşim özelliklerini belirlemek ve titreşim kaynaklarını tanımlamak için gereklidir. Ancak, bu ölçümler genellikle yeterince yapılmamaktadır. Titreşim ölçümlerinin daha

yaygın olarak yapılması, makinelerin titreşim özelliklerini daha iyi anlamamızı ve titreşim azaltma yöntemlerini daha etkin bir şekilde geliştirmemizi sağlayacaktır.

Titreşim modellerinin daha gerçeğe yakın olması: Titreşim modelleri, makinelerin titreşim özelliklerini analiz etmek ve titreşim kaynaklarını tahmin etmek için kullanılır. Titreşim modellerinin daha gerçeğe yakın olması, makinelerin titreşim özelliklerini daha doğru bir şekilde anlamamızı ve titreşim azaltma yöntemlerini daha etkili bir şekilde geliştirmemizi sağlayacaktır.

Titreşim azaltma yöntemlerinin daha kapsamlı olması: Mevcut titreşim azaltma yöntemleri genellikle tek bir titreşim kaynağına yöneliktir. Ancak, galeri açma makineleri birden fazla titreşim kaynağına maruz kalabilir. Titreşim azaltma yöntemlerinin daha kapsamlı olması, makinelerin titreşimini daha etkili bir şekilde azaltmamıza yardımcı olacaktır.

Bu önerilerin uygulanması, galeri açma makinelerinin titreşimlerini azaltmak ve makinelerin güvenilirliğini ve performansını iyileştirmek için önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Badania, P. I. (2019). *Analiza intensywności drgań wysięgnikowego kombajnu chodnikowego generowanych procesem urabiania. I*, 12–32.

Cheluska, P., & Gawlik, J. (2016). Computer modelling of roadheader's body vibration generated by the working process. *Vibrations in Physical Systems*, 27, 67–74.

Cheluska, P., & Mann, R. (2019a). Determination of boom vibrations of the road header during cutting based on the analysis of images from high-speed cameras. *New Trends in Production Engineering*, 2(1), 37–49. <https://doi.org/10.2478/ntp-2019-0004>

Cheluska, P., & Mann, R. (2019b). Vibration identification of the roadheader cutting head using high-speed cameras. *MATEC Web of Conferences*, 252, 03018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925203018>

Deshmukh, S., Raina, A. K., Murthy, V. M. S. R., Trivedi, R., & Vajre, R. (2020). Roadheader – A comprehensive review. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 95(September 2019), 103148. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103148>

Huang, Z., Zhang, Z., Li, Y., Song, G., & He, Y. (2019). Nonlinear dynamic analysis of cutting head-rotor-bearing system of the roadheader. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(3), 1033–1043. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0106-7>

Jiang, H., Ji, X., Yang, Y., Qu, Y., & Wu, M. (2023). Vibration Signal Analysis of Roadheader Based on Referential Manifold Learning. *Shock and Vibration*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/8818380>

Ma, Y. (2023). Vibration characteristics analysis of roadheader rotary cutting process. *Results in Engineering*, 19(May), 101320. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101320>

Mann, R., Czerwiński, K., & Matusik, K. (2017). Analysis of cutting picks trajectory and cutterhead vibrations of roadheader with use of high-speed cameras. *Mining - Informatics, Automation and Electrical Engineering*, 3 (531)(3), 77. <https://doi.org/10.7494/miag.2017.3.531.77>

Miao, X. I. E., He, W. A. N. G., & Zhixiang, L. I. U. (2023). *Vibration source analysis and structural optimization design of rotary table based on OTPA*.

Shen, Y., Wang, P., Zheng, W., Ji, X., Jiang, H., & Wu, M. (2021). Error compensation of strapdown inertial navigation system for the boom-type roadheader under complex vibration. *Axioms*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/axioms10030224>

Theodoridis, T., & Kraemer, J. (n.d.). *Analysis of Vertical Nonlinear Vibration Characteristics for Bolter System on Roadheader under Random Excitation*.

Wang, J., Zhang, Y., & Dong, L. (2016). Analysis of vibration characteristics and dynamic load identification in continuous miner cutting arm. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 17(13), 20.1-20.7. <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.17.13.20>

Wodecki, J., Stefaniak, P., Wylomanska, A., Zimroz, R., & Zak, G. (2015). Segmentation algorithm of roadheader vibration signal based on the stable distribution parameters. *Vibroengineering Procedia*, 6, 7–12.

Xie, M., Li, Y., Nie, R., Liu, Z., Mao, J., Zhang, H., & Yu, X. (2023). Research on the performance of the active vibration cutting system for the rotary cylinder of a tunneling machine. *Scientific Reports*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44044-3>

Yang, Y., Qu, Y., Tang, X., Chu, Y., & Wu, M. (2017). Vibration Test and Analysis of a Working Tunnel Boring Machine (TBM) in Underground Mine. *DEStech Transactions on*

Engineering and Technology Research, iceta, 710–715.
<https://doi.org/10.12783/dtetr/iceta2016/7079>

Yang, Z., Zheng, N., Zhu, C., & Le, D. (2018). Vibration Stability Analysis of the Bolter System in Roadheader. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170(4).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/4/042077>

Zhang, M., Lyu, F., Tang, X., Yang, Y., Ji, X., & Wu, M. (2018). Analysis of Vibration of Roadheader Rotary Table Based on Finite Element Method and Data from Underground Coalmine. *Shock and Vibration*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4396520>

Zhang, Z., Chen, S., Liu, Y., Wang, H., & Cao, C. (2022). Cutting Mechanism Rotor System Dynamic Characteristics of Cantilever Roadheader under Random Hard Rock Load. *Actuators*, 11(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/act11030083>

Zhao, L., Lv, X., & Tong, W. (2012). Research on boom-type roadheader vibration testing based on the LabVIEW. *Advanced Materials Research*, 418–420, 1988–1991.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.418-420.1988>

BÖLÜM III

Kapanan Mermer Ocaklarının Doğaya Yeniden Kazandırılması

Didem EREN SARICI¹
Melike YAMACI ÜNSAL²
Nilgün KIZILKAYA³

Giriş

Günümüzde artan insan nüfusuna bağlı olarak artan endüstriyel faaliyetlerle beraber hammadde, enerji maddeleri, yarı mamul madde ihtiyacı ve talebi de artmıştır. Sanayileşme ve endüstriyel faaliyetlerin hızlı gelişimi beraberinde hammadde kaynaklarının da hızlı şekilde tüketimini getirmiş, bu faaliyetlerin faturası da genellikle doğa ve çevre tarafından ödenmiştir. Ancak doğa ve çevreye hiçbir olumsuz etkinin olamayacağı bir üretimin söz

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, Orcid Id: 0000-0003-2639-5226

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, Orcid Id:0000-0002-8526-5686

³ Malatya Turgut Özal Üniversitesi Hekimhan MES MYO, Maden Teknolojisi Bölümü, Malatya, Türkiye, Orcid Id: 0000-0003-4931-5807

konusu olamayacağı da açık ve net bir gerçekken bu zararın minimize edilmesi de bir zorunluluktur. Bu nedenle insanlığın doğru hareket tarzı doğayı korumak adına endüstriyel faaliyetleri durdurmak değil, üretimi ve üretim için yapılan tüketimi doğa ve çevre dostu yöntemler kullanarak gerçekleştirmektir (Kalaycı & Uzun, 2017).

Sürdürülebilir kalkınmanın değişik tanımlamaları yapılabilir. Bu tanımlardan bir tanesi; bugünün gereksinimlerini karşılarken gelecek kuşaklarında gereksinimlerini karşılayabilme olanağından taviz vermeden yapılan kalkınma, bir diğeri ise; doğal sermayeyi tüketmeden ve gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılayabilme olanaklarını ellerinden almadan ekonomi ile ekosistem arasında denge kuran bir kalkınma modelidir (Demirbugan, 2020).

Sürdürülebilir kalkınmanın temel hedefi zaman içerisinde hem yaşam kalitesini hem de çevre korumacı politikaları birbiriyle ilişkili ve bütünsel bir hale getirmektir. Madencilik sektöründe de sürdürülebilir kalkınma yaklaşımını benimseyerek üretim yapmak gittikçe önem kazanan bir konu olmuştur. Sürdürülebilir kalkınma yaklaşımının madencilik sektörüne uygulanması yeni rezerv sahalarının aranıp bulunması teknolojilerinin geliştirilmesinden başlayarak maden yataklarının etkin işletimi, rehabilitasyonu, atık bertarafının düzgün yapılması ve atık miktarının minimize edilmesi, böylelikle çevresel etkilerin minimizasyonu ile ilişkilidir. Yani sürdürülebilir madenciliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları bulunmaktadır. Çevre boyutu madencilik faaliyetleri süresince doğal kaynağın, ekosistemin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasını ifade etmektedir. Ekonomik boyut; yapılan madencilik faaliyetleri neticesinde kaynağın tüketilmesiyle oluşacak gelirin başka üretim faaliyetlerinde kullanılmasıdır. Sosyal boyut ise; madencilik faaliyetlerinde karar verme sürecinde yer alan tüm paydaşların maliyet ve faydadan eşit şekilde pay almasını sağlamaktır. Yapılacak madencilik projelerinin ekonomik etkinliği olan çevre ve sosyal açılardan kabul edilebilir biçimde gelişebilen işletimi, rehabilitasyonu ve kapatılması sürdürülebilir kalkınma için önemlidir (Demirbugan, 2020).

Madencilik sektörü de doğası gereği yer kabuğunda bulunan doğal kaynakları bulup çıkarmak ve sanayi ve endüstrinin istediği şekilde üretmekle yükümlüdür. Bu faaliyetler sırasında doğaya belirli oran ve ölçüde zarar verildiği, bırakılan artıklar ve morfolojik yapıda oluşan değişimlere yol açıldığı gerçeği yadsınamaz. Doğal kaynaklarımızı üretirken, doğal olanı bozmak, bozulanı iyileştirmemek, flora ve faunayı olumsuz etkileyecek ve insanların haklı isyanına sebep olacaktır.

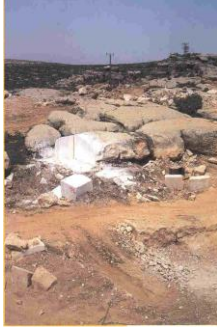
Madencilikte sürdürülebilirlik kavramının temel unsurları; çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik başlıkları altında toparlanabilir. Çevresel sürdürülebilirlik toprak erozyonunu engellemek ve su kaynaklarını, toz ve gaz emisyonlarını kontrol altına almak, biyoçeşitliliği olumsuz etkilememesi için tedbirler olarak üretim yapmak, ekonomik sürdürülebilirlik yerel ekonomiye katkı yaparak yerel istihdamı sağlamak, maden çıkarımı ile ekonomik katma değer oluşturmak ve bu değeri adil şekilde dağıtmak, sosyal sürdürülebilirlik ise madencilik faaliyetlerini planlama süreçlerine yerel toplulukları dahil etmek, çalışanların haklarını korumak, yerel toplulukların sosyal ve kültürel gelişimine katkı yaparak çevre dostu teknolojiler ile madencilik süreçlerini daha sürdürülebilir kılmalıdır. Sürdürülebilirlik bir denge içinde ele alınmalı, çevresel ve toplumsal etkileri en aza indirmek için etkili yönetim stratejileri içermelidir.

Türkiye, dünya doğaltaş rezervinin %40'ını elinde bulundurması sebebiyle mermer ihracatında tedarikçi konumundadır. Bu doğaltaş rezervlerinin üretimi, ülke ekonomisinin kalkınması noktasında kaçınılmazdır. Çeşitli fakültelerden bir çok akademisyen, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkileri ve bu etkilerin en aza indirgenmesini konu alan çalışmalar yapmış ve bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu bağlamda, işletilebilir rezervi tükenmiş veya bir sebepten kapatılmak durumunda olanı doğaltaş ocaklarının yeniden doğaya kazandırılması çalışmaları göz ardı edilmemeli, maliyetleri ve getirileri çevre bilinci kapsamında titizlikle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Uygulamalarda çevre mühendisleri, orman mühendisleri, peyzaj mimarları gibi farklı

meslek gruplarına ihtiyaç duyulmakta ancak iş, maden mühendislerinin öncülüğünde ve koordinatörlüğünde yürütülmektedir.

Madencilik faaliyetlerinin sonunda sahayı terk ederken sahanın rehabilitasyonunun yapılması bir yükümlülüktür. Bu durum gelişmiş ülkelerde madencilik faaliyetlerinin bitiminde değil faaliyetlerin ilk adımında başlamakta ve üretimle ilgili tüm adımlar gelecekte sahanın rehabilite edileceği gerçeği göz önüne alınarak atılmaktadır.

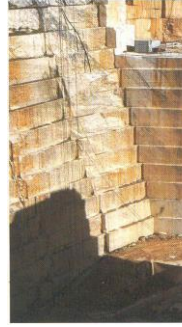
Büyük oranda açık işletme modeliyle yapılan mermer ocakçılığının, dünyada kapalı işletme şeklinde yapılan bazı örnekleri de vardır. Açık ocak mermer madenciliği yatağın bulunduğu jeomorfolojik konuma göre ova, yamaç ve zirve tipi şeklinde sınıflandırılırken işletmede uygulanan basamak teşkiline göre tek ve çok kademeli olarak gruplamalar yapılmaktadır. Ova tipi mermer ocakları tek kademeli, çok kademeli, kazan tipi ocaklar, doruk ve yamaç tipi mermer ocakları tek veya çok kademeli ocaklar olarak sınıflandırılır. Bu yöntemlerin birbirleriyle geçişli olarakda uygulamaları bulunmaktadır. Örneğin yamaç tipi bir mermer ocağında bir süre devam eden üretim sonucunda ova tipi üretime geçilebilir. Şekil 1 a-c'de ova tipi mermer ocaklarının tek kademeli, çok kademeli ve kazan tipi üretim yapan örneklerine ait görseller verilmektedir (Kulaksız, 2012).



a



b

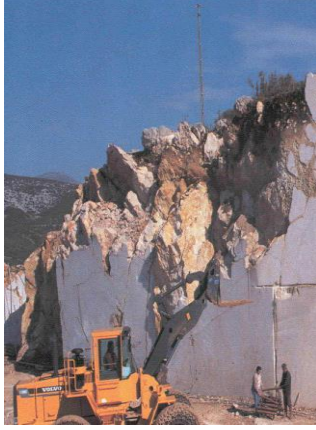


c

Şekil. 1. Ova tipi farklı kademelerde üretim yapan mermer ocaklarından görünümüler a: Tek kademeli, b: Çok kademeli, c: Kazan tipi

Ova tipi mermer ocaklarında üretim faaliyetleri topoğrafik seviyenin altında devam eder. Bazı ova tipi ocaklarda dik veya dike yakın ocak aynası üretim alanını çevrelediğinden çukur ocaklar olarak da adlandırılırlar. Bu ocaklarda yağışlardan kaynaklanan sular ayrıca yeraltı suları maliyet artırıcı faktörlerdendir (Kulaksız, 2012).

Dağ ve tepelerin yamaç kısımlarında, dağlık bölgelerin sırtlarında veya vadi yamaçlarında bulunan mermer yataklarının işletme metodlarına yamaç tipi mermer ocakları adı verilir. Yamaç tipi mermer ocaklarında ise tepe ve yamaç kesimlerde üretim yapılan tüm yüzeylerin ocağın taban seviyesinden yüksekte olduğu ocaklardır. Su probleminin az yaşandığı bu ocaklarda ulaşım yollarının az ve uzun oluşu maliyeti artırması nedeniyle olumsuz bir faktördür. Ayrıca topoğrafik yükselti, yatağın dalımı ve iklim koşulları da problem yaratabilir. Şekil 2 a-b'de tepe ve yamaç tipi mermer ocaklarına ait görüntüler verilmiştir.



a



b

Şekil 2. Tepe (a) ve yamaç (b) tipi mermer ocaklarının görünümleri

Dağın doruk kesimlerinde (tepelerde) veya yamaçlarında yer alan mermer ocaklarına tepe/doruk tipi mermer ocakları denir. Şekil 3’de doruk tipi mermer ocağına ait bir örneğin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3. Doruk tipi mermer ocağı

Mermer madencilik faaliyetleri doğal taş rezervine erişmek için örtü tabakasının kaldırılması anlamına gelen dekapaj işlemi ile başlamaktadır. Örtü tabakası olarak adlandırılan bu tabaka değişik bitkisel artıkları bünyesinde barındıran ölü örtü tabakası ve bahsedilen iki tabakanın üzerine yerleşen diri örtü tabakasından oluşur. Bu tabakalar biyolojik ve ekolojik olarak bir kaynak şeklinde flora ve faunaya hayat veren unsurlar olarak değerlendirilirler. Dekapaj işlemi yapıldıktan sonra basamaklar teşkil ettirilir ve üretime başlanır. Açık mermer ocağı bu aşamadan sonra şekillenmeye başlar. Üretim yapıldıkça ve mermer blokları ana kaya kütesinden ayrıldıkça mermer ocağının yatay ve düşey boyutu genişlemekte ve ortaya çıkan boşluk miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır. Blokların ana kaya kütesinden alınması morfolojide değişiklik yapan ana unsurlardandır. Gerçekleşen üretim faaliyetleri sonucunda işletmede morfolojik yapıyı bozan derin çukurların yanı sıra yığma tepelerde oluşmaktadır (Oğurlu, Aksu & Sözen, 2014).

Üretim faaliyetleri sırasında oluşan bu çukur ve tepeler, alanların doğaya yeniden kazandırılması projelerinde genel yapı sınırlarını oluşturacak ve üretim sırasında oluşacak molozlar sahanın bazı bölgelerinde dolgu olarak, dekapaj çalışmalarında kaldırılan toprak örtüsü ise tekrar örtü tabakası olarak kullanılacaktır. Herhangi bir maden ocağı projesi henüz fizibilite aşamasındayken dekapaj ve üretim miktarı afaki olarak belirlendiğinden doğaya yeniden kazandırma projesinin, faaliyet başlamadan önce planlaması yapılmaktadır ve ÇED raporu içeriğinde bu projeye yer verilmektedir.

Şekil 4’de çukurlaşmanın ve atık sahalarının bulunduğu ve orman içinde üretim faaliyetleri yapan bir mermer ocağına ait görüntü verilmiştir.

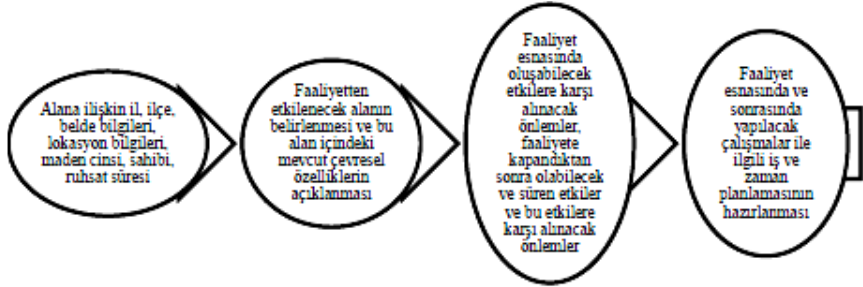


Şekil 4. Orman sahası içinde bulunan bir mermer ocağı

Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Kazandırılması Yönetmeliği

Türkiye’de açık veya kapalı ocak modeliyle işletilen ocakların, rezervin tükenmesi veya artık üretim yapılmasının ekonomik olmaması sebepleriyle faaliyetlerinin durdurulması ve kontrolsüz bir şekilde sahanın terk edilmesi söz konusudur. Rehabilitasyon işlemlerinin, faaliyetin durdurulmasıyla birlikte mali akışın da durması sebebiyle gerçekleştirilmediği ve işletme sahiplerinin bu konuda duyarsız davrandıkları sıklıkla gözlemlenen durumlardır. Ocakların bu şekilde terk edilmesi, görüntü kirliliği oluşturmasının yanında flora ve faunanın da olumsuz etkilenmesine sebebiyet vermektedir. Çevre açısından istenmeyen durumların ortaya çıkmasını engellemek ve arazinin madencilik faaliyetlerinden önceki doğal haline yakın bir duruma getirilebilmesi için gerekli olan ve bilimsel temellere dayanarak hazırlanan reklamasyon çalışmaları ile mümkündür. Türkiye’de Orman Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının ve alt dairelerinin söz konusu bu çevre duyarsızlığının önüne geçmek ve durumu daha kontrollü hale getirmek için yürürlüğe koymuş oldukları ‘Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği’ kapsamında rehabilitasyon faaliyetlerinin nasıl yapılması gerektiği açıkça belirtilmiştir.

Şekil 5’de kapanan mermer sahalarının doğaya yeniden kazandırılması ile ilgili adımlar verilmiştir (Kalaycı &Uzun, 2017).



Şekil 5. Doğaya yeniden kazandırma formatı

14 Aralık 2007 tarihinde ÇED yönetmeliğine ek olarak 26730 sayılı resmi gazetede yayımlanan yönetmelik ile orman dışı alanlardaki madencilik faaliyetleri, arazi kazıları, dökümler, doğaya terkedilen atıklar ile bozulan doğal yapının tekrardan kazandırılması ile ilişkili usul ve esaslar belirlenmiştir.

Madencilik Faaliyetleri Sonrasında Maden Alanlarının Yeniden Değerlendirilme Olanakları

Mermer sahaları kapandıktan sonra habitat, alanları, yürüyüş, binicilik, kuş gözlemciliği gibi değişik amaçlarla kullanılacak açık mekanlar olarak kullanımları mümkündür. Ayrıca bu bölgelerde tarım yapılması amaçlanabilir. Su depolanması, suyun tekrar eldesi için veya düzenli katı atık depolama alanı olarak planlamaları yapılabilir. Ayrıca bu sahaların kentsel gelişim için yeni yerleşim, sanayii yada ticari faaliyetler için farklı arazi kullanımına dönüştürülmesi mümkündür.

3.1. Kapatılan Maden Sahalarının Rehabilitasyon Teknikleri

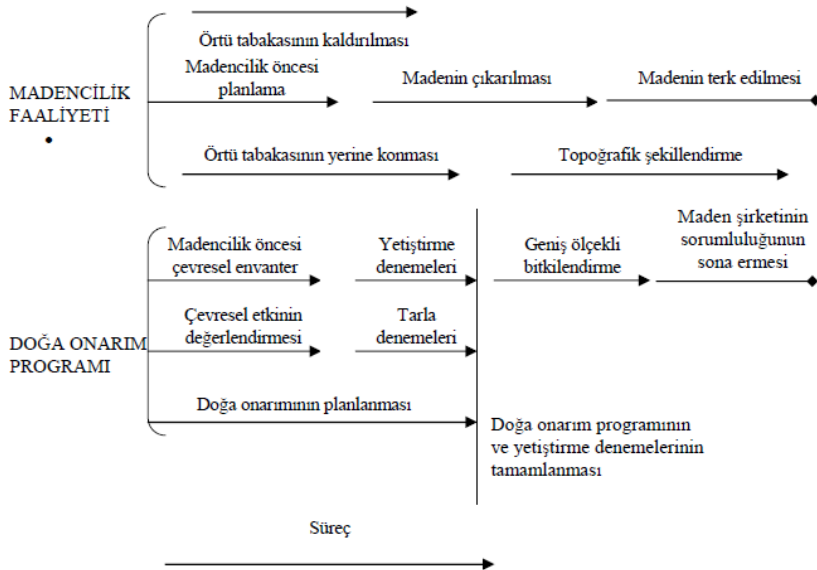
Tahrip olmuş bir alanın verimliliğine, ekonomik, ekolojik estetik olarak sahip olduğu değerlere yeniden kavuşması doğa onarım çalışmaları ile mümkündür. Bu çalışmalar dört aşamada yürütülmektedir.

Alan Kullanım planlaması: Maden alanının farklı yönlerden irdelenerek önerilen kullanım planlarına göre uygunluğunun belirlenmesidir.

Yeniden düzenleme yapılması: Yeniden düzenleme işlemleri arasına kazı-döküm çalışmalarının planlamaya uygun şekilde yapılması, bitkisel toprağın depolanarak serilmesi, tesviye, drenaj ile ilgili alt yapı durumunun hazırlanması

İyileştirme: Verimliliğini yitirmiş olan alanın biyolojik verimliliğini artırmak için toprağın değerlendirilerek yeniden bitkilendirmenin yapılması

İzleme ve Bakım: Düzgün şekilde yapılan düzenleme ve iyileştirme çalışmaları sonrasında arazinin verimli kullanımı için izleme ve bakım çalışmaları yapılması. Doğa onarım süreçlerinin madencilik faaliyetlerine paralel olacak şekilde şematik gösterimi Şekil 6'da verilmiştir (Cındık&Acar, 2010).



Şekil 6. Madencilik faaliyetlerine paralel doğa onarım süreçleri

Mermer ocakları kapatıldıktan sonra Dünya ve Türkiye’de restorasyon amaçlı işlemler genelde; restorasyon amaçlı patlatma, manuel olarak açılan çukurların bitkilendirilmesi, hidrotohumlama, kanallar oluşturarak basamak düzlüklerinin rehabilite edilmesi, mermer ocağının açık hava sinemasına dönüştürülmesi, şevlere çuvallar sarkıtılarak bitkilendirme yapılması, ocak çukurlarının gölet haline getirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Restorasyon Amaçlı Patlatma

Restorasyonun başlangıç safhasını oluşturur. Kontrollü bir patlatma biçimi olan işlemde amaç madencilik faaliyetleri ile kazılmış veya işlem yapılmamış olan şevlerin doğal haline benzer bir arazi biçimine gelebilmesi ve ekosistemin doğal halde devam edebileceği alan oluşturmaktır. Yöntemin temel amacı gevşek yapıdaki patlatma yığınlarını meydana getirerek nihai basamak yüksekliklerini azaltmak olan bu işlemde arazi şeklinin duraylı ve uygun olmasının yanı sıra patlatma parametreleri (geometri, süre, patlayıcı türü) de dikkatle hesaplanmalıdır.

Bitkilendirme

Bitkilendirme aşamasında ilk olarak aynaların bitkilendirilmesinin zorunlu olduğu ayrıca yetiştirilecek bitki türlerinin seçiminde hava, su kirliliği, ışık ve gölge durumu, iklim koşulları toprağa uyumluluk gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Pamukçu, 2004).

Hidrotohumlama

Yeni ve kullanışlı bir yöntem olarak görülen ve verimsiz, steril toprakların yeşillendirilmesi amacıyla uygulanan bu yöntem; sıvı bir sentetik yapıştırıcıyla selüloz tohum, ve gübrenin su ile karıştırılıp sıvı bir çözelti şeklinde araç üzerindeki bir hortum ile erozyon tehlikesi barındıran şev boyunca gezdirilerek yamaca püskürtülmesi işlemidir. Şev duraylılığını sağlayan bu işlemde arazinin özellikleri, karışımdaki bileşenlerin miktarı, bitkilerin türleri, tohumların dış etkenlerle taşınımının engellenmesi, toprak özelliklerinin

iyileştirilmesi başarı ölçütleridir. Yöntem dik ve engebeli şevlerde uygulanamaz (Pamukçu, 2004).

Şevlere Çuvallar Sarkıtarak Yapılan Bitkilendirme

Hafif, gözenekli çuha içerisinde otsu tohumlar, gübre ve toprak doldurulduktan sonra şevlerin üst kesiminden farklı boylardaki halatlarla ayna üzerine sarkıtılarak kayaca çakılmakta ve kazıklara bağlanmaktadır. Yağmur etkisiyle tohumlar filizlenerek salınan kökler çuval dışından çıkarak ayna üzerinde toprağa ihtiyaç duymadan kayaç çatlaklarına tutunarak büyümeye başlamakta ve böylece ayna bitkilendirmesi ek bakım ve sulama olmadan sağlanmaktadır.

Ocak Çukurunun Gölet Haline Getirilmesi

Ocak göletleri fiziki göletlerden farklıdır. Kuvvetli yağışlar ve fırtınaların ardından zamanla fazla miktarda doldurma eğiliminde olurlar ve derinlikleri artar. Ayrıca yeraltı suyu akışı veya drenaj havzalarından akan sulara çukurlara dolar. Maden göletlerinde relatif derinlik %10-40 olarak belirtilmekte ve kimyasal özellikleri göleti çevreleyen kayaç formasyonunun bileşimi, yeraltı suyunun alkalinitesi, taşınan malzeme özellikleri tarafından belirlenmektedir. Mermer ocaklarında göletler formasyon özelliklerinden dolayı bazik bir durumdadır (Pamukçu, 2004).

Basamaklara Pasa Dökümü

Bu yöntemin esası, üretim sırasında kazılan örtü malzemesinin veya toprak tabakasının basamaklardan aşağıya doğru dökülerek basamağın eğimini tolare edilebilir hale sokmak ve tehlike arz etmeyecek bir duruma getirmektir. Dökülen bu malzeme üzerine tohumlar püskürtülerek veya doğal yolla çimlenmesi beklenerek bir rehabilitasyon sağlanabilir. Ancak buradaki dezavantaj, bitkilenme sağlanana kadar geçen sürede toprak erozyonu görülme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Şekil 7’de basamaklara pasa dökümü ile şev açısı değiştirilen bir ocağın görünümü verilmiştir (Legwailla, Lange&Cripps, 2005).



Şekil 7. Basamaklara pasa dökümü ile şev açısını değiştirme

Boşlukların doldurulması

Bu teknik, ocak üretimi sırasında ortaya çıkan molozların ya da pasanın toprak örtüsüyle birlikte üretim sonrası oluşan boşluklara doldurularak yeni bir yüzey alanı elde edilmesinden ibarettir. Ancak yüksek oranda üretim yapan ocaklarda, ortaya çıkan pasa miktarıyla, ocaktan çıkarılan taş hacmi dikkate alındığında çok mümkün olmayabilir. Dışarıdan destek malzeme getirilmek istendiğinde bunun maliyeti çok yüksek olacaktır dolayısıyla küçük ve orta ebadlı ocak sahalarında tercih edilebilir. Bu teknikte ortamdaki kayalar hali hazırda dolgu malzemesi olarak kullanılacağından ve üzerinde bir toprak örtü tabakası bulunacağından potensiyel kaya düşme riskini ortadan kaldıracaktır. Ocakta oluşan doğaltaş atıklarının geridönüşümü sağlanıyorsa bu teknik uygulanamayacaktır çünkü alınan malzemenin yerine doldurulabilecek malzeme kalmamış ya da yetersiz olacaktır. Şekil 8’de boşlukların doldurulması tekniği ile oluşturulmuş bir sahanın görüntüsü verilmektedir.



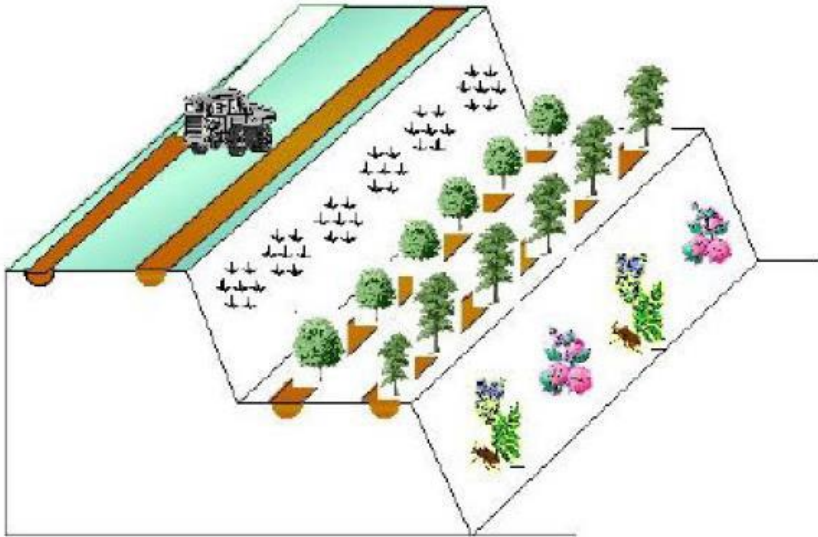
Şekil 8. Boşlukların doldurulması tekniği ile meydana gelmiş yeni bir saha

Basamakların Bitkilendirilmesi

Basamak yüzeylerine toprak ve atık malzemeler serilerek veya kanallar açarak fidan dikimi veya tohum ekimi yapılması yöntemin esasını oluşturur. Dikilen fidanların zamanla büyümesiyle, kök sistemleri kayayı tutacak ve duraylılık bozulmamış olacaktır. Bu teknik, basamak doldurma tekniği gibi çok fazla malzeme gerektirmediğinden az pasa ve toprak örtüsü depolanmış ocakların rehabilitasyonu için uygundur. Bitkilerin büyümesiyle birlikte saha, bir çok hayvanın yaşam alanı olacaktır. Bu teknikte dezavantaj ise, istenilen bitkilendirme koşulları sağlanana kadar geçen süreçte kaya düşmelerinin ve şev duraysızlıklarının önüne geçilememesidir. Şekil 9'da basamak bitkilendirme uygulamasına ait bir görüntü, Şekil 10'da basamak bitkilendirmesinin örnek plan çizimi verilmiştir.



Şekil 9. Basamakların bitkilendirilmesi



Şekil 10. Basamakların Bitkilendirilmesi plan çizimi

Restorasyon Patlatmaları

Bu teknik, basamak yapılarının düzensiz patlatılmasıyla sahanın, arazinin genel yapısına yakın bir hale getirilmesini amaçlar. Basamak açılı azaltılıp düzensiz hale getirilerek rehabilitasyon işlemi tamamlanmış olur. Restorasyon patlatmaları, ilk olarak doğaltaş ocaklarında denenmiş ve sert doğaltaş ocaklarının restorasyonuna oldukça uygun olduğu belirlenmiştir. Patlatmalar, ocak içerisinde özellikle dik basamak açılarının olduğu bölgelerde uygulanabilir. Bu yöntemin maliyeti, diğer yöntemlerin maliyetleri ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Bazı bölümlerin üzerine toprak serilerek bitkilendirme alanı sağlanmış olacaktır. Patlatmalar sonucunda duraysızlıklar meydana gelebilmekte ve bunların yapılacak patlatma tasarımıyla veya patlatma sonrası işlemlerle kontrol altına alınması gerekmektedir. Şekil 11’de restorasyon patlatmaları ile genel yapıya uygun hale getirilmiş bir sahaya ait görüntü verilmiştir (Legwailla, Lange&Cripps, 2005).



Şekil 11. Restorasyon patlatmalarıyla genel yapıya uygun hale getirilmiş bir saha.

Doğal Onarım

Bozulan sahanın, bitkilerin köklenmesi, üremesi gibi doğal süreç içerisinde meydana gelen bir prosestir. Deneme kesimleri yapılmış çok küçük ebatlı alanların terk edilmesi sonucu ortamdaki doğal döngü ile birlikte bu onarım sağlanmış olur (Legwailla, Lange&Cripps, 2005). şekil 12’de doğal onarım yöntemiyle restore edilmiş eski mermer ocağı görüntüsü verilmiştir.



şekil 12. Doğal onarım yöntemiyle restore edilmiş eski bir mermer ocağı görünlümü

Kapanan Mermer Ocaklarında Rehabilitasyon Kapsamında Bitkilendirme Yapılması

Kapanan mermer ocaklarında bitkilendirme çalışmaları için erozyona dayanıklı, derin ve güçlü kök sistemine sahip olan ve bünyesinde suyu tutabilen bitki türlerinin seçimi önemlidir. Seçilecek bitki türü iklimsel, toprak koşullarına uyumlu olmalı sadece rüzgar erozyonuna değil gürültü ve toz emisyonunu da önleyici nitelikte olmalıdır. Bunlara ek olarak kolaylıkla çoğaltılıp çoğaltılamayacağı ve ekonomik olarak temin edilip edilemeyeceği konularına da dikkat etmek gerekir (Cındık & Acar, 2010).

Bitkiler onarım işlerinde şu görevleri üstlenirler. Toprak yüzeyini korurlar. Yağmurun doğrudan toprak yüzeyine yüksek enerji ile düşmelerinin önüne geçerek enerjilerini absorbe ederler ve toprağın yüzeyini örtüleyerek yüzeydeki su ve hava hareketini engelleyip erozyonu engellerler. Ayrıca toprak kütlelerini derin kesimlere kadar tutarak toprağın harekete geçmesini engellerler. Çürüdüklerinde toprağın organik madde ve su tutma miktarını artırırılar. Transpirasyon yaparak su döngüsüne katkı sağlarlar. Bu görevleri göz önünde bulundurularak seçilen bitki türlerinin üretim ve bakımının kolay gelişiminin hızlı olması, kök sistemlerinin derin ve güçlü, su tutma kapasitesinin yüksek olması ayrıca gürültü ve rüzgarı engelleyici özellikte olmasına dikkat etmek gerekir (Cındık & Acar, 2010; Akpınar, 2005)

Bu bağlamda kapanan mermer ocaklarında yöre halkına ve işletmenin kapanması neticesinde işsiz kalan işçilere kazanç sağlama olanağı sağladığı için tercih edilen bir bitki türü olan kapari bitkisi, özellikle yurt dışında rağbet gören, yüksek talep alan bir bitkidir. Kapari bitkisi yetiştirmek için fosfor, potasyum ve kalsiyumca zengin kalker ve kil içeriği yüksek olan toprağa ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı işletmeye açılan sahada yapılan üst örtü tabakasının sıyırılması esnasında veya gübreleme ile karşılamak mümkündür. Kalker sever bir bitki olması nedeniyle kapanan mermer sahalarında kapari kolaylıkla yetiştirilebilmektedir. Şekil 13 a, b de kapanan mermer ocağı sahasında üretimi yapılan kapari bitki sahası görünümü ve kapari bitkisinin genel görünümü verilmiştir.



a



b

Şekil 13.a: Kapari yetiştirme sahası, b: kapari bitkisi genel görünümü

Sonuç

Yasal mevzuatlar maden sahalarının ekolojik hayata uyum sağlamak zorunda olduğunu ifade etmektedirler. Üretime başlamadan önce rehabilitasyon projesinin hazırlanarak üretim planlamasının bu proje ile entegre edilmesi ileride yapılacak rehabilitasyon çalışmalarının başarılı olmasında önemli faktörlerden biridir. Mevcut toprak yapısının uygun olduğu bölgelerde fidan dikimi, basamakların yüzey kesimleri ile pası döküm sahalarına ağaç tohumlarının serpilmesi gibi yöntemler saha rehabilitasyonunda uygulanan yöntemlerdir.

Çevresel gürültü, toz, işletilen maden sahalarının jeomorfolojik yapısında, ikliminde gelişen olumsuz değişimler, bitki faunasının ve verimli üst toprak tabakasının kaybı, bitki örtüsü tahribatına bağlı olarak gelişen besin zinciri ve madde döngüsü zararı, yaban hayatının zarar görmesi gibi konular madencilik faaliyetlerinin doğaya verdiği zararlar arasında yer alan konu başlıklarıdır.

Sürdürülebilir kalkınma kapsamında ele alınması gereken bir konu olan madenlerin rehabilitasyonu ile çevresel bozulma minimum seviyeye indirilirken bozulan arazinin ekolojik olarak verimli şekilde dönüşümü sağlanabilir. Rehabilitasyonu sağlanan

maden ocakları ile madencilik çevrimi boyunca zarar göre ekosistemden sağlanacak toplumsal fayd akımları artış gösterir.

Kaynaklar

Akpınar, N. (2005). 'Madencilik Faaliyetleri Sonrası Onarım Çalışmalarında Bitkilendirme Süreci.' *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, 5-6 Mayıs, Ankara, 159-164.

Cındık, Y.& Acar, C. (2010) Faaliyeti Bitmiş Taş Ocaklarının Yeniden

Rehabilite Edilmesi ve Doğaya Kazandırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11 (1):11-18

Demirbugan, A. (2020) Madencilikte Sürdürülebilir Rehabilitasyon Yaklaşımı: Lusatia Linyit Havzası Deneyimi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2): 68-73.

Israel A. Legwaila, I.A. , Lange, E. & Cripps, J. (2015). Quarry Reclamation in

Englans : A Review of Techniques. *Journal of American Society of Mining and Reclamation*, 4(2), 55-79
DOI:[10.21000/15020055](https://doi.org/10.21000/15020055)

Kalaycı, M.&Uzun, O. (2017) Madencilik sonrası mden alanlarının rekreasyonel değerlendirilmesi. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 232-244. doi.org/10.21733/ibad.2131

Kulaksız, S. (212) Dağal Taş (Mermer) İşletme Yöntemleri. *Madencilikte Çevre Yönetimi* (s.1-69). Afyon: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.

Oğurlu, İ., Aksu, G.A. & Sözgen, T.Ö. (2014). İşleyen ve işi bitmiş taş ve mermer ocaklarının peyzaj, rekreasyon ve biyotop tasarım potansiyeli. *Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu*, 18-20 Eylül, Isparta, 227-241.

Pamukçu, Ç. (2004). Açık ocaklarda alternatif rehabilitasyon modellerinin geliştirilmesi ve örnek bir uygulama. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.

