

Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) Bazaltlarının Demiryolu Balastı Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi

Mehmet KOZAK^{1*}

¹ TCDD 7. Bölge Demiryolu Bakım Servis Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye

*¹ mkozak6484@hotmail.com

(Geliş/Received: 27/06/2025;

Kabul/Accepted: 09/09/2025)

Öz: Bu çalışma ile Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bazalt ocağında incelemeler yapılarak çalışmada yapılacak deneyler için örnekler alınmıştır. Balast Teknik Şartnamesine göre kayacın fiziksel özelliklerin belirlenmesi için Mikro – Deval ile aşınma direnci tayini, Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direnç tayini, Magnezyum Sülfat deneyi, su emme ve tane yoğunluğu deneyleri yapılmıştır. Kayacın isim ve kökenini belirlemek için petrografik analiz yapılmıştır. Kayacın aşınmaya karşı direnci % 6, parçalanmaya karşı direnci % 9, dona dayanıklılık değeri % 1, tane yoğunluğu ise 2,90 Mg/m³, su emme oranı ise % 0,3 olarak tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar konvansiyonel demiryolu, hızlı tren ve yüksek hızlı tren hatlarında Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazaltlarının demiryolu balastı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir. Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazalt ocağının, yapımı devam eden Ankara-İzmir, proje çalışmaları devam eden Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatların balast ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirliği hakkında fikir verecektir.

Anahtar kelimeler: Balast, bazalt, demiryolu balastı, Akin Sandıklı, Los Angeles, yüksek hızlı tren.

Evaluation of the Use of Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) Basalts as Railway Ballast

Abstract: The aim of this study is to evaluate the use of Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) basalts as railway ballast. Investigations were carried out in the basalt quarry and samples were taken for the experiments to be carried out in the study. According to the Ballast Technical Specification, abrasion resistance determination with Micro-Deval, resistance to fragmentation with Los Angeles test, Magnesium Sulphate test, water absorption and grain density tests were carried out to determine the physical properties of the rock. Petrographic analysis was carried out to determine the name and origin of the rock. The rock's resistance to abrasion was determined as 6%, resistance to fragmentation as 9%, frost resistance value as 1%, grain density as 2.90 Mg/m³ and water absorption rate as 0.3%. The experimental studies have shown that Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) basalts can be used as railway ballast in conventional railway, speed train and high-speed train lines. It will provide an idea about the usability of Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) basalt quarry in meeting the ballast needs of Ankara-İzmir high-speed train lines, which are currently under construction, and Eskişehir-Antalya high-speed train lines, which are currently under project studies.

Key words: Ballast, basalt, railway ballast, Akin Sandıklı, Los Angeles, high speed train.

1. Giriş

Demiryolu platformu üzerine döşenmiş olan traverslerin altında, arasında bulunan ve traverslere elastik bir yatak oluşturan, raylar vasıtasıyla traverslere gelen yükleri taneleri arasındaki sürtünme ile yayarak kalıcı çökmelere uğramadan platforma ileten bir demiryolu üst yapı elemanıdır. Ayrıca demiryolu balastı yola düşen suyun ve eriyen karların drenajını sağlamaya yardımcı olmaktadır. Demiryolu balastı, % 100'ü kare gözlü 63 mm açıklıklı elekten geçerek en az % 97'si kare gözlü 22,4 mm elek üzerinde kalan ve istenilen gradasyonu sağlayacak şekilde keskin köşeli ve kenarlı olarak kırılmış, sert ve sağlam kayalardan üretilmelidir [1-4].

Bazalt, granodiyorit, siyenit, granit, gabro, riolit, andezit, diyabaz, diyorit, kuvarsit, gnays, kumtaşı, porfir, kireçtaşı (kalker), silttaşı ve dolomit gibi kayalar demiryolu balastı olarak kullanılmıştır [4-9].

İyi bir demiryolu balastının sahip olması gereken birçok önemli özellik vardır. Bu özelliklerin başında, balastın sağlam ve dayanıklı olması gelir. Bu nedenle dere çakılları, pürüzsüz ve yuvarlak yapıları ile tek bir kayaç türünden oluşmaları sebebiyle kesinlikle balast olarak kullanılmamalıdır. Bunun yerine, damarsız ve çatlak içermeyen, homojen ve masif yapıları kayalardan üretilmiş balastlar tercih edilmelidir. Bu kayalar, darbe, aşınma ve noktasal statik/dinamik basınçlara karşı yüksek direnç göstermelidir. Ayrıca, atmosferik etkilere, özellikle de donma-çözünme döngülerine karşı yüksek dirençli olmaları gerekmektedir. Balastın şekli de büyük önem taşır.

* Sorumlu yazar: mkozak6484@hotmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5306-3089

Üretim sürecinde çok yüzeyli, çok köşeli, kübik ve keskin kenarlı bir yapıya sahip olmalı, yassı kırılmış olmamalıdır. Bu şekil, ray yatağında yüksek sürtünme direnci ve içsel sürtünme açısı sağlayarak yanal ve boyuna stabilitenin korunmasına yardımcı olur. Son olarak, balastın temiz olması şarttır. İçerisinde toz, toprak, kil, ot, kök gibi yabancı maddeler bulunmamalıdır. Ayrıca, balastın drenaj kabiliyetinin yüksek olması ve düşük su emme oranına sahip olması, hat altyapısının korunması açısından kritik öneme sahiptir. Tüm bu özellikler, balastın belirlenen teknik şartnamedeki alt ve üst gradasyon sınırları içerisinde üretilmesiyle sağlanabilir [4, 10-12].

Demiryolu balastı olarak kullanılmaya uygun kayaçlar üzerine yapılan çalışmalar, farklı bölgelerdeki potansiyel kaynakları ortaya koymuş olup aşağıda bu çalışmalar özetlenmiştir.

Kurtpınar (Ceyhan) Bazaltları: Konvansiyonel demiryolu hatları için balast olarak kullanılabileceği belirlenmiştir [13].

Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Solhan (Bingöl) Magmatik Kayaçları: Bu bölgelerdeki magmatik kayaçların da demiryolu balastı olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir [14].

Evciler Bazaltı: Petrokimyasal ve petrografik özellikleri incelenerek yapılan çalışmada, B ve C zonlarının konvansiyonel demiryolu hatlarında hem balast hem de balast altı malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu değerlendirilmiştir [15].

Yenikaracaören ve Işıkkara (Kütahya) Bazaltları: Bu bazaltların, hızlı, yüksek hızlı ve konvansiyonel demiryolu hatlarında balast olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [16-17].

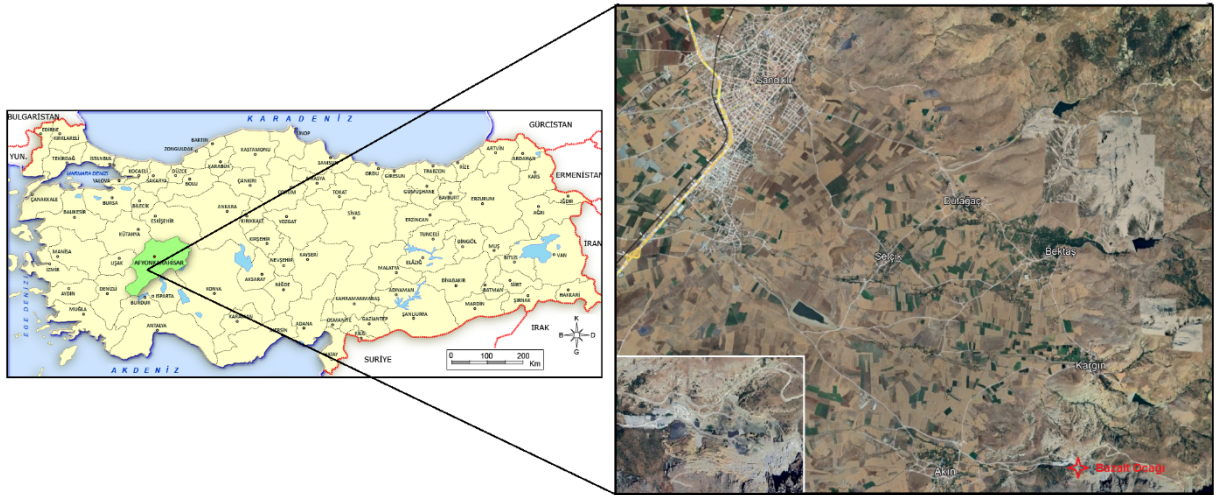
Doğanşehir (Malatya) Granitleri: Bu bölgede bulunan granitlerin, konvansiyonel, hızlı ve yüksek hızlı tren hatları için balast malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir [18].

Kolankaya (Uşak) Andezitik Bazaltları: Bu kayaçların konvansiyonel demiryolu hatlarında balast olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir [19].

Demiryolu projelerinde, balast olarak kullanılacak kayaçların fiziksel özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve bu özelliklere en uygun ocakların seçimi, projenin başarısı için hayati bir rol oynamaktadır. Türkiye'de bu konudaki çalışmaların yetersizliği, yerel kaynakların potansiyelini ortaya koymak ve demiryolu altyapısının kalitesini artırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanım potansiyelinin araştırılması, ülkemizdeki mevcut kaynakların değerlendirilmesi adına önemli bir adım teşkil etmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı Afyonkarahisar ili, Sandıklı ilçesi, Akin Köyü sınırları içerisinde bulunmaktadır. Sandıklı iline 11,5 km uzaklıkta olup ulaşım Sandıklı ilçesinden Akin köy yolu ile sağlanmaktadır. Şekil 1'de Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazalt ocağının yer buldur haritası verilmiştir.



Şekil 1. Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazalt ocağının yer buldur haritası.

Sandıklı ilçesindeki jeolojik birimler, yaşlıdan gence doğru Kestel, Hüdai, Çaltepe, Seydişehir, Karatepe, Derealanı, Akdağ ve Bozoğlan formasyonları ile Oligosen konglomera, Sandıklı lavları, Soğucak piroklastikleri, traverten ve alüvyondan oluşur. Bu bölgedeki bazaltlar, trakit, trakiandezit ve andezit gibi kayaçlarla birlikte

Sandıklı lavları birimi içinde bulunur [20-23]. Volkanik faaliyetler, Orta Miyosen'in sonlarında başlamış ve Üst Miyosen boyunca sürmüştür. Becker-Platen (1977) de bu birimin yaşını Üst Miyosen olarak teyit etmiştir [23-25].

Bazalt ocağının homojen bir yapı sergilediği ve balast üretimi için uygun olduğu, bazalt oluşumlarının siyahımsı, koyu gri, kırmızı-kahverengi ve kahve tonlarında renkte olduğu görülmüştür. Ayrıca ocaktaki bazalt oluşumları sütun yapıya (Şekil 2) sahiptir.



Şekil 2. Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazalt ocağından sütun bazalt görünümü.

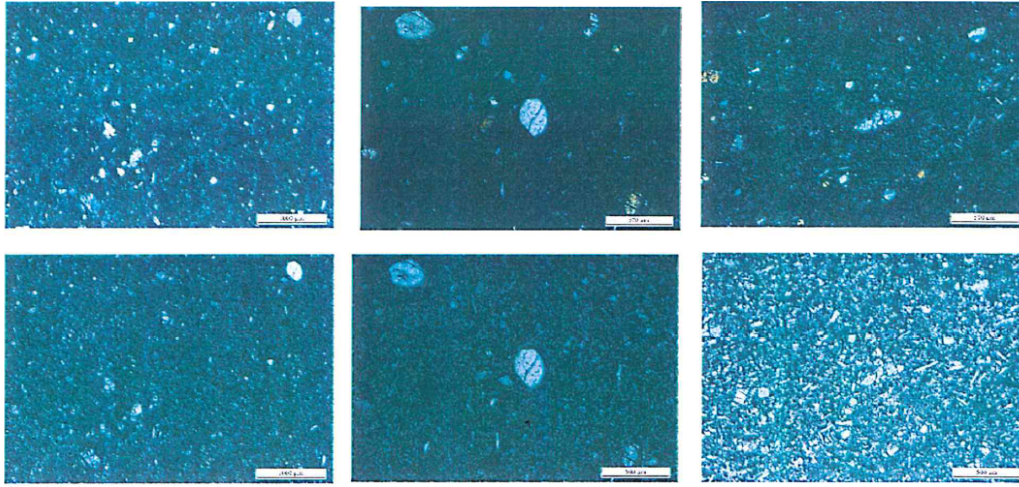
Çalışmada kullanılan kayacın isim ve kökenin belirlenebilmesi için petrografik analiz yapılmıştır. Balastın şartnamedeki geometrik özellikleri kullanılacak olan üretim prosedürleri sayesinde sağlanabilmektedir. Fiziksel özelliklerinin tespiti için ise tane yoğunluğu, su emme, Mikro – Deval, Los Angeles, termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ (dona dayanıklılık) deneyleri yapılmış olup Tablo 1’de deneylerde kullanılan standartlar verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada yapılan deneyler ve deneylerde kullanılan standartlar [12].

Deney	Standart
Los Angeles	TS EN 1097-2 [26]
Su Emme Oranı	TS EN 1097-6 [27]
Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6 [27]
Dona Dayanıklılık	TS EN 1367-2 [28]
Mikro - Deval	TS EN 1097-1 [29]

3. Bulgular ve Tartışma

Kayacın mineralojik ve petrografik özellikleri Polarizan mikroskop ile incelenmiştir. Kayacın mikrolit ve volkan camı (% 50), plajiyoklaz (% 25), piroksen (% 20), olivin (%5), opak ve tali minerallerden (% 1’den az) oluşan magmatik kökenli yarı kristalli porfirik dokuya sahip olduğu yüzey kayacı olduğu belirlenmiştir. Kayaç Modal Minerolojik Sınıflamaya göre bazalt olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3. Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazaltına ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri.

Los Angeles aşınma deneyi balastın parçalanmaya karşı direncini belirlemek için bir etkili deneyidir. Bu deney sayesinde pratik ve etkili bir şekilde demiryolu balastının servis ömrü boyunca tren yüklerinden nasıl etkilendiği hakkında fikir elde edilebilir [30]. Çalışmada kullanılan Akin (Sandıklı) bazaltın parçalanma direnci (Los Angeles) % 9 olarak tespit edilmiştir.

Demiryolu balastı olarak seçilen kayacın içerisindeki gözenek ya da boşlukların varlığı, balastın fiziksel ve mekanik özelliklerin olumsuz etkilemektedir. Kayaç içerisinde yer alan gözenek ve boşluklar küçük bir miktarın varlığı bile balastın deformasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır [31]. Kayaçta bulunan boşluk ya da gözeneklerde biriken suyun donma- çözülmesi ile balastın direnci düşer, bu olay da balastta zamanla çatlaklara ve ayrışmalara neden olur [32]. Bu nedenle demiryolu balastı olarak seçilecek kayacın su emme oranı büyük önem arz etmektedir. Akin (Sandıklı) bazaltın su emme oranı % 0,3 olarak tespit edilmiştir.

Demiryolu balastı olarak seçilen kayacın tane yoğunluğu, demiryolu balastının dayanımı ve fiziksel özellikleri hakkında fikir sağlamaktadır. Yüksek tane yoğunluğuna sahip olan demiryolu balastları, genellikle düşük su emme oranına ve düşük poroziteye sahip dayanımlı kayaçlardan üretilir [33]. Bu nedenle demiryolu balastı olarak seçilecek kayacın tane yoğunluğu tespitinin yapılması gerekmektedir. Yapılan deney ile Akin (Sandıklı) bazaltın tane yoğunluğu $2,90 \text{ Mg/m}^3$ belirlenmiştir.

Demiryolu balastı olarak seçilen kayaçta ısı farkları nedeniyle fiziksel ayrışmalar meydana gelmektedir. Atmosferik şartlara direk maruz kalan demiryolu balastında donma-çözülme meydana gelmekte bu olayda sonucunda mekanik olarak deformasyona uğrayan balastın stabilitesi olumsuz yönde etkilemektedir [15]. Bu nedenle demiryolu balastı olarak seçilecek kayacın don kaybının tespitinin yapılması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan Akin (Sandıklı) bazaltın dona dayanıklılık değeri % 1 olarak belirlenmiştir.

Mikro-Deval, iri agregaların aşınmaya karşı direncini belirlemek için kullanılan yaygın bir deneydir [34]. Mikro-Deval deneyi sayesinde pratik ve etkili bir şekilde demiryolu balastının servis ömrü boyunca tren yüklerinden nasıl etkilendiği hakkında fikir elde edilebilir. Çalışmada kullanılan Akin (Sandıklı) bazaltın Mikro - Deval ile aşınmaya karşı direnci % 6 olarak belirlenmiştir. Demiryolu balastı olarak, Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazaltlarının kullanılabilirliğinin tespiti için yapılan fiziksel deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Fiziksel özelliklerinin sınır değerleri ve Akin (Sandıklı/Afyonkarahisar) bazaltının deney sonuçları.

Deney	Akin (Sandıklı) Bazaltı Deney Sonuçları	Konvansiyonel Demiryolu Hattı Sınır Değerleri [12]	Hızlı Tren - Yüksek Hızlı Tren Hatları Sınır Değerleri [12]
Los Angeles	% 9	$\leq \% 20$	$\leq \% 14$
Su Emme Oranı	% 0,3	$\leq \% 2$	$\leq \% 1,5$
Tane Yoğunluğu	$2,90 \text{ Mg/m}^3$	$\geq 2,50 \text{ Mg/m}^3$	$\geq 2,60 \text{ Mg/m}^3$
Dona Dayanıklılık	% 1	$\leq \% 5$	$\leq \% 3$
Mikro - Deval	% 6	$\leq \% 14$	$\leq \% 12$

4. Sonuç

TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre Akin (Sandıklı) bazaltlarının demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda;

- Kayacın yarı kristalli porfirik dokuya sahip magmatik kökenli yüzey kayacıdır. Modal Minerolojik Sınıflamasına göre bazalt olarak tanımlanmıştır.
- Akin (Sandıklı) bazaltın parçalanma direnci (Los Angeles) % 9 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre Akin (Sandıklı) bazaltının Los Angeles değeri konvansiyonel ($\leq$ %20) ve hızlı tren - yüksek hızlı tren ($\leq$ %14) demiryolu hatları için uygundur.
- Akin (Sandıklı) bazaltın su emme oranı % 0,3 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre Akin (Sandıklı) bazaltının su emme oranı konvansiyonel ($\leq$ %2) ve hızlı tren - yüksek hızlı tren ($\leq$ %1,5) demiryolu hatları için uygundur.
- Akin (Sandıklı) bazaltın tane yoğunluğu $2,90 \text{ Mg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre Akin (Sandıklı) bazaltının tane yoğunluğu konvansiyonel ($\geq 2,50 \text{ Mg/m}^3$) ve hızlı tren - yüksek hızlı tren ($\geq 2,60 \text{ Mg/m}^3$) demiryolu hatları için uygundur.
- Akin (Sandıklı) bazaltın dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için MgSO_4 deneyi) değeri % 1 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre Akin (Sandıklı) bazaltının dona dayanıklılığı konvansiyonel ($\leq$ %5) ve hızlı tren - yüksek hızlı tren ($\leq$ %3) demiryolu hatları için uygundur.
- Akin (Sandıklı) bazaltın Mikro – Deval (aşınmaya karşı direnci) değeri % 6 olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre Akin (Sandıklı) bazaltının aşınmaya karşı direnci (Mikro - Deval) konvansiyonel ($\leq$ %14) ve yüksek hızlı tren - hızlı tren ($\leq$ %12) demiryolu hatları için uygundur.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, Afyonkarahisar'ın Sandıklı ilçesindeki Akin bazaltlarının konvansiyonel, hızlı ve yüksek hızlı tren hatlarında demiryolu balastı olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, yapımı devam eden Ankara-İzmir ve proje aşamasındaki Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatlarının balast ihtiyacının karşılanması noktasında Akin bazalt ocağının büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, gelecekteki demiryolu projeleri için uygun kayaç kaynaklarının tespiti amacıyla farklı ocaklarda yeni araştırmaların yapılması faydalı olacaktır.

Teşekkür

Çalışmaya destekleri için TCDD 7. Bölge Müdürlüğü ve Nice Hazır Beton Mad. İth. İhr. San. ve Tic. A. Ş. yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1] Oğul K, Topal İ, Poşluk E. Ankara - İstanbul yüksek hızlı tren demiryolunda balast hammaddesi olarak granit ve bazaltın birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması ve aşınma dayanımlarına etkisi, MT Bilimsel 2012; 1, 81-89.
- [2] Kozak M. Hemzemin geçitlerdeki kaplama çeşitleri ve güvenliğe etkisinin araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2012; 2(1), 1-11.
- [3] Nålund R. 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, 2014.
- [4] Kozak M. Demiryolu balastının ve özelliklerinin araştırılması, Demiryolu Mühendisliği 2021; 13, 86-96.
- [5] Rağmındı GP. Research on railroad ballast specification and evaluation, Transportation Research Record 1985; 1006, 1-8, 1985.
- [6] Okonta FN, Magagula SG. Railway foundation properties of some South African quarry stones, Electronic Journal of Geotechnical Engineering EJGE 201; 179-197.
- [7] Yılmaz A. Demiryolu üstyapısında balast kirliliği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2015; 6(1), 11-17.
- [8] Bayrak MÇ. Altyapı özelliklerinin demiryolu üstyapısının performansına etkisi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2018.
- [9] Bassey D, Ngene B, Akinwumi I, Akpan V, Bamigboye G. Ballast contamination mechanisms: a critical review of characterisation and performance indicators. Infrastructures 2020; 5(11), 94.
- [10] Anonim, Yol mühendisleri kursu yol üstyapı ders notları, TCDD Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara, 2016.
- [11] Yüzbaşı İB. Göksun ofiyoliti kabuksal kayaçlarının demiryolu balast malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2019.
- [12] Anonim, TCDD balast teknik şartnamesi. TCDD Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2020.

- [13] Kahraman E, Yapıcı N. Kurtpınar (Ceyhan) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi, Demiryolu Mühendisliği 2022; 16, 14–22.
- [14] Sabancı A. Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Solhan (Bingöl) magmatiklerinin demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, T.C. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, (2018).
- [15] Işlak H. 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, 2019.
- [16] Kozak M. Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 2024; 14(2), 944-952.
- [17] Kozak M. Işıkkara (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği, Demiryolu Mühendisliği 2024; 20, 25–30.
- [18] Kahraman E, Özdemir AC. Çavuşlu (Malatya) granitlerinin demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2024; 39(3), 813-820.
- [19] Kozak M. Kolankaya (Eşme/Uşak) andezitik bazaltlarının konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği, Muş Alparslan University Journal of Science 2024; 12(2), 169-173.
- [20] Öngür T. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:5520, Ankara, 1973.
- [21] Tuzcu G. Küçük Sincanlı Ovası hidrojeolojik etüt raporu, TC, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1974.
- [22] Afşin M. Afyon Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdaı kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1991.
- [23] Aksever F. Afyon-Sandıklı havzası hidrojeoloji incelemesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
- [24] Ercan T. Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizması, MTA Dergisi, 107, 119-141, 1986.
- [25] Becker-Platen JD, Benda L, Steffens F. Litho- und biostratigraphische Deutung radiometrischer Altersbestimmungen aus dem Jungtertiär der Türkei, Geologisches Jahrbuch 1977; B25, 139-167.
- [26] TS EN 1097-2. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, 2020.
- [27] TS EN 1097-6. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 6: tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 2013.
- [28] TS EN 1367-2. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-bölüm 2: magnezyum sülfat deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, 2011.
- [29] TS EN 1097-1. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 1: aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval). Türk Standartları Enstitüsü, 2011.
- [30] Apaydın ÖF, Yılmaz M. Bazaltik kayaların balast kirlenmesi yönünden karşılaştırılması, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 8(1), 296-311.
- [31] Teymen A. Bazı kayaların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.
- [32] Güleç K. Kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin su muhtevası ile değişimi, Bilimsel Madencilik Dergisi 1974; 13(3), 13-16, 1974.
- [33] Kozak M. İncehisar (Afyonkarahisar) mermerlerinin jeolojik ve jeomekanik özelliklerinin araştırılması, Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar, 2016.
- [34] Arsoy Z, Çiftçi H, Ersoy B, Uygunoğlu T, Arslan B. Afyonkarahisar bölgesi mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilebilirliğinin araştırılması. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019; 6(3), 503-516.