

## Farklı bölgelerden temin edilen bazalt agregasının temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması

### Investigation of usability of basalt aggregate obtained from different region as base and sub-base material

Mehmet SALTAN<sup>1</sup> , Alev AKILLI EL<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.  
mehmetsaltan@sdu.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye.  
aakilli@beu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 30.05.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 21.06.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 17.06.2021

doi: 10.5505/pajes.2021.26529  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bu çalışmada, ülkemizde son yıllarda birçok alanda yaygın olarak kullanılan ve rezervine sık rastlanan gri-siyah renkli volkanik kökenli bazalt agregasının yol inşaatında temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmada; Isparta, Ankara-Polatlı, Afyonkarahisar-Emirdağ bölgelerindeki taş ocaklarından bazalt ve sedimanter kökenli kalker agrega numuneleri temin edilmiştir. Üç farklı bölgeden temin edilen agrega numuneleri TS 3530 EN 933-1 (2012) standardına göre farklı tane boyutlarında sınıflandırılmıştır. Farklı tane boyutlarındaki agregalar, etüvde 24 saat kurutulmuş ve gradasyon eğrisine göre homojen olarak karıştırılmıştır. Laboratuvar ortamındaki agrega karışımları üzerinde; elek analizi, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile dona karşı dayanıklılık, darbe ile parçalanma, agregalarda özgül ağırlık ve su emme deneyleri, sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneyleri, Mikro-Deval deneyleri yapılmıştır. Ayrıca oluşturulan agrega numunelerinin sıkıştırılmış haldeki nem ve yoğunluk arasındaki ilişkinin belirlenmesi için Proktor deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler ile numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bazalt malzemesinin özelliklerinin bölgesel olarak değiştiğini, Ankara-Polatlı bazalt agregasının donma-çözülme kaybının %1 olduğunu, agrega numunelerinin dona karşı dayanımı ve aşınma değeri bakımından standartlardaki sınır değerlerini aşmadığını göstermiştir. Ayrıca bazalt agregasının esnek üstyapı inşaatında kullanım açısından daha uygun olduğu, kalker malzemesinin ise yol taban zemini ya da alttemel malzemesi olarak kullanımının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Bazalt agregasının yolun ömrünün uzamasında oldukça büyük katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bazalt, Agrega, Alttemel, Temel.

#### Abstract

In this study, the usability of gray-black volcanic basalt aggregate, which has been widely used in many areas in our country in recent years where its reserves are common, as base and sub-base material in road construction has been experimentally investigated. In the study, basalt and sedimentary limestone aggregate samples were obtained from the quarries in Isparta, Ankara-Polatlı, Afyonkarahisar-Emirdağ regions. Aggregate samples obtained from three different regions have been classified in different particle sizes according to the TS 3530 EN 933-1 (2012) standard. Aggregates of different particle sizes have been dried in the drying oven for 24 hours and mixed homogeneously according to the gradation curve. Sieve analysis, frost resistance with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, impact fragmentation, specific gravity and water absorption tests on aggregates, compact and loose unit weight tests, Micro-Deval tests were performed on aggregate mixtures in laboratory environment. In addition, Proctor test was conducted to identify the relationship between the compressed moisture and density of the aggregate samples formed. The physical and mechanical properties of the samples have been detected with the experiments and their usability as base and sub-base material have been compared. The results show that the properties of the basalt material change depending on the region, the freeze-thaw loss of Ankara-Polatlı basalt aggregate is 1%, and the aggregate samples do not exceed the limit values of frost resistance and abrasion value. In addition, it has been found that basalt aggregate is more suitable to be used in flexible pavement construction, while limestone material is more suitable to be used as road base or sub-base material. It has been found that basalt aggregate would make a great contribution in increasing the lifetime of roads.

**Keywords:** Basalt, Aggregate, Subbase, Base.

## 1 Giriş

Esnek üstyapı, tesviye sathıyla sıkı bir temas sağlayan ve kaplamadan gelen trafik yüklerini kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şeklidir. Esnek üstyapılarda kullanılan malzemelerin ağırlıkça yüzdelik kısmının büyük bir bölümünü granüler malzemeler oluşturmaktadır. Üstyapıda kullanılan granüler tabakalar yol üstyapısına gelen yükleri azaltarak kendisinden daha az dirençli olan taban zeminine iletirler. Granüler tabakalar sayesinde kaplama üzerinden geçen araçlar aşırı bozulmalara neden olmadan üst yapıdan defalarca geçiş sağlayabilirler.

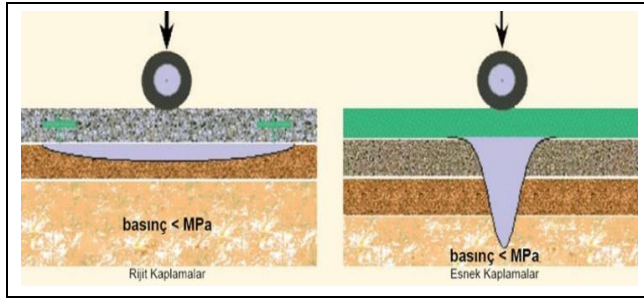
Özetle belirtmek istenirse granüler tabakalar üstyapının taşıyıcı iskeleti konumundadır [1]. Granüler tabakalarda kullanılacak olan malzemelerin mekanik özelliklerinin standartlar dahilinde belirlenebilmesi için düşey yükten dolayı oluşan gerilme büyüklüğü, uygulanan frekans, malzemelerin karışım oranları ve sıkıştırma koşulları gerçek ortama en uygun şekilde incelenmelidir [2].

Trafik yükünü taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen üstyapı genel olarak esnek üstyapılar ve rijit üstyapılar şeklinde iki temel sınıfa ayrılır. Esnek üstyapılar tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, alttemel, temel ve kaplama adı verilen

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

tabakalardan oluşur. Rijit üstyapı ise yüksek eğilme mukavemetine sahip ve çimentodan yapılmış tek tabakalı plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üstyapı tipidir. Genel olarak var olan taban zeminine üzerine serilen alttemel tabakası ve beton plaklar şeklinde iki tabakaya sahiptir. Yol üstyapısını oluşturan esnek ve rijit kaplamaların tabakalarında kullanılan agregalar özellikleri bakımından birbirine benzerdir. Ancak kullanılacak kaplama çeşidi, kullanım amacı ve trafik büyüklüğüne göre kullanılacak agrega özellikleri farklılık gösterebilir. Buna örnek olarak rijit kaplamalarda uygulanan alttemelin görevi zeminden gelebilecek don kabarmalarını önlemek buna ek olarak drenaj etkisini sağlamak vb. gibi görevleri üstlenmek iken esnek kaplamalarda uygulanan alttemel ve temel katmanlarının görevi ise bunlara ilave olarak kaplama üzerine gelen ve alt katmanlara iletilen trafik yüklerini emniyetli bir şekilde zemine aktarmaktır. Bununla birlikte bu katmanlarda kullanılan agrega, dane şekli, yüzey yapısı, aşınma oranı, karışım-yoğunluk, geçirimsizlik, plastisite gibi özelliklerinden dolayı aranan şartlar dâhilinde olması gerekmektedir. Esnek üst yapılarında, yolun üstyapisından alt tabakalara doğru gidildikçe gerilme yoğunluğu azalır, bundan dolayı bu tabakalarda üst tabakalarda kullanılan malzemelere istinaden daha zayıf malzemeler tercih edilebilir [3].

Şekil 1'de bir yol en kesitine bağlı olarak esnek ve rijit yol yapılarında oluşan gerilmeler görülmektedir. Bu durum karşısında üst tabakada olan aşınma tabakası içerisinde kullanılan aşınma özelliği diğer katmanlarda kullanılan agregalara göre daha dayanıklı olmalıdır [2].



Şekil 1. Kaplamalarda Yük Dağılımı [4].  
Figure 1. Load Distribution in Coatings [4].

'Mineral Agregası' olarak adlandırılan doğal mineraller ve kayalar, yapı malzemesi olarak çok sıkça kullanılır. Bu agregalar bina inşaatının her türlü yapımında, yol yapılarında, köprü, su yapıları, boru hattı gibi birçok farklı yapıda agrega olarak kullanılırlar. Bu nedenle agregalar inşaat sektöründe çok önemlidir. Dünyada en fazla tüketilen maddelerin başında su ve agrega gelmektedir. Agregası dünya genelinde tüm maden üretimleri içinde %58 lik pay ile birinci sıradadır [5].

Agregaları doğal olarak meydana getiren kayalar Magmatik, Metamorfik ve Sedimanter olmak üzere üçe ayrılır. Bu kayalar parçaları kırılarak kırılma taşı olarak kullanılır. Bir bağlayıcı yardımıyla bütünleştiğinde asfalt kaplama veya buna benzer sağlam yapılar meydana getirirler. Doğal kırılma taşı olarak sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir [6].

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından 1997 yılında yürürlüğe giren genelge kapsamında, ülkemizde uygulanan esnek yol kaplaması olarak inşa edilen bitümlü sıcak karışım (BSK) aşınma tabakasının; dayanıklı, kaymaya karşı dirençli olması ve yolun hizmet ömrünü, konforlu sürüş yeteneğini arttırması hususunda volkanik kayalardan meydana gelen

agreganın ağır trafiğin olduğu yollarda kullanılması uygun görülmüştür [7].

Tablo 1. Doğal taşların sınıflandırılması.

Table 1. Classification of natural stones.

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç
MAGMATİK	PLÜTONİK	Granit, Siyenit, Diyorit, Gabro, Peridotit
	VOLKANİK	Diyorit, Trakit, Andezit, Bazalt, Diyabaz
SEDİMANTER	KİMYASAL (Karbonatlı)	Dolomit, Kireçtaşı
	KIRINTILI (Silisli)	Konglomera, Kumtaşı, Kuvarsit, Kiltası, Seyl, Arjilit, Cört, Grovak
METAMORFİK	FOLİASYONLU	Amfibolit, Şist, Gnays, Sleyt, Fillit
	FOLİASYONSUZ	Mermer, Kuvarsit

Türkiye'de çok yaygın olarak bulunan volkanik kayalar yol üstyapılarında yaygın olarak tercih edilmemektedir. Tercih edilmeme sebeplerinden biri kayaların yüksek dayanımlarından dolayı taş ocaklarında bulunan kırıcı görevini üstlenen konkasörlerde hızlı aşınma meydana getirip işletme maliyetlerini yükseltilmesidir [3].

Volkanik kayaların bu olumsuz özellikleri bulunmasına rağmen bazalt agregasının basınç dayanımı, cilalanma katsayısı, aşınması ve dane dayanımı gibi özelliklerinin diğer agrega çeşitlerine göre daha üstün olmasından dolayı Avrupa ve Amerika'da yol üst yapılarında yaygın olarak tercih edilmektedir [3].

Bu çalışma kapsamında, Isparta, Ankara-Polatlı, Afyonkarahisar-Emirdağ bölgelerinden volkanik kökenli bazalt agregası ve sedimanter kökenli kalker agregası temin edilmiştir. Her iki agrega üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerini yol alttemel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliğini tespit etmek amacıyla çeşitli deneyler yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2 Materyal

Deneyisel çalışmalar için Isparta, Ankara-Polatlı, Afyonkarahisar-Emirdağ illerindeki taş ocaklarından Bazalt ve Kalker agregaları temin edilmiştir. Çalışma için temin edilen her bir agrega elek analizi deneyi kapsamında seri eleme işlemine tabi tutularak farklı tane dağılımlarına ayrılmıştır. Agregalar tane büyüklüğüne TS 3530 EN 933-1 (2012) standardına göre farklı tane boyutlarına göre sınıflandırılmıştır.

Deneye tabi tutulacak agregalar etüvde 24 sa. kurutularak Şekil 2'de verilen gradasyon eğrisine göre karıştırılmıştır. Gradasyon eğrisine göre hazırlanan karışımlar homojen bir dağılıma sahiptir. Laboratuvar ortamındaki agrega karışımları üzerinde granülometrik analiz (tane dağılımı-elek analizi), özgül ağırlık ve su emme değerleri için tel sepet ve piknometre deneyleri, sıkışık- gevşek birim ağırlıkları, sodyum sülfat ile dona karşı dayanıklılık, aşınma direnci ve parçalanma direnci deneyleri

yapılmıştır. Ayrıca optimum su muhtevası belirlenen karışımlar üzerinde nem ve yoğunluk ilişkisini belirlemek için proktor deneyleri yapılmıştır.



Şekil 2. Agregalara ait görünüm [9].

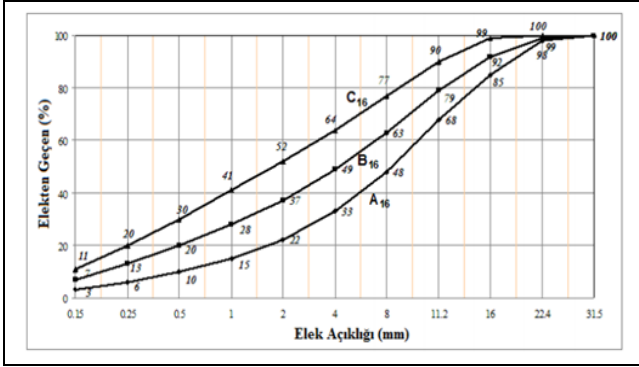
Figure 2. View of aggregates [9].

### 3 Metot

#### 3.1 Elek analizi

Bu deney TS 3530 EN 933-1 (2012) standardında belirtildiği gibi yapılmıştır. Eleme işlemi hem elek makinesi hem de el ile sarsmak suretiyle yapılmıştır. Standartta belirtildiği gibi en büyük elek en üstte olacak şekilde büyükten küçüğe elekler sıralanmış ve numune elekler üzerine boşaltılarak sarsma işlemine tabi tutulmuştur. Sarsma işlemi makinada en az 2 dakika sarsılarak gerçekleştirilmiş daha sonra numune kaybına yol açmadan el ile sarsılarak elek üzerindeki numuneler tane boylarına ayrılmıştır. Sarsma işleminden sonra her elek üzerinde kalan malzeme %0.1 duyarlılıkta terazi ile tartılarak kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan maksimum agrega tane boyutu 25 mm'dir [8].

Hazırlanan agregalara ait görünüm Şekil 2'de gösterilmiştir. Kullanılan agregaların tane dağılımı ise Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Kullanılan agregaların tane dağılımı.

Figure 3. grain distribution of aggregates used.

#### 3.2 Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini

##### 3.2.1 Tel sepet metodu (İri agregalar için)

Deney TS 1097-6 (2013) standardına göre yapılmıştır. Bu deney 4 mm ve 31.5 mm No'lu elekler arasında kalan numunelerin özgül ağırlıkları ve su emme değerlerini bulmak için yapılmıştır. 3 farklı bazalt ve kalker numunelerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Her numuneden 3.5 kg malzeme deneye tabi tutulmuştur. Tepsi içerisine yerleştirilen malzemeler üzerine 1

cm su çıkacak şekilde 24 sa. su içinde bekletilmiş ve daha sonra etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvden çıkartılan numuneler tel sepete yerleştirilerek ve tel sepet su seviyesinin en az 50 mm yukarısında olması kaydıyla 22 °C sıcaklıkta su ihtiva eden su tankına daldırılmıştır. Su tankına daldırılan sepet ve içerisindeki agrega numunesi tankın tabanından yaklaşık 25 mm yukarıda olacak şekilde sepet 25 defa bu yükseklikten düşürülerek numune içerisindeki hava uzaklaştırılır. Su içerisindeki sepet ve numune tartılarak kaydedilir. Sepet suyun içerisinden çıkartılarak bir bez üzerine alınarak suyunun süzülmesi sağlanır. Suyu süzülen numune bir havlu üzerine alınarak Doymun kuru yüzey ağırlığına gelinceye denk numunenin üzerindeki görünür haldeki su filmi uzaklaştırılmıştır. Ve agrega numuneleri tartılmıştır. Deney sonunda gerekli değerler kaydedilerek hesaplamalar yapılmıştır [10].

##### 3.2.2 Pikometre deneyi (ince agregalar için)

Deney TS 1097-6 (2013) standardına göre yapılmıştır. Piknometre deneyi 4 mm ve 0.063 mm No.lu elekler arasında kalan numunelerin özgül ağırlıkları ve su emme değerlerini bulmak için yapılmıştır. 6 numune için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri piknometrede bulunan (22 ± 3) °C sıcaklıktaki suya daldırılır ve hapsolmuş hava, piknometre eğik konumda hafifçe sallanarak uzaklaştırılır. İçerisindeki havanın uzaklaştırılması küçük vakum makinesi yardımıyla devam ettirilmiştir. Havanın uzaklaştırılmasıyla numune su ile dolu piknometre tartılarak kaydedilmiştir. Piknometre içerisinde bulunan numune bir kaba alınarak birkaç dakika kurumaya bırakılmış ve suya doymun hale gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Deney sonunda gerekli ölçümler alınarak hesaplar yapıp kaydedilmiştir [10].

##### 3.3 Gevşek yığın yoğunluk ve sıkışık birim ağırlık

Deney TS-EN 1097-3 (1999) standardına göre yapılmıştır. Deney kuru agregaların gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin belirlenmesi için yapılır. Birim hacim ağırlık: daneler arasındaki boşluklar dâhil olmak üzere yığın halindeki bir agreganın birim hacminin ağırlığıdır. Agregaların birim hacim ağırlığı gevşek ve sıkışık olmak üzere iki adettir. Agregala malzemelerine ait gevşek yığın yoğunluk ve sıkışık birim ağırlık değerleri belirli bir ölçü kabı içerisinde agrega numunesi kuru olarak tartılarak bulunmuştur [11].

Gevşek birim hacim deneyinde, küre ölçü kabının üst yüzeyinden 5 cm'den daha fazla yukarıya kaldırmamak şartıyla ve agreganın ayrışmasına sebebiyet vermeden doldurma işlemi yapılır. Ölçü kabının içerisinde bulunan numune üzerinde sıkıştırma işlemi gerçekleşmez. Sıkışık birim hacim ağırlık deneyinde, önceden hacmi hesaplanan agrega numunesi ölçü kabı içerisine 3 tabaka halinde yerleştirilir. Her tabakasinda demir çubukla 25 kez vurmak kaydıyla agreganın sıkışması sağlanır. Daha sonra gerekli hesaplamalar yapılarak birim hacim ağırlıklar ayrı ayrı hesaplanarak kaydedilir.

##### 3.4 Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval)

Trafik yüklerinin fazla olduğu karayollarında ve hava meydanlarında bulunan yol tabakalarında kullanılan agregalar aşınmaya karşı yüksek mukavemet göstermelidir. Agregaların aşınmaya karşı dirençlerini ölçen iki adet deney mevcuttur. Bunlardan ilki Los Angeles aşınma deneyi diğeri ise Mikro-Deval aşınma deneyidir. Suyun malzemeler üzerinde aşındırıcı etkisine bakıldığında özellikle iri gradasyona sahip agregalar ve



su ile temas halinde olan malzemeler için Micro-Deval deney yöntemi uygun görülmüştür [12].

Deney TS EN-1097-1(2011) standardına uygun bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Standart kapsamında 1.6 mm'den küçük boyuttaki numunelerin yüzdesini ifade ederek Micro-Deval katsayısı hesaplanır. İki adet mil üzerine yerleştirilen döner tamburlar içerisine 500 gr deney numunesi, 5000 gr çelik bilye ve 2.5 lt su ilave edilmesiyle kapak sistemi dikkatli bir şekilde kapatılarak deney gerçekleştirilir. Tamburlar 100 devir/dk. hızla 12000 devir olana kadar döndürülür. Deney sonunda herhangi bir numune kaybına yol açmadan gerekli ölçümler yapılarak Micro-Deval katsayısı hesaplanır. Deney sonunda elde edilen agregaların Mikro-Deval katsayısı standartta belirtilen değerden yüksek çıkması o agreganın aşınma direncinin düşük olduğunu göstermektedir. Standart da Mikro-Deval katsayısı max %25 olarak belirtilmiştir [13].

### 3.5 Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini (Sodyum Sülfat Deneyi)

TS EN 1367-2 (2010)'a göre uygulanan sodyum sülfat çözeltisinde donma çözölmeye deneyi yapılarak agregaların iklimsel etkilere karşı dayanımı belirlenmiştir [14]. 31.5-16 mm boyutlarındaki agregalar standart doğrultusunda belirtilen Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bulunan bir kap içerisine daldırılarak ve takiben etüvde kurutularak periyodik işleme maruz bırakılmıştır. 5 kez tekrarlanan bu işlem sonunda agregalar çözeltiden yıkanarak ayrılmış ve 16 mm'lik eleklerden elenerek numune kayıpları bulunmuştur. Böylelikle agregalar üzerinde termal bozunma özelliği tespit edilmiştir.

### 3.6 Parçalanma direncinin tayini-agrega darbeleme deneyi

Yol yapısında kullanılacak olan agregalar tekrarlı dinamik yükler altında parçalanmaya karşı direnç göstermesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında agregaların parçalanma direncinin ölçülmesi için TS-EN 1097-2, (2010) deney standardı kullanılmıştır [15]. Deney standart kapsamına göre 8mm ile 12.5 mm tane dağılımına sahip malzeme karışımı kullanılmıştır. Deney aletinde uygulanan ağırlığın yüksekliği 370 mm'dir. Bu yükseklikten numune üzerine 10 defa düşürülerek agreganın parçalanması sağlanmaktadır. Darbe etkisinde kalan numune belirtilen elek takımından elenerek agregaların çarpma etkisi ile parçalanma değerine ulaşılmış olur. Yapılan darbeleme deneyi sonunda agregaların darbe ile parçalanma değeri (SZ) tespit edilerek agregalara ait mekanik direnç ölçülür.

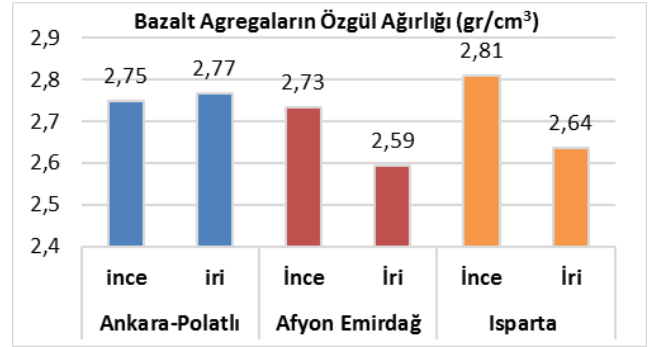
### 3.7 Modifiye proktor deneyi

Agrega karışımlarına ait 'Kuru Birim Hacim Ağırlık-Su İçeriği' arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla TS 1900-1 (2006) standardı kullanılarak Modifiye Proktor deneyi yapılmıştır [16]. Bu deney sahada en iyi sıkışmanın sağlanabileceği karışımda kullanılacak su içeriğinin belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu deney kapsamında 45 cm yükseklikten serbestçe düşen 4.5 kg ağırlığa sahip tokmak kullanılır. 152 mm çapındaki silindir bir kalıba 4 No.lu elekten elenmiş malzeme ve belli bir miktar su katılarak karıştırılmış olan numune 5 tabaka halinde ve 56 darbe ile sıkıştırma işlemi yapılarak yerleştirilir ve sıkıştırılan numunenin ağırlığı belirlenir. Su oranları artırılarak bu işlem tekrarlanır. Deney süresince, bilinen su muhtevalarına karşılık gelen yoğunluk değerleri bulunarak deney sonunda malzemenin maksimum kuru yoğunluğu ile optimum su içeriği elde edilir.

## 4 Araştırma bulguları ve tartışma

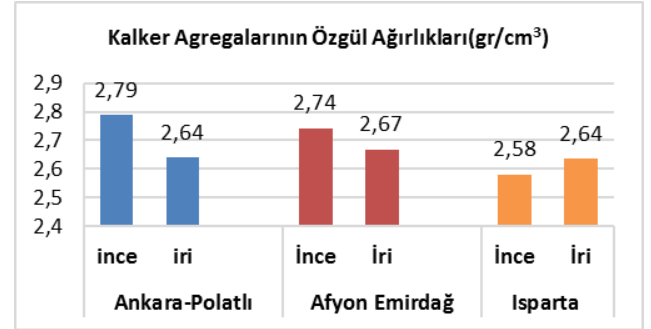
Yol inşaatında kullanılan bitümlü sıcak karışımların ve bağlayıcısız özelliği olan karışımların içerisindeki bileşenlerin hesabı yapılırken malzemelerin özgül ağırlık değerleri bilinmesi gerekir. Çalışma kapsamında iri agregalar için (4-24 mm) tel sepet metodu, ince agregalar için (4 mm altı) piknometre deneyi yapılarak her bir numunenin özgül ağırlık değerleri ve su emme oranları belirlenmiştir. Deney kapsamında TS EN 1097-6 (2013) standardı kullanılmıştır [10].

Şekil 4 ve Şekil 5'teki sonuçlar incelendiğinde tel sepet metodu sonucu iri agregaların özgül ağırlık değerleri Ankara-Polatlı bazalt agregasında 2.77 gr/cm<sup>3</sup>, Afyonkarahisar-Emirdağ bazaltı 2.59 gr/cm<sup>3</sup>, Isparta bölgesindeki bazalt agregasında ise 2.64 gr/cm<sup>3</sup> değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. Bazalt agregalarına ait özgül ağırlık değerleri.

Figure 4. Specific gravity values of basalt aggregates.



Şekil 5. Kalker agregalarına ait özgül ağırlık değerleri.

Figure 5. Specific gravity values of limestone aggregates.

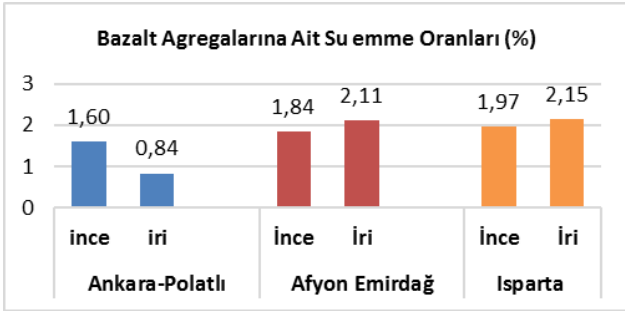
Kalker malzemesi özgül ağırlık değerleri ise Ankara-Polatlı kalkerinde 2.64 gr/cm<sup>3</sup>, Afyonkarahisar-Emirdağ kalkerinde 2.67gr/cm<sup>3</sup>, Isparta kalkerinde ise 2.64 gr/cm<sup>3</sup> değerlerine ulaşılmıştır.

Piknometre metodu kullanılarak elde edilen ince agrega özgül ağırlıkları ise bazalt agregasında Ankara-Polatlı 2.75 gr/cm<sup>3</sup>, Afyonkarahisar-Emirdağ bazaltı 2.73 gr/cm<sup>3</sup>, Isparta bazaltında ise 2.81 gr/cm<sup>3</sup> değerleri elde edilmiştir. İnce kalker agregasının değerleri ise Ankara-Polatlı 2.79 gr/cm<sup>3</sup>, Afyonkarahisar-Emirdağ 2.74 gr/cm<sup>3</sup>, Isparta kalkerini ise 2.58 gr/cm<sup>3</sup> elde edilmiştir.

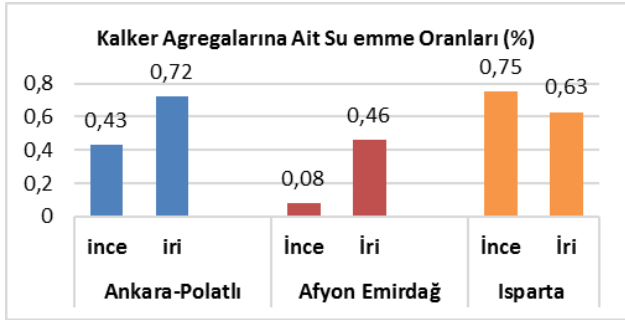
Agregalarda özgül ağırlık değeri standart limit değeri 2.4-2.8 gr/cm<sup>3</sup> tür. Agregaların özgül ağırlıkları birbirine yakın olmasıyla birlikte Isparta bazaltı 2.81 gr/cm<sup>3</sup> ile en yüksek, 2.58 gr/cm<sup>3</sup> ile Isparta kalkerini en düşük değeri almıştır.

Agregaların uygunluğu ve kökeni hakkında özgül ağırlık değeri önemli bir fikir vermektedir. Özgül ağırlığı standarda göre düşük değere sahip olan agrega boşluklu ve zayıf olduğuna, yüksek özgül ağırlığa sahip agrega ise kaliteli ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir [1].

Şekil 6 ve Şekil 7’de bazalt ve kalker agregasına ait su emme değerleri sonuçları verilmiştir. Deney sonucunda elde edilen su emme değerleri iri bazalt agregasında %0.84, %2.11, %2.15, ince bazalt agregasında ise %1.60, %1.84, %1.97’dir. İri kalker agregasında bulunan su emme değerleri %0.72, %0.46, %0.63, ince kalker agregalarında ise %0.43, %0.08, %0.75’dir. Afyonkarahisar-Emirdağ kalker en düşük, Isparta bazaltı en yüksek su emme değerine sahiptir.



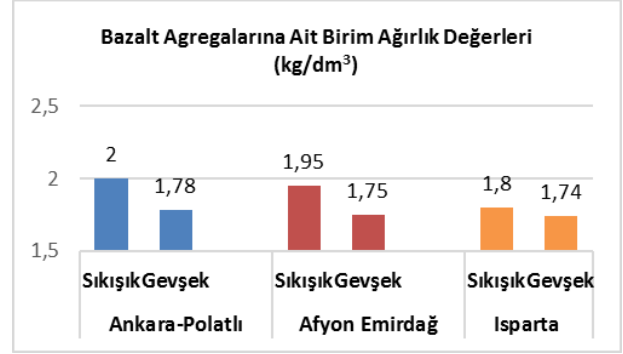
Şekil 6. Bazalt agregalarına ait su emme oranları (%).  
Figure 6. Water absorption rates of basalt aggregates.



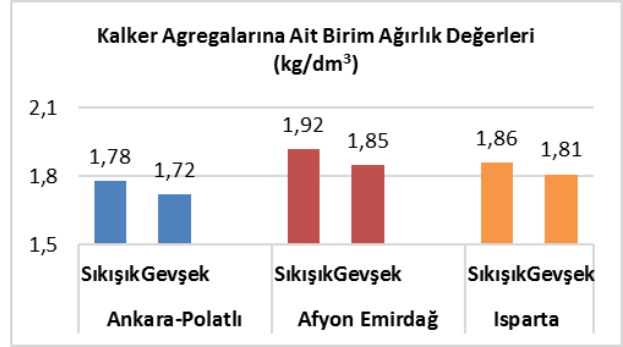
Şekil 7. Kalker agregalarına ait su emme oranları (%).  
Figure 7. Water absorption rates of limestone aggregates.

KGM tarafından yayınlanan teknik şartnameye göre su emme değeri %2.5’den fazla olan agregalar yol üst yapısında kullanılmamalıdır. Deney yapılan agregaların su emme değerleri belirlenen şartnamedeki %2.5 sınır değerini geçmemiştir [17]. Sıkışık ve Gevşek birim ağırlıkları her bir agrega için ayrı ayrı uygulanmıştır. Ankara-Polatlı bazalt numunesi 2 kg/dm<sup>3</sup> değeri ile en yüksek sıkışık birim ağırlığına, 1.78 kg/dm<sup>3</sup> değeri ile en düşük sıkışık birim ağırlığı ise Ankara-Polatlı kalkerine aittir. Standarda göre birim ağırlık sınır değeri 1.50 kg/dm<sup>3</sup> ten büyük veya eşit olmalıdır. Bu değere istinaden deneye tabi tutulan tüm agregalar sınır değerine ulaştığı ve bunu karşıladığı için yol temel ve alttemel malzemesi olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar Şekil 8 ve Şekil 9’da yer almaktadır. TS EN 1367-2 standardına göre sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılarak yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi sonuçları Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterilmiştir. Standart dahilinde limitlere bakıldığında alt temelde kullanılan agregalarda maksimum %25 malzeme kaybı, temel tabakalarında ise bu oran maksimum %20’dir. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün teknik şartnamesinde belirtildiği gibi sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) çözeltisinde yapılan donma çözülme

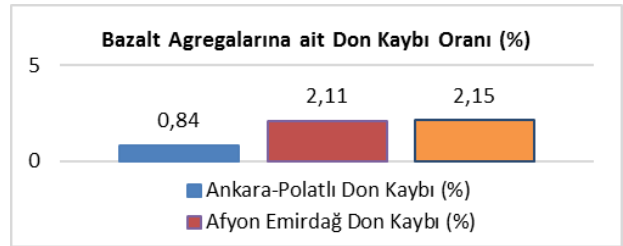
deneyi kapsamında ise alt temelde kullanılan agregalarda maksimum %20 malzeme kaybı, temel tabakalarında kullanılması planlanan agregalarda ise maksimum %15 malzeme kaybı olması gerekir [16]. Şekil 10’da bazalt agregasının kaybı %0.83, %2.11 ve %2.14 değerlerini almıştır. Şekil 11’e bakıldığında kalker agregasına ait donma çözülme kayıpları %0.46, %0.63 ve %0.72 değerlerine ulaşmıştır. Isparta bazaltının donma çözülme direnci diğer agregalarla kıyaslandığında daha düşük çıkmıştır.



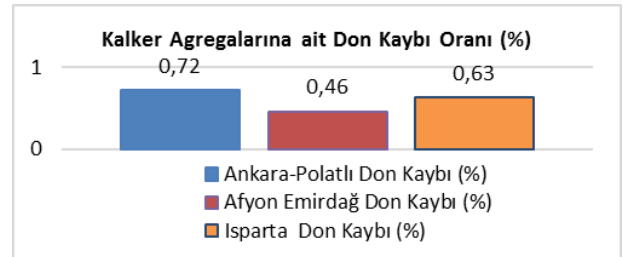
Şekil 8. Bazalt agregalarına ait birim ağırlık değerleri.  
Figure 8. Unit weight values of basalt aggregates.



Şekil 9. Kalker agregalarına ait birim ağırlık değerleri.  
Figure 9. Unit weight values of limestone aggregates.



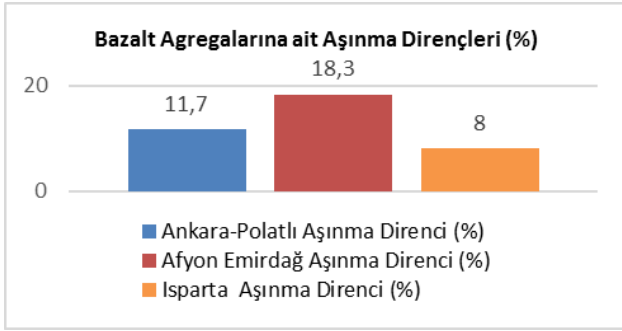
Şekil 10. Bazalt agregalarına ait don kaybı oranı (%).  
Figure 10. Frost loss rate of basalt aggregates.



Şekil 11. Kalker agregalarına ait don kaybı oranı (%).  
Figure 11. Frost loss rate of limestone aggregates.

Bu özelliğinden dolayı su emme oranı diğer agregalara göre daha yüksek çıkması bazalt agregasının suya karşı hassas olduğunu göstermektedir. Suya karşı hassasiyetinin olması sıcaklık değerlerinin çok fazla miktarda farklılık gösterdiği yerlerde kullanıldığında donma çözülme olayları sonucu agreganın parçalanması ve tane dağılımının değişmesi riski taşıyabilir. Aynı şekilde Ankara-Polatlı kalker agregasının su emme oranı diğer agregalara göre daha yüksek çıkması ve donma çözülme direncinin daha düşük çıkması da bu agreganın suya karşı hassasiyetini göstermektedir.

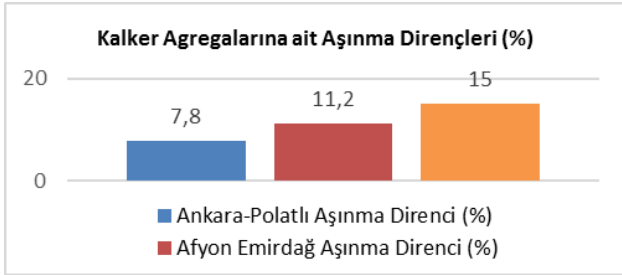
Şekil 12'deki sonuçlara bakıldığında deneye tabi tutulan bazalt agregalarının aşınma direnci standartta belirtilen maksimum %25 sınır değerini aşmadığı belirlenmiştir. Isparta bölgesinden temin edilen bazalt agregasının diğer bazalt agregalarına göre aşınma mukavemeti daha yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 12. Bazalt agregalarına ait aşınma değerleri (%).

Figure 12. Wear values of basalt aggregates.

Şekil 13'te illerden temin edilen kalker malzemelerinden aşınma dirençleri karşılaştırıldığında Ankara-Polatlı kalker malzemesi diğer kalker numunelerine göre daha yüksek aşınma mukavemetine sahiptir.

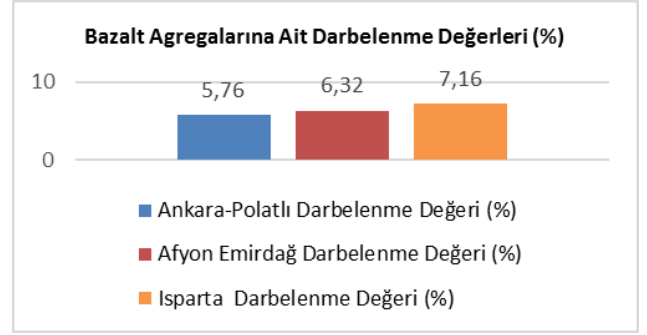


Şekil 13. Kalker agregalarına ait aşınma değerleri (%).

Figure 13. Wear values of limestone aggregates.

Darbelenme değerinin düşük çıkması kullanılacak agreganın parçalanmaya karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Deney prensibi Britanya merkezli olduğundan dolayı sınır değerlerinde Britanya standartları göz önünde tutulmuştur [18]. BS 812 Part 112'ye göre alınan sınır değerlere bakıldığında darbe değeri 10'un altında olan agregalar yüksek mukavemetli, 10 ile 35'in üstünde çıkması agregaların mukavemet yönünden zayıf olduğunu belirtmektedir.

Şekil 14'te bazalt agregasına ait sonuçlar incelendiğinde darbelenme değerleri %5,76, %6,32, %7,16 bulunmuştur. Her üç bazalt numunesi de darbelenme değeri kabul edilebilir sınırlar içindedir.

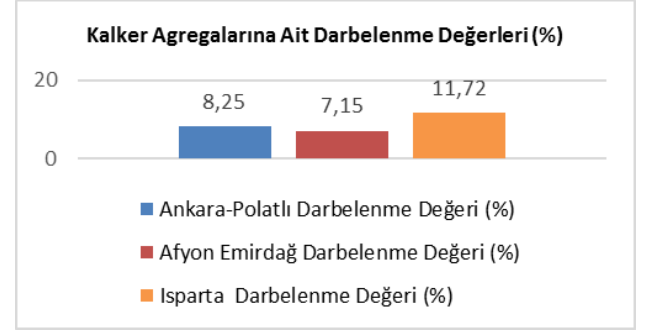


Şekil 14. Bazalt agregalarına ait darbelenme değerleri (%).

Figure 14. Impact values of basalt aggregates.

Isparta bazaltı için darbelenme direnci diğer bazalt numunelerine oranla daha yüksek bulunmuştur. Ankara-Polatlı bazaltı en düşük darbelenme direnci değerine sahiptir. Diğer bazalt numunelerine kıyasla darbeye daha dirençli olduğu anlaşılmaktadır.

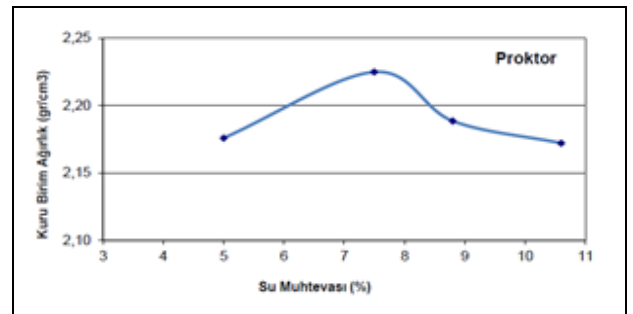
Şekil 15'te ise kalker malzemesi ne ait darbelenme direnci değerleri incelendiğinde %7,15, %8,25, %11,72 bulunmuştur.



Şekil 15. Kalker agregalarına ait darbelenme değerleri (%).

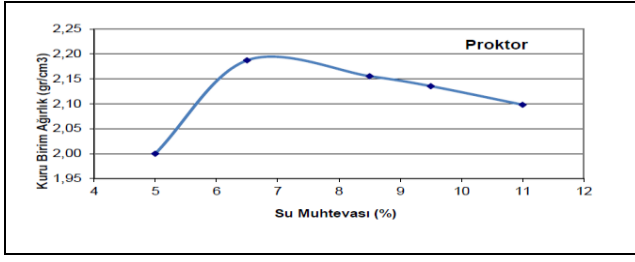
Figure 15. Impact values of limestone aggregates.

Agrega karışımlarına ait 'Kuru Birim Hacim Ağırlık-Su İçeriği' arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Modifiye Proktor deneyi yapılmıştır. TS 1900-1 (2006)'ya göre yapılan deney kapsamında numune farklı su muhtevalarında standart bir enerjide sıkıştırılarak kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası ilişkisi grafiksel olarak çizilir. Elde edilen pik noktadan maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimum su muhtevası belirlenir [16]. Her üç bölgeden alınan bazalt ve kalker agregalarına ait proktor eğrileri Şekil 16-20'de görülmektedir.

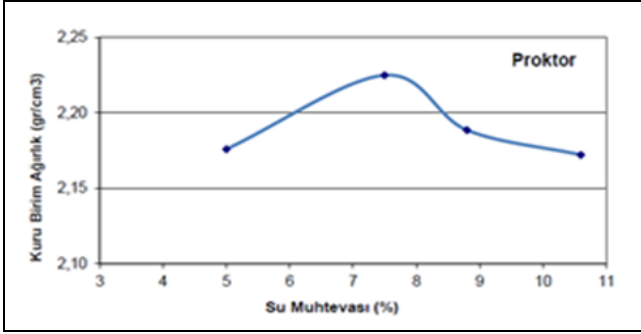


Şekil 16. Polatlı-bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.

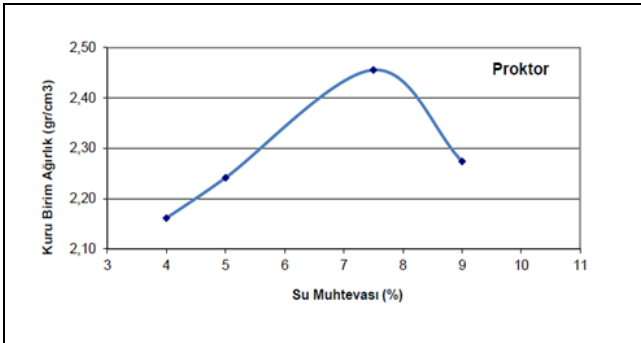
Figure 16. Polatlı-basalt water content unit weight relationship.



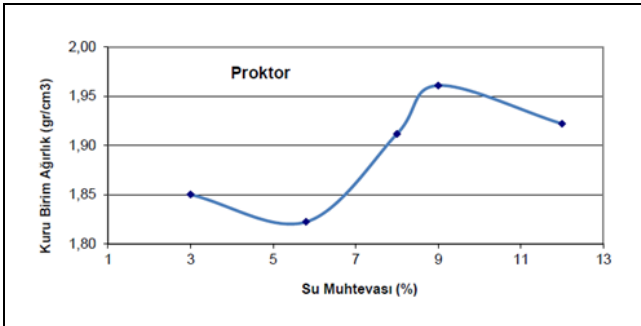
Şekil 17. Polatlı Kalker su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.  
Figure 17. Polatlı Limestone water content unit weight relationship.



Şekil 18. Emirdağ Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.  
Figure 18. Emirdağ Basalt water content unit weight relationship.



Şekil 19. Isparta-Kalker su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.  
Figure 19. Isparta-Limestone water content unit weight relationship.



Şekil 20. Isparta Bazalt su muhtevası birim ağırlık ilişkisi.  
Figure 20. Isparta Basalt water content unit weight relationship.

Agregaların optimum su içeriği %6-%10,5 aralığında elde edilmiştir. Maksimum kuru birim ağırlık değerleri ise 1,96-2,46 gr/cm<sup>3</sup> aralığındadır.

## 5 Sonuçlar

Çalışma kapsamında 3 farklı ilden (Ankara, Afyonkarahisar ve Isparta) agrega taş ocağı olarak işletilmekte olan tesislerden bazalt ve kalker agregası temin edilerek, fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiş bu kapsamda agrega numunelerinin yol temel malzemesi ve alttemel malzemesi olarak yol inşaatında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Volkanik kökenli agregalar sınıfına giren bazalt malzemesi ve sedimanter kökenli olan kalker malzemesinin ilk olarak fiziksel özellikleri incelenmiştir. Numuneler üzerinde elek analizi, özgül ağırlık, su emme, mikro-deval, darbelenme ve donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır. Bu deney sonuçlarına göre bazalt malzemesinin özelliklerinin bölgesel olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Dona karşı dayanımının %15 sınırında olması gerektiği ve deney yapılan tüm agregaların bu sınır altında olduğu belirlenmiştir. Polatlı-Bazalt agregası %1'lik donma-çözülme kaybı ile esnek üstyapılarda kullanım açısından kullanılan agregalar arasında en düşük kayıp ile ilk sırada yer almaktadır. Aşınma değeri bakımından agregaların sınır değeri aşmadığı, Mikro-Deval deneyi sonunda bulunan katsayısının yüksek olması agregaların aşınma direncinin düşük olmasını gösterdiğinden Polatlı-Kalker agregası en düşük mikro-deval katsayısına sahip olarak esnek üstyapı inşaatında kullanılabilirliği açısından aşınma direnci en yüksek agrega olarak belirlenmiştir. Agregalara belirli su muhtevaları çerçevesinde uygulanan Modifiye proktor deneyi sonrasında uygun su muhtevası bulunmuştur.

Yapılan tüm deneyler sonucunda üç farklı ilden alınan Bazalt ve Kalker malzemesinin esnek üstyapı inşaatında kullanımı açısından bazalt agregasının daha üstün olduğu kalker malzemesinin ise yol taban zemini ya da alt temel malzemesi olarak kullanımı daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Bazalt agregasının fiziksel-mekanik özellikleri incelendiğinde yolun ömrünün uzamasında oldukça büyük katkı sağlayacağı kanısına varılmıştır.

## 6 Conclusions

Within the scope of the study, basalt and limestone aggregates were obtained from the aggregate stone quarries in 3 different provinces (Ankara, Afyonkarahisar and Isparta) and their physical and mechanical properties were determined. In this context, the usability of aggregate samples as road foundation material and sub-base material in road construction was investigated.

First of all, the physical properties of basalt material, which belongs to the aggregates of volcanic origin and the limestone material which is of sedimentary origin were examined. Sieve analysis, specific gravity, water absorption, micro-deval and impact tests and freeze-thaw experiments were performed on the samples. According to the results of these experiments, it has been observed that the properties of basalt material change regionally. It has been determined that frost resistance should be at the 15% limit and that all aggregates tested are under this limit. Polatlı-Basalt aggregate ranks first with the lowest loss among aggregates used in flexible superstructures with 1% freeze-thaw loss. Since the aggregates do not exceed the limit value in terms of wear value and the coefficient found at the end of the Micro-Deval test indicates that the aggregate's wear resistance is low, Polatlı-Limestone aggregate, with the lowest micro-deval coefficient, is determined as the aggregate with the highest wear/abrasion resistance in terms of usability in flexible superstructure construction. Appropriate water



content was found after the Modified proctor experiment applied to aggregates within the framework of certain water contents.

As a result of all experiments made on basalt and Limestone material taken from three different provinces, it is determined that basalt aggregate is superior in terms of its use in flexible superstructure construction while limestone material will be more suitable to be used as road foundation or sub-base material. When the physical-mechanical properties of the basalt aggregate are examined, it is concluded that it will make a great contribution to the longevity of the road.

### 7 Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2775-YL-11 No.lu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Çalışmada katkısı bulunanlara teşekkür ederiz.

### 8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Mehmet SALTAN fikrin oluşması, tasarımın yapılması, yazım ve eleştirel inceleme, içerik açısından makalenin kontrol edilmesi, sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi başlıklarında; Alev AKILLI EL literatür taraması, malzemelerin temin edilmesi, deneylerin yapılması başlıklarında katkı sunmuşlardır.

### 9 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.

### 10 Kaynaklar

- [1] Yılmaz A, Saltan M, Akıllı A. "Göller yöresinde işletilen kireçtaşı agregalarının yol inşaatı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3, 199-207, 2012.
- [2] Umar F, Ağar E. *Yol Üstyapısı*. 4. baskı. İstanbul Tek. Üniv. İnşaat Fak. Matbaası İstanbul, Türkiye, 1991.
- [3] Akbulut H, Çetin S, Gürer C. "Afyonkarahisar bölgesinden elde edilen bir volkanik agreganın aşınma özelliklerinin belirlenmesi". *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 37-42, 2006.
- [4] Murat Toz İnşaat ve Mühendislik Hizmetleri Tasarım Uygulama Ltd. Şti. "Niçin Beton Yol" <https://www.murattoztasarim.com.tr/nicin-beton.html> (14.02.2019).

- [5] Öztürk Ö, Çelikel M, Erkan M. "Türkiye Agregası Sektör Raporu". Agregası Üreticileri Birliği, İstanbul, Türkiye, 84, 2007.
- [6] Esenli V. "Kırmetaş Hammaddeleri ve Standartları". 1. *Ulusal Kırmetaş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 7-8 Ekim 1996.
- [7] Orhan Y, Yalçın G. "Agregası ve bitüm cinsi değişiminin bitümlü sıcak karışımların performansına etkisi". 4. *Ulusal Asfalt Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 25-26 Kasım 2004.
- [8] Türk Standartları. "Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler-Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Yöntemi". Ankara, Türkiye, 933-1, 2012.
- [9] Akıllı A. Bazalt Agregasının Mekanik Özelliklerinin Yol Üstyapısında Kullanımı Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2012.
- [10] Türk Standartları. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini". Ankara, Türkiye, 1097-6, 2013.
- [11] Türk Standartları. "Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler Bölüm 3-Gevşek Yiğın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini". Ankara, Türkiye, 1097-3, 1999.
- [12] Allen Cooley L, Michael S, Huner J, Robert J. "Micro Deval Testing of Aggregates in The Southeast. NCAT Report". USA, 02-09, 2002.
- [13] Türk Standartları. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 1: Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval)". Ankara, Türkiye, 1097-1, 2011.
- [14] Türk Standartları. "Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi". Ankara, Türkiye, 1367-2, 2010.
- [15] Türk Standartları. "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Yöntemler". Ankara, Türkiye, 1097-2, 2010.
- [16] Türk Standartları. "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini". Ankara, Türkiye, 1900-1, 2006.
- [17] Karayolları Genel Müdürlüğü. "Karayolu Teknik Şartnamesi". Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Türkiye, 267, 2006.
- [18] British Specification. "Testing Aggregates: Part 112: Methods for Determination of Aggregate Impact Value (AIV)". England, 812, 1990.