

## BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Ömer Faruk APAYDIN<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-1594-7646)  
Murat YILMAZ<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0002-9598-1408)\*

<sup>1</sup>Büyükkçekmece Belediyesi, Fen İşleri Müdürlüğü, Fatih Mah., Şehremini Sk. No:1, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: 29.08.2018  
Kabul / Accepted: 28.11.2018

### ÖZ

Günümüzde artan ulaşım talebi nedeniyle, yüksek hızlı demiryolu projelerine ihtiyaç artmaktadır. Demiryolu ulaşım teknolojisinde trenlerin çok yüksek süratlere çıkması, demiryollarına serilen balast agregalarını daha yüksek dinamik gerilmelere maruz bırakmaktadır. Bundan dolayı, agregaların dayanım ve dayanıklılığının istenilen düzeyde olması ve balast kirlenmesine neden olmaması gerekmektedir. Bu çalışmada farklı özelliklere sahip bazaltik kayaçların balast agregası olarak kullanılabilirliklerinin karşılaştırılması ve bu kayaçların bileşim ve dokularının balast kirlenmesi üzerindeki etkilerinin nedenleriyle birlikte ortaya konulması amaçlanmıştır. Araştırmalar örnek çeşitliliği sağlamak amacıyla, Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan bazalt ocaklarından alınmış balast örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bazaltik kayaçların öncelikle mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu ocaklardan getirilen agregaların dayanım ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla standart agrega deneyleri yapılmıştır. Bazaltik kayaç agregaları üzerinde gerek tren yüklerinin oluşturacağı dinamik yüklerin, gerekse de iklimsel koşulların (donma-çözünme) balast kirlenmesine etkilerini ortaya koymak için farklı devir sayılarında Los Angeles aşınma testleri ve magnezyum sülfat testleri yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, bazaltik kayaçların mineral bileşimleri dikkate alınarak yeni bir petrografik indeks tanımlaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu petrografik indeks ve daha önceki çalışmalarda tanımlanmış kimyasal indeksler, bazalt kirlenmesini değerlendirmek için önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Özellikle kimyasal indekslerden Vogt oranı, diğer indekslere göre daha iyi sonuçlar sunmuştur. Bunun dışında yüksek dayanıma sahip ayrışmamış veya az ayrışmış olan bazaltik agregalar, servis ömürleri süresince balast kirlenmesine neden olmayacakları belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Bazaltik kayaç, balast agregası, balast kirlenmesi

## COMPARISON OF BASALTIC ROCKS FROM THE POINT OF BALLAST FOULING

### ABSTRACT

The need for high-speed rail projects is increasing with today's increasing demand for transportation. The high speeds of trains in railway transportation technology expose the ballast aggregates laid on the railways to higher dynamic stresses. Therefore, it is necessary that the strength and durability of the aggregates are at the desired level and do not cause ballast fouling. In this study, it is aimed to compare the usability of basaltic rocks with

\* Corresponding author / Sorumlu yazar Tel.: +90 212 4737070; e-mail/e-posta: yilmazm@istanbul.edu.tr

*BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDE KARŞILAŞTIRILMASI*

different properties as ballast aggregates and to combine the composition and texture of these rocks with the effects of ballast contamination. The investigations have been carried out on ballast samples taken from basalt quarries located in different regions of Turkey in order to provide sample diversity. Mineralogical, petrographical and chemical properties of basaltic rocks are determined primarily. Standard aggregate tests were then carried out to determine the strength and durability properties of the aggregates brought from the quarries. Los Angeles tests and magnesium sulphate tests were performed at different speeds to demonstrate the effects of dynamic loads on the basaltic rock aggregates, as well as climatic conditions (freeze-thaw) caused by train loads. In addition, a new petrographic index was defined by considering the mineral composition of basaltic rocks. According to the results obtained, this petrographic index and chemical indexes, which were defined in previous studies, for basaltic aggregates were identified as important parameters for evaluating the causes of basalt fouling. Especially, it is determined that the Vogt ratio among chemical indexes gave much better results. Beside this, it is determined that the unaltered or slightly altered basaltic aggregates show high resistance during the service life and cause ballast fouling.

**Keywords:** Ballast fouling, basalt aggregate, petrographic index, Los Angeles test

## 1. GİRİŞ

Özellikle nüfus artışına paralel olarak şehirleşme ve buna bağlı bina, demiryolu, metro, yol, köprü gibi yapıların önem kazanmasının yanı sıra, gelişen endüstri nedeniyle artan enerji ihtiyacı ve buna bağlı olarak büyük baraj ve su yapılarının artması nedeniyle, bu yapıların temel yapı malzemesi olan agregaların önemi de artmaktadır. Öte yandan, ülkemizde demiryolları geçmişten günümüze ulaşım sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Gelişen teknolojiye bağlı olarak artan hız ve yük taşıma kapasitesi, demiryollarının verimini arttırmakta, dolayısıyla demiryollarına yapılan yatırımlar giderek artmakta ve böylece demiryolu yapımı sırasında kullanılan hammaddelerin miktarında da her geçen gün artışlar meydana gelmektedir.

Demiryolu yapımında ana malzemelerden biri olan ve yüksek oranda kullanılan agregaların niteliği, demiryolu projelerinin yaygınlaştığı günümüzde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Demiryolu agregaları ve balast kirliliği üzerine günümüze kadar yapılan fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Arıoğlu vd. [1], çalışmalarında farklı kökenli kayaçların yüksek devirde Los Angeles aşınma değerlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda bazalt ve amfibolitlerin kuru ve suya doygun durumdaki aşınma değerlerinin diğer kayaçlara göre biraz daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. McNally [2] ise, demiryolu balastlarında aranan özellikler ile balastlar üzerinde yapılan dayanım ve dayanıklılık testlerini araştırmıştır. Ayrıca, hangi tip kayaçların balast agregası olarak kullanılabileceğini nedenleri ile birlikte belirtmiştir. Balast kirliliği üzerine ise Schilling [3], tren yüklerinden ve iklimsel faktörlerden dolayı meydana gelen ve demiryollarının servis ömürlerinin azalmasına neden olan problemlerin (balast kirlenmesi gibi) tespitinde track-bound teknolojilerinin kullanılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca Roberts vd. [4], demiryollarında karşılaşılan ve en önemli sorunlardan biri olan balast kirlenmesini yer radarı (GPR) yöntem ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, demiryollarının rutin servis bakımlarında balast kirlenmesini belirlemek için GPR yönteminin kullanılabileceğini saptamışlardır. Yüksek hızlı trenler ile oluşan güçlü rüzgârların balastları yerinden oynattıklarını ve bu oynamada tren hızının, balastın yoğunluğunun ve şeklinin önemli etkenler olduğunu ayrıca, balast kirlenmesini arttırdığı da belirlenmiştir [5].

Tren yüklerinden kaynaklanan dinamik yükler ve iklim koşullarına bağlı olarak gelişen balast kirlenmesi, raylı sistemlerde, servis ömrü süresince karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Bu problemin balast agregalarının hangi özelliklerinden kaynaklandığı detaylı olarak araştırılmamıştır. Bu sorunun nedenlerinin belirlenmesi ve farklı özellikteki bazaltik kayaçların öncelikle bu açıdan kıyaslanmaları bu çalışmanın ana amaçlarından biridir. Balast kirlenmesinin nedenleri araştırılırken öncelikle agregaların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bazaltik kayaçların mineralojik bileşimlerine göre yeni bir petrografik indeks tanımlanması yapılmıştır. Ayrıca incelenen kayaçlar diğer agrega özellikleri açısından da karşılaştırılmıştır. Bazaltik kayaç agregalarının balast agregası olarak demiryollarında kullanılmaları durumunda, tren yüklerinden kaynaklanan dinamik yüklerin balast kirlenmesine etkilerini belirlemek amacıyla ilgili agregalar üzerinde farklı devir sayılarında (1000, 2000, 3000 devir) Los Angeles testleri yapılmış ve her bir deney sonrası agregaların bünyesinde gelişen mikro çatlak özellikleri belirlenmiştir. Bunun dışında, iklimsel koşulların neden

Ö.F. APAYDIN, M. YILMAZ

olduğu donma çözünmenin balast kirlenmesi üzerine etkilerini belirlemek için bazaltik kayaaç agregaları üzerinde magnezyum sülfat testleri yapılmıştır. Magnezyum sülfat testleri, ilgili agregalara başlangıçta (saha çalışmalarından getirilen balast agregaları) ve 3000 devir Los Angeles cihazında yıpratıldıktan/ufalandıktan sonra yapılmıştır. Her bir magnezyum sülfat testi sonrası agregalardan ince kesitler hazırlanıp ve bunlar üzerinde gelişen mikro çatlak özellikleri belirlenmiştir.

### 1.1 Bazalt Agregasının Temini

Araştırmalar için Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bulunan farklı özelliklere sahip bazaltik kayaaçlar seçilmiştir. Bazaltik kayaaçların seçildiği bölgeler Şekil 1 üzerinde verilmiştir. Günümüzde bu kayaaçların dayanım ve dayanıklılıklarını konu alan çalışmalar bulunmakta [6, 7] ve bu özellikleri nedeniyle ülkemizde balast agregası olarak tercih edilmektedir. Ancak farklı doku ve bileşime sahip olabilen bu kayaaçların balast kirlenmesi üzerine etkilerini konu alan gerek ülkemizde gerekse de dünyada bu kadar kapsamlı bir araştırma yapılmamıştır.

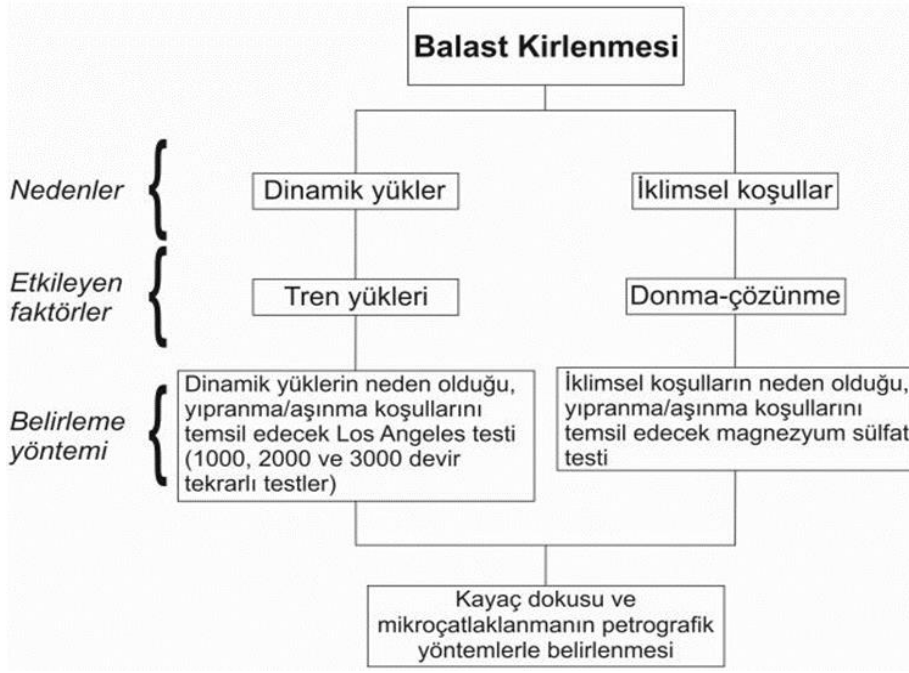


Şekil 1. İncelenen bazaltik kayaaçların alındığı ocak yerlerini gösteren yer bulduru haritası

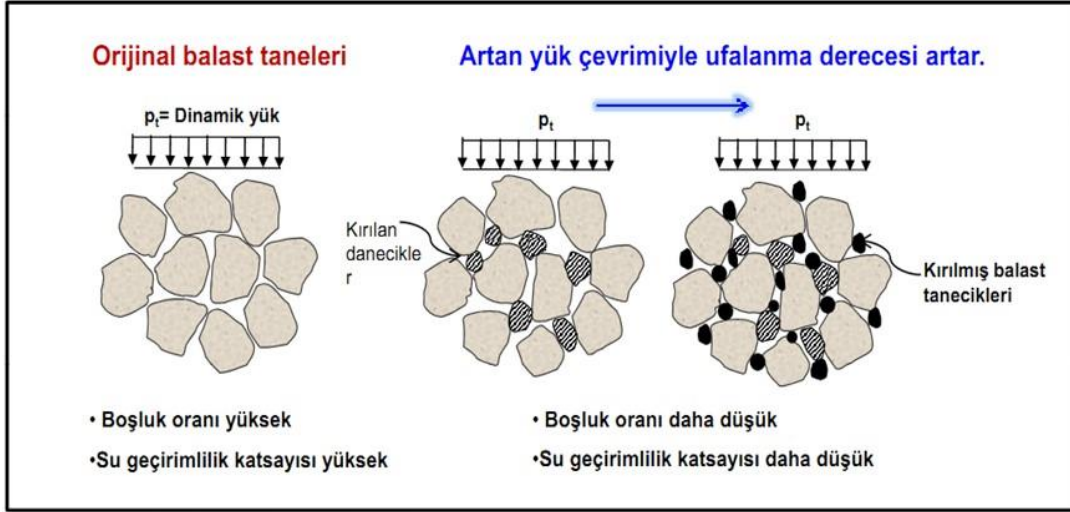
### 1.2 Balast Kirlenmesi

Demiryollarında kullanılan balast agregalarının en önemli görevlerinden biri, agregalar arasında geniş boşluklar bulunmasından dolayı birikebilecek suyun drenajını sağlamaktır. Ancak zaman içinde artan dinamik yükler (tren yükleri) ve iklim koşulları (donma-çözünme) agregaların parçalanmasına ve oluşan ufak parçacıkların agregaların aralarındaki boşluklara yerleşmesine neden olmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3). Bu durum boşluklar aracılığıyla tahliye edilmesi gereken suyun demiryolunun içerisinde kalmasıyla sonuçlanmaktadır. Demiryolu bünyesinde kalan sular ise, balast agregalarının dayanım ve dayanıklılıklarını azaltmakta ve böylece demiryolu zarar görmektedir. Bu olaya balast kirlenmesi adı verilmektedir.

BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDE KARŞILAŞTIRILMASI



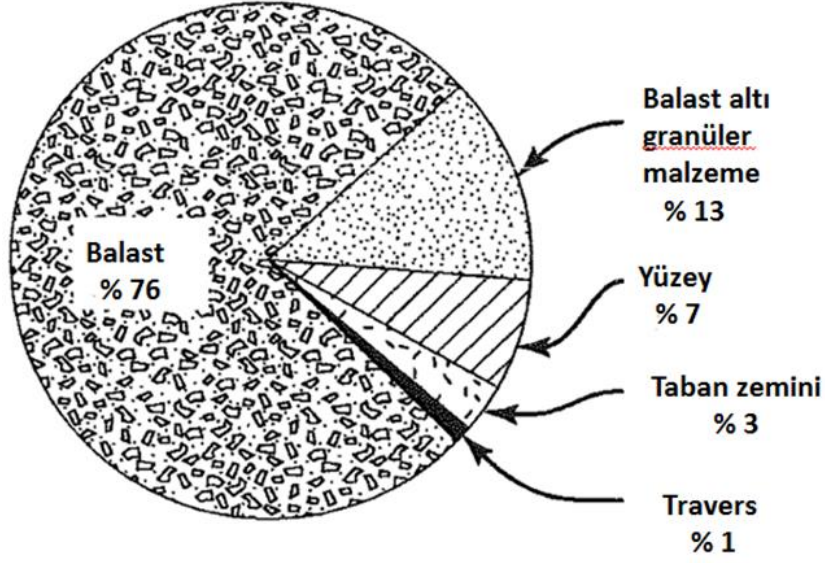
Şekil 2. Balast kirlenmesine neden olan faktörler ve belirleme yöntemleri



( $p_t = \text{Travers altındaki dinamik basınç gerilmesi}$ )

Şekil 3. Zaman içerisinde artan dinamik yükler ve çevre koşullarına bağlı meydana gelen balast kirlenmesi [1]

Balast kirlenmesinin en önemli birinci nedeni, agrega taneciklerinin kırılmasıdır. Balast tabakası altında bulunan, subbalast veya alt temel tabakalarından ince malzemelerin, balast tabakası içerisine nüfuz etmesi ise ikincil balast kirlenmesi olarak bilinmektedir. Çevreden, balast içerisine giren toz miktarı ise tahmin edildiğinden daha az etkiye sahiptir. Ancak, hat üzerinde, maden cevheri, kömür ve kum gibi malzemelerin taşınması durumunda, bu oranın artacağı bilinmektedir [8], (Şekil 4).



Şekil 4. Balast kirlenme nedenleri [8]

## 2. MATERYAL VE METOT

Bazaltlar kimyasal ve mineralojik bileşimleri bakımından gabronun volkanik karıştılarıdır. Bazaltlar basit olarak mineralojik bileşimlerine dayanılarak olivin içeren ve olivin içermeyen bazaltlar şekilden iki gruba ayrılırlar. Bu özelliğin silis ve Fe-Mg içeriğine bağlı olarak ortaya çıktığı ifade edilebilir [9].

Demiryolu ulaşımında balast agregası olarak kullanılması düşünülen bazaltik kayaların, mineralojik ve petrografik özelliklerinin detaylı bir şekilde tanımlanması son derece önemlidir. Bu çalışmada; bazaltik kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri, kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemesinden dolayı, ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, donma ve çözünmenin iklim koşullarına bağlı olarak kayacın meydana getirdiği parçalanma etkileşimi önemli oranda etkilediği için de, bazaltik kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri ayrıntılı bir biçimde tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan bazaltik kayalardan öncelikle ince kesitler hazırlanmıştır. Bu ince kesitler üzerinde kayacın mineral ve hamur içeriği, dokusu, hamur özellikleri, ayrışma durumları ve mineralojik bileşimlerine göre sınıflandırılmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Şekil 5'de sunulmuştur.

İnce kesitler üzerinde bazaltik kayaların mineralojik bileşimini kantitatif olarak belirlemek için modal analizler yapılmıştır. Modal analiz için her bir bazalt kesiti üzerinde 2000 nokta sayımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Bazaltik kayaların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çalışma kapsamında kullanılan örnekler laboratuvar ortamında öğütülerek toz haline getirilmiş ve bu örnekler üzerinde XRF yöntemine göre analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda bazaltik kayaların bileşimlerinde bulunan ana element oksit yüzdeleri belirlenmiştir (Tablo 3).

Bazaltik kayaların agrega özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 13450 (2004)'de belirtilen, tane büyüklüğü dağılımı, ince malzeme ve çok ince malzeme içeriği, yassılık endeksi, tane uzunluğu, tane yoğunluğu, su emme, Los Angeles, Micro Deval ve magnezyum sülfat (MgSO<sub>4</sub>) deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan deneyler üç kez tekrar edilmiş olup, elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Ayrıca, kayaların tek eksenli basınç dayanımları agrega tanelerinin dayanımları hakkında önemli fikirler sağladığından, tek eksenli basınç dayanımı deneyi de yapılmıştır. Bu deney arazi çalışmalarından getirilen blok numunelerden laboratuvar tipi karot makinesi yardımı ile karotlar alınarak yapılmıştır. Deneyler TS EN standartlarındaki belirtilen şartlara uygun olarak yapılmıştır (Tablo 4). Bazaltik kayaç agregalarına ait deneylerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Bunun dışında çalışma kapsamında Los Angeles aşınma deneyi ilksel, 1000, 2000 ve 3000

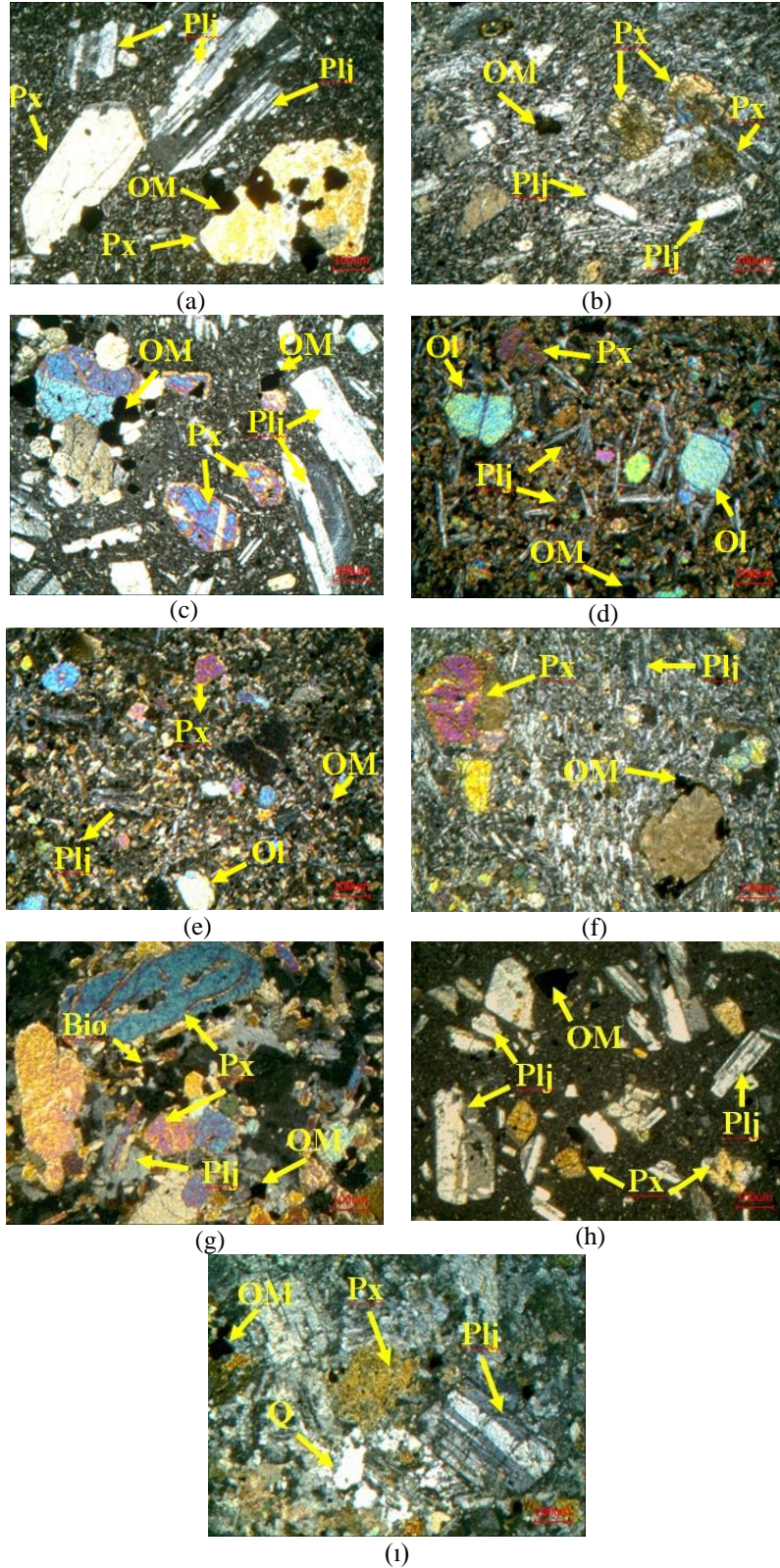
## BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

devirlerde uygulanmış ve her bir devir sonunda bazalt agregalarına ait mikro çatlak özellikleri saptanmıştır. Magnezyum sülfat testi bazaltik kayaç agregaları üzerinde başlangıçta (ilksel) ve 3000 devir Los Angeles test cihazında çevrilip yıpratıldıktan/aşındırıldıktan sonra yapılmış ve bu testler sonucunda ilgili agregalardan ince kesitler hazırlanıp mikro çatlak özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 8, 9 ve 10 da sunulmuştur.

**Tablo 1.** Bazaltik kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri

Örnek Kodu	Numunenin Alındığı Bölge	Mineral İçeriği	Doku	Hamur	Ayrışma	*Mikroskobik Tanımlama
BBO	Bursa / Orhangazi	Piroksen, plajiyoklas, klorit, opak	Hipidiyomorf porfirik	Plajiyoklas mikroliti, az oranda volkan camı	Kloritleşme, talklaşma, killeşme	Bazalt
BÇ	Çanakkale / Biga	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak	Hipidiyomorf porfirik	Volkan camı ağırlıklı	Hidrotermal alterasyon, karbonatlaşma (piroksen), erime-çözünme	Bazalt
BD	Düzce	Plajiyoklas, piroksen(ojit), opak	Holohyalin porfirik	Volkan camı, çok ince taneli piroksen ve plajiyoklas	-	Bazalt
BK	Kütahya	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak	Holokristalin porfirik, akma dokusu	Plajiyoklas mikroliti ağırlıklı ve çok küçük piroksen	Karbonatlaşma, killeşme, talklaşma	Olivin Bazalt
BTH	Tekirdağ / Hayrabolu	Olivin, plajiyoklas, piroksen, opak	Holokristalin porfirik	Plajiyoklas, piroksen, volkan camı	Silisleşme	Bazalt
BTM	Tekirdağ / Murath	Piroksen, Plajiyoklas, olivin, opak	Holokristalin porfirik	Plajiyoklas kristalleri, piroksen ve opak mineraller	Talklaşma (olivin)	Bazalt / Diyabaz
BBİ	Bursa / İznik	Plajiyoklas, Piroksen, opak	Hipohyalin porfirik	Volkan camı ağırlıklı az oranda mikrolit	-	Bazalt
BI	İstanbul/ Şile	Plajiyoklas, horblend, opak, ikincil kuvars	Tanesel doku	-	Silisleşme, serisitleşme	Diyorit
BE	Edime / Keşan	Piroksen, plajiyoklas, biyotit, opak	Holokristalin porfirik	-	Kloritleşme	Mafik Damar Kayacı

\* Streckeisen ve Le Bas (1991)' ya göre



**Şekil 5:** Örneklerin polarizan mikroskobu altındaki görünümü  
a) BC, b) BBO, c) BBI, d) BTM, e) BTH, f) BK, g) BE, h) BD, i) BI  
(Px: Piroksen, Plj: Plajiyoklas, Ol: Olivin, OM: Opak Mineral, Bio: Biyotit) (Çift Nikol. 4X)

*BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDE KARŞILAŞTIRILMASI*

**Tablo 2.** Modal analiz sonuçlarına göre elde edilen mineral yüzdeleri

Örnek Kodu	Modal mineral yüzdesi (%)							
	Hamur	Piroksen	Plajiyoklas	Olivin	Ayrılmış mineral	Kuvars	Biyotit	Opak Min.
BBO	69.34	10.89	19.29	–	–	–	–	0.48
BC	56.35	14.22	25.86	–	1.33	–	–	2.24
BD	61.14	13.89	23.00	–	0.85	–	–	1.12
BK	52.42	21.29	15.62	–	9.12	–	–	1.55
BTH	80.13	7.00	9.24	3.51	–	–	–	0.12
BTM	69.91	8.29	12.57	9.01	–	–	–	0.22
BBİ	50.79	17.45	28.09	–	1.20	–	–	2.47
BI	55.19	15.14	25.60	–	2.16	0.18	–	1.73
BE	46.48	27.58	17.90	1.59	2.26	–	3.61	0.58

**Tablo 3.** Bazaltik kayaçların ana element oksit yüzdeleri

Örnek Kodu	Ana element oksit yüzdeleri (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
BBO	54.28	19.93	8.96	7.70	2.76	0.16	1.12	3.51
BC	56.63	18.52	5.95	6.65	3.34	0.15	3.28	3.03
BD	57.65	17.22	6.52	6.69	2.96	0.15	1.18	3.68
BK	51.73	18.32	5.87	9.08	3.09	0.15	2.39	3.31
BTH	46.33	13.67	10.96	9.79	11.63	0.15	2.31	4.52
BTM	45.14	13.25	10.19	9.08	12.11	0.16	1.90	3.04
BBİ	57.13	17.75	6.96	6.75	3.81	0.15	1.96	3.43
BI	60.15	15.13	5.49	4.98	2.86	0.63	0.56	2.97
BE	49.67	12.26	7.89	7.91	12.74	0.14	5.51	2.53

**Tablo 4.** Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan karot, agrega deneyleri ve ilgili standartlar

Özellik	Deney Metodu
Tane büyüklüğü dağılımı	TS EN 933-1 (1999)
İnce malzeme içeriği	TS EN 933-1 (1999)
Çok ince malzeme içeriği	TS EN 933-1 (1999)
Yassılık endeksi	TS EN 933-3 (1999)
Tane uzunluğu	TS EN 933-4 (2001)
Su emme	TS EN 1097-6 (2002)
Tane yoğunluğu	TS EN 1097-6 (1999)
Los Angeles aşınma	TS EN 1097-2 (2010)
Micro-Deval aşınma	TS EN 1097-1 (2006)
Magnezyum sülfat (MgSO <sub>4</sub> ) değeri	TS EN 1367-2 (2011)
Tek eksenli basınç dayanımı	TS EN 1926 (2000)



**Tablo 5.** Çalışma kapsamında kullanılan agregalar üzerinde yapılan fiziksel deneyler

Örnek kodu	İnce malzeme içeriği (%)	Çok ince malzeme içeriği (%)	Yassılık endeksi (%)	Tane uzunluğu (%)	Su emme (%)	Tane yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )
BBO	0.07	0.03	19.0	0.9	0.22	2.71
BC	0.10	0.05	13.2	12.0	0.24	2.66
BD	0.05	0.00	16.5	2.1	0.17	2.68
BK	0.08	0.02	8.1	0.0	0.45	2.68
BTH	0.27	0.15	21.4	5.2	0.30	2.77
BTM	0.10	0.03	17.2	3.8	0.15	2.76
BBI	0.50	0.41	10.4	5.3	0.21	2.69
BI	0.45	0.04	11.2	7.2	0.22	2.70
BE	0.27	0.03	5.4	0.0	0.42	2.73

**Tablo 6.** Çalışma kapsamında kullanılan agregalar ve karotlar üzerinde yapılan mekanik deneyler

Örnek kodu	Los Angeles katsayısı (%)	Micro-Deval katsayısı (%)	MgSO <sub>4</sub> değeri (%)	Basınç dayanımı (MPa)
BBO	11	7	1.53	205
BC	14	9	0.72	195
BD	11	5	0.60	206
BK	12	11	1.84	216
BTH	9	7	1.31	288
BTM	8	8	2.6	258
BBI	12	8	0.73	193
BI	13	10	1.38	165
BE	9	13	1.32	195

**Tablo 7.** Bazaltik agregaların tane büyüklüğü dağılımları

Elek açıklığı (mm)	BBO	BC	BD	BK	BTH	BTM	BBI	BI	BE
	% Geçen								
80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
63	94.83	92.73	99.39	99.50	98.22	100	99.02	100	100
50	54.97	55.07	81.84	82.27	77.50	82.34	73.77	56.75	87.35
40	25.01	21.79	45.47	48.71	47.35	57.03	23.75	9.42	64.46
31.5	9.00	5.51	18.19	21.73	21.73	26.28	2.75	3.90	30.69
22.4	0.92	0.50	0.60	0.35	3.59	0.71	0.52	0.47	1.11
0.5	0.07	0.10	0.05	0.08	0.27	0.10	0.50	0.45	0.27
0.063	0.03	0.05	0	0.02	0.15	0.03	0.41	0.04	0.03

**Tablo 8.** 1000, 2000 ve 3000 devir Los Angeles aşınma test sonuçları

Deney adı		BBO	BC	BD	BK	BTH	BTM	BBI	BI	BE
Los Angeles katsayısı (%)	1000 devir	11	14	11	12	9	8	12	13	9
	2000 devir	19	23	17	20	14	13	20	19	15
	3000 devir	24	30	24	27	19	17	26	23	21

## BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

**Tablo 9.** İlksel (saha çalışmalarından getirilen balastlar üzerinde) ve 3000 devir Los Angeles cihazında çevrilip yıpratıldıktan/aşındırıldıktan sonra yapılan magnezyum sülfat test sonuçları

Deney adı	BBO	BC	BD	BK	BTH	BTM	BBI	BI	BE
*MgSO <sub>4</sub> değeri (%)	1.53	0.72	0.60	1.84	1.31	2.60	0.73	1.38	1.32
Los Angeles katsayısı (3000 devir) + MgSO <sub>4</sub> değeri (%)	2.95	0.92	0.65	3.30	1.68	2.77	1.62	3.95	2.28

\* Tablo 6'dan alınmıştır.

**Tablo 10.** Bazaltik kayaçların mikro çatlak özellikleri

Numune	BBO	BC	BD	BK	BTH	BTM	BBI	BI	BE
ilksel	-	2308 µm	2393 µm	-	3510 µm	-	-	-	1764 µm
1000 devir Los Angeles	-	730 µm	568 µm	-	3415 µm	-	2274 µm	-	3248 µm
2000 devir Los Angeles	-	263 µm	6555 µm	1728 µm	2869 µm	815 µm	2149 µm	-	4436 µm
3000 devir Los Angeles	-	-	2315 µm	-	3665 µm	1292 µm	5037 µm	-	3459 µm
ilksel (MgSO <sub>4</sub> )	338 µm	2914 µm	2276 µm	2133 µm	1207 µm	2093 µm	2905 µm	-	6212 µm
3000 devir Los Angeles + MgSO <sub>4</sub>	711 µm	2573 µm	4883 µm	4366 µm	1234 µm	3923 µm	2287 µm	-	5756 µm

(-): Mikro çatlak tespit edilemeyen kesitlere ait örnekler.

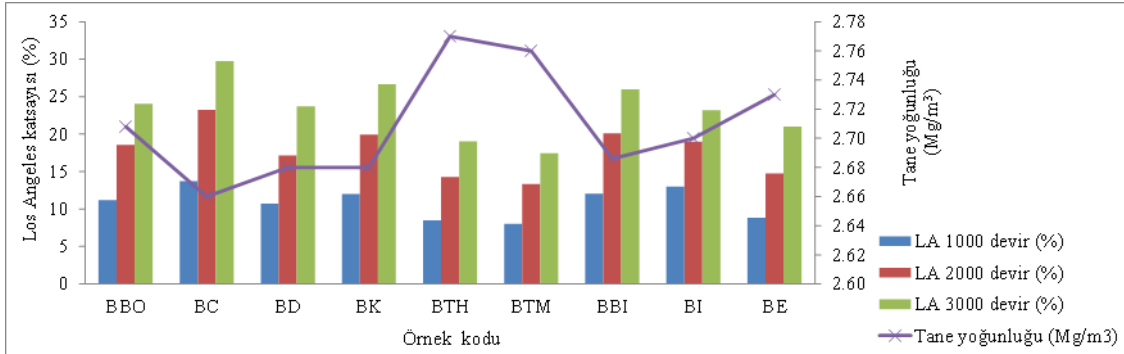
**3. BULGULAR DEĞERLENDİRİLMESİ**

Arıoğlu vd. [1]'de belirttiği gibi, ulusal ve uluslararası demiryolu balast şartname değerleri dikkate alındığında (Tablo 11), bu çalışma kapsamında kullanılan tüm bazaltik kayaçlardan üretilmiş balastlar her türlü demiryolu uygulamaları için belirtilen şartname değerlerini sağlamaktadır. Bu durum örneklerin bileşiminde bulunan az miktarda ayrılmış mineral yüzdesinden bir başka deyişle örneklerin ayrılmamış (taze) olmalarından kaynaklanmaktadır. Örneklerin ayrılmamış olması bu örneklerin yüksek dayanım ve dayanıklılık özelliklerine sahip olmasını da sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan balast örneklerinin üzerinde yapılmış 1000, 2000 ve 3000 devir Los Angeles testlerinin sonuçları ile aynı balastların tane yoğunluklarının karşılaştırılması Şekil 6'da sunulmuştur. Buna göre, balast örneklerinin tane yoğunlukları artıkça Los Angeles aşınma katsayıları azalmakta yani balastlar (devir sayısı artsa bile) aşınmaya/yıpranmaya karşı dayanım kazanmaktadır. Buna ilaveten, özellikle BTH ve BTM kodlu örnekler diğerlerine göre daha yüksek tane yoğunluğuna ve dolayısıyla da daha düşük Los Angeles aşınma katsayısına sahiptirler. Bu durumun, ilgili iki örneğin de hamur ve olivin içeriklerinin yüksek yüzdeye sahip olmasından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır.

**Tablo 11.** Ulusal ve bazı uluslararası demiryolu balast şartname değerleri [1]

Balast özelliği	Avustralya	Amerika	Kanada	İspanya		Türkiye
				>4000/t gün A balast $\sigma_{b,lab} \geq 120$ MPa	>4000/t gün B balast $\sigma_{b,lab} \geq 100$ MPa	
Los Angeles katsayısı	<%25	<%40	<%20	≤%19-%22	≤%26	≤%15
Yassılık endeksi	<%30	-	-	-	-	≤%20
Tane Uzunluğu	<%30	-	<%25	-	-	≤%25
MgSO <sub>4</sub> değeri	-	-	<%10	%8	%8	≤%5
İnce malzeme içeriği	-	<%1	<%1	-	-	0.5 mm elek ≤%0.6 %0.063 mm elek ≤%0.5
Tane yoğunluğu	>2.5	-	>2.6	-	-	-



**Şekil 6.** 1000, 2000 ve 3000 devir Los Angeles test sonuçları ile tane yoğunluklarının karşılaştırılması

Micro-Deval, magnezyum sülfat ve 3000 devir çevrim yapılan Los Angeles aşınma testi sonrasında aynı örnekler üzerinde yapılan magnezyum sülfat test sonuçlarına göre (Tablo 6, 8 ve 9), bu çalışmada kullanılan bazaltlar yüksek dayanıma ve dayanıklılığa sahip olup, bu kayaçların demiryolunda balast olarak kullanılmaları durumunda servis ömürleri süresince minimum düzeyde balast kirlenmesine neden olacaktır. Bu durum kayaçların bileşiminde bulunan çok düşük miktardaki ayrılmış mineral içeriğine ve kayaçların düşük su emme değerlerine sahip olmalarına bağlı olduğu düşünülmüştür (Tablo 2 ve 5).

Agregaların parçalanma özelliklerini ortaya koymak için kullanılan en etkili yöntem, Los Angeles aşınma testidir. Bu test, demiryollarında kullanılan balastın servis ömrü süresince tren yükünden nasıl etkilendiğini ortaya koymak için kullanılan pratik ve etkili bir testtir [10, 11]. Bu durum çalışmadaki tüm Los Angeles test sonuçlarında da gözlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan bazalt agregalarının Los Angeles aşınma katsayıları, devir sayısı arttıkça, artmakta, bir başka deyişle, devir sayısı arttıkça balast parçalanması da artmaktadır (Tablo 8). Özetle, tren yükü altında balast üzerinde biriken bu stres, balastların parçalanmasına yetecek kadar gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır.

Daha önce bir çok araştırmacı kayaçların kimyasal içeriklerini baz alarak çeşitli indeksler geliştirmiştir (Tablo 12). Bu çalışmada kullanılan bazaltların petrografik ve kimyasal özelliklerinin, balast kirlenmesine etkilerini ortaya koymak için, bazalt agregalarının petrografik ve kimyasal bileşimleri ile dayanım özellikleri

**BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLLENMESİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

karşılaştırılmıştır. Bunun için, bu çalışmada bazalt agregaları için yeni bir petrografik indeks tanımlanmıştır. Bu indeks aşağıdaki formül ile gösterilmiştir;

$$PI = H / (Px + Pl + Om) \tag{1}$$

- PI = petrografik indeks
- H = hamur yüzdesi
- Px = piroksen yüzdesi
- Pl = plajiyoklas yüzdesi
- Om = opak mineral yüzdesi.

Çalışma kapsamında kullanılan bazaltların mineral bileşimleri kullanılarak ve yukarıda tanımlanan petrografik indeks formülüne göre her bir örneğin petrografik indeks değerleri hesaplanmıştır (Tablo 13). Elde edilen bu indeks ile Los Angeles aşınma katsayıları (1000, 2000 ve 3000 devir) karşılaştırıldığında, petrografik indeks arttıkça Los Angeles aşınma katsayıları azalmaktadır (Şekil 7). Bunun dışında, basit regresyon analizi yardımıyla, kimyasal indeksler ile Los Angeles aşınma katsayıları (1000, 2000 ve 3000 devir) karşılaştırılmıştır. Analizlerden elde edilen ilişkiler ve korelasyon katsayıları Şekil 8’de sunulmuştur. Buna göre, bazalt agregalarının Los Angeles aşınma katsayıları ile Vogt oranı arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Buna ilave olarak, Vogt oranı ile kimyasal alterasyon indeksi arttıkça ve değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi azaldıkça, Los Angeles aşınma katsayısı değerleri artmakta bir başka deyişle agregalar daha fazla aşınma/parçalanmaya uğramaktadırlar (Şekil 8a, 8b ve 8c).

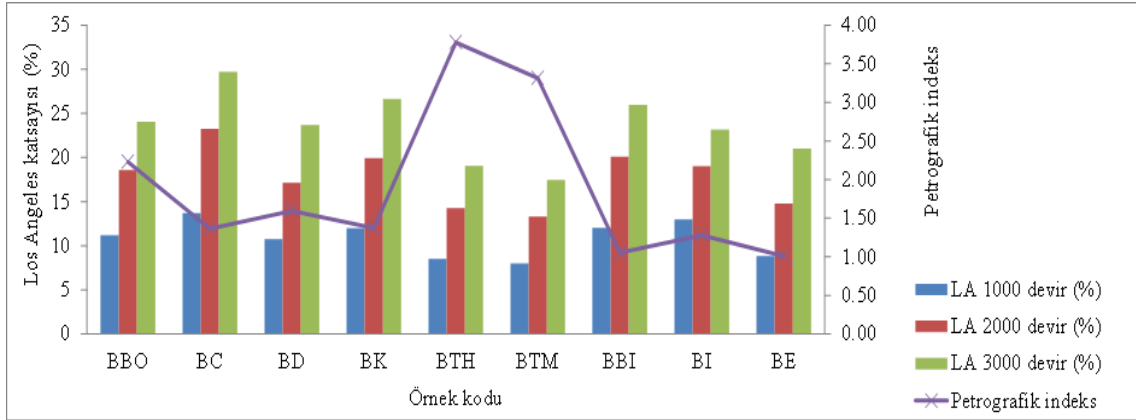
**Tablo 12.** Daha önceki çalışmalarda önerilen bazı kimyasal indeks formülleri

İndeks adı	Formül
Vogt oranı, VR [12, 13]	$\frac{Al_2O_3 + K_2O}{MgO + CaO + Na_2O}$
Değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi, MWPI [14]	$\frac{[Na_2O + K_2O + CaO + MgO] \times 100}{[Na_2O + K_2O + CaO + MgO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3]}$
Kimyasal alterasyon indeksi, CIA [15]	$\frac{Al_2O_3 \times 100}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O}$

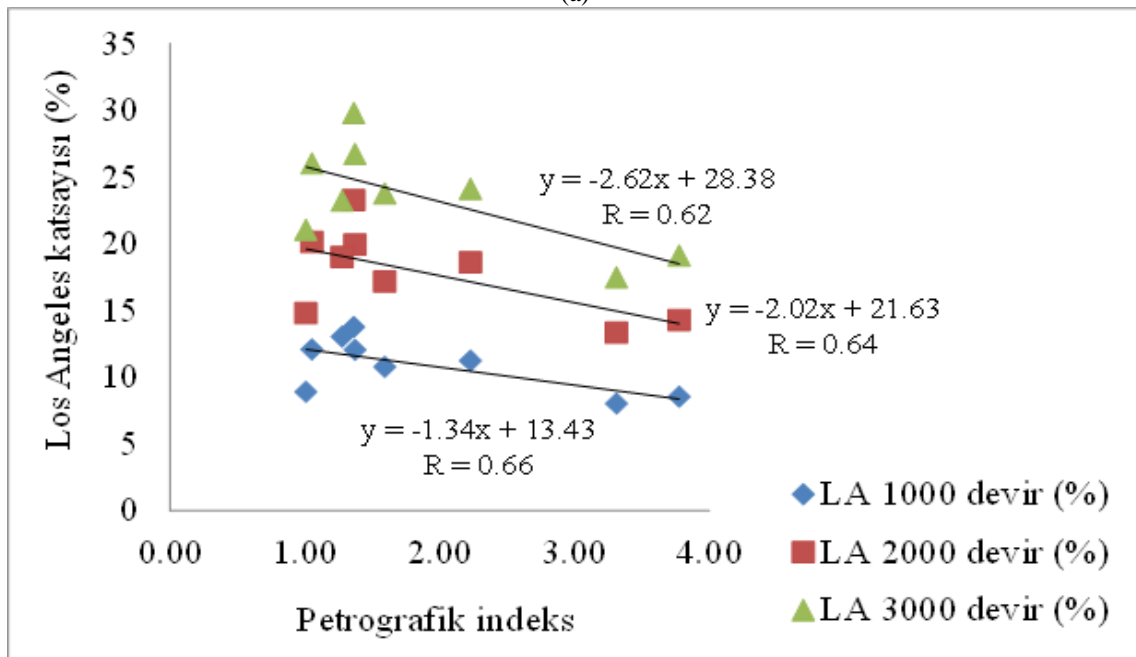
**Tablo 13.** Bazaltik agregaların petrografik ve kimyasal indeks değerleri

Örnek kodu	İndeks adı			
	Petrografik indeks	Vogt oranı	Değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi	Kimyasal alterasyon indeksi
BBO	2.23	1.51	15.36	61.78
BC	1.36	1.67	16.74	58.83
BD	1.60	1.38	15.13	59.85
BK	1.37	1.34	19.05	55.35
BTH	3.78	0.62	28.47	45.13
BTM	3.31	0.63	27.59	48.59
BBI	1.05	1.41	16.31	59.38
BI	1.28	1.45	12.34	64.00
BE	1.01	0.77	29.12	43.46

Ö.F. APAYDIN, M. YILMAZ



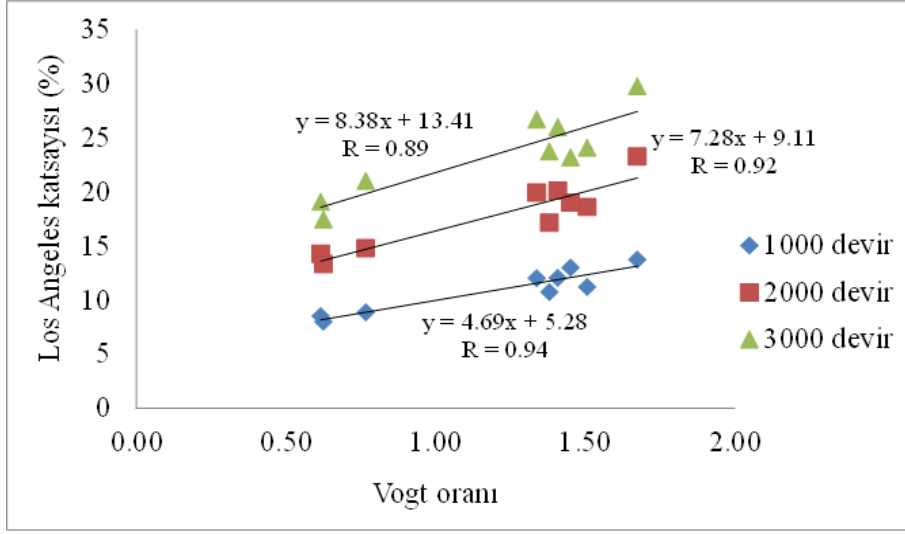
(a)



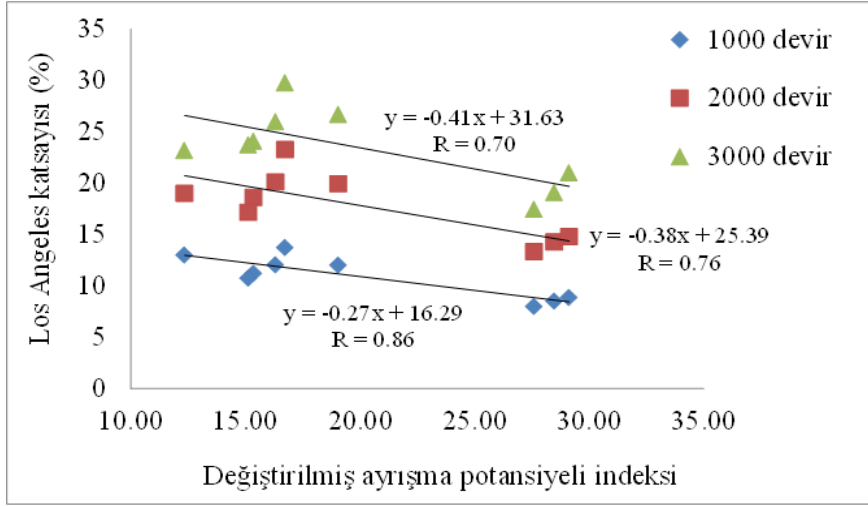
(b)

Şekil 7. (a) Petrografik indeks ile Los Angeles aşınma katsayılarının karşılaştırılması, (b) Petrografik indeks ile Los Angeles aşınma katsayılarının basit regresyon analizi ile karşılaştırılması

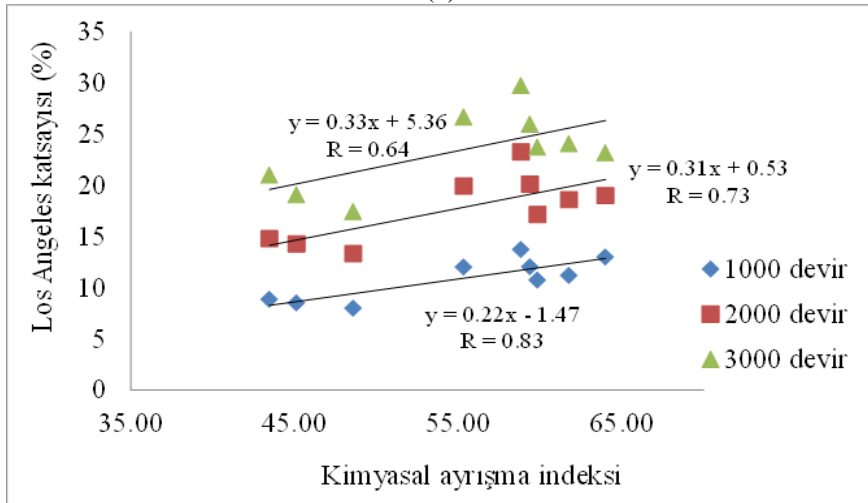
BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI



(a)



(b)



(c)

Ö.F. APAYDIN, M. YILMAZ

**Şekil 8.** Los Angeles aşınma katsayıları (1000, 2000 ve 3000 devir) ile kimyasal indeksler (a) Vogt oranı, (b) değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi, (c) kimyasal alterasyon indeksi arasındaki ilişkilerin karşılaştırılması

Agregaların mekanik parçalanma özelliklerini belirlemek için kullanılan test yöntemlerinden bir diğeri de Micro-Deval aşınma testidir. Bu test, sulu bir ortamda agrega tanelerinin birbirlerini aşındırmaya uğratması ve agregaların aşınmaya karşı göstermiş oldukları direnci belirlemek için yapılmaktadır [10]. Çalışma kapsamında yapılan Micro-Deval test sonuçlarına göre, bazaltik agregalardan birbirlerine yakın Micro-Deval katsayıları elde edilmiştir (Tablo 14). Ancak bu katsayılar basit regresyon yöntemi aynı agregalara ait petrografik ve kimyasal indekslerle karşılaştırıldığında, bu parametreler arasında kabul edilebilir anlamlılık düzeyinde herhangi bir ilişki belirlenmemiştir (Tablo 14).

**Tablo 14.** Agregaların dayanım ve dayanıklılık test sonuçları ile indeksler arasında belirlenen korelasyon katsayıları (R)

Örnek kodu	İndeks adı			
	Petrografik indeks	Vogt oranı	Değiştirilmiş ayrışma potansiyeli indeksi	Kimyasal alterasyon indeksi
Micro-Deval katsayısı	-0.46	-0.14	0.29	0.34
MgSO <sub>4</sub> değeri	+0.51	-0.54	0.46	-0.38
Los Angeles testi (3000 devir) sonrası yapılan MgSO <sub>4</sub> test sonucu (%)	-	-0.07	-0.06	0.10

İklim koşullarındaki değişimler, demiryolu balastlarının servis ömürleri süresince parçalanmasına neden olmaktadır. Bu iklim koşullarının (donma-çözünm) balastlar üzerindeki etkileri belirlemek amacı ile durabilite (dayanıklılık) testleri yapılmaktadır. Magnezyum sülfat testi balastların donma-çözünme özellikleri belirlemede yaygınca kullanılan bir metottur [2]. Bu çalışmada bazaltik agregalar üzerinde yapılan magnezyum sülfat test sonuçları değerlendirildiğinde, petrografik ve kimyasal indeksler ile magnezyum sülfat değerleri arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir (Tablo 14). Buna ilaveten, balast kirliliği açısından tren yüklerinden kaynaklanan dinamik yüklerin ve iklimsel koşulların etkilerini ortaya koyabilmek için 3000 devir Los Angeles aşınma testi sonrası çıkan balast örnekleri üzerinde magnezyum sülfat testleri yapılmıştır (Tablo 9). Elde edilen sonuçlara göre, petrografik ve kimyasal indeksler ile 3000 devir Los Angeles testi sonrası yapılan magnezyum sülfat testinden elde edilen sonuçlar arasında da anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir (Tablo 14).

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan farklı özelliklere sahip bazaltik kayaların balast agregası olarak kullanılabilirlikleri ve balast kirlenmesi yönünden karşılaştırılması nedenleri ile birlikte ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetle verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan bazaltik kayalar, yüksek dayanım ve dayanıklılık özelliklerinden dolayı ayrışmamış veya çok az ayrışmış olan bazaltik agregalar, balast olarak kullanılmaları durumunda, hızlı tren projeleri de dahil olmak üzere her türlü demiryolu projesinde, demir yollarının servis ömrü süresince herhangi bir şekilde balast kirlenmesine neden olmayacakları belirlenmiştir. Buna ek olarak, elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde, bileşiminde yüksek hamur ve olivin yüzdesine sahip olan bazaltik agregalar, diğer bazaltik agregalara göre daha yüksek dayanımlı oldukları belirlenmiştir.

Bu çalışmada bazaltik agregalar için ilk defa tanımlanmış olan bir petrografik indeks ve literatürde yaygınca kullanılan bazı kimyasal indeksler, bazalt kirlenmesi açısından değerlendirmek için kullanılacak önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Ancak petrografik indeks ile kimyasal indeksleri kendi içlerinde

*BAZALTİK KAYAÇLARIN BALAST KİRLENMESİ YÖNÜNDE KARŞILAŞTIRILMASI*

kıyaslandığında, kimyasal indeksler, özellikle Vogt oranı, bu çalışmada tanımlanan petrografik indekse göre daha anlamlı sonuçlar vermiştir.

Bazaltik agregalar üzerinde farklı devir sayılarında Los Angeles ve MgSO<sub>4</sub> testleri yapılmış ve agregaların bünyesinde gelişen mikro çatlak özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dinamik yükler ve iklimsel koşullar altında ayrışmamış bazaltik agregalarda düzenli bir mikro çatlak gelişimi tespit edilememiştir. Bundan dolayı bazaltik agregaların bünyesinde bulunan veya gelişen mikro çatlaklar, balast kirlenmesine neden olmayacağı düşünülmektedir.

**KAYNAKLAR**

- [1] AROĞLU, E., KURT, G., YOLDAŞ, R., YALÇIN, H., “Kimi Kayaçların Çok Yüksek Devirli (>500) Los Angeles Aşınma Değerleri”, 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.93-101, İstanbul, 2009.
- [2] MCNALLY, G.H., Soil and Rock Construction Materials, E and FN Spon, First published, s. 403, London and New York, 1998.
- [3] SCHILLING, R., “Ballast Cleaning of Single Track Railway Lines: A Strategic Analysis”, Rail Engineering International Edition 1; 8-12, 2005.
- [4] ROBERTS, R., AL-QADI, I., BOYLE, J., “Railroad Ballast Fouling Detection Using Ground Penetrating Radar – A New Approach Based on Scattering from Voids”, ECNDT Th.4.5.1, s.8, 2006.
- [5] KNOWN, H.B., PARK, C.S., “An Experimental Study on the Relationship between Ballast Flying Phenomenon and Strong Wind under High Speed Train”, Proceedings of 7th World Congress on Railway Research, Montreal, Canada, s.625, 2006.
- [6] KORKANÇ, M. AND TUĞRUL, A., “Evaluation of selected basalts from Niğde, Turkey, as source of concrete aggregate”, Engineering Geology, 75, 291-307, 2004.
- [7] KORKANÇ, M., TUĞRUL, A., “Beton agregası olarak kullanılacak bazaltların alkali-silis reaksiyonu yönünden değerlendirilmesi”, İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, S.2, 161-169, 2005.
- [8] SELIG, E.T., WATERS, J.M., Track geotechnology and substructure management, Thomas Telford Ltd., London, 1994.
- [9] ERKAN, Y., Magmatik Petrografi, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2006.
- [10] COOLEY, L.A., HUNER, M.H. AND JAMES, R.S., “Micro-Deval Testing of Aggregates in the Southeast. National Center for Asphalt Technology Report 2002-09”, Auburn University, Alabama, 2002.
- [11] LIM, W.L., MCDOWELL, G.R., “Discrete Element Modeling of Railway Ballast”, Granular Matter, 7;19-29, 2005.
- [12] Vogt, T., “Sulitjelmefeltets geologiog petrografi”, Norges Geologiske Undersøkelse, 121, 1-560, 1927.
- [13] Roaldset, E., “Mineralogy and geochemistry of Quaternary Clays in Numedal Area, Southern Norway”, Narsk. Geol. Tidsskr, 52, 335-369, 1972.
- [14] Vogel, D.E., “Precambrian weathering in acid meta-volcanic rocks from the Superior Province”, Villebond Township, South Central Quebec”, Can J Earth Sci 12:2080–2085, 1973.
- [15] NESBITT, H.W. AND YOUNG, G.M. “Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites”, Nature. 299. 715-717, 1982.