

Yenikaracaören (Kütahya) Bazaltlarının Demiryolu Balastı Olarak Kullanılabilirliği

Mehmet KOZAK^{1*} 

Öz

Bu çalışma ile Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; bazalt ocağında incelemeler yapılarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere örnekler alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde fiziksel özelliklerin tespiti için Balast Teknik Şartnamesinde istenilen Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direnç tayini, Mikro-Deval ile aşınma direnci tayini, Magnezyum Sülfat deneyi, tane yoğunluğu ve su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Kayacın köken ve isminin tespiti için ise petrografik analiz yapılmıştır. Polarizan mikroskop incelemesi sonucunda kayacın; magmatik kökenli yüzey kayacı olduğu tespit edilmiş ve Kayaçların Modal Minerolojik Sınıflamasına göre kayaç bazalt olarak tanımlanmıştır. Parçalanma direnci (Los Angeles aşınma direnci) % 11, tane yoğunluğu 2,73 Mg/m³, dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için MgSO₄ deneyi) değeri % 1, aşınmaya karşı direnç (Mikro-Deval) % 6, su emme oranı ise % 0,7 olarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının; yüksek hızlı tren, hızlı tren ve konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışma, yapımı devam eden Ankara-İzmir, proje aşamasında olan Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatlarına yakın konumda olan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının söz konusu bu hatların balast ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirliği hakkında fikir sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Balast, Bazalt, Demiryolu balastı, Los Angeles, Mikro-Deval, Yenikaracaören Kütahya.

Useability of Yenikaracaören (Kütahya) Basalts as Railway Ballast

Abstract

This study aimed to investigate the usability of Yenikaracaören (Kütahya) basalts as railway ballast. Scope of work; Examinations were made in the basalt quarry and samples were taken to be used in experimental studies. In order to determine the physical properties of the samples taken, resistance to fragmentation was determined with the Los Angeles test required in the Ballast Technical Specification, abrasion resistance was determined with Mikro-Deval, Magnesium Sulphate test, grain density and water absorption were determined. Petrographic analysis was performed to determine the origin and name of the rock. As a result of polarizing microscope examination, the rock; It was determined to be a surface rock of magmatic origin and the rock was defined as basalt according to the Modal Mineralogical Classification of Rocks. Fragmentation resistance (Los Angeles abrasion resistance) is 11%, grain density is 2.73 Mg/m³, frost resistance (MgSO₄ test for thermal and degradation properties) value is 1%, abrasion resistance (Mikro-Deval) is 6%, water absorption rate is It was found to be 0.7%. Experimental studies conducted on Yenikaracaören (Kütahya) basalts; It has shown that it can be used as railway ballast in high - speed train, speed train and conventional railway lines. This study will provide insight into the usability of Yenikaracaören (Kütahya) basalts, which are located close to the Ankara-İzmir, which is under construction, and the Eskişehir-Antalya high - speed train lines, which are in the project phase, in meeting the ballast needs of these lines.

Keywords: Ballast, Basalt, Railway ballast, Los Angeles, Mikro-Deval, Yenikaracaören Kütahya.

¹TCDD 7. Bölge Demiryolu Bakım Servis Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye, mehmetkozak@tcdd.gov.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 28.03.2024

Kabul/Accepted: 03.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

1. Giriş

Hat olarak anılan özel bir yol üzerinde, mekanik olarak hareket eden araçlarla çekilen yük ve yolcu taşıma sistemlerine demiryolu denilmektedir (Kozak 2010). Demiryolu altyapı ve üstyapı olmak üzere iki ana bölümden oluşur (Kozak 2011). İstenilen hızlarda demiryolu araçlarının konforlu ve emniyetli bir şekilde hareket edebilmesini sağlamak amacıyla inşa edilmiş olan demiryolunda yol ile demiryolu araçlarının temasının gerçekleştiği bölüme demiryolu üstyapısı denilmektedir. Demiryolu üstyapısı; travers, ray, bağlantı malzemesi ve balasttan oluşmaktadır (Anonim 2016).

Demiryolu balastı, demiryolu üstyapısında traverse elastik bir yatak oluşturan, traverslerin aralarını dolduran ve traversler vasıtasıyla iletilen yükleri kalıcı çökmeye uğramadan kendi arasındaki sürtünme ile platforma yayarak ileten bir üst yapı elemanıdır. Demiryolu balastı, eriyen kar suları, yağmur suları vb. sularının drenajını sağlarlar. Demiryolu balastı, kare gözlü 22,4 mm elek üzerinde en az % 97'si kalan, 63 mm açıklıklı elekten ise % 100 geçen ve TCDD Balast Teknik Şartnamesinde istenilen gradasyon şartlarını sağlayacak şekilde keskin kenarlı ve keskin köşeli kırılmış, sağlam ve sert kayalardan üretilirler (Kozak, 2012; Oğul vd., 2012; Nâlsund, 2014; Kozak, 2021). Bazalt, granit, granodiyorit, gabro, diyabaz, siyenit, riyolit, diyorit, andezit, gnays, kuvarsit, porfir, silttaşı, kumtaşı, dolomit ve kireçtaşı (kalker) gibi kayalar demiryollarında balast olarak kullanılmıştır (Raymond, 1985; Okonta & Magagula 2011; Yılmaz 2015; Bayrak, 2018; Bassey vd., 2020; Kozak, 2021).

Kahraman ve Yapıcı (2022) Kurtpınar (Ceyhan) bazaltlarının konvansiyonel hatlarda demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğini belirlemişlerdir. Kozak (2021) TCDD tarafından 2020 yılında balast teknik şartnamesinin güncellenmesi ile balast olarak kullanılacak kayacın kökeni ve ismi ile ilgili koşulunun ortadan kaldırılmış olması neticesinde balast teknik şartnamesinde istenilen özellikleri sağlayan metamorfik, sedimanter ile eski teknik şartnamede ismi bulunmayan diğer magmatik kökenli kayaların demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin önünün açıldığını ve bunun balast maliyetine olumlu yönde etkisi olacağı konusunda değerlendirme yapmıştır.

Kozak (2023) balast teknik şartnamede istenilen Magnezyum Sülfat ve Mikro-Deval deneylerinin de yapılarak ve istenilen sınır değerleri karşılaması koşulu ile çalışmada kullanılan bazaltın konvansiyonel demiryolu hatlarında balast olarak kullanılabilirliği, çalışmada kullanılan kalkerin ise kullanılmayacağı sonucuna ulaşıldığını değerlendirmiştir. Kayaç türlerinin aynı olmasına rağmen kayaların farklı fiziksel özelliklere sahip olabileceğinin bilindiğinden, yeni yapılacak çalışmaların, balast olarak kullanılacak yeni kayaların tespitinde faydalı olacağını değerlendirmiştir.

Sabancı (2018) Yapılan deneysel çalışmalar ile Solhan (Bingöl) ve Pazarcık (Kahramanmaraş) magmatik kayalarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği değerlendirmiştir. Kıpkaç (2023)

volkanitleri bulunmaktadır Son olarak bu birimleri Kuvaterner yaşlı alüvyonlar diskordan olarak örtmektedir (Apaydın, 2017).

Bazalt ocağında yapılan incelemelerde; ocağın genel yapısının balast üretimine uygun olduğu, genel olarak homojen bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Ocaktaki bazalt oluşumları, koyu gri, siyahımsı renkte olup, üst seviyeler yer yer gevşek, alt seviyeler ise sıkı dokulu bir yapıya sahiptir. Rezerv çok kırıklı ve çatlaklı olması nedeniyle balast üretimine elverişlidir.

Balast olarak kullanılacak kayacın, 2020 yılında güncellenmiş olan TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre petrografik özellikleri açısından kökeni ve ismi ile ilgili bir koşul aranmamakta olsa da çalışmada kullanılan kayacın köken ve isminin belirlenmesi için petrografik analiz yapılmıştır. Şartnamede istenilen balastın geometrik özellikleri, balast üretiminde kullanılacak olan üretim prosedürleri sayesinde sağlanabilmektedir.

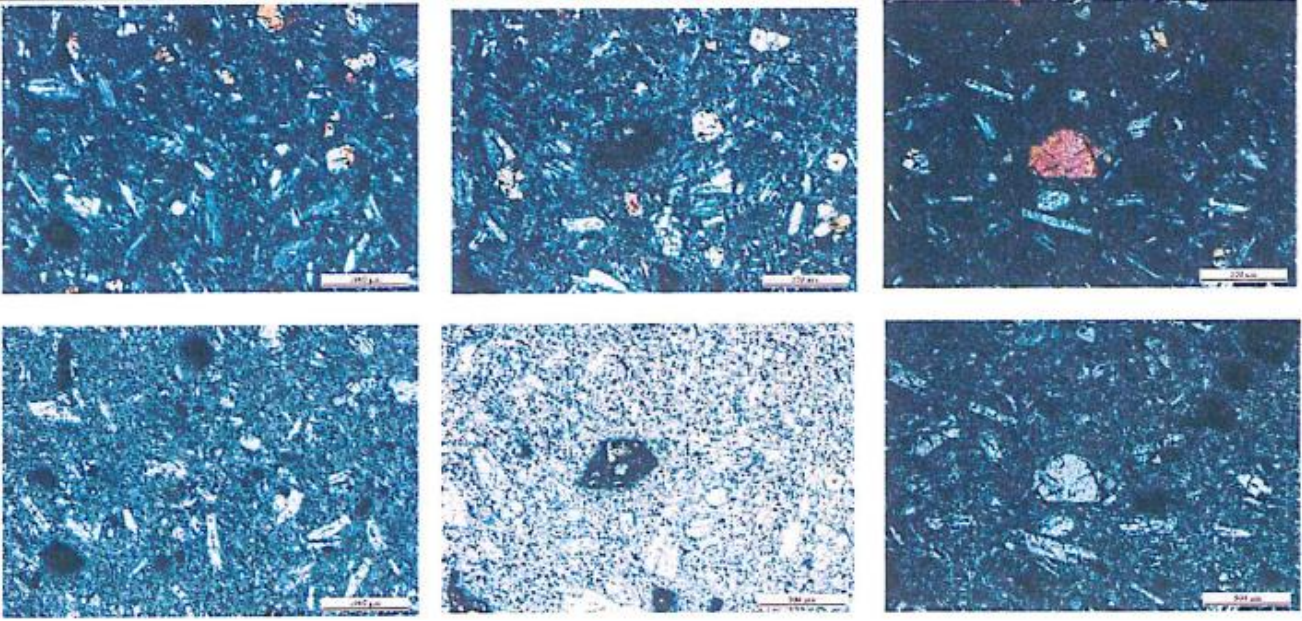
Balast olarak kullanılacak kayacın fiziksel özelliklerinin tespiti için TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre; tane yoğunluğu, termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ deneyi (dona dayanıklılık), su emme oranı, aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro – Deval), parçalanma direnci tayini (Los Angeles) deneylerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma da yapılan deneyler ve deneylerde kullanılan standartlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Balastın fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler ve deneylerde kullanılan standartlar

Deney	Standartlar (Anonim, 2020)
Tane yoğunluğu	TS EN 1097-6
Su emme oranı	TS EN 1097-6
Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direncin tayini	TS EN 1097-2
Termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ deneyi (Dona dayanıklılık)	TS EN 1367-2
Mikro - Deval ile aşınma direncinin tayini	TS EN 1097-1

3. Bulgular ve Tartışma

Polarizan mikroskop ile mineralojik ve petrografik özelliklerin incelenmesinde; yarı kristalli porfirik dokuya sahip kayacın, plajiyoklaz (% 25), olivin (% 15), piroksen (% 10), opak ve tali mineraller (% 1’den az), mikrolit ve volkan camından (% 50) oluşan magmatik kökenli yüzey kayacı olduğu tespit edilmiş ve Kayaçların Modal Minerolojik Sınıflamasına göre kayaç bazalt olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Yenikaracaören (Kütahya) bazaltına ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri.

Balastın parçalanmaya karşı direncini belirlemek için etkili yöntemlerden birisi Los Angeles aşınma deneyidir. Bu deney, demiryolu balastının servis ömrü boyunca tren yüklerinden nasıl etkilendiğini belirlemek için yapılan etkili ve pratik bir deneydir (Apaydın & Yılmaz 2019). Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın parçalanma direnci (Los Angeles) % 11 olarak tespit edilmiştir.

Balast malzemesi olarak kullanılacak kayaç içerisindeki boşluk ya da gözeneklerin varlığı, balastın fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gözenek ve boşlukların çok küçük miktarı bile balastın deformasyonu üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olabilmektedir (Teymen 2005). Balast agregasında bulunan gözenek ya da boşluklarda biriken suyun donması ve çözünmesi ile balastın direnci azalır ve bu olay da balastta çatlaklara ve ayrışmalara sebebiyet verir (Güleç 1974). Bu nedenle balast olarak kullanılacak kayacın su emme oranı büyük öneme sahiptir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın su emme oranı % 0,7 olarak tespit edilmiştir.

Balast olarak kullanılacak kayacın tane yoğunluğu, balastın dayanımı ve fiziksel özellikleri hakkında fikir sağlamaktadır. Yüksek tane yoğunluğuna sahip balastlar, genellikle düşük su emme oranına sahip düşük poroziteli olan dayanımlı kayaçlardan elde edilir (Kozak 2016). Balast olarak kullanılacak olan kayacın fiziksel özelliklerinin tespiti için tane yoğunluğu önemli bir yöntemdir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın tane yoğunluğu $2,73 \text{ Mg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Demiryolunda balast olarak kullanılan malzemeler üzerinde ısı farklarından dolayı fiziksel ayrışmalar meydana gelebilmekte ve don etkisi balastın stabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Demiryolu balastı atmosferik şartlara direk maruz kaldığından dolayı donma-çözünme etkisiyle mekaniksel olarak deformasyona uğrarlar (Işlak 2019). Bu yüzden don kaybının balast üzerinde etkisinin tespiti önemli bir parametredir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ deneyi) değeri % 1 olarak tespit edilmiştir.

Mikro-Deval ile aşınma direncinin tayini balast gibi iri agregaların aşınmaya karşı direncini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir (Arsoy vd., 2019). Bu deney, demiryolu balastının servis ömrü boyunca tren yüklerinden nasıl etkilendiğini belirlemek için yapılan etkili ve pratik bir deneydir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın aşınmaya karşı direnci (Mikro - Deval) % 6 olarak tespit edilmiştir.

Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin tespiti için TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre istenilen fiziksel deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. TCDD balast teknik şartnamesine göre balasttan istenilen fiziksel özelliklerinin sınır değerleri ve Yenikaracaören (Kütahya) bazaltının sonuçları (Anonim, 2020)

Deney	Yenikaracaören (Kütahya) bazaltı deney sonuçları	Konvansiyonel demiryolu hattı sınır değerleri	Hızlı tren - yüksek hızlı tren hatları sınır değerleri
Parçalanma direnci tayini (Los Angeles)	% 11	\leq %20	\leq %14
Su emme oranı	%0,7	\leq %2	\leq %1,5
Tane yoğunluğu	2,73 Mg/m ³	\geq 2,50 Mg/m ³	\geq 2,60 Mg/m ³
Termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ deneyi (Dona dayanıklılık)	% 1	\leq %5	\leq %3
Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro - Deval)	% 6	\leq %14	\leq %12

4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında; TCDD Balast Teknik Şartnamesinde istenilen sınır değerlere uygunluğu açısından Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının; yüksek hızlı tren, hızlı tren ve konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda;

- Bazalt numunesinin Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direnci %11 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren (\leq %14) ve konvansiyonel (\leq %20) demiryolu hatları için uygun olduğu,

- Su emme oranı %0,7 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren (\leq %1,5) ve konvansiyonel (\leq %2) demiryolu hatları için uygun olduğu,

▪ Tane yoğunluğu $2,73 \text{ Mg/m}^3$ olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ($\geq 2,60 \text{ Mg/m}^3$) ve konvansiyonel ($\geq 2,50 \text{ Mg/m}^3$) demiryolu hatları için uygun olduğu,

▪ Dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için MgSO_4 deneyi) değeri %1 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ($\leq \%3$) ve konvansiyonel ($\leq \%5$) demiryolu hatları için uygun olduğu,

▪ Aşınmaya karşı direnci (Mikro - Deval) %6 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ($\leq \%12$) ve konvansiyonel ($\leq \%14$) demiryolu hatları için uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının; yüksek hızlı tren, hızlı tren ve konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Balast olarak kullanılacak kayaç türlerinin belirlenmesi için farklı kayaçlar üzerinde ve aynı kayaç türü olsa da farklı ocaklardan alınan kayaçlar ile yeni çalışmaların yapılmasının demiryolu balastı olarak kullanılacak kayaçların çeşitlenmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda bu çalışma, yapımı devam eden Ankara-İzmir, proje aşamasında olan Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatlarına yakın konumda olan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının söz konusu bu hatlar için balast ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirliği hakkında fikir sağlayacaktır.

Teşekkür

Çalışmama katkısından dolayı TCDD 7. Bölge Müdürlüğü ve Gökkuşuğu Madencilik Müteahhitlik İnşaat Turizm Taşımacılık Hayvancılık San. ve Tic. Ltd. Şti. yetkililerine, ayrıca makalenin olgunlaşmasına katkı koyan hakemler ile editörlere teşekkürlerimi sunarım.

Yazarların Katkısı

Mehmet KOZAK: Literatür araştırması, arazi çalışması, deney için örneklerin alınması, deneylerin planlanması ve sonuçların yorumlanması ve makale yazımı aşamalarında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Anonim, (2016). Yol mühendisleri kursu yol üstyapı ders notları. *TCDD Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Yayınları*, Ankara.
- Anonim, (2020). TCDD balast teknik şartnamesi. *TCDD Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı*, Ankara.
- Apaydın, Ö.F., ve Yılmaz, M. (2019). Bazaltik kayaçların balast kirlenmesi yönünden karşılaştırılması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 296-311. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.517130>
- Apaydın, Ö.F. (2017). *Bazaltik kayaçların balast kirlenmesi yönünden karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arsoy, Z., Çiftçi, H., Ersoy, B., Uygunoğlu T., ve Arslan, B. (2019). Afyonkarahisar bölgesi mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilebilirliğinin araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 503-516. <https://doi.org/10.31202/ecjse.554339>
- Bassey, D., Ngene, B., Akinwumi, I., Akpan, V., ve Bamigboye, G. (2020). Ballast contamination mechanisms: a critical review of characterisation and performance indicators. *Infrastructures*, 5(11), 94. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5110094>
- Bayrak, M. Ç. (2018). *Altyapı özelliklerinin demiryolu üstyapısının performansına etkisi*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Güleç, K. (1974). Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin su muhtevası ile değişimi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 13(3), 13-16.
- Işlak, H. (2019). *Evciler (Gölbaşı/Ankara) bazaltının petrografik ve petrokimyasal özelliklerinin demiryolu balast ve balastaltı malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Kahraman, E. ve Yapıcı, N. (2022). Kurtupınar (Ceyhan) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, 16, 14–22. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.1082366>
- Kıpçak, F. (2023). Van Gedikbulak bölgesinde bulunan bazalt kayaçlarının karayolu ve demiryolu yapımında balast malzemesi olarak kullanımı. *11. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi* (pp.1283-1292), İstanbul.
- Koralay, T., Çobanoğlu, İ. ve Demir, M. (2014). Ofiyolitler içerisindeki gabro dayklarının balast malzemesi olarak kullanılabilirliği inceler (Bozkurt-Denizli) örneği. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 32-48. <https://doi.org/10.17780/ksujes.61480>
- Kozak, M. (2010). Beton traversin gelişimi ve üretim aşamasının araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 73-81.
- Kozak, M. (2011). Demiryolunda rayların birleşim noktaları ve özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 40-49.
- Kozak, M. (2012). Hemzemin geçitlerdeki kaplama çeşitleri ve güvenliğe etkisinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 1-11.
- Kozak, M. (2016). *İscehisar (Afyonkarahisar) mermerlerinin jeolojik ve jeomekanik özelliklerinin araştırılması*. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar.
- Kozak, M. (2021). Demiryolu balastının ve özelliklerinin araştırılması. *Demiryolu Mühendisliği*, 13, 86-96. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.831684>
- Kozak, M. (2023). Bazalt ve kalkerin demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 171-176.
- Nålsund, R. (2014). *Railway ballast characteristics, selection criteria and performance*. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- Okonta, F. N. ve Magagula, S. G. (2011). Railway Foundation Properties of Some South African Quarry Stones. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering EJGE*, 179-197. <https://hdl.handle.net/10210/15926>

- Oğul, K., Topal İ. ve Pořluk, E. (2012). Ankara - İstanbul yüksek hızlı tren demiryolunda balast hammaddesi olarak granit ve bazaltın birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması ve aşınma dayanımlarına etkisi. *MT Bilimsel*, 1, 81-89.
- Raymond, G. P. (1985). Research on railroad ballast specification and evaluation. *Transportation Research Record*, 1006, 1-8.
- Sabancı, A. (2018). *Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Solhan (Bingöl) magmatiklerinin demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, T.C. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Teymen, A. (2005). *Bazı kayaların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 1: aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro- Deval) (TSE Standart No. TS EN 1097-1). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-bölüm 2: magnezyum sülfat deneyi (TSE Standart No. TS EN 1367-2). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 6: tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini (TSE Standart No. TS EN 1097-6). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2020). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar (TSE Standart No. TS EN 1097-2). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Yılmaz, A. (2015). Demiryolu üstyapısında balast kirliliği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 11-17.