



# Van-Süphan Dağı bölgesinde bulunan bazalt kayaçlarının demiryolunda balast malzemesi olarak kullanımının değerlendirilmesi

## *Evaluation of the use of basalt rocks in Van-Süphan mountain region as ballast material in railway*

### Fırat KIPÇAK

Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Bölümü, [firatkipcak@yyu.edu.tr](mailto:firatkipcak@yyu.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3849-7545>

#### MAKALE BİLGİLERİ

##### Makale Geçmişi:

Geliş 28 Eylül 2023  
Revizyon 16 Ocak 2024  
Kabul 7 Haziran 2024  
Online 30 Haziran 2024

##### Anahtar Kelimeler:

Arazi Kullanımı,  
Bazalt,  
Balast,  
Demiryolu,  
Süphan Dağı

#### ÖZ

Bazalt, doğada çok yaygın bulunan volkanik bir kayaç türüdür. Volkanik olay sonucu sıcaklık ve basınç altında eriyen kayaçlar soğuyarak bazalt kayaçlarını oluşturmaktadır. Yüksek dayanımlı ve aşınmaya karşı dirençli olması nedeniyle demiryolu, alt ve üst yapılar, tarihi yapılar gibi birçok alanda yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Van-Süphan Dağı arasında yer alan bazalt kayaçlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bölge ile ilgili literatürde yeterli veri bulunmaması nedeniyle bu çalışmanın bilgi açıklığını gidereceği görülmüştür. Bu bağlamda bazaltın hızlı ve yüksek hızlı tren hatlarında balast malzemesi olarak kullanımı ve arazi durumu değerlendirilmiştir. Çalışmanın kapsadığı bölgede bazalt gelişigüzel dağılmış ve Süphan Dağının bulunduğu coğrafyada çok geniş alanları kaplamıştır. Bölgede incelemeler yapılmış ve kaya örnekleri alınmıştır. Bu amaçla bazalt kayaçlarının tek eksenli basınç, Los Angeles parçalanma, donma-çözülme, su emme oranı ve özgül kütle deneyleri yapılmıştır. Deneysel ve gözlemsel çalışmalar bölgede bulunan bazaltın demiryolu yapımında balast malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Bölgenin Süphan Dağı dışında dağlık arazi olmaması ve uygun rezerv barındırması nedeniyle değerlendirilebileceği sonucu çıkarılmıştır. Ayrıca bazalt kayaçlarının araziler üzerinden kaldırılmasıyla arazilerin daha verimli kullanılmasına imkân sağlayacağı konusu değerlendirilmiştir.

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 28 September 2023  
Received in revised form 16 January 2024  
Accepted 7 June 2024  
Available online 30 June 2024

##### Keywords:

Ballast,  
Basalt,  
Land Use,  
Railway,  
Süphan Mountain

#### ABSTRACT

Basalt is a widely found type of volcanic rock in nature. As a result of volcanic event, rocks melting under temperature and pressure cool down and form basalt rocks. Due to its high strength and resistance to abrasion that is used as building material in many areas such as railway, infrastructure and structures, historical buildings. This study aims to investigate the basalt rocks between Van-Süphan Mountain in the Eastern Anatolia region of Turkey. Since there is not enough data in the literature about the region, it is seen that this study will fill the information gap. In this context, the use of basalt as ballast material in speed and high-speed railway lines and the land situation were evaluated. In the region covered by the study, basalt is randomly distributed and covers very large areas in the geography of Mount Süphan. Investigations were made in the region and rock samples were taken. For this purpose, uniaxial compression, Los Angeles abrasion, freeze-thaw, water absorption rate and specific mass tests of basalt material were carried out. Experimental and observational studies have shown that basalt in the region can be used as ballast material in railway construction. It was concluded that the region can be utilized since there is no mountainous terrain except Süphan Mountain and it contains suitable reserves. In addition, it was evaluated that the removal of basalt material from the lands would allow more efficient use of the lands.

Doi: 10.24012/dumf.1367888

## Giriş

Balast malzemesi demiryolu ile zemin arasında bulunan temel tabakasının yapımı için kullanılmaktadır. Balast 22.4-63 mm büyüklüğünde kırmataş malzemesinden oluşan ve köşeli yapıda bulunan malzemedir [1]-[3]. Balast malzemesi granit, bazalt, gabro, diyabaz, siyenit, granodiyorit, diyorit, porfir gibi malzemelerin kırılması ile elde edilmektedir [1], [3]-[6]. Demiryolu yapımında kullanılacak malzeme çoğunlukla yakın agrega ocaklarından elde edilmektedir. Balast malzemesi irili yapıya sahip oluşu için çevresel etkilere karşı daha dirençlidir. Bu sayede demiryolu servis ömrü uzamaktadır. Ayrıca irili yapıya sahip olduğundan su drenajı doğal olarak sağlanmaktadır [5]. Bu durumda donma-çözülme ile tabakanın ayrışma durumu daha düşüktür. Türkiye Alp-Himalaya deprem kuşağında yer aldığından çok sayıda deprem olmaktadır. 2007 deprem yönetmeliğine göre değerlendirmede Türkiye yüz ölçümünün %42'si birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır [7]. Son zamanlarda yaşanan 2011 Van depremi ( $M_w=7.2$ ), 2020 Elazığ depremi ( $M_w=6.8$ ) ve 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ( $M_w=7.7$ ) ve Elbistan ( $M_w=7.6$ ) depremleri sonrası deprem önemi gittikçe artmış ve deprem tehlike haritası değişmiştir. Bu nedenle yapılan yolların deprem direncinin yüksek olması gerekmektedir. Demiryolu servis ömrü boyunca hareketli ve titreşim yükleri ile çevresel koşullara maruz kalmaktadır. Bu bağlamda demiryolunda kullanılacak balast agregasının (TCDD) Balast Teknik Şartnamesi (2020), TS 7043 EN 13450 ile TS 699 standartlarına uygun olması gerekir [2], [3], [8]-[12]. Standartlara göre balastın yüksek dayanımlı, sürtünmeye, aşınmaya ve atmosferik koşullara karşı dirençli, uygun agrega dağılımlı, drenaj kabiliyeti yüksek ve homojen dağılımlı olması gerekir [5]. Ayrıca malzemenin yuvarlak ve pürüzsüz dere çakılı tipinde olmaması, ince malzeme ve zararlı bileşen içermemesi gerekir. Balast malzemesi sert, dayanıklı, köşeli ve uygun tane dağılımlı olmalıdır [13], [14]. Volkanik kayalar yüksek sıcaklık ve basınç altında başkalaşım geçirerek dayanım kazandıklarından demiryolu yapımında balast malzemesi olarak kullanımı oldukça tercih edilmektedir [11], [12], [15]. Demiryolu üzerine etkileyen raylı sistem yükleri, temele temelden zemine iletilir. Temel malzemesinin karakteristik özellikleri, standartlara uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle balast malzemesi yeterli kalınlıkta uygun bir şekilde yerleştirilmeli ve sıkıştırılmalıdır [13]. Balast içinde aşırı ince agreganın bulunması ve balastın aşırı sıkıştırılması nedeniyle su drenajı engellenebilir. Bu nedenle uygun olan optimum granülometrinin kullanılması önem taşımaktadır [13], [16]. Balast zaman geçtikçe parçalanmakta, aşınmakta veya çevresel etkilerle ince taneli olmaktadır. Böylelikle granülometri değişmekte ve yapısal bütünlük bozulmaktadır. Bu durumda demiryolu üst yapısı zarar görmekte ve demiryolu hattının bozulmasına neden olmaktadır [17]-[19]. Her geçen gün yol yapım maliyetleri artmakta ve malzeme temini zorlaşmaktadır. Birçok çalışmada bu kapsamda karayolu ve demiryolunda kullanılan malzeme ocaklarının durumları ve ekonomik etkinlikleri araştırılmıştır [3], [11], [16].

Çalışma kapsamında Van-Süphan Dağı arasında bulunan bölgede bazalt kayalarının Van-Erciş güzergahından Vana yapılacak olan hızlı tren hattı için balast olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada Van Gölünün batı ve kuzeybatı bölgesinde volkanik kayaların yoğunlukta

bulunması nedeniyle bölgede yapılacak demiryolları için temel malzemelerinin kolay temin edilebileceği değerlendirilmiştir. Bu bağlamda teknik standartlar dikkate alınarak bazalt kayaları üzerinde bir dizi deney yapılmış ve uygun standartlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yörede bulunan bazalt rezervinin toplanması ve demiryolunda kullanılması ile verimli tarım arazilerinin temizlenmesi konu edilmiştir. Aynı zamanda demiryolu için uygun malzeme temin edilerek demiryolunun ülke ekonomisine katkısı değerlendirilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Süphan Volkanik Dağı Bazaltı

Süphan Dağı, Holosen döneminden kalan volkanik bir dağdır. Van Gölünün kuzeybatı bölgesinde bulunmaktadır ve yüksekliği 4058 m'dir [20]. Pearce (1990) kaynağın göre 4434 m yüksekliğindedir [21]. Dağ kütlesi merkezden çıkan lav akıntılarında oluşmuştur. Geniş alana yayılımı ile Van Gölünün kuzey batı şeklini oluşturmuş ve verimli tarım arazilerini kaplamıştır. Son patlaması kaynaklarda kesin olarak belirlenmemesi ile birlikte MÖ 5800 yılında gerçekleşmiştir. Volkanizma çok akıcı bir yapıya sahip olmamış üst üste birikerek yükselmiştir [21]. Dağın tepesindeki düzlüklerde buzul gölleriyle birlikte çanak (kaldera) bulunmaktadır. Süphan Dağının kısa kenarı yaklaşık 20 km, uzun kenarı ise 50 km'dir (Şekil 1). Volkanik faaliyetler sonucu kraterden dışarı çıkan konsolide olmuş volkan külü veya tozundan tüf, cüruf ve pomzanın zamanla oluştuğu farklı çalışmalarda ifade edilmiştir [22]. Lav akıntıları zamanla soğuyarak bazalt, granit, tüf ve pomza gibi kayaları oluşturmuştur. Bu kayaların mekanik ve fiziksel özellikleri karstik kayalara oranla yüksek olduğundan zamanla erime ve çözülme etkileri daha düşüktür. Bu nedenle bölgede çok miktarda bazalt kayaları ilk halini korumaktadır. Ayrıca bölgede yapılan gözlemler ile farklı noktalarda pomza rezervleri tespit edilmiştir. Bu pomza rezervleri işlenerek bölgeye yakın il ve ilçelerde üst yapıda kullanılmak üzere hafif dolgu malzemesi olan bims blok yapımında kullanılmaktadır.



Şekil 1. Süphan Volkanik Dağı (Google Earth)

Bazalt, volkanik olayların bulunduğu bölgelerde yaygın bulunan bir kayadır. Gabronun yüzey kayacı olup magmatik kayac grubuna giren bazik kayadır. Lav akıntılarının yer yüzeyine çıkıp hızla soğuması ile oluşur [21]. Bazalt camsı, kristal yapıda ve koyu renklidir [23]. Kimyasal bileşiminde

plajiyoklaz (labrador, andezin, oligoklaz veya albit), ojit, olivin, kuvars, manyetit ve ilmenit bulunmaktadır [11], [23], [24]. Mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça yüksektir. Türkiye'deki birçok bazalt yatağı Miyosen dönemi sonrası oluşmuştur [25]. Bazalt kayaları betonarme yapılarda, tarihi yapılarda, karayolu ve demiryolu yapılarında agrega malzemesi olarak oldukça kullanılmaktadır [24]. Ayrıca yol yapımında bazalt karışımı agregalardan elde edilen bitümlü karışımların kalker karışımı olanlardan daha yüksek esneklik modülüne sahip olduğu ve dayanımın arttığı farklı çalışmalarda ifade edilmiştir [26]. Van ili ve Süphan Dağı arasındaki bölgede bazalt kayalarının yanı sıra kireçtaşı, pomza, trakit gibi  $SiO_2$  içeriği %45-60 arasında değişen kayalar bulunmaktadır [27]. Bölge de bulunan pomza taşı birçok çalışmada değerlendirilmiştir. Pomzanın beton veya dolgu malzemesi olan bims blok yapımında kullanımı farklı çalışmalarda araştırılmıştır [27], [28]. Ancak Süphan Dağı bölgesinde bulunan volkanik kayalar geçmişten günümüze yeteri düzeyde değerlendirilmemiştir. Dağın eteklerinde kayaların bulunmadığı veya temizlendiği verimli araziler üzerinde tarım yapılmaktadır (Şekil 2). Bu araziler sulanabilir imkanlara sahiptir ancak bazalt yığınları nedeniyle tarım zorlukla yapılmaktadır. Bu yığınların temizlenmesi ile oldukça geniş alanların tarıma kazandırılacağı ön görülmektedir.

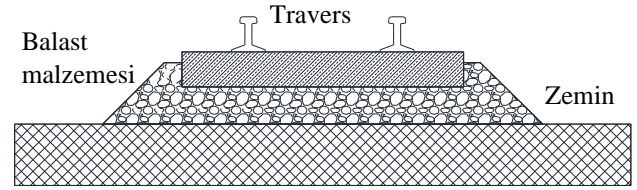


Şekil 2. Süphan Dağı bölgesinde bulunan bazalt kayaları

### Demiryolu Balast Malzemesi

Demiryolu, üzerine gelen tren dinamik yüklerini zemine güvenle aktarabilmek için yüksek dayanımlı olmalıdır. Ayrıca aşınmaya karşı dirençli ve doğal drenaja sahip malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Yük aktarımının doğru ve sürekli olması gerektiğinden çok miktarda bulunan volkanik kayalar granit ve bazaltlar ideal bir malzeme olarak bu ihtiyacı karşılamaktadır. Bu nedenle balast malzemesi üst yapı yüklerini zemine doğru bir şekilde dağıtarak azaltma

görevini üstlenmektedir. Demiryolu üst yapısı yükü alana dağıtmak amacıyla tabakalı yapılıdır. Bu tabakalar demiryolu rayları, travers, balast, alt balast ve zeminden oluşmaktadır. Şekil 3'te tipik demiryolu üst yapısının enkesiti verilmiştir. Zamanla yolda oturma oluşabileceğinden tabaklar arası kaynaşmayı sağlamak için yol malzemesi yeterli düzeyde sıkıştırılır. Balast tabakası traverslerin üzerine oturduğu kırmataş tabakasından meydana gelmektedir [29]. Yolun çökmesi ve kaymasını engellemek amacıyla traversler bir miktar balast malzemesinin içine gömülür. Balast malzemesi yolun bazı kısımlarında dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Düzgün bir yük dağılımı ile yol stabilitesini sağlamak için uygun granülometride balast malzemesi kullanılır. Balastlı temel, traversler için yeterli düşey ve yanal mesnedi oluşturmaktadır. Balast temelinin agregalı olması ve betonlanmaması nedeniyle bakım ve onarımı oldukça kolaydır. Balastın irili yapısı nedeniyle yağmur ve kar suları için doğal drenaj sağlanmış olur. Yan yüzeyleri eğimli yapıldığı için yağmur suları yan yüzeylerden drene edilebilir özelliğindedir. Balast malzemesinin aşırı sıkıştırılması ile drenaj engellenebilir. Ayrıca yolun kullanılması ile zamanla balast malzemesi kırılarak küçük tanelere dönüşmekte ve malzemenin granülometrisini değiştirmektedir. Bu durumda da yolun drenajı engellenebilmektedir. Bu nedenle optimum düzeyde sıkıştırma gerekir.



Şekil 3. Tipik demiryolu üst yapısının enkesiti

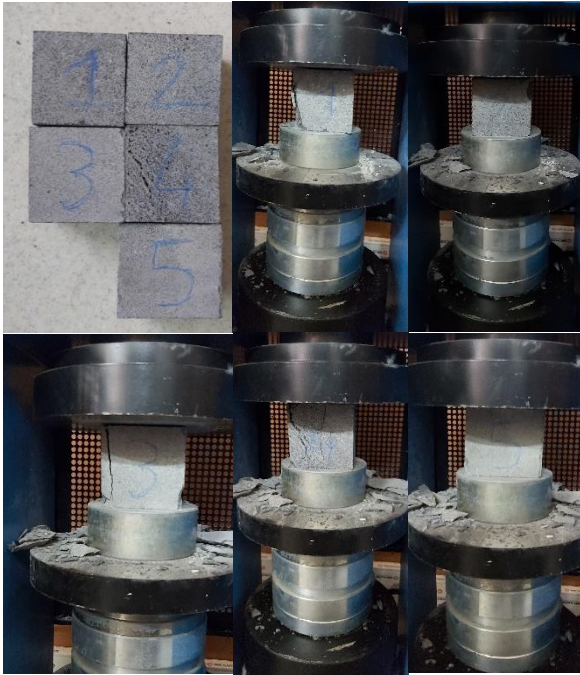
Balast malzemesinin kırıcılarda ufalanması ve yol hattına döşenip sıkıştırılması ile üst yapı oldukça hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Yolun böylece hızlı yapılması ile erken hat döşenebilmekte ve hızlı ulaşım sağlanabilmektedir. Yol geometrisinin değiştirilmesi veya tren yüklerinin artırılması durumunda hızlı bir şekilde üst yapıda değişiklikler yapılmaktadır. Demiryolu kullanım ömrü balast malzemesinin kalitesine, granülometrisine ve yeterli düzeyde sıkıştırılmasına bağlıdır. Eğer balastlı malzeme ihtiyaç duyulan özelliklere sahip değil ise yol stabilitesi sağlanmamış olur yolda çökme, kayma vs. meydana gelebilir.

### Bazalt Deneyleri ve Standartlar

#### Tek eksenli basınç deneyi

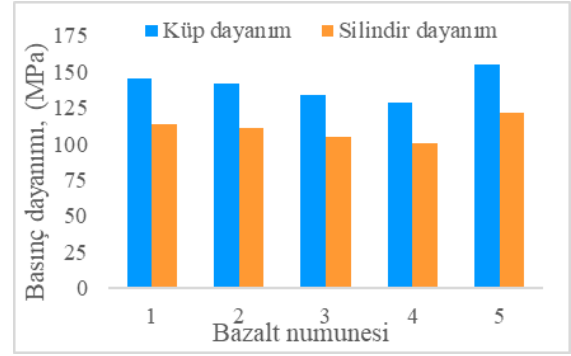
Demiryollarında balast malzemesi olarak bazalt kayacının kullanılması için detaylı fiziksel, mekanik, petrografik ve indeks parametreleri "TCDD Balast Teknik Şartnamesinde (2020)" verilmiştir [8]. Bu çalışmada yapılması gerekli olan deneylerden tek eksenli basınç deneyi, Los Angeles parçalanma direnci, su emme oranı, özgül kütle, donma-çözülme oranı, özgül ağırlık tayini deneyleri dikkate alınmıştır. Laboratuvar eksiklikleri nedeniyle diğer deneyler (Mikro-deval aşınma,  $MgSO_4$ , Noktasal yük, Brezilya yarma deneyleri) yapılmamıştır. Yönetmelikte önem verilen çalışmada en önemli iki deney belirleyici faktör olmaktadır. Bunlar malzemenin doğrudan mukavemetini belirlemek için

kullanılan tek eksenli basınç deneyi ve Los Angeles parçalanma deneyidir. Bazalt yüksek dayanımlı olduğu için beton gibi davranış göstermektedir. Tek eksenli basınç deneyi ile beton gibi malzemelerin temel mekanik özelliği belirlenebilir [30], [31]. Basınç deneyi ile balast malzemesi doğru bir şekilde sınıflandırılabilir ve türüne karar verilebilir [32], [33]. Tek eksenli basınç deneylerinde TS EN 1926 ve TS EN 13791 standartları esas alınmıştır [34], [35]. Beton gibi malzemelerin basınç dayanımının hesaplanmasında çoğunlukla küp numune, elastisite modülünün hesaplanmasında silindir numune kullanılmaktadır [30], [31]. Ayrıca küp ve silindir numuneler genel standartlara uygun ölçülerde olduğundan karşılaştırılabilir özelliktedir [36]. Bu nedenle çalışmada 5 adet 100 mm'lik küp bazalt numune araziden alınan bloklardan kesilmiş ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 4). Numune yüzeyleri pürüzsüz ve eğimsiz kesildiği için ek başlık yapılmamıştır. Basınç yükleme hızı 1.0 MPa/s ile ayarlanmıştır. Küp numunelerin ortalama basınç dayanımı 140.93 MPa ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 1 ve Şekil 5'te verilmiştir. Standart silindir basınç dayanımını (150-300 mm) elde etmek için Demirel ve Gökdemir (2014) çalışmasına göre dönüşüm katsayısı 1/1.28 ile çarpılarak 110.10 MPa bulunmuştur [37]. Standart sapma değeri ise 8.15 olarak elde edilmiştir. Bazalt kayacının basınç mukavemeti hesaplanmış ve TS 7043 EN 13450 standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir [9].



Şekil 4. Bazalt numuneleri ve tek eksenli basınç deneyi

Deney No	Küp dayanım (MPa)	Silindir dayanım (MPa)
1	145.42	113.61
2	141.74	110.73
3	133.86	104.58
4	128.34	100.27
5	155.28	121.31
Ortalama	140.93	110.10



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanım değişimi

### Los Angeles parçalanma deneyi

Balast malzemesi dinamik yükler altında zamanla parçalanmakta ve aşınmaktadır. Kayaç türüne göre parçalanma ve aşınma süresi değişmektedir. TCDD balast teknik şartnamesine (2020) göre malzemenin parçalanma direncini ölçmek için Los Angeles deneyi yapılmalıdır [8]. Bu doğrultuda TS EN 1097-2 standardına göre Los Angeles deneyi yapılmıştır (Şekil 6) [33]. Standart gereği çelikten yapılmış tambur içerisine 12 adet çelik bilye konulmuştur. 10-14 mm elek aralığındaki 5000 g bazalt malzemesi tambura konularak 30-33 devir/dakika ile toplam 500 devir yapılmıştır. Devir sırasında çelik bilyeler bazalt agregalarına çarparak malzemeyi kırmıştır. Toplam malzeme 1.6 mm'lik göz açıklıklı elekten elenmiş ve kayıp oranı LA değeri hesaplanmıştır. TS 7043 EN 13450'ye göre HT/YHT (Hızlı Tren/ Yüksek Hızlı Tren Hatları) LA değeri %14'ün altında bulunmuştur [9].



Şekil 6. Bazalt agregası ve Los Angeles deneyi

Numune	Malzeme boyutu (mm)	Malzeme miktarı (g)	1.7 mm üstü malzeme miktarı (g)	Los Angeles parçalanma değeri, LA (%)
Bazalt	10-14	5000	4584	8.32

### Su emme oranı ve birim hacim kütle deneyi

Bazaltın su emme oranı tayini TS EN 1097-6 Ek-B'ye uygun olarak yapılmıştır (Şekil 7) [38]. Deney standardına uygun olarak 10 ve 14 mm göz açıklıklı elek aralığındaki malzeme etüvde  $105 \pm 2$  C° sıcaklıkta 24 saat kadar bekletilip tamamen kurutulmuştur. Tamamen kuru 4000 g malzeme suya doygun hale 3 gün bırakılmıştır. Yön ve Karataş 2022 çalışmasında benzer şekilde küp numuneler 2 gün suya doygun hale getirilmiş ve ardından yüzeyi kurutulmuştur [39]. Doygun su, kuru yüzey ağırlığı 4054 g olarak ölçülmüştür. Su emme oranı %1.35 olarak bulunmuş ve HT/YHT için TS 7043 EN 13450'de verilen sınır değer ile karşılaştırılmıştır [9]. Ayrıca birim hacim kütlelerinin belirlenmesi için küp numuneler kullanılmıştır. TS EN 1097-6 Ek-B'ye uygun olarak bazalt birim hacim kütleleri  $2.834 \text{ t/m}^3$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 7) [38].



Şekil 7. Bazalt, su emme oranı ve birim hacim kütle deneyi

### Donma-çözülme deneyi

Malzemenin donma-çözülme direnci mekanik davranışını gösteren ayrı bir parametredir. Donma-çözülme iklimsel koşullar altında malzemenin durabilitesi hakkında bilgi edinmek için oldukça önemlidir [39], [40]. Durabilitenin harç ve benzeri malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkilediği ifade edilmiştir [39]. Li ve diğ. 2022 çalışmasında donma-çözülme döngüsü ile kılcal boşlukların genişlediği bu durumda mikro çatlakların makro özellikleri etkilediği ve yapısal sorunlara neden olduğu ifade edilmiştir [41]. Bu bağlamda bazalt kayaçlarının donma-çözülme tepkisinin öğrenilmesi gerekmektedir. Çalışmada bazalt agregasının donma-çözülme direncini ölçmek için TS EN 1367-1 standardı kullanılmıştır [42]. Ancak laboratuvar koşulları nedeniyle magnezyum sülfat deneyi yerine su ile donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Hamzah ve diğ. 2021, Moodi ve diğ. 2021 ve Mermerdaş ve diğ. 2021 çalışmalarında 300 donma-çözülme döngü ile beton numunelerinin deneyleri yapılmış ve tek eksenli basınç değişimi gözlenmiştir [43]-[45]. Her 50 döngüde ağırlık kaybı, yüzey bozulması ve ultrasonik ses dalga hızı (UPV) değerleri ölçülerek kayıp gözlenmiştir. Yön ve Karataş 2022 çalışmasında harç ve beton numunelerinin 100 döngüde donma-çözülme deneyi yapılmıştır [39]. Her 25 döngüde ağırlık kaybı, yüzey bozulması ve ultrasonik ses dalga hızı (UPV) değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada ise yüksek döngü sayısına ihtiyaç duyulmadığından daha az donma-çözülme döngüsü yapılmıştır. Etüvde 24 saat kadar tamamen kurutulan ve 8-16 mm açıklıklı elek arasında kalan Şekil 8'de verilen 2000 g'lık malzeme deneye tabi tutulmuştur.  $-17.5 \pm 2.5$  C° ile  $+20 \pm 3$  C° arasında 10 döngü yapılarak donma-çözülme uygulanmıştır.

Her döngü bir gün içerisinde yapılmıştır. Donan agregalar  $+20$  C°'da sıcaklığında 24 saat içinde çözülmüş ve tekrar bir sonraki çevrim için dondurulmuştur. Döngüyü tamamlayan agregalar etüvde  $105 \pm 2$  C° sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tamamen kuru hale getirilmiştir. Ardından TS EN 1367-1 standardına uygun olarak kayıp malzemenin hesaplanması için 4 mm açıklıklı elekten elenmiştir [42]. 4 mm göz açıklıklı elekten geçen malzeme ince agrega olarak sınıflandırıldığından ve balast malzemesi olarak kullanımı uygun olmadığından donma-çözülme kayıp ölçümünde bu elek kullanılmıştır. Tablo 3'te detaylar verilmiştir. Donma-çözülme sonrası elde edilen malzeme kaybı %1.1 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Donma-çözülme kaybı

Numune	Malzeme boyutu (mm)	Malzeme miktarı (g)	4 mm üstü malzeme miktarı (g)	Donma-çözülme kaybı (%)
Bazalt	8-16	2000	1978	1.1



Şekil 8. Bazalt agregasının donma çözülme deneyi

### Bazalt kayacının kimyasal analizi

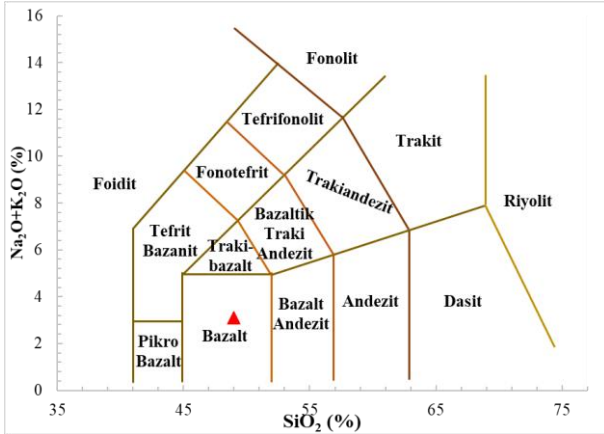
Le Maitre, 1989 çalışmasına göre volkanik kayaçlar kimyasal içeriğindeki  $\text{SiO}_2$  ile  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  yüzdelik oranına göre 15 ayrı sınıfa ayrılmıştır [46], [47]. Sınıflandırmada koordinat takımı kullanılmış ve toplam alkali-silika (TAS) diyagramı oluşturulmuştur. Bu diyagram ile bazalt, andezit, dasit, riyolit, foidit, fonolit, trakit ve bunların birleşimleri sınıflandırılabilir. Bu bağlamda günümüze kadar volkanik kayaçların kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmasında temelde bu yöntem uygulanmıştır.

Tablo 4. İncelenen bazalt kayacının kimyasal analiz sonuçları

$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{MgO}$ (%)	$\text{CaO}$ (%)	$\text{Na}_2\text{O}$ (%)
49.0	17.2	10.0	7.3	10.7	2.5
$\text{K}_2\text{O}$ (%)	$\text{TiO}_2$ (%)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	$\text{MnO}$ (%)	A.Za (%)	
0.6	1.4	0.2	0.2	0.45	

Literatürde bulunan birçok çalışmaya benzer şekilde bazalt kayacının sınıfı belirlenmeye çalışılmıştır [46]. Bu amaçla bazalt kayacının XRF (X-ışını Floresan) analizi gerçekleştirilerek kimyasal özellikleri Tablo 4'te verildiği

gibi belirlenmiştir. Bazalt kayacında  $\text{SiO}_2$  ile  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  değerleri sırasıyla 49.0 ve 3.1 bulunmuştur. Bu oranlara göre bazalt kayacının TAS diyagramındaki yeri Şekil 9'daki gibi üçgen sembolü ile işaretlenmiştir.



Şekil 9. Toplam alkali-silika (TAS) diyagramı volkanik kayaç sınıflandırılması [47]

## Bulgular ve Tartışma

Süphan Dağı bazaltının demiryolunda balast malzemesi olarak kullanılması için TCDD balast teknik şartnamesine (2020) göre dikkate alınan deneyler standartlara uygun olarak yapılmış ve Tablo 5'te verilmiştir [8]. Tek eksenli basınç dayanımı, Los Angeles parçalanma direnci, su emme tayini, özgül kütle ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Bulgulara göre tüm sınır değerleri karşıladığı ve demiryolu yapımında balast olarak kullanımına uygun olduğu görülmüştür. Kenan vd., (2012) ile Kahraman ve Yapıcı (2022) çalışmalarında da kullanılan bazaltların için benzer sonuçlar bulunmuştur [3], [11]. Çalışmada dikkate alınan bazalt kayaçları Van-Erciş doğrultusunda, Van ili ile batı illeri arasında daha az engebe ve dağların bulunduğu güzergâhta bulunmaktadır. Deney bulguları ile malzeme temininin kolay olduğu görülmüştür. Bu bağlamda Van iline yapılacak hızlı ve yüksek hızlı tren hattının ülke ekonomisine katkı sağlayacağı söylenebilir. Bölgeler arası ulaşımı hızlandıracağı ve Van bölgesinin kalkınmasını hızlandıracağı söylenebilir.

Tablo 5. Süphan Dağı bazaltının sonuçları ve uygun standart değerleri

Deney Türü	Uygulanan Standart	Deney Sonucu	Standart Değeri	Değerlendirme
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	100 mm küp TS EN 1926 (2007), TS EN 13791 (2019) [34], [35]	110.10 MPa	Sert kayaç grubu	Uygun
Los Angeles Parçalanma Kaybı	TS EN 1097-2 (2020) [33]	%8.32	LA<%20	Uygun
Su Emme Oranı	10-14 mm TS EN 1097-6 (2022) [38]	%1.35	Maks. %1.5	Uygun
Özgül Kütle	TS EN 1367-1 (2009) [42]	2.834 t/m <sup>3</sup>	Min. 2.60 t/m <sup>3</sup>	Uygun
Donma Çözülme		%1.1	Maks. %3	Uygun

## Sonuç

Türkiye'de Doğu Anadolu Bölgesinde volkanik faaliyetler sonucu bazalt kayalarları oldukça yer kaplamaktadır. Volkanik bir kayaç olan bazalt yüksek dayanımlı, dirençli ve ağır bir malzemedir. Van-Süphan Dağı arasında bulunan bazalt kayalarının TCDD balast teknik şartnamesine (2020) uygun olarak hızlı ve yüksek hızlı tren hatlarında balast olarak kullanımı değerlendirilmiştir [8]. Deneylerde özetle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Tek eksenli basınç, Los Angeles parçalanma, su emme oranı, özgül kütle ve donma çözülme deneylerine göre bazalt kayacının uygun olduğu görülmüştür.
- Bölgede bulunan bazalt kayalarının yüksek dayanımlı olması nedeniyle demiryolu yapımına olanak vereceği sonucuna varılmıştır.
- Alt ve üst yapıların inşası için bazalt agregasının temin edilebileceği gözlenmiştir.
- Oldukça geniş alana yayılan bazaltın temizlenmesi ile yeni tarım arazilerinin ortaya çıkarılacağı söylenebilir.

- Yüksek hızlı tren hattının yapımı ile hızlı ulaşım sağlanmış olacaktır. Doğu-batı etkileşimi artarak bölgenin kalkınması hızlanacaktır.
- Hızlı tren hattının yapılması ile yeni üretim alanlarının ve istihdamın sağlanacağı söylenebilir.

## Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır”

## Yazar Katkıları

Kıpçak: Çalışma konsepti ve tasarım, veri toplama, verilerin analizi ve yorumlanması, taslağın oluşturulması, revizyon,

## Teşekkür

Yazar: Van yüzüncü yıl üniversitesi ve Dicle üniversitesi yapı ve geoteknik laboratuvar sorumlularına teşekkürlerini sunmaktadır.

**Kaynaklar**

- [1] M. Kozak, "Demiryolunda rayların birleşim noktaları ve özelliklerinin araştırılması," *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 40-49, 2011.
- [2] T. Koray, İ. Çobanoğlu ve M. Demir, "Ofiyolitler içerisindeki gabro dayklarının balast malzemesi olarak kullanılabilirliği: inceler (Bozkurt-Denizli) örneği," *KSU Mühendislik Dergisi*, 17(2), 2014.
- [3] E. Kahraman ve N. Yapıcı, "Kurtpınar (Ceyhan) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 16, pp. 14-22. doi: 10.47072/demiryolu.1082366, 2022.
- [4] M. Ç. Bayrak, "Altyapı özelliklerinin demiryolu üstyapısının performansına etkisi," *Yayınlanmamış doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 176s, 2018.*
- [5] W. L. Lim, "Mechanics of railway ballast behaviour," *Yayınlanmamış doktora tezi, University of Nottingham, 2004.*
- [6] R. Roberts, J. Rudy, I. A. Qadi, E. Tutumluer ve J. Boyle, "Railroad Ballast Fouling Detection Using Ground Penetrating Radar-A New Approach Based on Scatte-ring from Voids," *ECNDT 2006 Symposium, Berlin, 2006.*
- [7] K. V. Çelik and H. Karaşin, "Karbon elyaf ile betonun güçlendirilmesi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 1-11, Jun. 2014
- [8] TCDD Balast Teknik Şartnamesi, TCDD 2020, Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Devlet Demir Yolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 22s, 2020.
- [9] Demiryolu Balastları için Agregalar, TS 7043 EN 13450, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [10] Doğal yapı taşları- inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, TS 699, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [11] O. Kenan, İ. Topal ve E. Poşluk, "Ankara-İstanbul yüksek hızlı tren demiryolunda balast hammaddesi olarak granit ve bazaltın birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması ve aşınma dayanımlarına etkisi," *MT Bilimsel*, (1), 81-89, 2012.
- [12] A. Yılmaz, "Demiryolu üstyapısında balast kirliliği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6(1): 11-17, 2015.
- [13] M. Bozkurt, "Demiryolu I," *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1989.*
- [14] Standard Method of Test for Resistance to Degradation of Small- Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, AASHTO T 96-02, 2019.
- [15] M. Saltan ve A. A. EL, "Farklı bölgelerden temin edilen bazalt agregasının temel ve alt temel malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 28(3), 346-353, 2022.
- [16] M. Kozak, "Demiryolu balastının ve özelliklerin araştırılması," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 13, pp. 86-96, doi: 10.47072/demiryolu.831684, 2021.
- [17] A. Binal, K. E. Kasapoglu, ve C. Gokceoglu, "The surficial physical deterioration behaviour of Neogene volcano-sedimentary rocks of Eskiehir-Yazihkaya, NW Turkey," *Proc. Int. Symp. On Engineering Geology and Environment, Athens, Greece, A.A. Balkema, Rotterdam, V3, 3065-3069, 1997.*
- [18] K. Oğul, İ. Topal ve E. Poşluk, "Ankara-İstanbul yüksek hızlı tren demiryolunda balast hammaddesi olarak granit ve bazaltın birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması ve aşınma dayanımlarına etkisi," *Yer Altı Kaynakları Dergisi*, s:1, 2012.
- [19] M. T. Şengün ve M. Siler, "Harput Platosu'ndaki Genç Volkanik Alanlar ve Bu Arazilerin Kullanımı" *Fırat Üniversitesi Harput Araştırmaları Dergisi Cilt: I, Sayı:1, Elâzığ, 2014.*
- [20] Wikipedia, Süphan dağı, (08.2023). [https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCphan\\_Da%C4%9F%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCphan_Da%C4%9F%C4%B1).
- [21] J. A. Pearce, J. F. Bender, S. E. De Long, W. S. F. Kidd, P. J. Low, Y. Güner, F. Şaroğlu, Y. Yılmaz, S. Moorbath ve J. J. Mitchell, "Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia Turkey," *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229, 1990.
- [22] S. Kılıçaltan and U. Demir, "Hafif Blok Üretiminde Çanakkale Ayyvacık Volkanik Tüfünün Agregata Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 12, no. 5, pp. 821-828, Dec. 2021. doi:10.24012/dumf.1051469.
- [23] M. Derman, Ö. Adıgüzel, E. Zengin ve Z. A. Ergüler, "Sabuncular-Kütahya arasındaki demiryollarında balast malzemesi olarak kullanılan volkanik kayacın fiziksel mineralojik ve aşınma özellikleri üzerinde bozunma süreçlerinin etkisi," *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, ISSN-1302-3055, 2012.
- [24] M. Akatay, "Diyarbakır bazaltlarının bazı önemli malzeme özelliklerinin tahribatsız yöntemlerle belirlenebilirliğinin araştırılması," *Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.*
- [25] J. A. Hudson, "Engineering properties of rocks," volume 4, Elsevier, 2005.
- [26] İ. Güzel and A. Benli, "Bazalt Agregalı Bitümlü Sıcak Karışım Tabakalarının Dinamik Rijitlik Modülünün Hesaplanması Ve Marshall Tasarım Kriterleriyle Karşılaştırılması", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 11, no. 3, pp. 1373-1384, Sep. 2020, doi:10.24012/dumf.712090.
- [27] O. O. Varol, M. Ayhan and V. Oyan, "Van İli Kuzeyinde Yer Alan Ortaç Volkanik Agregalarda ASR Etkilerinin İncelenmesi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 817-827, Sep. 2018.
- [28] E. Işık, A. Karaşin ve Y. Kayan, "Pomzadan imal edilmiş çelik lif katkılı bims blokların mekanik özelliklerinin araştırılması", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 11, sayı. 2, ss. 723-730, Haz. 2020, doi:10.24012/dumf.493530.
- [29] M. Ozburan, "Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi," *Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 209s, 2009.*

- [30] V. Abdullah, E. Aydın and İ. Bedirhanoglu, "Beton elasticsite modülünün ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, vol. 8, no. 3, pp. 475-484, Jul. 2017.
- [31] Z. Zebari, İ. Bedirhanoglu and E. Aydın, "Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, vol. 8, no. 1, pp. 43-52, Mar. 2017.
- [32] J. C. Dixon, C. E. Thorn, R. G. Darmody ve P. Schlyter, "Weathering rates offine pebbles at the soil surface in Karkevagge," Swedish Lapland. Catena 45, 273-286, 2001.
- [33] Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TS EN 1097-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2020.
- [34] Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Basınç dayanımı tayini, TS EN 1926, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [35] Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, TS EN 13791, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [36] S. Yılmaz Çetin and R. İnce, "Küp numunelerin yarmada-çekme dayanımında agrega granülometrisinin boyut değişimi üzerine etkisi", Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, vol. 8, no. 3, pp. 443-451, Jul. 2017
- [37] C. Demirel ve A. Gökdemir, "Çeper etkisi oluşmayan farklı biçim ve boyuttaki beton numunelerin basınç dayanımlarının deneysel karşılaştırılması," Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 6(3), 29-48, 2014.
- [38] Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, TS EN 1097-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2022.
- [39] M. Ş. Yön ve M. Karataş. "Evaluation of the mechanical properties and durability of self-compacting alkali-activated mortar made from boron waste and granulated blast furnace slag." Journal of Building Engineering 61, 105263, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105263>.
- [40] M. Ş. Yön, F. Arslan, M. Karatas & A. Benli, "High-temperature and abrasion resistance of self-compacting mortars incorporating binary and ternary blends of silica fume and slag". Construction and Building Materials, 355, 129244, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129244>.
- [41] F. Li, D. Chen, Y. Lu, H. Zhang ve S. Li, "Influence of mixed fibers on fly ash based geopolymer resistance against freeze-thaw cycles." Journal of Non-Crystalline Solids 584, 121517, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2022.121517>.
- [42] Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini, TS EN 1367-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [43] H. K. Hamzah, G. F. Huseien, M. A. Asaad, D. P. Georgescu, S. K. Ghoshal ve F. Alrshoudi, "Effect of waste glass bottles-derived nanopowder as slag replacement on mortars with alkali activation: Durability characteristics". Case Studies in Construction Materials, 15, e00775, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00775>.
- [44] F. Moodi, N. Sepehr ve D. Pooria. "Mechanical properties and durability of alkali-activated slag repair mortars containing silica fume against freeze-thaw cycles and salt scaling attack." Advances in concrete construction 11.6, 493-505. 2021. <https://doi.org/10.12989/acc.2021.11.6.493>.
- [45] K. Mermerdaş, İ. Süleyman ve M. Zana "Visual inspection and mechanical testing of fly ash-based fibrous geopolymer composites under freeze-thaw cycles." Construction and Building Materials, 283, 122756, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122756>.
- [46] G. Saruşık, "Volkanik Kayaçların Endüstriyel Kullanımı Üzerine Bir Araştırma". MT Bilimsel (23), 1-14, 2023.
- [47] Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B, "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram". J Petrol. 27, 74-750, 1986.