

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**KAPLANMIŞ BALASTLARIN DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Harun ALDANMAZ

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN**

İstanbul – 2022

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Harun ALDANMAZ

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Kaplanmış Balastların Davranışlarının İncelenmesi

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 15.06.2022

Sayfa Sayısı : 92

Tez : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Danışmanları

Dizin Terimleri : Demiryolu Balastları, Kalker, Bazalt, Balast Bağlayıcı Ajan

Türkçe Özet : Yapılan çalışmada kalker ve bazalt balastları, balast bağlayıcı ajan ile kaplanıp fiziksel performansları incelenmiştir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Harun ALDANMAZ

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**KAPLANMIŞ BALASTLARIN DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Harun ALDANMAZ

Danışman

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

İstanbul – 2022

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Harun ALDANMAZ

.../.../2022



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Harun ALDANMAZ'ın Kaplanmış Balastların Davranışlarının İncelenmesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalı, İnşaat Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan *Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN*
(Danışman)

Üye

İmza

Prof. Dr. Savaş ERDEM

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yosra M.A.

TAMMAM

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

... / ... / 20..

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Son zamanlarda, demiryolu ulaşımı, ulaştırma açısından büyük önem kazanmıştır. Günümüzde, yüksek hızlı trenler daha konforlu ve kolay ulaşım sağlamaktadır. Demiryolu hat performansını geliştirmek için, birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların çoğu demiryolu hattının konfor ve durabilitesini, çok hızlı bozulmakta olan demiryolu balast malzemesinin servis ömrünü uzatmak için yapılmıştır. Bu tez çalışmasında bazalt ve kalker olmak üzere iki farklı tür demiryolu balast malzemesi kullanılmıştır. Sırasıyla, iki farklı tip demiryolu balastı, balast bağlayıcı ajan (BBA) ile kaplanarak mekanik, fiziksel ve durabilite performansları incelenmiştir. Demiryolu balast malzemesinin servis ömrü süresince maruz kaldığı fiziksel ve dinamik etkileri simüle etmek için Los Angeles ve mikro deval testleri yapılmıştır. Özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılarak balast agregalarının balast bağlayıcı ajan ile kaplandıktan sonraki değişimleri gözlemlenmiştir. Los Angeles testi ile balast malzemenin test esnasında ufalanmasından kaynaklı kirlilik indeksi belirlenmiş, balast bağlayıcı ajan miktarı arttırıldığında kirlilik indeksi değişimi ile tamir bakım süresinin değişimi incelenmiştir. Farklı oranlarda balast bağlayıcı ajan kullanılarak hazırlanan drenaj testi numunesine drenaj testi yapılmıştır ve balast bağlayıcı malzemesinin drenajda yaratabileceği olası bir dezavantajı olup olmadığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmalar ile aynı zamanda kırılması kolay olan köşeli demiryolu balast agregalarının, demiryolu hattının servis ömründe sağlayacağı avantajlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu Balastı, Kalker, Bazalt, Balast Bağlayıcı, Kaplanmış Balastların İncelenmesi.

SUMMARY

Recently, railway transportation has gained great importance in terms of transportation. Nowadays, high-speed trains provide more comfortable and easy transportation. Many studies have been carried out to improve railway line performance. Most of the studies in this area have been done to extend the comfort and durability of the railway line and the service life of the railway ballast material, which deteriorates very quickly. In this thesis, two different types of railway ballast materials, basalt and limestone, were used. Two different types of railway ballast were coated with ballast bonding agent (BBA) and their mechanical, physical and durability performances were examined accordingly. Los Angeles and micro deval tests were performed to simulate the physical and dynamic effects that the rail ballast material is exposed to during its service life. Specific gravity and water absorption tests were performed and the changes of the ballast aggregates after coating with ballast bonding agent were observed. Fouling index due to the crumbling of the ballast material during the Los Angeles test was determined, change in the fouling index and the repair maintenance time were examined when the amount of ballast bonding agent was increased. Drainage test was carried out on the drainage test sample prepared by using different ratios of ballast binding agent and it was seen whether there is a possible disadvantage that the ballast bonding material may create in drainage.

At the same time, the advantages of angular railway ballast aggregates, which are easy to break, in the service life of the railway line, have been examined with these studies.

Keywords: Railway Ballast, Limestone, Basalt, Ballast Bonding, Investigation of Coated Ballasts.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
GRAFİKLER LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

BALASTLAR VE KAPLAMALAR

1.1. Genel Bakış.....	3
1.2. Balast Bağlayıcı İle Yapılan Çalışmalar.....	5
1.2.1. Poliüretan Esaslı Balast Bağlayıcı.....	6
1.2.2. Bitümlü Balast Bağlayıcı.....	7
1.2.3. Silikat Reçineli Balast Bağlayıcı	8

İKİNCİ BÖLÜM

KULLANILAN MALZEMELER

2.1. Kullanılan Malzemeler	10
2.1.1. Balastlar	10
2.1.1.1. Bazalt.....	10
2.1.1.2. Kalker (Kireç Taşı).....	11
2.1.2. Balast Bağlayıcı Malzeme	12

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEY PROSEDÜRÜ

3.1. Deneyler.....	13
3.1.1. Numunelerin Hazırlanması.....	13
3.1.1.1. Numune Alma	13
3.1.1.2. Numunelerin Azaltılması.....	14
3.1.2. Deneylerin Yapılışı.....	16
3.1.2.1. Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranı.....	16
3.1.2.2. Los Angeles Metodu İle Parçalanma Direnci.....	17
3.1.2.3. Tane Büyüklüğü Dağılımı	19
3.1.2.4. Kirlilik İndeksi.....	20
3.1.2.5. Mikro Deval.....	21
3.1.2.6. Balast Drenaj	24

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BALASTLARIN KAPLANMASI

4.1. Deneyin Yapılış Amacı ve Yapılışı	25
4.1.1. Deneyin Yapılış Amacı	25
4.1.2. Deneyleerin Yapılışı.....	26

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE BULGULAR

5.1. Deneysel Sonuçlar ve Bulgular	27
5.1.1. Los Angeles	27
5.1.2. Mikro Deval.....	36
5.1.3. Balast Drenaj	38
5.1.4. Su Emme	40
5.1.5. Özgül Ağırlık.....	43
5.1.6. Kirlilik İndeksi.....	45
5.1.7. Elek Analizi	49
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKÇA	59
EKLER.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	76

KISALTMALAR

DYB	:	Demiryolu Balastları
BBA	:	Balast Bağlayıcı Ajan
LA	:	Los Angeles
ÖA	:	Özgül Ağırlık
SE	:	Su Emme
MD	:	Mikro Deval
Flp	:	Kirlilik İndeksi
BSB	:	Bitüm Stabilize Balast
DKY	:	Doygun Kuru Yüzey
YÖK	:	Yüksek Öğretim Kurulu
KALKER	:	Kireç Taşı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. BBA mekanik özellikleri.....	12
Tablo 2. BBA malzeme özellikleri.....	12
Tablo 3. Bazalt balastına yapılan BBA ile kaplanan malzemenin LA değeri	35
Tablo 4. Kalker balastına yapılan BBA ile kaplanan malzemenin LA değeri	35
Tablo 5. Bazalt balastı mikro deval sonuçları	36
Tablo 6. Kalker balastı mikro deval sonuçları	37
Tablo 7. Bazalt balastının BBA kaplama oranlarına göre yapılan drenaj deneyi sonuçları ..	39
Tablo 8. Kalker balastının BBA kaplama oranlarına göre yapılan drenaj deneyi sonuçları..	40
Tablo 9. Bazalt balastına yapılan su emme deney sonuçları.....	41
Tablo 10. Kalker balastına yapılan su emme deney sonuçları.....	42
Tablo 11. Kaplanan bazalt balastlara yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçları.....	43
Tablo 12. Kaplanan kalker balastlara yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçları	44
Tablo 13. Kirlilik indeksi yorum tablosu (Lonescu, 2004).....	45
Tablo 14. Bazalt balastına yapılan 1. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu.....	45
Tablo 15. Bazalt balastına yapılan 2. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu.....	46
Tablo 16. Bazalt balastı kirlilik indeksi deney sonuçları.....	46
Tablo 17. Kalkere balastına yapılan 1. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu	47
Tablo 18. Kalkere balastına yapılan 2. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu	47
Tablo 19. Kalker balastı kirlilik indeksi deney sonuçları	48
Tablo 20. Bazalt balastının 1. deney elek analizi sonuçları	50
Tablo 21. Kalker balastının 1. deney elek analizi sonuçları.....	51
Tablo 22. Bazalt balastının 2. deney elek analizi sonuçları	52
Tablo 23. Kalker balastının 2. deney elek analizi sonuçları.....	53

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. Los Angeles ile balast bağlayıcı kaplama oranlarını arasındaki ilişkinin grafiği...36	
Grafik 2. Balast bağlayıcı ajan oranı ile mikro deval deneyi arasındaki ilişki grafiği38	
Grafik 3. Kaplanan balast bağlayıcı ajan oranlarının drenaj katsayısı ile ilişkisi.....40	
Grafik 4. Kaplanan balastların su emme ile kaplama oranları arasındaki ilişki grafiği.....42	
Grafik 5. Balast bağlayıcı ajan yüzdesi ile birim ağırlık arasındaki ilişki.....44	
Grafik 6. Bazalt ve kalker balastına yapılan kirlilik indeksi grafiği.....48	
Grafik 7. Bazalt balastına yapılan Los Angeles deneyi sonrası elek analizi grafiği54	
Grafik 8. Kalker balastına yapılan Los Angeles deneyi sonrası elek analizi grafiği.....55	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Bazalt balast malzemesi	10
Şekil 2. Kalker balast malzemesi	11
Şekil 3. Çeyrekleme ile numune azaltılması	15
Şekil 4. Tipik deney cihazı (TS EN 1097-1, 2015).....	23
Şekil 5. Drenaj deneyi düzeneği.....	24
Şekil 6. Balast bağlayıcı ajan ile kaplanmış balastlar.....	25
Şekil 7. Balastların kaplanma işlemleri.....	26
Şekil 8. Bazalt balastının %0 kaplama referans Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	27
Şekil 9. Kalker balastının %0 kaplama referans Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	28
Şekil 10. Bazalt balastının %0,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	28
Şekil 11. Kalker balastının %0,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	29
Şekil 12. Bazalt balastının %1,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	29
Şekil 13. Kalker balastının %1,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	30
Şekil 14. Bazalt balastının %3 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	30
Şekil 15. Kalker balastının %3 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	31
Şekil 16. Bazalt balastının %5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	31
Şekil 17. Kalker balastının %5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	32
Şekil 18. Bazalt balastının %7 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	33
Şekil 19. Kalker balastının %7 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	33
Şekil 20. Bazalt balastının %10 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	34
Şekil 21. Kalker balastının %10 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası.....	34
Şekil 22. Balast bağlayıcı ajan ile kaplama oranlarının referans numunesine göre iyileşme yüzdesi.....	37
Şekil 23. Drenaj deneyi için numune kutuların hazırlanması ve deneyin başlaması.....	39
Şekil 24. Elek analizi deneyi.....	49

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimde bana bilgi ve birikimleri ile yol gösteren, tezimin her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın Danışman Hocam Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e, yardımlarını esirgemeyen İstanbul Gelişim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümü değerli öğretim üyeleri ve öğretim elemanlarına, bu çalışmada bilgi birikimi ile destek olan, aynı zamanda tüm deneylerin yapımı için gereken imkanları sağlayan Halkalı – İstanbul Yeni Havalimanı Metro Yapım işi Kalite Güvence/Kalite Kontrol Müdürü İnşaat Yüksek Mühendisi Engin SÜRÜCÜ'ye, bana desteğini hiç esirgemeyip her zaman yanımda duran değerli eşim Sevgi Tuğçe ALDANMAZ'a , bana varlığı ile güç veren sevgili kızım başta olmak üzere tüm aileme ve bu çalışma süresince teknik destek, ürün temini ve sektörel tecrübesini eksik etmeyen DM Yapı ve Maden Kimyasalları firmasına en içten teşekkürlerimi sunarım.

GİRİŞ

Demiryolu balast tabakası, klasik demiryolu üstyapısının, önemli malzemelerinden birisidir. Hattın hizmete açılmasından sonra, balast tabakasında oluşan deformasyonlar, hattın hızında düşme ve bakım gerektirmektedir.

Balast tabakasının mekanik özelliklerini iyileştirilmesi amacıyla, balast tanecikleri bir bağlayıcı ile kaplanarak, deformasyon ve oturma miktarlarının sınırlandırılması amaçlanmıştır. Bu uygulama, hem bireysel olarak balast tanecğinin iyileşeceği, hem de hattın bir bütün olarak iyileşeceği düşünülerek çalışmalar yapılmıştır (Rostler, 1996). Ayrıca, balast kirlenmesinden dolayı oluşan, drenaj problemi de ilgi çeken araştırma konuları arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, demiryolu hatlarında kullanılan balast agregaları kaplanarak fiziksel özellikleri incelenmiştir. TS 7043 EN 13450 (2004)'e göre balast özelliklerini taşıyan bir malzeme ile yine aynı standartta göre balast özelliklerini taşımayan bir malzeme olmak üzere iki farklı kayaç cinsi kullanılmıştır. İlk malzeme balast şartnamesini sağlayan bazalt kökenli bir kayaç türüdür. İkinci malzeme ise balast şartnamesini sağlamayan kireç taşı türü bir kayaçtır. İki kayaç türü de ağırlıkça %0 (Referans), %0,5, %1,5, %3, %5, %7 ve %10 olmak üzere 7 farklı oranda balast bağlayıcı ajan ile kaplanmış ve balast testleri için hazırlanmıştır. Belirlenen her oran için Los Angeles, mikro deval, özgül ağırlık, su emme, kirlilik indeksi ve drenaj testleri yapılmıştır. Balastların farklı kaplama oranlarına göre fiziksel testleri yapılarak, performans değişimlerinin görülmesi hedeflenmiştir. Balasta uygun olan bazalt agrega malzemesini ne mertebede ileri taşıdığı gözlemlenmiştir. Demiryolu balastına uygun olmayan kalker agregası, balast şartnamesine uygun hale getirilebilir mi ya da hangi sınıftaki balastlara dönüştürülebilir sorularına cevap aranması hedeflenmiştir. Balast kaplanmasının dezavantajlarını (varsa) görmek için, bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Amaç balast bağlayıcı malzeme ile kaplanan balast agregasının fiziksel davranışlarını incelemektir.

Hizmetteki balast tabakası, trafik yükü nedeniyle hem deformasyona hem de bozulmaya maruz kalır. Bu nedenle, hat performansının gerekli standartlar dahilinde tutulması için balast tabakası; buraj, balast temizleme veya rehabilitasyon işlemleri gibi çeşitli bakım döngülerine tabi tutulur. Bu süreçlerin daha iyi planlanması balast

ömrünün uzatılmasını ve bakım maliyetlerinin azaltılmasını garanti eder (Lonescu, 2004).



BİRİNCİ BÖLÜM

BALASTLAR VE KAPLAMALAR

1.1. Genel Bakış

Ulaştırma ve taşıma; insan ve eşyaların yararlı bir amaç ve ihtiyaç için yapılan yer değişikliğidir. Yer değişikliği insan için ise taşıma, eşya için ise taşıma olarak tanımlanmaktadır (Yayla, 2004).

Bir noktadan diğer bir noktaya madeni bir yol üzerinde, mekanik güçle hareket eden araçların içerisinde insan ve eşya taşımalarının bütününe demiryolu denir. Demiryolu sadece ray, travers gibi hattaki malzemeler değil, istasyonlar, arabalar, emniyet ve sinyalizasyon tesisleri gibi işleyen sisteme yardımcı tüm tesislerin oluşturduğu bir bütündür. Demiryolunun taşıma işlemini sağlayabilmesi için taşıma hareketindeki tüm tesislerin yeterli ve uyumlu bir şekilde olması gerekir (Bilgiç, 2017).

Balast tabakası; dingil yükünü, subbalast ve taban zeminine dağıtmak için traverslerin altına ve çevresine yerleştirilmiş kırmataşlardan oluşan granüler malzeme tabakasıdır. Yol drenajının yanı sıra, boyuna ve yanal stabiliteyi de sağlar. Bu seçilmiş ezilmiş malzemenin birden fazla işlevi vardır. Ayrıca demiryolu hattının ömrüne ve performansına katkıda bulunur (Chandra, (2007)., Robnett ve diğ. (1975) ve Selig ve Waters (1994))

Balast, bir demiryolu hattında aşağıdaki amaçları yerine getirir:

- Traverslere düzgün ve sağlam bir yatak görevini yapar.
- Trenler geçerken, traversleri bulunduğu konumda tutar.
- Traverslerden gelen yükü, daha geniş bir alana dağıtır.
- Uygun sürüş konforu için, esneklik ve dayanım sağlar.
- Boyuna ve yanal stabilite için, raya uygun direnç sağlar.
- Yükün yayılı şekilde aktarılmasını sağlar.
- Uygun maliyetli bir şekilde, yol geometrisini korur.
- Hatta gelen suyun drenajını sağlar (Chandra, 2007).

Lonescu (2004) balast tabakası fonksiyonlarını şu şekilde açıklamıştır;

- Traverslere uygulanan düşey, yanal ve boyuna kuvvetlere karşı koyarak rayı bulunduğu konumda tutmak.
- Üstyapıya gerekli dinamik esnekliği sağlamak.
- Travers yatak alanından gelen gerilmeleri, alttaki tabakalar için, kabul edilebilir gerilme seviyelerine azaltmak.
- Balast tabakasının burajı ile yeniden rayı kırmızı kotuna getirmek.
- Hattaki suyun drenajını sağlamak.
- Balastı kirlüten maddelerin depolanması taneciklerin balast tabakası içinde hareketine uyum sağlamak için yeterli boşluklar sağlar.

Balast agregası, sert ve dayanıklı kırmetaşlardan 31,5-63 mm ebatlarında, keskin köşeli kenarları olan kübik ve köşeli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımlamaya göre ray üstyapısında hattın zeminine serilen, demiryolu traverslerine gelen yükü zemine yayılı yük olarak dağıtan, düşey yöndeki deformasyonları engelleyen, hattın yatay kaymalarını önleyerek sabit bir şekilde kalmasını sağlayan ve hatta gelen su drenajını hızlı bir şekilde tamamlayan agregalardır. Bu tanımlamaya uygun en ideal kırmetaşlar bazalt ve granitlerdir (Kumru, 2019).

Balast tanelerinin trafik yükü altında kırılması ile boyutları değişken daha ince partiküller ortaya çıkar. Yeni inşa edilmiş bir balast tabakasının boşluk hacmi %45 civarındadır. Demiryolu hattı, döngüsel ağır tren yüklerinin altına yerleştiğinde, balast taneleri daha dolgun bir şekilde girerek yeniden düzenlenir. Dolayısıyla boşlukların hacmini azaltır. Bu aşamada daha iri tanelerin temas noktalarında birincil balast kırma gerçekleşir. Köşeler ve keskin kenarlar, taneler arasındaki boşluklarda kaybolur ve toplanır. Tanelerin birbiri üzerinde kayma ve/veya yuvarlanma hareketi, agregaların aşınma yoluyla bozulmasına neden olur. Bu bozulmanın ürünü, balast boşluklarının kirlenmesine katkıda bulunan toz haline getirilmiş balast partikülüdür (Lonescu 2004).

Balastlı hatlar, genellikle anormal tekerlek-ray ara yüzünden kaynaklanan darbe yüklerine ve mesnet rijitliğindeki ani değişimlere maruz kalır. Bu darbe yükleri, agreganın açılmal kenarlarının aşınması ve birçok partikülün daha ince parçalara ayrılması yoluyla demiryolu balastının bozulmasına yol açabilir. Yaptıkları çalışmada,

darbe yükleri altında balast partiküllerinin bozulması, çeşitli kirlenme ve kırılma indisleri dikkate alınarak incelemiştir. Bu amaçla, farklı ocaklardan elde edilen balast agregalarına (bazalt, marn, dolomit ve trakit kaya türleri) gradasyon, darbe enerjisi ve zemin tipi değiştirilerek darbe testi yapmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre darbe yükü altında balast numunelerinin bozulması, daha geniş stabil balastlar için azdır. Ek olarak destek koşulu, azalan darbe enerjisinden kaynaklanan balast bozulmasında azalmaya yol açtığı için esnek bir alt zemin sağlamak. Ayrıca balast numunelerinin eksen gerilmesi, tekrarlanan darbe yükleri altında agregaların bozulmasının azalmasıyla azalır. (Koohmishi, M. & Palassi, M. 2017)

Kozak (2021) yaptığı çalışmada demiryollarında üstyapı malzemesi olarak kullanılan balast özelliklerini araştırmıştır. TCDD tarafından 2020 yılında balast teknik şartnamesi güncellenmiştir. Bu güncelleme neticesinde, balast olarak kullanılacak kayacın kökeni kaldırılmış ve şartnamede istenilen özellikleri sağlayan metamorfik, sedimenter ve eski teknik şartnamede ismi yer almayan diğer magmatik kökenli kayaların balast olarak kullanılabilirliğinin önü açılmıştır. Şartnamedeki bu değişim, balast maliyetini olumlu yönde etkileyecektir. Ayrıca demiryollarına uygun balastta olması gereken özellikler, hattın üstyapı elemanları içerisinde balastın görevleri, teknik şartnameye göre balasttan istenilen geometrik ve fiziksel deneyler ve sınır değerlerini ele almıştır. Yapılacak yeni çalışmalarda farklı kayaç türlerinden elde edilecek balastların, aynı proje kriterlerine sahip demiryolu hat kesiminde tek orjinli kayaç olacak şekilde belirli aralıklarla kullanılarak, bakım maliyeti, ömrü ve benzeri kriterleri tespit edilerek fayda zarar analizlerinin yapılmasının faydalı olacağını söylemektedir. Ayrıca güncellenen teknik şartnameye göre balast olarak kullanılacak kayaçların belirlenmesi için yeni çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

1.2. Balast Bağlayıcı İle Yapılan Çalışmalar

Balastların kaplanması ile ilgili olarak değişik çalışmalar yapılmıştır. Kaplama malzemesi olarak; silikat reçineli, poliüretan esaslı ve bitümlü bağlayıcı olarak farklı malzemeler aynı amaç düşünülerek kullanılmıştır.

Bozulma ve oturma problemlerinin temel nedeni, balast tabakasının bağlanmamış (kohezyonsuz) doğası ile ilişkilendirilmiştir. Bu sebeple, son yıllarda

yapılan bir dizi çalışmada, balast tabakasının kesme mukavemetini arttırılması ve partikülleri birbirine bağlayarak balastı stabilize eden tekniklerin kullanımına odaklanmıştır. Bağlanan balastlar sürtünmeden kaynaklanan aşınmayı azaltır. Kaplama malzemeleri için, temel gereksinimler yalnızca yapıştırma kapasitesi ile değil, aynı zamanda trafik kesintilerini en aza indirmek için bakım faaliyetleri sırasında uygulanabilme özelliği ile de ilişkilidir (Rostler, 1996).

1.2.1. Poliüretan Esaslı Balast Bağlayıcı

Yakın geçmişte balastın stabilize edilmesi için, poliüretan polimerlerin kullanımını artmaktadır. Ana amaç, poliüretan polimerlerin balast partikülleri arasındaki bağlanma üzerindeki etkisini, balast mukavemetini iyileştirmede ve hat oturmalarını azaltmadaki rolünün araştırılmasıdır. Poliüretan kaplamanın, doğrudan kesme mukavemetini arttırdığı ve balast bozulmasını azalttığı ortaya konmuştur. Poliüretanla kaplanmış balast, tekrarlı yükleme altında kaplamasız balast ile karşılaştırıldığında daha az düşey oturma ve plastik şekil değiştirme göstermiştir. Bu bulgular, sayısal simülasyonlardan elde edilen sonuçlarla da desteklenmektedir (Gundavaram, D. & Karimullah Hussaini, S.K. 2019).

Demiryolu yapımında, balastlı hat en yaygın kullanılan tip olup, dünyadaki hatların %95' inden fazlasını oluşturur. Ancak, yüksek hızlı demiryolu ve ağır yük taşıyan hatlarda bazı dezavantajları mevcuttur. Balastlı demiryolu hattının partikül kırılması, oturma ve yüksek bakım maliyetine yol açan geometri düzgünsüzlüğü gibi, kusurları ile ilgili olarak, poliüretan takviyeli balastlı hat büyük bir uygulama beklentisi göstermiştir. Bu güçlendirme yöntemi, hattın rijitliğini, balastın sıçramasını önleme ve yatay kurbalı bölgelerdeki yanal stabilite dahil olmak üzere birçok sorunu çözebilir. Yapılan çalışmada, balastlı hat sistemindeki poliüretan araştırma ve uygulamalarının kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Ayrıca farklı kullanımlara göre farklı yapıştırma yöntemlerine de yer vermiştir. Yine de, bakım ve maliyet gibi bazı zorluklar hala mevcuttur. Sonuç olarak daha fazla araştırılmak ve doğrulanmak için potansiyel çözümler ileri sürülmektedir. Buna göre, demiryolu sisteminde genel bir poliüretan takviyesi olasılığı sunmaktadır (Jing ve diğ. 2019).

Balastın kırılma sonucunda balast kirlenmesi ile yetersiz drenaj, çamur pompalama ve su/balast cepleri en yaygın karşılaşılan sorunlardır Kirli balast,

traversin stabilitesini azaltarak trenlerin raydan çıkmasına neden olabilir. Sonuç olarak, maliyetli balast bakım faaliyetleri gerektirir. Elastomer poliüretan ile kaplanmış balastın kesme mukavemetinde artış gözlenmiştir. Kaplanmış balastın bozulmasında bir azalmaya yol açmış, balast oturmasında azalma gözlenmiştir Dersch, M.S. & Tutumluer, E. (2010).

1.2.2. Bitümlü Balast Bağlayıcı

Dinamik yükler altında; demiryolu balastının bozulması, kademeli olarak mekanik performans ve yolun geometrisinin kaybına yol açar. Bu nedenle bakım müdahalelerine sıklıkla ihtiyaç duyulur. Bu sorunu sistematik olarak önlemek için son zamanlarda poliüretan ve/veya reçinelerin yanı sıra balast stabilizasyonu için yeni bir çözüm olarak bitüm stabilize balast (BSB) önerilmiştir. Bu yöntem, balast tabakasının hem sertliğini hem de enerji yayma kabiliyetini değiştirerek dayanıklılığı arttırmayı ve oturmayı azaltmayı amaçlar. Balast derecelendirmesi, bitüm emülsiyon dozajı, sıkıştırma yöntemi ve gerilme seviyeleri gibi farklı değişkenler göz önünde bulundurulur. BSB sertlik ve enerji dağıtma özellikleriyle kalıcı deformasyon ve deformasyon hızında önemli bir azalma olduğunu göstermişlerdir, (D'Angelo ve diğ. 2016).

Dünya çapında yaygın olmasına rağmen, balastlı hat hala yüksek bakım maliyetlerine ve düşük dayanıklılığa yol açan önemli geometrik düzensizlik ve tane kırılma sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda esas olarak balastın bağlanmamış doğasıyla (kohezyonsuz) ilgili olarak, polimerler veya reçineler kullanarak, agregayı güçlendirmek veya stabilize etmek için çeşitli çözümler önerilmiştir. Bu bağlamda, kolay bir uygulama ile balast hizmet ömrünü uzatmak için son zamanlarda nispeten ekonomik bir çözüm olarak bitüm stabilize balast (BSB) kullanımı önerilmiştir. Yapılan çalışmalardaki amaç, balast oturması ve bozulması ile ilişkili bakım ihtiyacını azaltmak için, BSB kullanmanın uygulanabilirliğini ve etkinliğini analiz etmektir. Bitüm emülsiyonu özelliklerinin stabilizasyon yöntemi üzerindeki etkisine hem de bakım düzeyinde uygulandığında yol yatağı mekanik performansı ve dayanıklılığı üzerindeki etkinliğini test etmeyi amaçlayan tam ölçekli bir araştırmayla en çok istenen tasarım parametrelerinin seçimine odaklanmıştır. Hat davranışının optimizasyonu için uygun olabilecek rijitliği ve sönüm kapasitesi değiştirilirken, geleneksel balasttan daha düşük oturma elde etmek için stabilizasyon

yönteminde bitüm emülsiyon özelliklerinin önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Ek olarak, bu teknoloji alt katmanlara iletilen stresin yanı sıra partikül bozulmasını azaltarak daha dayanıklı bir travers yatağı potansiyeli ortaya koymuştur (D'Angelo ve diğ. 2017).

Dünya çapında en çok kullanılan demiryolu balastlı raylar olmasına rağmen, balast oturması ve partikül bozulması ile ilgili yüksek bakım maliyeti sunar. Yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmak amacıyla, mevcut hatlara uygulanacak nispeten ucuz bir alternatif bakım çözümü olarak bitüm stabilize balast (BSB) yakın zamanda önerilmiştir. Bu çalışmada geleneksel balastlı traverslerin yataklarının yeni bir bakım stratejisi tanımlayarak bu teknolojinin potansiyel avantajlarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel balastlı hat yatağına kıyasla küçük ve büyük bakım operasyonlarını tahmin etmek için hat düzensizliklerinin gelişimini ve trafikle balast kirliliğini birleştiren laboratuvar testlerine dayanan entegre bir model kullanılmışlar (D'Angelo ve diğ. 2018).

1.2.3. Silikat Reçineli Balast Bağlayıcı

Yüksek hızlı demiryolu trafiğinin sağlanması, demiryolu hat kapasitelerinin artırılması, konforlu ulaşımın sağlanması ve güvenli sürüşün yanı sıra; yüksek güvenilirlik ve kullanılabilirlik en yaygın taleplerdir. Günümüzde demiryolu hatlarındaki en büyük problem, yüksek oranda artan yüklerdir. Sadece üstyapıda değil, aynı zamanda balast yatağında da artmaktadır. Özellikle, balastlı hat ile beton döşemeli (slab track) hatlar arasındaki geçişlere büyük özen gösterilmelidir. Balastların yer değiştirmesine engel olmak amacıyla, bazı demiryolu şirketleri balast bağlama uygulamasını kullanmıştır. Balast yatağının stabilitesini sağlamak için bu çalışmada bahsedilen teknolojinin avantajlarını detaylandırmıştır. Birkaç Avrupa demiryolu şirketinin deneyimleri ve Hırvatistan'daki uygulama Zagreb'de belli bir hemzemin geçidin yeniden inşası sırasında kullanılmıştır (Lakusic, S. Ve diğ. 2010).

Li ve diğ. (2005) yaptığı çalışmada demiryolu köprülerindeki çok rijit yol yapılarının ve köprü ile yaklaşım arasındaki ani rijitlik değişikliklerinin, beton tabliye ve balastlı üstyapının performans sorunlarını hızlandırabilen iki faktör olduğunu göstermiştir. Bu problemler arasında, hat geometrisinin hızlı bozulması ve beton çatlaması yer alır. İncelenen dört saha için de ortaya çıkan sonuç geometri bozulması

(köprü ile yaklaşma arasındaki farklı oturma). Köprü ile yaklaşma arasında tutarlı ve kabul edilebilir yol rijitliği üretecek şekilde tasarlanmadıkları takdirde, yaklaşma alt zeminini güçlendirmeye yönelik çözümler etkili olmayabilir. Sunulan çalışma, bir dizi demiryolu köprüsü ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bir batı demiryolu yaklaşımları üzerinde yapılmıştır. Çalışmanın amacı, köprü yaklaşımı veya ray geçişi ile ilgili performans sorunlarına neden olabilecek veya hızlandırabilecek faktörleri araştırmak ve uygun azaltma yöntemlerini belirlemek ve değerlendirmektir.



İKİNCİ BÖLÜM

KULLANILAN MALZEMELER

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, balast malzeme olarak bazalt ve kalker (kireç taşı) kullanılmıştır. Balast kaplama malzemesi olarak silikat reçine esaslı DM SIL BB ürünü kullanılarak ağırlıkça farklı oranda test numuneleri hazırlanmıştır.

2.1.1. Balastlar

2.1.1.1. Bazalt

Magma, yerkabuğunun derinliklerinde bulunan ve sıcaklığı 600-1300 °C derece arasında değişen erimiş silikat bileşiklerinden oluşur. Magmanın kristalleşmesi veya soğuyup katılaşmasıyla magmatik kayalar oluşur. Bu kayalar yer kabuğunun farklı derinliklerine yerleşirler veya yeryüzünde volkanlar şeklinde gözlendiklerinden farklı özellikler sergilerler. Soğuma ve katılaşma yeryüzüne yakın yerde olursa damar taşları (yarı derinlik taşları), yeryüzünde hızlı bir şekilde gerçekleşirse volkanik taşlar (yüze taşları), yerkabuğunun derinlerinde olursa plütonik kayaları oluştururlar. Bazalt, Andezit, Trakit, Riyolit, Diyabaz, Aplit, Pegmatit, Porfir, Granit, Gabro, Siyenit, Diyorit Magmatik kayalardandır (Karahana, 2018).

Deneyde kullanılan bazalt Kırklareli ili, Vize ilçesi, Okçular köyünde bulunan granit ocak sahasında çıkarılmaktadır.



Şekil 1. Bazalt balast malzemesi

2.1.1.2. Kalker (Kireç Taşı)

Sedimanter kayaçları diğer taşlardan ayıran en önemli özelliklerden biri fosil içermeleridir. Bu kayaçların incelenmesi, geçmiş zamana ait dış etkenler hakkında (iklim, bitki örtüsü ve canlı yaşamı vb. gibi) yer kabuğunun ve canlı yaşamının tarihçesini aydınlatmada diğer gruptaki kayaçlara göre daha sağlıklı bilgiler verir. Tortul taşlar hacim olarak yer kabuğunun %5'ini, magmatik ve metamorfik taşlar ise %95'ini oluşturmakta, buna karşılık yer yüzeyinde tortul taşların kapladığı alan %75, magmatik ve metamorfik taşların kapladığı alan ise %25 civarındadır. Dolayısıyla insanların faydalandığı birçok maden yatağını içerirler. Petrol, yeraltı ve yerüstü suları, kömür, demir, boksit, altın, elmas, uranyum vb. gibi çok değerli madenler sedimanter kayaçlar içerisinde yataklanmaktadır. Tortul taşlar, kırıntılı (kumtaşı, çakıltası, konglomera, breş, puding), kimyasal (kireçtaşı, traverten, oniks, dolomit), organik (fosilli kireçtaşı, kömür, gnays, şist) olmak üzere başlıca üç ana gruba ayrılır (Karahan, 2018).

Deneyleerde kullanılan kalker; Bursa ili, Nilüfer ilçesi Başköy bölgesinde elde edilmiştir.

Mineralojik ve dokusal olarak sedimanter kayaçlardan mikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Rengi sarımsı gri, masif dokuludur.



Şekil 2. Kalker balast malzemesi

2.1.2. Balast Bağlayıcı Malzeme

Hızlı reaksiyona giren, genleşmeyen iki bileşenli silikat reçinedir. Yüksek bağlanma gücüne sahiptir. Balast bağlayıcı ajanın teknik özellikleri aşağıdaki tablolardadır.

Tablo 1. BBA mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	
Sıkıştırma dayanımı (N/mm ²)	Yaklaşık 22
24 saat sonra E modülü (N/mm ²)	Yaklaşık 250
Destek D (Shore Hardness)	>50
Difüzyon drenaj faktörü (MPa)	1,9 x 10 ³

Kaynak: DM Yapı ve Maden Kimyasalları, (2019). DM SİL BB.

Tablo 2. BBA malzeme özellikleri

Malzeme Özelliği	Bileşen A	Bileşen B
25 °C'de yoğunluğu (g/cm ³)	1460+-40	1120+-40
25 °C'de Viskosite (Mpa.s)	260+-40	160+-60
Parlama noktası (°C)	-	>200
Karışım oranı	1	1
Renk	Renksiz	Koyu kahverengi

Kaynak: DM Yapı ve Maden Kimyasalları, (2019). DM SİL BB.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEY PROSEDÜRÜ

3.1. Deneyler

3.1.1. Numunelerin Hazırlanması

3.1.1.1. Numune Alma

Amacı: Agregalardan numune alma ve deney numunesi hazırlama için yapılan çalışmadır.

Numune: Agregaları belirlemek üzere ilgili standartlarda belirtilen deneylerin uygulanabilmesi için oluşturulacak deney numunelerinin hazırlanabilmesini sağlayacak nicelik ve nitelikteki agregadır.

Deney numunesi: Uygun yöntem ile küçültülerek, uygulanacak deney için yeterli miktara indirilmiş numune kümesi veya numune kümeleri topluluğudur.

Kapsam: Bu standard doğal yoğun agrega ocaklarından, doğal veya yapay yoğun agrega kırma, eleme, yıkama tesislerinden veya depo alanlarından. numune alma ve uygulanacak deneyler için deney numunesi hazırlanmasıdır.

Numune miktarı: Bir defada alınacak numune miktarı, uygulanacak deneylerin cinsi ve adedi. ile agreganın en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak belirlenir. Çeşitli deneyler için deneylerin dört kez tekrarlanabileceği varsayılarak gerekli görülen numune miktarları alınır.

Doğal agrega ocaklarında veya depolarda numune alınma yerinin seçilmesi:

Agrega alınan yerlerde agreganın tane sınıflarına yanıtıcı şekilde ayrılmış veya toplanmış olmamasına renk ve yapı değişikliği bulunmamasına özen gösterilmeli, bu nedenle yer seçimi ve numune oluşturulması işinde deneyim sahibi kişilerden yararlanılmalıdır.

Alımın agregalar temiz ve sert bir yüzey üzerinde toplanmalıdır.

Toplanan agrega ince tanelerinden ayrışıp kaybolmayacak kadar nemlendirilir (veya kurutulur), doymuş kuru yüzeye yakın duruma getirilir. İyice karıştırıldıktan

sonra bölgeç ile dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) yöntemi iki kez uygulanarak istenilen miktara indirilir.

Kırma, eleme, yıkama tesislerinden numune alma;

Kırma, eleme, yıkama tesislerinde depo edilmiş agrega için yukarıda anlatılan yöntem uygulanır.

Agrega; kırma, eleme veya yıkama makinelerinden depo alanına veya taşıyıcılara hareketli bant ile götürülmekte ise, bantın yönü eşit aralıklarla en az 5 kez değiştirilerek her seferinde yaklaşık eşit miktarda agrega, numune toplama kabına yöneltilir.

Bandın yön değiştirilememesi durumunda numune toplama kabı zaman zaman bantın boşaltma ucuna tutularak doldurulabilir.

Numune toplama kabına toplanan agreganın toplam ağırlığı sağlandığında uygulanacak deneylere göre numune alınması tamamlanmış olur.

Numunenin korunması ve taşınması:

Numuneler alındıkları yerden gönderilecekleri yere ulaşmaya kadar geçen süre içinde ince tanelerin dökülüp yok olmasına olanak vermeyecek bir yapıya sahip, kolayca yırtılmayacak ve delinmeyecek sağlam torbalar veya kapların içinde korunur. Taşıma sırasında güçlüklerle karşılaşmaması için torba veya kapların maksimum 50 kg lık olması tercih edilmelidir.

Numune tanımlama kartı:

Numuneyi tanımlayan ve gerekli diğer bilgileri içeren numune tanımlama kartı iki ayrı nüsha olarak düzenlenir. Bu kartlardan birisi numune torbasının (veya kabının) içine, diğeri üzerine konur. Kartların bozulmaması ve kaybolmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

3.1.1.2. Numunelerin Azaltılması

Amacı; agrega numunelerinin azaltılması yolu ile deney kısımlarının elde edilmesi yöntemlerini anlatır.

Dikkat edilecek hususlar:

Nem muhtevasının belirlenmesi gerektiğinde, kurutmadan önce bir veya birden fazla deney kısmı alınır. Numune bölücü ya da mekanik bölücüler kullanılır.

Kuru durumda ayrışan, ince taneli malzeme içeren agregalarda veya çıplak gözle görülür kil topakları içeren agregalarda numune azaltması doğal haliyle yapılır.

Gözle muayene için malzeme tepsi içinde karıştırılır.

Deney Numunesi Azaltma Metodları:

➤ Bıçaklı numune bölücü kullanılarak azaltma;

-Bıçaklı numune bölücü haznesine numune koyulur.

-Haznenin bütün uzunluğu boyunca numune yayılır.

-Diğer iki hazne yerlerine yerleştirilir.

-Uzun kenardan bölücünün orta kısmına sallayarak dökülür.

➤ Çeyrekleme ile bir numunenin azaltılması;

-Numune yere yayılır ve kürekle iyice karıştırılır.

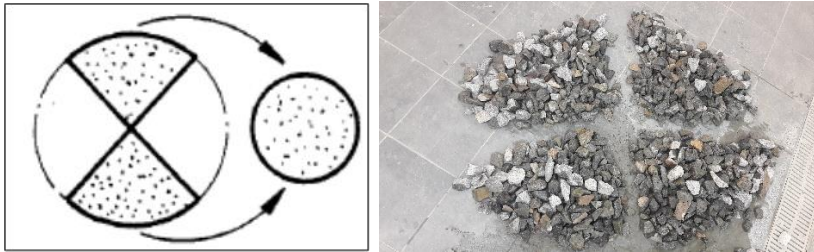
-Eşit kalınlıkta ve tam daire şeklinde bir pasta haline getirilir.

-Önce tam ortasından 2 eşit parçaya, sonra ona dik olarak tekrar 2 eşit parçaya bölünür.

-Toplamda 4 eşit parça olacak şekilde hazırlanır.

-Karşılıklı 2 parçaya ayrılır ve kalanı tekrar karıştırılır.

-İstenilen miktarda numune kalana kadar çeyreklemeye devam edilir.



Şekil 3. Çeyrekleme ile numune azaltılması

Deney Ekipmanları: Bıçaklı bölücü, kürek, tepsi.

3.1.2. DeneYlerin Yapılışı

3.1.2.1. Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranı

(TS EN 1097-6, 2013)

Amacı; agrega tane yoğunluğu, beton karışım hesaplarında karışım giren birleşenlerin miktarlarını etkileyen ve bileşenlerin hacim ve kütle cinsinden belirlenmesinde kullanılan bir değerdir.

Agrega su emme oranı ise beton üretimi sırasında agregadaki mevcut nem miktarına göre karışım suyu miktarında düzeltme yapılabilmesi için gerekli olan bir büyüklüktür.

İri agrega tane yoğunluğu Arşimet yöntemi ile su emme oranı da agreganın DKY durumuna göre belirlenmektedir.

DeneYin Yapılışı:

1. DeneY numunesi en az 24 saat 20 °C suda bekletilerek tam doğun hale getirilir.

2. Suya doğun hale gelmiş numune taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek kap içine yayılır.

3. Kaptaki agrega taneleri üzerinde görülebilen su tabakası kalmayıncaya kadar havlu, bez vb. ile kurutulur. Tane yüzeylerinin ıslak koyu renkten açık mat renge dönüştüğünde DKY haline geldiği kabul edilir.

4. DKY haline getirilmiş numune tartılır ve DKY ağırlığı olarak kaydedilir (M2).

5. Daha sonra suda tartım düzeneğindeki kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine, su yüzeyinden en az 5 cm daha aşığıda kalacak şekilde daldırılır.

6. Numune su yüzeyine çıkarılmadan kovanın içinde en az 10 defa serbestçe kaldırılıp indirilir, sağa sola sallanarak taneler arasında kalabilecek hapsolmuş hava kabarcıkları çıkarılır.

7. Ölçüm sırasında tel sepetin su dolu haznenin kenarına değmemesine dikkat edilir. Doğun malzemenin sudaki ağırlığı bulunur (M3).

8. Numune sudan çıkarılır ve 24 saat 105 °C etüvde bekletilerek etüv kurusu haline getirilir.

9. Etüv sonrası numune oda sıcaklığına gelinceye kadar desikatör içinde soğutulduktan sonra numunenin etüv kurusu ağırlığı belirlenir (M1).

✓ İri agreganın kuru tane yoğunluğu

$$Y_k = M1/(M2-M3)$$

✓ İri agreganın DKY yoğunluğu

$$Y_{dky} = M2/(M2-M3)$$

✓ İri agreganın görünen tane yoğunluğu

$$Y_g = (M1-M3)$$

✓ İri agreganın su emme oranı

$$M_i = [(M2-M1)/M1] \times 100$$

3.1.2.2. Los Angeles Metodu İle Parçalanma Direnci

TS EN 1097-2 (2010b)

Amacı; numunelerin parçalanma direncini ölçmek için yapılır.

Deneyin Yapılışı:

1. Deney, 31,5 mm elekten geçen 50 mm deney eleğinde kalan malzemelere uygulanır.

2. Numuneler TS EN 933-1'e uygun olarak yıkanır.

3. Deney numuneleri sabit kütleye ulaşınca kadar (110 ±5) °C etüvde kurutulur.

4. Deney numuneleri oda sıcaklığında soğutulur.

5. 31,5-50 mm arası numuneyi elde etmek için her iki numune karıştırılır.

6. Birleştirilen numune TS EN 1097-2'ye uygun olarak çeyreklenir. Deney kısmının kütlesi (10000 ±10)g olmalıdır.

7. Deney numunesi yüklenmeden önce tamburun temizliği kontrol edilir.

8. Makineye önce bilyeler, sonra agregalar konur.
9. Kapak kapatılır ve makine 31dk/devir ile 33dk/devir arası sabit hızda 1000 devir döndürülür.
10. Açıklık tepsinin tam üstüne getirilerek, agregalar tepsiye dökülür.
11. Tambur fırça ile temizlenir, ince tanelerin etrafta kalmamasına dikkat edilir.
12. Agregaya kaybının olmamasına dikkat edilerek bilyeler tepside alınır.
13. Numuneler yıkanır ve kurutulur.
14. Tepsideki numune, 1,6 mm elek kullanılarak kuru elenir.
15. 1,6 mm elekte kalan kısım tartılır.
16. 1,6 mm elekte kalan kısmın gram cinsinden ağırlığı kayıt defterine kaydedilir (m1).
17. Los Angeles katsayısı (LA) hesaplanır.
18. $LA = (10000 - m1) / 100$
19. Temiz tambura tekrardan bilyeler yerleştirilir.
20. 1,6 mm elekte kalan kısım ve deney numunesi makineye konur.

Sonuç en yakın tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir.

Deney Ekipmanları;

- 1,6-22,4-31,5-40-50 mm göz açıklıklı deney elekleri.
- 0,1 gram hassasiyetli terazi.
- (110 ± 5) °C etüv.
- Los Angeles deney cihazı.
- Tambura 31 dk/devir ile 33dk/devir arasında dönme hızı uygulayabilen motor.
- Gerekli devir sayısından sonra motoru otomatik olarak durdurabilen devir sayacı.
- Toplam ağırlığı (5210 ± 90) gr arasında olan 12 adet küresel çelik bilye.

- Tepsi.
- Fırça ve Kaplar.

3.1.2.3. Tane Büyüklüğü Dağılımı

(TS EN 933-1)

Amacı; elek analizi yardımıyla doğal veya yapay agregaların tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesini tarif etmektir.

Deneyin Yapılışı:

1. Deney numunesini, Numunelerin Azaltılması Talimatı'na göre hazırlanır ve tepsiye alınır.
2. Deney için ayrılan kısmı etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulup soğumaya bırakılır.
3. Numune tartılır ve ağırlığı M1 olarak kaydedilir.
4. Numune tepsiye döküldükten sonra üzeri örtülünceye kadar su ilave edilir.
5. Numuneyi karıştırarak ince tanelerin tamamen ayrılması sağlanır.
6. 63 µm'lik elek üzerine 1 veya 2 mm göz açıklıklı koruma eleği takılır ve suda bekleyen tepsideki numune koruma eleğinin üzerine dökülür.
7. 63 µm elekten geçen su tamamen berraklaşınca kadar yıkanmaya devam edilir.
8. Elek üzerinde kalan malzeme sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulur (12 – 24 saat aralığında bekletmek yeterlidir).
9. Kurutulan numune soğulup tartıldıktan sonra ağırlığı M2 olarak kaydedilir.
10. Numune elek takımına dökülür. İşlem boyunca 63 µm'luk deney eleği her seferinde elek takımına ilave edilir.
11. Elek takımının altına tava konularak malzeme kaybı olmayacak şekilde sallanır.
12. İşlem bittikten sonra, her bir elek takımdan ayrılarak (en büyük göz açıklıklı elekten başlayarak) tek tek elenir. Bu işlem, eleklerin altına tava konularak yapılır.

13. Bir dakika içinde elek üzerindeki malzeme ağırlığında değişiklik olmayana kadar elemeye devam edilir.

14. En büyük göz açıklığına sahip elek üzerinde kalan malzeme tepsiye dökülür ve tartılır.

15. Büyükten küçüğe doğru, elek üzerindeki malzeme, tartılan malzeme üzerine eklenecek şekilde tartılır ve yeniden kaydedilir.

16. Son olarak tavada kalan malzeme varsa tartılır ve kaydedilir.

17. Her bir elekte kalan malzeme ağırlığı (63 µm eleğe kadar), yıkanmamış kuru ağırlığın yüzdesi olarak hesaplanır.

Deney Ekipmanları:

- Elek takımı (0,063 mm, 0,075 mm, 1,6 mm, 4,75 mm, 13,2 mm, 22,4 mm, 31,5 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm)
- Tava
- 110± 5°C termostatlı etüv
- Yıkama ekipmanı
- Elektronik terazi
- Fırça ve tepsiler

3.1.2.4. Kirlilik İndeksi

(Lonescu, 2004)

Amacı; balast kirlilik indeksi tayini, balastların zamanla trafik yüklemesi sırasında mekanik partikül bozulması, çevresel değişikliklerden kaynaklanan mekanik ve kimyasal bozulmalar, yüzeyden ve alttaki katmanlardan havalanan ince parçacıklardan kaynaklanan kirlenmeler, traverslerin bozulmalarından kaynaklanan kirlenmeleri gözlemlemek için yapılan bir tayindir.

Deneyin Yapılışı:

1. Elek analizindeki 8. maddeye kadar tekrarlanır.
2. Belli bir balast topluluğundan alınan numuneleri 13,2 mm elekten elenerek elek altında kalan agrega yüzdesi belirlenir (P13.2).

3. Aynı balast topluluğundan alınan numune son olarak 0,075mm elekten elenir ve elek altında kalan agrega yüzdesi belirlenir (P0.075).

4. Kirlilik İndeksi = FI_p

5. $FI_p = P0.075 + P13.2$

6. Bulunan değer numune alınan yığının kirlilik indeksini belirler.

3.1.2.5. Mikro Deval

(TS EN 1097-1, 2015)

Amacı; bu deney standart agregaların aşınmaya karşı direncinin ölçülmesiyle ilgili işlemi kapsar.

Deneyin Yapılışı:

Deney dönme işlemi tamamlandığında numunenin 1,6mm 'den daha küçük tane büyüklüğüne indirilen kısmının yüzdesini ifade eden mikro deval kat sayısını tayin eder.

Deney belirtilen şartlar altında döner bir tambur içerisinde bulunan agregalar ile aşındırıcı malzeme arasındaki sürtünmenin neden olduğu aşınmanın ölçülmesinden ibarettir.

Dönme tamamlandığında 1.6 mm göz açıklıklı elekte tutulan agrega yüzdesi belirlenir ve bulunan değerler mikro deval katsayısının hesaplanmasında kullanılır.

Bu standartta açıklanan deney metodu referans metot olup M_{DE} değerini elde etmek üzere bir miktar su ilave etmek suretiyle kuru agregaya yapılır.

Not: Düşük mikro deval aşınmaya karşı iyi direnç.

Deney Ekipmanları:

- Terazî
- Elek seti
- Etüv (110 ± 5 'e ayarlanabilen)
- Elenmiş numuneyi yıkamak için uygun gereç
- Deney numunesini azaltabilmek için uygun donanım

- Silindir (2,5 ±0,5)L ölçebilen
- Mikro deval cihazı

Cihaz Özellikleri:

-Deney cihazı bir ucu kapalı, iç çapı (200 ±1)mm, taban ile kapağın iç yüzeyi arasındaki iç uzunluğu (154 ±1)mm olan 1 ile 4 adet tambur ihtiva etmektedir. Tamburlar 2 adet mil üzerinde yatay eksenle dönen 3 mm et kalınlıkta paslanmaz çelikten imal edilmiş olmalıdır.

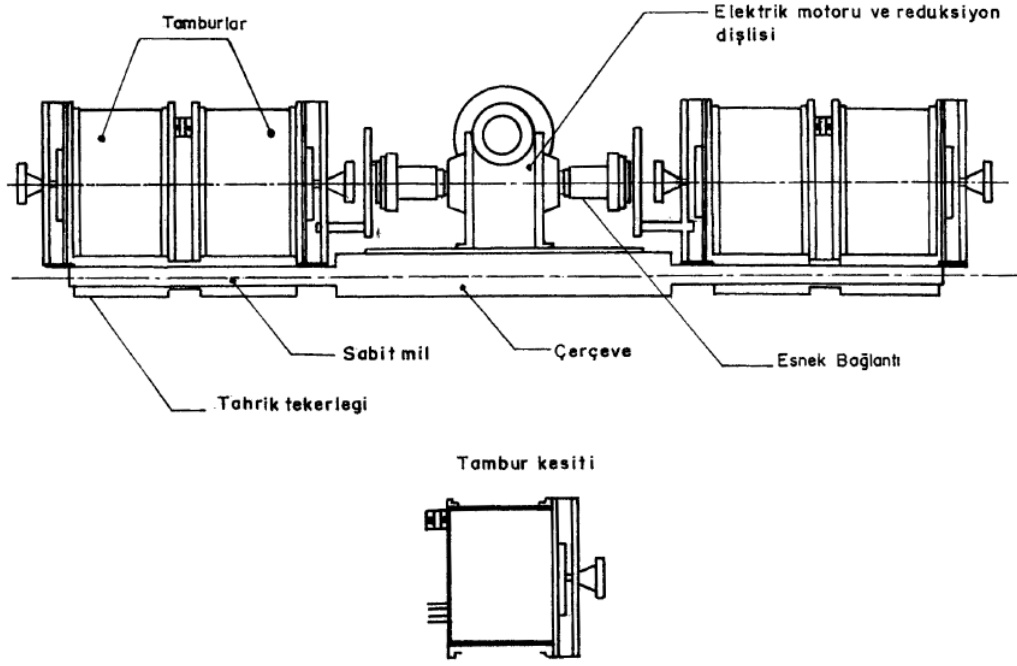
Tamburların iç yüzeyleri kaynak veya birleştirme işlemi sırasında oluşabilecek çıkıntılara sahip olmamalıdır. Su ve toz geçirmez contaları bulunan 8mm kalınlığında kapaklarla kapatılmalıdır.

-Aşındırıcı malzeme (10 ±0,5)mm çaplı çelik bilyelerden oluşmalıdır.

Not: Bilye çapları aralarındaki mesafe 9,5mm olan iki paralel çubuk üzerine konulup hareket ettirilerek kontrol edilebilir.

-Tamburları (100 ±5) devir/min döndüren uygun bir motoru olmalıdır. (1 KW güçte)

-Sayaç otomatik durmalıdır.



Şekil 4. Tipik deney cihazı (TS EN 1097-1, 2015).

Deney Numunelerinin Hazırlanması:

1-) 10mm ile 14mm aralığında en az 2 kg agrega

a) Tanelerin %50 si 40mm elekten geçmeli

b) Tanelerin %50 si 50mm elekten geçmeli

2-) Numuneler (31,5mm - 40mm – 50mm) eleklerden elenir. Her fraksiyon EN 933'e uygun ayrı ayrı yıkanır ve kurutulur. Ortam sıcaklığına kadar soğutulur. Bu iki fraksiyon karıştırılır. Bu karışım EN 932-2 'ye göre (500 ± 2) gramlık 2 parçaya ayrılır.

Deney İşlemi: Her bir deney numunesi tamburlara yerleştirilir. Her bir tambura (5000 ± 5) g çelik bilye konulur. Her bir tambura $(2,5 \pm 0,05)$ L su eklenir. Tambur (12000 ± 10) devir döndürülür.

Deneyden sonra agrega ve çelik bilye bir kaptta dikkatlice toplanır. Tamburun içi ve kapağı yıkama şişesiyle yıkanır ve kaba toplanır.

Tüm malzeme ve yıkama suları 8mm açıklıklı koruyucu bir elek ile yıkanır.

3.1.2.6. Balast Drenaj

Schmidt, ve diğ. (2017) yaptıkları bu çalışmada demiryolu balastlarının drenajı sağlamak için su geçirgenliğini bir düzenek kurarak geçirgenlik katsayısı “k” yı bulmuşlardır.

Amacı:

Balastlarda en önemli istenen özellik drenaj, bu deneyde drenaj katsayısı “k” yı bulmak için hazırlanan düzenek ve malzemelerden oluşmaktadır.

Deneyin Yapılışı:

1. Deney düzeneği.
2. Drenaj Numune kaplarının hazırlanması ve içine balastların yerleştirilmesi.
3. Kaplara yerleştirilen demiryolu balastlarına ağırlıkça % balast bağlayıcı malzemesi püskürtülmesi.
4. Numune kabını deney düzeneği içine yerleştirilir ve kapağı kapatılır.
5. Düzeneğin içine su girişi ve H1 ve H2 manometrelerdeki su seviyeleri eşitleninceye kadar doldurulur.
6. Deney düzeneğindeki pompa çalıştırılarak suyun döngüsü başlatılır.
7. Manometreler sabitlendiğinde okumalar alınmaya başlanır ve her döngüde 15 adet okuma alınır.
8. Okumalar ve diğer veriler ile drenaj katsayısı “k” (cm/s) bulunur.



Şekil 5. Drenaj deneyi düzeneği

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BALASTLARIN KAPLANMASI

4.1. Deneyin Yapılış Amacı ve Yapılışı

4.1.1. Deneyin Yapılış Amacı

Balast malzemesi, betonlarda kullanılan agregalara göre çok daha dayanıklı ve gerekli özelliklere sahip olması gerekmektedir. DYB, doğal kayaların kendi durabilitesine bağlı olarak tüm etkenlere karşı bütünlüğünü koruyabilen malzemelerdir. Balastların fiziksel durumlarındaki değişimlere önlem alınabilir mi, bu önlemler nasıl alınır, durabilitesi devam ettirilebilir mi, balast bağlayıcı ajan ile iki farklı kayaktan balast agregaları kaplanarak fiziksel özellikleri geliştirilebilir mi ya da ne kadar geliştirilebilir gibi sorulara cevap aranmaktadır. Bu yüksek lisans tezinde, bahsedilen sorular ışığında çalışmalar yapılmıştır. Balastları kaplama yaparken farklı oranlar kullanılarak aradaki maksimum ve minimum iyileştirmeler ortaya çıkarılmak istenmektedir. Bu deneyler yapılırken laboratuvar koşullarında ve değişkenler sabit tutularak, dış ortamdan etki olmayarak, yapılan deneylerin şartları sağlanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Balast bağlayıcı ajan ile kaplanmış balastlar

4.1.2. DeneYlerin Yapılışı

Bu tez çalışmasında öncelikle balast malzemelerinin taş ocaklarından temini sağlandı. Laboratuvar ortamına getirilen malzemeler çeyrekleme yöntemi ile azaltma işlemi gerçekleştirildi. DeneYler için hazırlanan malzemeler yıkanarak dış ortamdan alınan toz ve partiküllerin etkilenmemesi sağlandı. Yıkanan malzemeler 31,5mm-40mm arası ve 40mm-50mm arası olarak 2 gruba ayrıldı. Her deney için deney yapılabilmesi için gerekli miktarlarda tartımlar yapılarak deney tepsilerine alındı ve kimlik verildi. Los Angeles deneyi için 31,5mm-40mm ve 40mm-50mm arası malzemeden 5'er kilo hazırlandı. Mikro deval testi için yine aynı şekilde 5'er kilo numune hazırlandı. Daha sonra su emme ve birim ağırlık testi için ikinci grup olan 40mm-50mm arasında ki numuneden 5'er kilo ayarlanarak 7 farklı korelasyon olacak şekilde %0 referans, %0,5, %1,5, %3, %5, %7, %10 olacak şekilde balast bağlayıcı ajan ile kaplama işlemleri yapılan numuneler 24 saat tam priz süresi için bekletildi. Kirlilik indeksi için Los Angeles deneyinden sonraki çıkan numune üzerinden testler yapılmaktadır.



Şekil 7. Balastların kaplanma işlemleri

Elek analizini Los Angeles deneyinin öncesi ve sonrası için balast eleklerinden elenerek deney gerçekleştirilmiştir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE BULGULAR

5.1. Deneysel Sonuçlar ve Bulgular

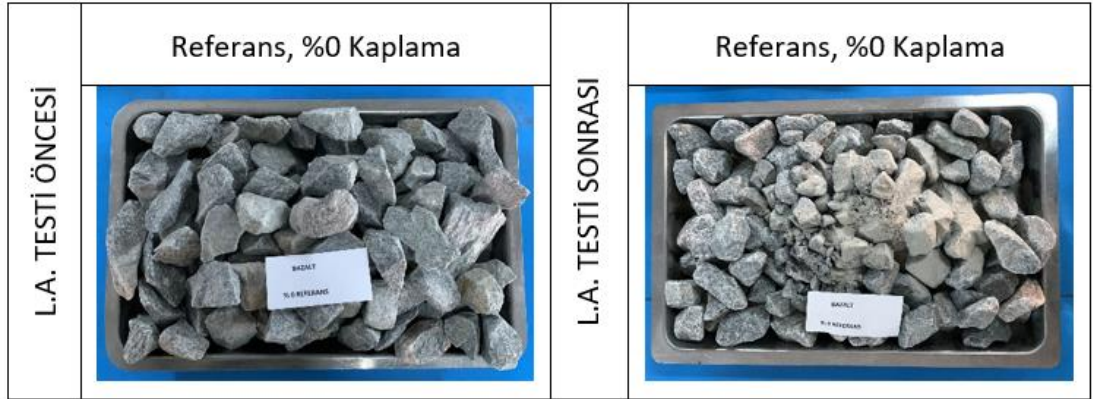
5.1.1. Los Angeles

Bazalt ve kalker balastlarını balast bağlayıcı ajan ile kaplama uygulamasını yapmadan önce %0 kaplama olan referans değerler ilk olarak yapılmıştır.

Bazalt balastından hazırlanan numune ile yapılan Los Angeles testine göre LA değeri %14 olarak hesaplanmaktadır.

Bazalt balastından referans numunesine tekrar yapılan Los Angeles testine göre LA değeri %12 olarak hesaplanmaktadır.

Böylece bazalt balastının referans %0 balast kaplama ortalama LA değeri %13 olarak hesaplanmıştır.

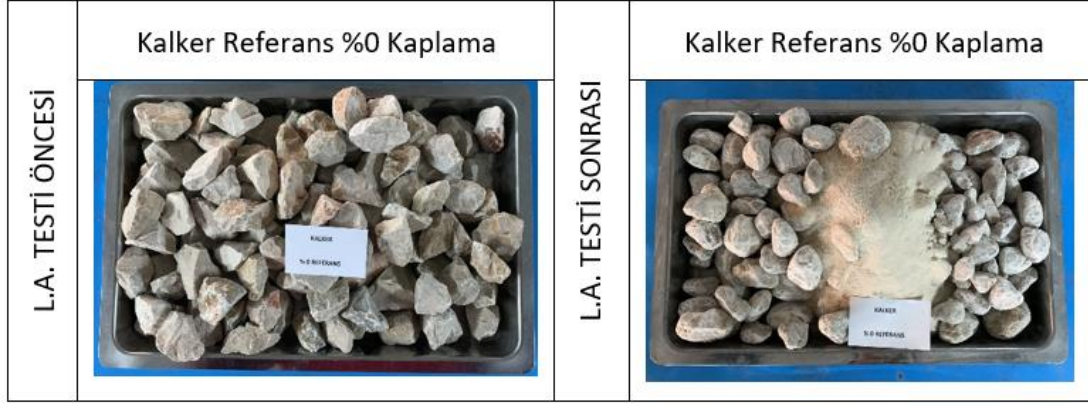


Şekil 8. Bazalt balastının %0 kaplama referans Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastından etüv kurusu hazırlanan numune ile yapılan Los Angeles değeri %28 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından tekrar yapılan deneyde Los Angeles değeri %26 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının referans %0 balast kaplama ortalama L.A. değeri %27 olarak hesaplanmıştır.

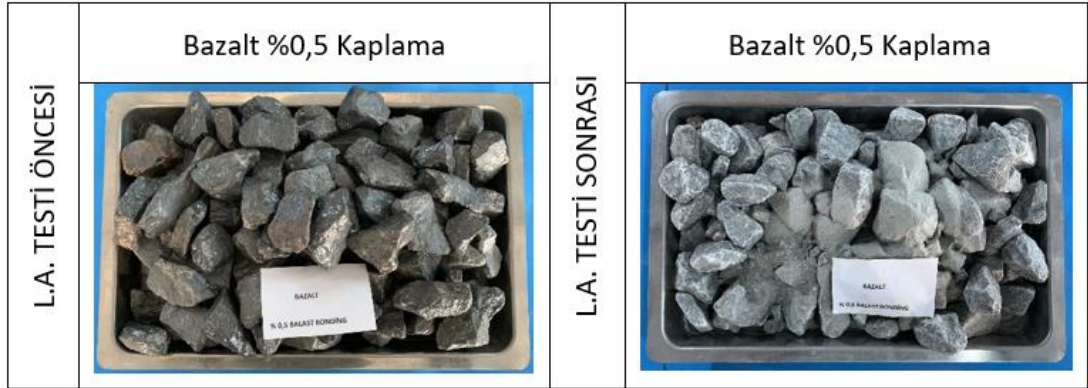


Şekil 9. Kalker balastının %0 kaplama referans Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası
Bazalt ve kalker balastlarını, balast agregalarına ağırlıkça %0,5 balast bağlayıcı ajan ile kaplayarak numuneler hazırlanır.

Bazalt balastından etüv kurusu hazırlanan numune ile yapılan deneyde Los Angeles değeri %10 olarak hesaplanmaktadır.

Bazalt balastından tekrardan yapılan deneyde bazalt balastının Los Angeles değeri %12 olarak bulunmuştur.

Böylece bazalt balastının %0,5 balast kaplama ortalama LA değeri %11 olarak hesaplanmıştır.

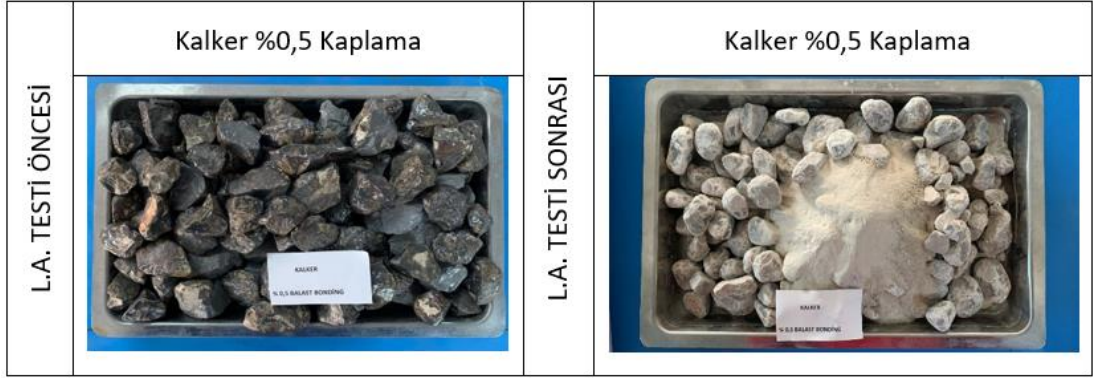


Şekil 10. Bazalt balastının %0,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastından balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numune ile yapılan deneyde LA değeri %26 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından tekrardan deneyde Los Angeles değeri %24 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının %0,5 balast kaplama ortalama LA değeri %25 olarak hesaplanmıştır.



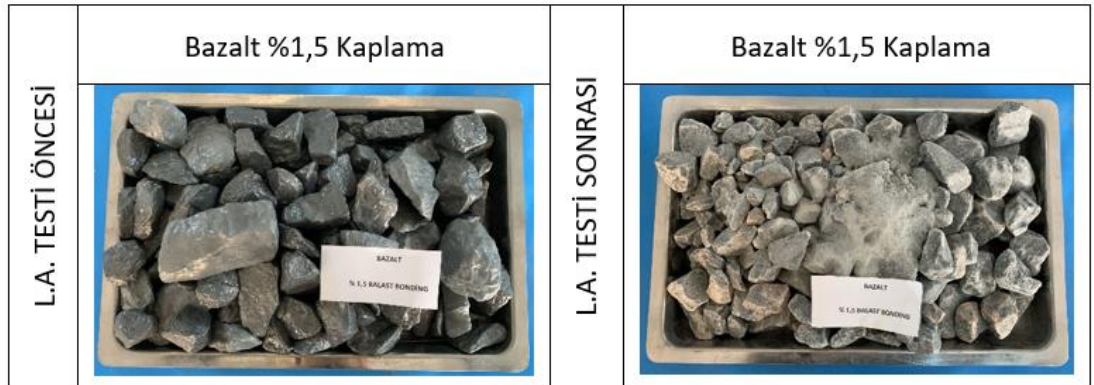
Şekil 11. Kalker balastının %0,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Bazalt ve kalker balastlarını, balast agregalarına ağırlıkça %1,5 balast bağlayıcı ajan ile kaplayarak numuneler hazırlanır.

Bazalt balastının %1,5 balast bağlayıcı ile kaplanarak hazırlanan numune Los Angeles deneyi sonucu %10 olarak bulunmuştur.

Bazalt balastının %1,5 balast bağlayıcı ile kaplanarak numune tekrardan yapılan deneyde LA değeri %10 olarak hesaplanmaktadır.

Böylece bazalt balastının %1,5 balast kaplama ortalama LA değeri %10 olarak hesaplanmıştır.

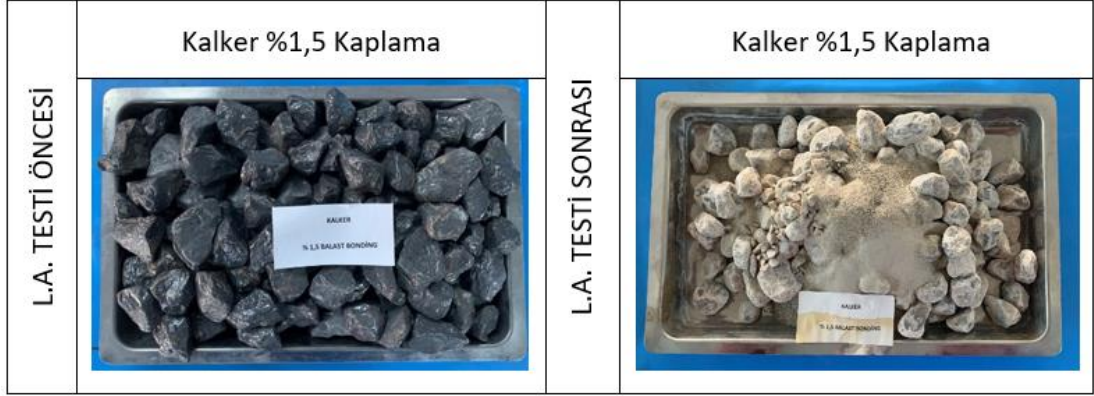


Şekil 12. Bazalt balastının %1,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastının %1,5 balast bağlayıcı ajan ile kaplanarak yapılan deneyde LA değeri %23 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından tekrardan yapılan deneyde LA değeri %22 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının %1,5 balast kaplama ortalama LA değeri %22,5 olarak hesaplanmıştır.



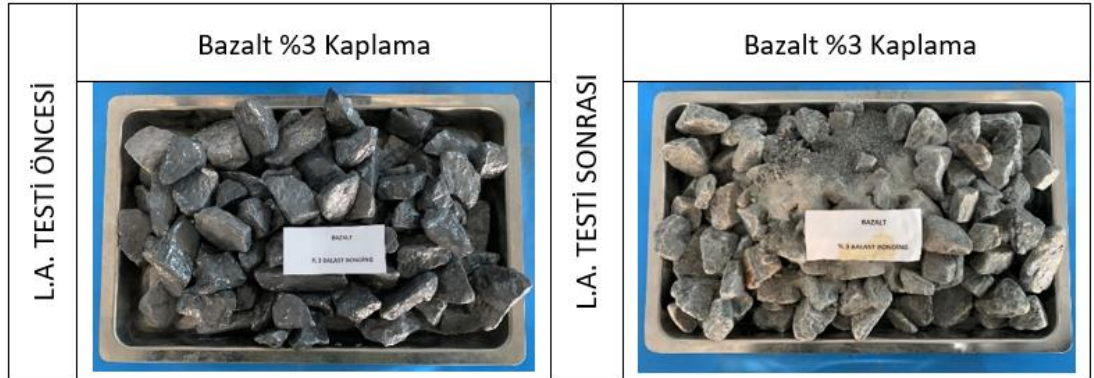
Şekil 13. Kalker balastının %1,5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Bazalt ve kalker balastlarını, balast agregalarına ağırlıkça %3 balast bağlayıcı ajan ile kaplanarak numuneler hazırlanır.

Bazalt balastından %3 BBA kaplanarak hazırlanan numunenin LA değeri %8 olarak hesaplanmaktadır.

Bazalt balastından tekrar yapılan deneyde LA değeri %9 olarak hesaplanmaktadır.

Böylece bazalt balastının %3 balast kaplama ortalama LA değeri %8,5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Bazalt balastının %3 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastından hazırlanan numune ile yapılan Los Angeles deneyi %23 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından tekrardan yapılan deneyde LA değeri %21 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının %3 balast kaplama ortalama LA değeri %22 olarak hesaplanmıştır.



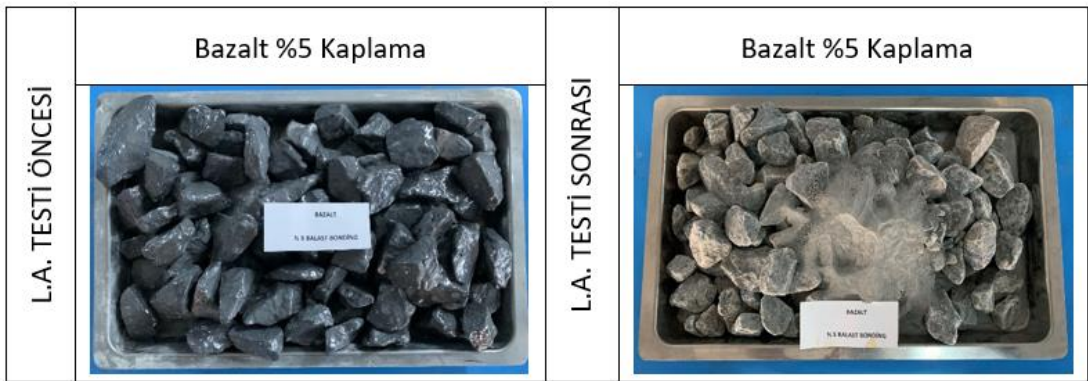
Şekil 15. Kalker balastının %3 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Bazalt ve kalker balastlarını, balast agregalarına ağırlıkça %5 balast bağlayıcı ajan ile kaplayarak numuneler hazırlanır.

Bazalt balastından hazırlanan numune ile yapılan deneyde LA değeri %9 olarak hesaplanmaktadır.

Bazalt balastından tekrardan yapılan deneyde LA değeri %8 olarak hesaplanmaktadır.

Böylece bazalt balastının %5 balast kaplama ortalama LA değeri %8 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 16. Bazalt balastının %5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastından hazırlanan numune ile yapılan deneyde LA değeri %21 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından tekrar yapılan deneyde LA değeri %21 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının %5 balast kaplama ortalama LA değeri %21 olarak hesaplanmıştır.



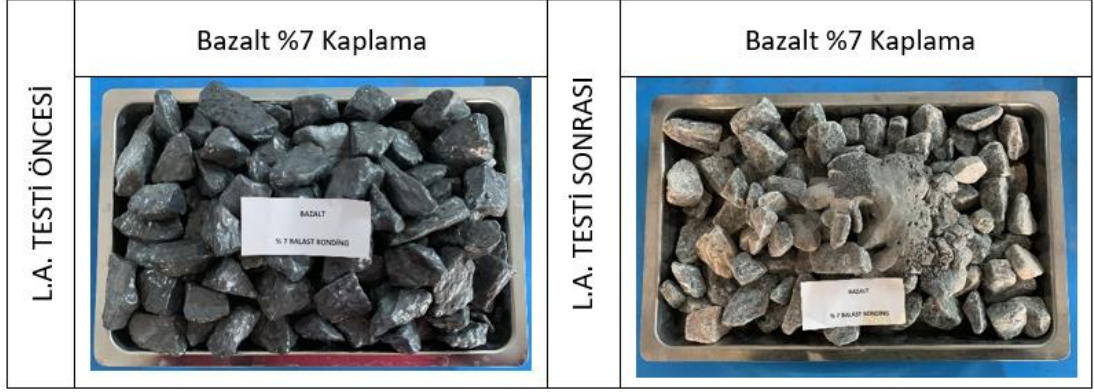
Şekil 17. Kalker balastının %5 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Bazalt ve kalker balastlarını, balast agregalarına ağırlıkça %7 balast bağlayıcı ajan ile kaplayarak numuneler hazırlanır.

Bazalt balastından hazırlanan numune ile yapılan deneyde LA değeri %7 olarak hesaplanmaktadır.

Bazalt balastından tekrar yapılan deneyde LA değeri %11 olarak hesaplanmaktadır.

Böylece bazalt balastının %7 balast kaplama ortalama LA değeri %9 olarak hesaplanmıştır.

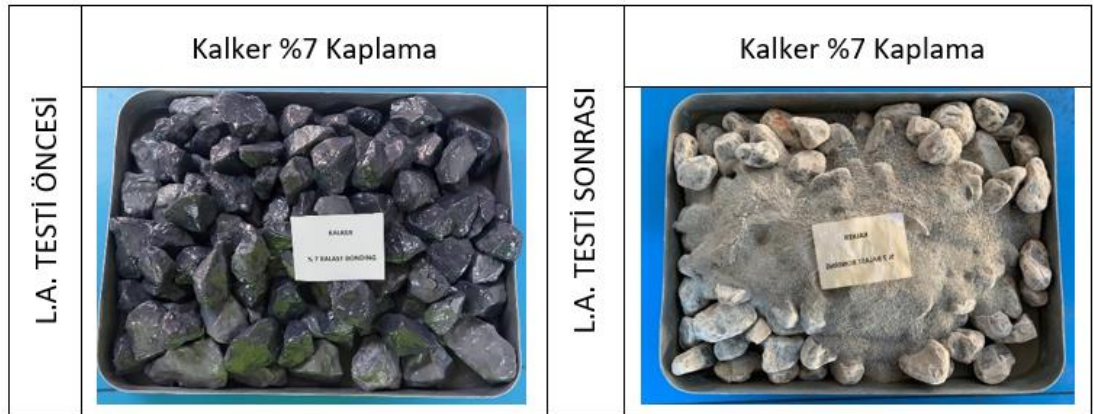


Şekil 18. Bazalt balastının %7 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastından hazırlanan numune ile yapılan deneyde LA değeri %22 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından hazırlanan numuneye tekrar yapılan deneyde LA değeri %19 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının %7 balast kaplama ortalama LA değeri %20,5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 19. Kalker balastının %7 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Bazalt ve kalker balastlarını, balast agregalarına ağırlıkça %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplayarak numuneler hazırlanır.

Bazalt balastından hazırlanan numune ile yapılan deneyde LA değeri %6 olarak hesaplanmaktadır.

Bazalt balastından tekrardan yapılan deneyde LA değeri %10 olarak hesaplanmaktadır.

Böylece bazalt balastının %10 balast kaplama ortalama LA değeri %8 olarak hesaplanmıştır.

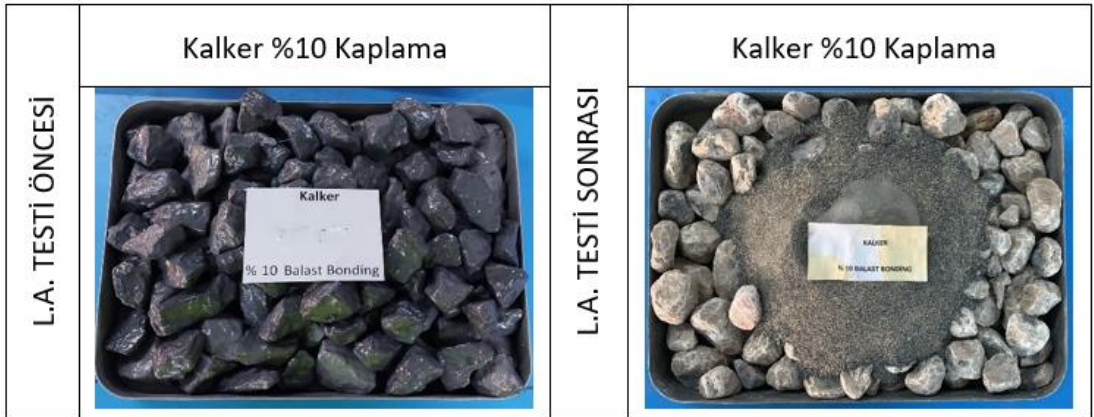


Şekil 20. Bazalt balastının %10 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Kalker balastından hazırlanan numune yapılan deneyde LA değeri %20 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastından tekrar yapılan deneyde LA değeri %18 olarak hesaplanmaktadır.

Kalker balastının %10 balast kaplama ortalama LA değeri %19 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 21. Kalker balastının %10 kaplama Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası

Los Angeles sonuçları aşağıdaki grafikte verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında hem kalkerde hem de bazalt balastlarında balast bağlayıcı ajan ile kaplamaları sonucunda aşınma yüzdesinde düşüş gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Bazalt balastına yapılan BBA ile kaplanan malzemenin LA değeri

% Balast Bağlayıcı Ajan	Bazalt		
	1. Deney; %LA	2. Deney; %LA	Ortalama; %LA
% 0 Referans	14,0	12,0	13,0
% 0,5	10,0	12,0	11,0
% 1,5	10,0	10,0	10,0
% 3	8,0	9,0	8,5
% 5	9,0	8,0	8,5
% 7	7,0	11,0	9,0
% 10	6,0	10,0	8,0

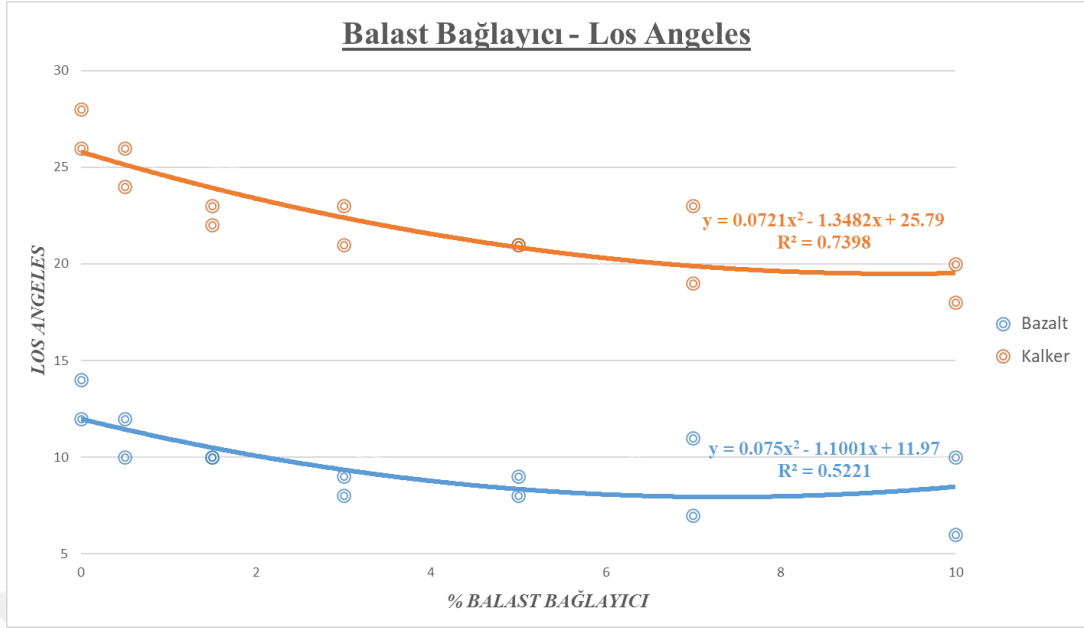
Tablo 4. Kalker balastına yapılan BBA ile kaplanan malzemenin LA değeri

% Balast Bağlayıcı Ajan	Kalker		
	1. Deney; %LA	2. Deney; %LA	Ortalama; %LA
% 0 Referans	28,0	26,0	27,0
% 0,5	26,0	24,0	25,0
% 1,5	23,0	22,0	22,5
% 3	23,0	21,0	22,0
% 5	21,0	21,0	21,0
% 7	23,0	19,0	21,0
% 10	20,0	18,0	19,0

Bazalt balastının referans numunesinde %13 çıkan aşınma yüzdesini azaltarak %10 olan balast bağlayıcı ajan ile kaplamasında %8'e düştüğü gözlemlenmiştir.

Kalker balastının referans numunesinde %27 çıkan aşınma yüzdesini azaltarak %10 olan balast bağlayıcı ajan ile kaplamasında %19'a düştüğü gözlemlenmiştir.

Bazalt ve kalker balastının Los Angeles ile olan bağlantısını aşağıdaki grafikte görebiliriz.



Grafik 1. Los Angeles ile balast bağlayıcı kaplama oranlarını arasındaki ilişkinin grafiği

5.1.2. Mikro Deval

Bazalt ve kalker balastlarının balast agregalarına ağırlıkça %0 referans, %0,5, %1,5, %3, %5, %7, %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplayarak numuneler hazırlanmıştır. Kaplanan balastlar, mikro deval testi için TS EN 1097-1 ye göre numuneler deney düzeneğine yerleştirilip her oran için ayrı ayrı testler yapılmıştır. Balast kaplama ajan malzemesi oranına göre çıkan sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5. Bazalt balastı mikro deval sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan	Bazalt		
	1. Deney; MD	2. Deney; MD	Ortalama; MD
% 0, Referans	5,4	5,0	5,2
% 0,5	4,5	3,8	4,2
% 1,5	4,3	3,7	4,0
% 3	2,6	4,1	3,4
% 5	2,1	3,2	2,7
% 7	2,6	3,6	3,1
% 10	2,8	2,7	2,8

Bazalt için yapılan 1. mikro deval deneyinde en yüksek MD değeri 5,4 gelirken en düşük MD değeri ise 2,1 görülmektedir. Bazalt için yapılan 2. mikro deval deneyinde en yüksek MD değeri 5 gelirken en düşük MD değeri ise 2,7 görülmektedir. Bazalt için yapılan iki deneyin ortalama mikro deval deneyinde en yüksek MD değeri 5,2 gelirken en düşük MD değeri ise 2,7 görülmektedir.

Tablo 6. Kalker balastı mikro deval sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan	Kalker		
	1. Deney; MD	2. Deney; MD	Ortalama; MD
% 0, Referans	14,6	14,8	14,7
% 0,5	10,8	11,2	11,0
% 1,5	10,0	10,8	10,4
% 3	8,2	8,6	8,4
% 5	6,0	7,5	6,8
% 7	3,0	7,1	5,1
% 10	2,0	4,5	3,3

Kalker için yapılan 1. mikro deval deneyinde en yüksek MD değeri 14,6 gelirken en düşük MD değeri ise 2 görülmektedir. Kalker için yapılan 2. mikro deval deneyinde en yüksek MD değeri 14,8 gelirken en düşük MD değeri ise 4,5 görülmektedir. Kalker için yapılan iki deneyin ortalama mikro deval deneyinde en yüksek MD değeri 14,7 gelirken en düşük MD değeri ise 3,3 görülmektedir.

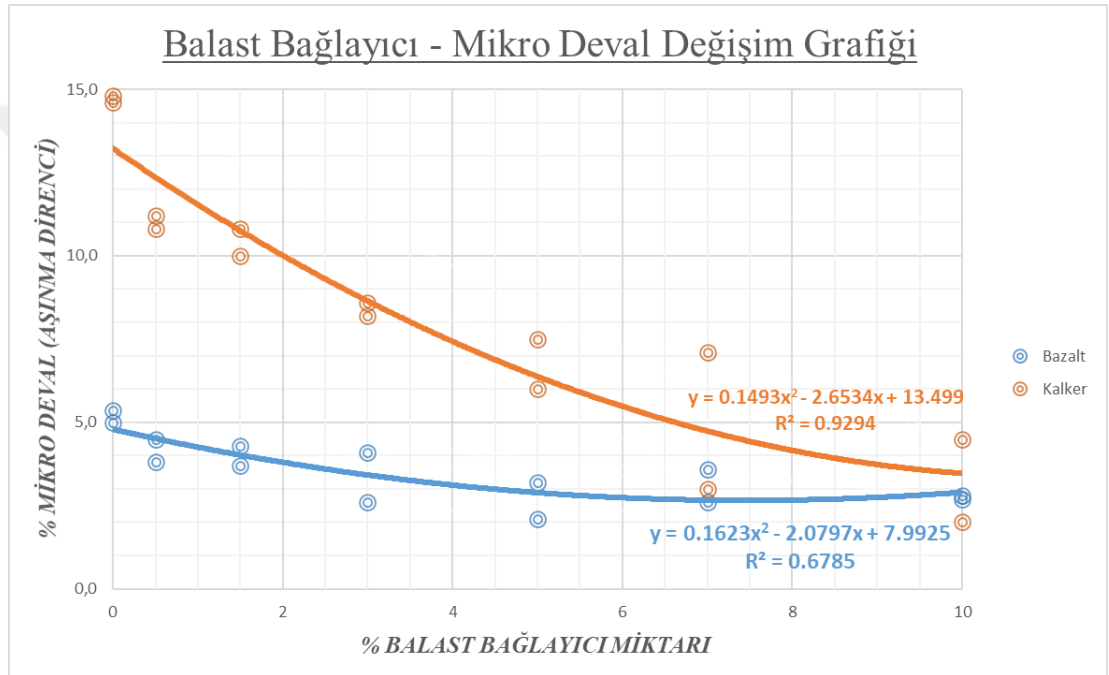
Bazalt	Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	M.D.	Referansa Göre Performans İyileşmesi	Kalker	Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	M.D.	Referansa Göre Performans İyileşmesi
	0	5,2	0%		0	14,7	
0,5	4,2	23,81%	0,5	11	33,64%		
1,5	4	30,00%	1,5	10,4	41,35%		
3	3,4	52,94%	3	8,4	75,00%		
5	2,7	92,59%	5	6,8	116,18%		
7	3,1	67,74%	7	5,1	188,24%		
10	2,8	85,71%	10	3,3	345,45%		

Şekil 22. Balast bağlayıcı ajan ile kaplama oranlarının referans numunesine göre iyileşme yüzdesi

Bazalt balastına yapılan çalışmada, balast bağlayıcı ajan ile kaplanan balastların mikro deval sonuçlarındaki iyileşme oranları en az %0,5 kaplamada %23,81 olarak en çok %5 kaplamada %92,59 iyileşmiş olarak görülmektedir.

Kalker balastında yapılan çalışmada balast bağlayıcı ajan ile kaplanan balastların mikro deval sonuçlarındaki iyileşme oranları en az %0,5 kaplamada %33,64 olarak en çok %10 kaplamada %345,45 iyileşmiş olarak görülmektedir.

Balast bağlayıcı ajan ile mikro deval deneyi arasındaki ilişkiyi aşağıdaki grafikte görülmektedir.



Grafik 2. Balast bağlayıcı ajan oranı ile mikro deval deneyi arasındaki ilişki grafiği

5.1.3. Balast Drenaj

Drenaj testinde kutulara yerleştirilen tüm balastlar %50'si 31,5-40 mm %50'si 40-50 mm malzemelerinin karşımı ile oluşturulmuş malzemeler kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 23. Drenaj deneyi için numune kutuların hazırlanması ve deneyin başlaması

Drenaj testinde malzeme değişkeni böylece ortadan kaldırılmıştır ve sadece değişken bazalt ve kalkere kaplanan balast bağlayıcı ajan oranları değiştirilerek aradaki değişkenlik incelenmiştir.

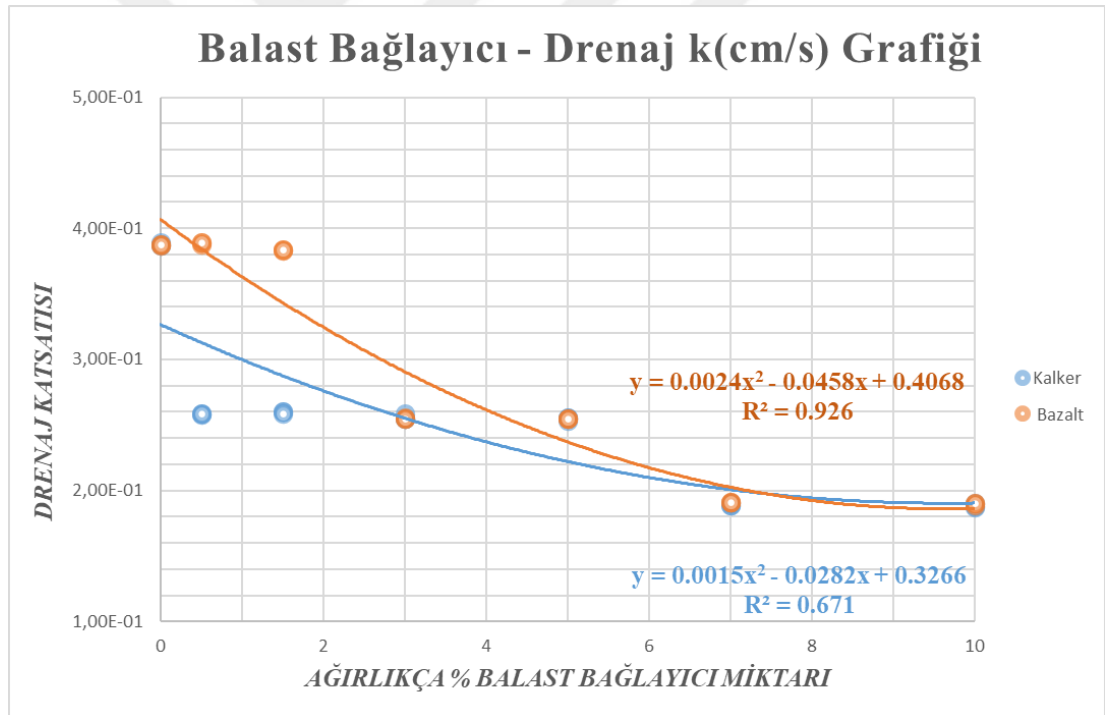
Tablo 7. Bazalt balastının BBA kaplama oranlarına göre yapılan drenaj deneyi sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan Kaplama	Bazalt			
	1. Deney; k (cm/s)	2. Deney; k (cm/s)	3. Deney; k (cm/s)	Ortalama; k (cm/s)
% 0, Referans	3,88E-01	3,87E-01	3,88E-01	3,88E-01
% 0,5	3,88E-01	3,89E-01	3,89E-01	3,89E-01
% 1,5	3,83E-01	3,84E-01	3,84E-01	3,84E-01
% 3	2,55E-01	2,56E-01	2,55E-01	2,55E-01
% 5	2,55E-01	2,55E-01	2,55E-01	2,55E-01
% 7	1,91E-01	1,91E-01	1,91E-01	1,91E-01
% 10	1,90E-01	1,89E-01	1,90E-01	1,90E-01

Tablo 8. Kalker balastının BBA kaplama oranlarına göre yapılan drenaj deneyi sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan Kaplama	Kalker			
	1. Dene; k (cm/s)	2. Dene; k (cm/s)	3. Dene; k (cm/s)	Ortalama; k (cm/s)
% 0, Referans	3,87E-01	3,88E-01	3,89E-01	3,88E-01
% 0,5	2,59E-01	2,58E-01	2,59E-01	2,59E-01
% 1,5	2,60E-01	2,60E-01	2,59E-01	2,60E-01
% 3	2,55E-01	2,59E-01	2,55E-01	2,56E-01
% 5	2,53E-01	2,56E-01	2,56E-01	2,55E-01
% 7	1,89E-01	1,90E-01	1,89E-01	1,89E-01
% 10	1,90E-01	1,88E-01	1,87E-01	1,88E-01

Balast bağlayıcı ajan ile drenaj katsayısı arasındaki bağlantı grafiğini aşağıda görebiliriz.



Grafik 3. Kaplanan balast bağlayıcı ajan oranlarının drenaj katsayısı ile ilişkisi

5.1.4. Su Emme

Su emme deneyi için %0 referans, %0,5, %1,5, %3, %5, %7, %10 oranlarında bazalt ve kalker balastları, balast bağlayıcı ajan ile kaplanmıştır. İri agrega olduğundan dolayı Arşimet yöntemi ile deneyler yapılmıştır.

Bazalt balastında yapılan birinci deneyler için en yüksek su emme değeri referans numunesinde %0,20, en düşük değer ise %10 kaplamada %0,05 olarak bulunmuştur. Bazalt balastında ikinci yapılan deneyler için en yüksek su emme değeri referans numunesinde %0,24 olduğu görülmüştür. En düşük değer ise %7 kaplamada %0,04 olduğu görülmüştür.

Ortalama olarak yapılan hesaplamada en yüksek su emme değeri referans numunesinde %0,22, en düşük değer ise %10 balast bağlayıcı kaplanan numunede %0,05 bulunmuştur.

Tablo 9. Bazalt balastına yapılan su emme deney sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan	Bazalt		
	1. Deney; SE	2. Deney; SE	Ortalama; SE
% 0, Referans	% 0,20	% 0,24	% 0,22
% 0,5	% 0,13	% 0,16	% 0,15
% 1,5	% 0,13	% 0,14	% 0,14
% 3	% 0,11	% 0,16	% 0,14
% 5	% 0,10	% 0,10	% 0,10
% 7	% 0,09	% 0,04	% 0,07
% 10	% 0,05	% 0,05	% 0,05

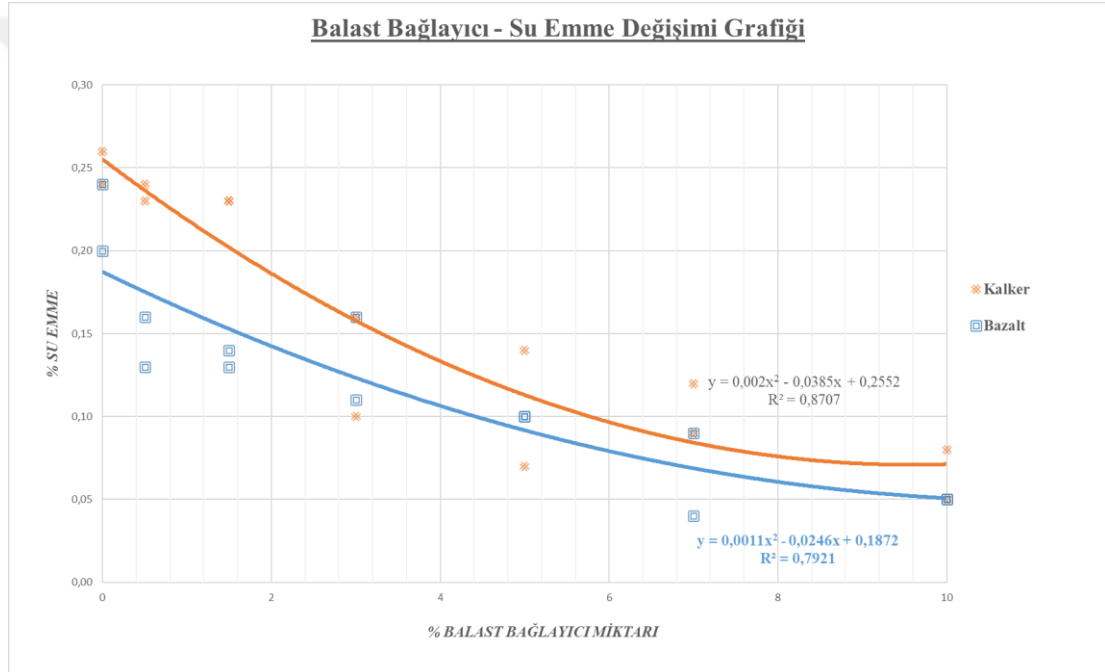
Kalker balastı için birinci yapılan deneylerde en yüksek su emme değeri referans numunesinde %0,24, en düşük değer ise %10 kaplamada %0,08 olarak bulunmuştur. Kalker balastı için ikinci yapılan deneylerde en yüksek su emme değeri %0 referans numunesinde %0,26 olduğu görülmüştür. En düşük su emme değeri ise %10 kaplamada %0,05 olduğu görülmüştür.

Ortalama olarak yapılan hesaplamada en yüksek su emme değeri referans numunesinde %0,25, en düşük değer ise %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numunede %0,07 olduğu görülmüştür.

Tablo 10. Kalker balastına yapılan su emme deney sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan	Kalker		
	1. Deney; SE	2. Deney; SE	Ortalama; SE
% 0, Referans	% 0,24	% 0,26	% 0,25
% 0,5	% 0,23	% 0,24	% 0,24
% 1,5	% 0,23	% 0,23	% 0,23
% 3	% 0,16	% 0,10	% 0,13
% 5	% 0,14	% 0,07	% 0,11
% 7	% 0,12	% 0,09	% 0,11
% 10	% 0,08	% 0,05	% 0,07

Balast bağlayıcı ajan ile su emme arasındaki bağlantıyı aşağıdaki grafikte görebiliriz.



Grafik 4. Kaplanan balastların su emme ile kaplama oranları arasındaki ilişki grafiği

5.1.5. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık deneyi için su emme aynı malzemelerde %0 referans, %0,5, %1,5, %3, %5, %7, %10 oranlarında bazalt ve kalker balastlarını balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numuneler kullanılmıştır. İri agrega olduğundan dolayı Arşimet yöntemi ile deneyler yapılmıştır.

Bazalt balastında birinci yapılan deneyde en yüksek özgül ağırlık referans değerinde 2,64 gr/cm³ olarak bulunmuş, en düşük özgül ağırlık değeri ise %10 kaplamada 2,43 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Bazalt balastında ikinci yapılan deneylerde en yüksek özgül ağırlık değeri %0 referans deneyinde 2,66 gr/cm³ olduğu görülmüştür, en düşük değer ise %10 kaplamada özgül ağırlık değeri 2,46 gr/cm³ olduğu görülmüştür.

Bazalt balastına yapılan deneyde ortalama olarak yapılan hesaplamada en yüksek özgül ağırlık referans değerinde 2,65 gr/cm³ olarak bulunmuş, en düşük özgül ağırlık değeri ise %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan deneyde özgül ağırlık 2,45 gr/cm³ olduğu görülmüştür.

Tablo 11. Kaplanan bazalt balastlara yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçları

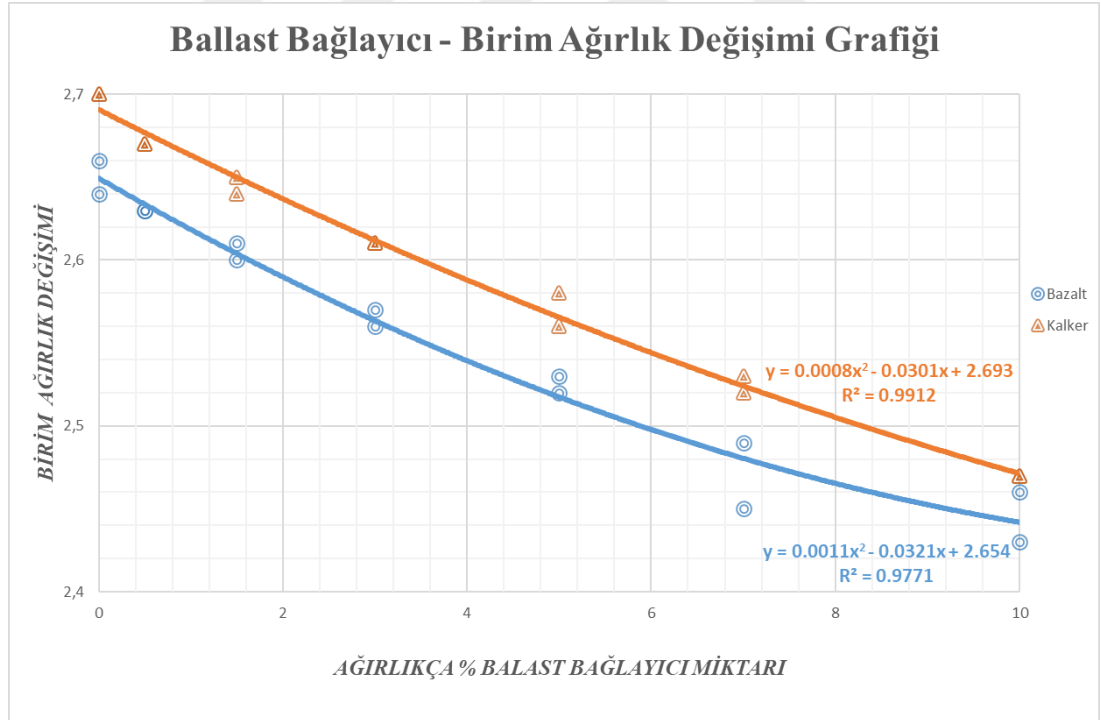
% Balast Bağlayıcı Ajan	Bazalt		
	1. Deney; ÖA	2. Deney; ÖA	Ortalama; ÖA
% 0, Referans	2,64 gr/cm ³	2,66 gr/cm ³	2,65 gr/cm ³
% 0,5	2,63 gr/cm ³	2,63 gr/cm ³	2,63 gr/cm ³
% 1,5	2,60 gr/cm ³	2,61 gr/cm ³	2,61 gr/cm ³
% 3	2,56 gr/cm ³	2,57 gr/cm ³	2,57 gr/cm ³
% 5	2,53 gr/cm ³	2,52 gr/cm ³	2,53 gr/cm ³
% 7	2,49 gr/cm ³	2,45 gr/cm ³	2,47 gr/cm ³
% 10	2,43 gr/cm ³	2,46 gr/cm ³	2,45 gr/cm ³

Kalker balastında birinci yapılan deneyde en yüksek özgül ağırlık referans değerinde 2,70 gr/cm³ olarak bulunmuş, en düşük özgül ağırlık değeri ise %10 kaplamada 2,47 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Kalker balastında ikinci yapılan deneylerde en yüksek özgül ağırlık değeri %0 referans deneyinde 2,70 gr/cm³ olduğu görülmüştür. En düşük değer ise %10 kaplamada özgül ağırlık değeri 2,47 gr/cm³ olduğu görülmüştür.

Kalker balastına yapılan deneyde ortalama olarak yapılan hesaplamada en yüksek özgül ağırlık referans değerinde 2,70 gr/cm³ olarak bulunmuş, en düşük özgül ağırlık değeri ise %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan deneyde özgül ağırlık 2,47 gr/cm³ olduğu görülmüştür.

Tablo 12. Kaplanan kalker balastlara yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçları

% Balast Bağlayıcı Ajan	Kalker		
	1. Deney; ÖA	2. Deney; ÖA	Ortalama; ÖA
% 0, Referans	2,70 gr/cm ³	2,70 gr/cm ³	2,70 gr/cm ³
% 0,5	2,67 gr/cm ³	2,67 gr/cm ³	2,67 gr/cm ³
% 1,5	2,65 gr/cm ³	2,64 gr/cm ³	2,65 gr/cm ³
% 3	2,61 gr/cm ³	2,61 gr/cm ³	2,61 gr/cm ³
% 5	2,56 gr/cm ³	2,58 gr/cm ³	2,57 gr/cm ³
% 7	2,52 gr/cm ³	2,53 gr/cm ³	2,53 gr/cm ³
% 10	2,47 gr/cm ³	2,47 gr/cm ³	2,47 gr/cm ³



Grafik 5. Balast bağlayıcı ajan yüzdesi ile birim ağırlık arasındaki ilişki

5.1.6. Kirlilik İndeksi

Bazalt balastı ve kalker balastının kirlilik indeksini bulabilmek için tüm oranlarda yapılan Los Angeles deneyi sonrası çıkan numuneleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 13. Kirlilik indeksi yorum tablosu (Lonescu, 2004)

Kirlilik İndeksi Yorum Tablosu		
-	<2	Temiz
2	<10	Orta Temiz
10	<20	Orta Kirli
20	<40	Kirli
45≤	-	Çok Kirli

Kaynak: Lonescu, (2004) te yapmış olduğu deneylere getirdiği yorum tablosu.

Bazalt ve kalker balastlarına yapılan Los Angeles testindeki aşınan malzemenin hangi balast kaplayıcı ajan ile kaplanan oranlarındaki değişkenlikten gelen kirlilik oranlarını karşılaştırmak için yapılmıştır. Deney için Los Angeles'tan çıkan malzeme yıkandıktan sonra etüve atılır ve kurutulmuş numuneler önce olarak 13,2mm elekten elenir ve kayıt altına alınır, sonra 0,075mm elekten elenerek kayıt altına alınır ve bu eleklerden geçen miktarlar toplam deney numunesine oranla geçen miktarın yüzdesi hesaplanır ve toplanır. Aşağıdaki tabloda hesaplamalar detaylıca gösterilmiştir.

Tablo 14. Bazalt balastına yapılan 1. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu

Bazalt Kirlilik İndeksi Hesap Tablosu			
1. Deney			
Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	0,075 mm Elekten Geçen	13,2 mm Elekten Geçen	Kirlilik İndeksi
0, Referans	10,1	14,8	24,9
0,5	6,7	10,7	17,4
1,5	7,8	11,9	19,7
3	6,6	9,9	16,5
5	7,6	11,2	18,8
7	5,8	8,9	14,7
10	4,4	8,0	12,4

Bazalt balastında birinci yapılan deneyde en yüksek kirlilik indeksi referans değerinde 24,9 olarak bulunmuş, en düşük kirlilik indeksi değeri ise %10 kaplamada 12,4 olarak bulunmuştur. Bazalt balastında ikinci yapılan deneylerde en yüksek kirlilik indeksi değeri %0,5 kaplama ile yapılan deneyde 22 olduğu görülmüştür, en düşük değer ise %5 kaplamada kirlilik indeksi değeri 14,3 olduğu görülmüştür.

Tablo 15. Bazalt balastına yapılan 2. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu

Bazalt Kirlilik İndeksi Hesap Tablosu			
2. Deney			
Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	0,075 mm Elekten Geçen	13,2 mm Elekten Geçen	Kirlilik İndeksi
0, Referans	8,1	13,5	21,6
0,5	8	14,0	22,0
1,5	4,6	11,7	16,3
3	4,2	10,6	14,8
5	3,9	10,4	14,3
7	8,6	12,5	21,1
10	6,5	12,6	19,1

Bazalt balastı kirlilik indeksi için yapılan iki deneyden gelen ortalama değerler aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 16. Bazalt balastı kirlilik indeksi deney sonuçları

Bazalt Kirlilik İndeksi			
Ortalama			
Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	1. Deney	2. Deney	Kirlilik İndeksi
0, Referans	24,9	21,6	23,3
0,5	17,4	22,0	19,7
1,5	19,7	16,3	18,0
3	16,5	14,8	15,7
5	18,8	14,3	16,6
7	14,7	21,1	17,9
10	12,4	19,1	15,8

Bazalt balastına yapılan deneyde ortalama olarak yapılan hesaplamada en yüksek kirlilik indeksi referans değerde 23,3 olarak bulunmuş, en düşük kirlilik indeksi değeri ise %3 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan deneyde kirlilik indeksi 15,7 olduğu görülmüştür.

Tablo 17. Kalkere balastına yapılan 1. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu

Kalker Kirlilik İndeksi Hesap Tablosu			
1. Deney			
Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	0,075 mm Elekten Geçen	13,2 mm Elekten Geçen	Kirlilik İndeksi
0, Referans	15,6	32,7	48,3
0,5	16,1	28,8	44,9
1,5	10,8	26,1	36,9
3	13,7	26,7	40,4
5	12,7	25,2	37,9
7	13,9	26,3	40,2
10	12,5	26,6	39,1

Kalker balastında birinci yapılan deneyde en yüksek kirlilik indeksi referans değeri 48,3 olarak bulunmuş, en düşük kirlilik indeksi değeri ise %1,5 kaplamada 36,9 olarak bulunmuştur. Kalker balastında İkinci yapılan deneylerde en yüksek kirlilik indeksi değeri %0 referans ile yapılan deneyde 43,5 olduğu görülmüştür, en düşük değer ise %7 kaplamada kirlilik indeksi değeri 29,3 olduğu görülmüştür.

Tablo 18. Kalkere balastına yapılan 2. deney kirlilik indeksi hesaplama tablosu

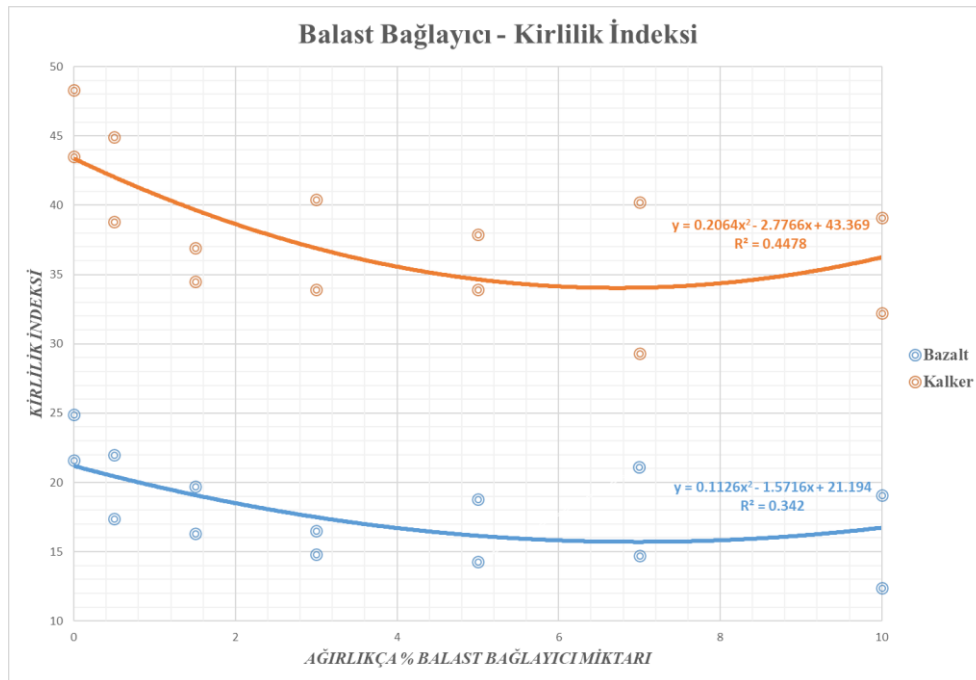
Kalker Kirlilik İndeksi Hesap Tablosu			
2. Deney			
Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	0,075 mm Elekten Geçen	13,2 mm Elekten Geçen	Kirlilik İndeksi
0, Referans	15,4	28,1	43,5
0,5	12,6	26,2	38,8
1,5	9,8	24,7	34,5
3	9,9	24,0	33,9
5	9,6	24,3	33,9
7	6,8	22,5	29,3
10	8,5	23,7	32,2

Kalker balastı kirlilik indeksi için yapılan iki deneyden gelen ortalama değerler aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 19. Kalker balastı kirlilik indeksi deney sonuçları

Kalker Kirlilik İndeksi			
Ortalama			
Balast Bağlayıcı Kaplama (%)	1. Deney	2. Deney	Kirlilik İndeksi
0, Referans	48,3	43,5	45,9
0,5	44,9	38,8	41,9
1,5	36,9	34,5	35,7
3	40,4	33,9	37,2
5	37,9	33,9	35,9
7	40,2	29,3	34,8
10	39,1	32,2	35,7

Kalker balastına yapılan deneyde ortalama olarak yapılan hesaplamada en yüksek kirlilik indeksi referans değerinde 45,9 olarak bulunmuş, en düşük kirlilik indeksi değeri ise %7 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan deneyde kirlilik indeksi 34,8 olduğu görülmüştür.



Grafik 6. Bazalt ve kalker balastına yapılan kirlilik indeksi grafiği

5.1.7. Elek Analizi

Bazalt ve kalker balastının elek analizi deneyi, Los Angeles deneyine girecek numunelerin kaplama öncesinde, kaplama sonrasında ve Los Angeles testi yapıldıktan sonra olarak her orandaki balast kaplama numuneleri için üç kere tekrarlanmıştır.

Elek analizinde karşımıza bazalt ve kalker balastlarında yapılan farklı balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numunelerle yapılan 28 testte de kaplanmamış malzemeye yapılan testler ile kaplandıktan sonra yapılan testlerde farklılık olmadığı gözlemlenmiştir. Daha sonra Los Angeles deneyinden sonra çıkan elek analizlerindeki sonuçlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Kaplama öncesi ve sonrasında elek analizlerinde farklılık gözlemlenmemesi bize ince bir film tabakası ile kaplandığı sonucunu düşündürebilir.



Şekil 24. Elek analizi deneyi

Tablo 20. Bazalt balastının 1. deney elek analizi sonuçları

Bazalt 1. Deney				
Elek Analizi				
%	Elek (mm)	Kaplamadan Önce Geçen %	Kaplamadan Sonra Geçen %	Aşınmadan Sonra Geçen %
0 Ref.	60,0	100,0	-	100,0
	50,0	100,0	-	100,0
	40,0	50,0	-	75,9
	31,5	0,0	-	38,1
	22,4	0,0	-	17,5
0,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	72,7
	31,5	0,0	0,0	25,0
	22,4	0,0	0,0	14,1
1,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	74,9
	31,5	0,0	0,0	28,8
	22,4	0,0	0,0	15,2
3	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	71,6
	31,5	0,0	0,0	20,7
	22,4	0,0	0,0	11,8
5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	71,8
	31,5	0,0	0,0	19,5
	22,4	0,0	0,0	13,6
7	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	63,0
	31,5	0,0	0,0	16,7
	22,4	0,0	0,0	10,3
10	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	57,1
	31,5	0,0	0,0	10,1
	22,4	0,0	0,0	8,3

Tablo 21. Kalker balastının 1. deney elek analizi sonuçları

Kalker 1. Deney				
Elek Analizi				
%	Elek (mm)	Kaplamadan Önce Geçen %	Kaplamadan Sonra Geçen %	Aşınmadan Sonra Geçen %
0 Ref.	60,0	100,0	-	100,0
	50,0	100,0	-	100,0
	40,0	50,0	-	85,5
	31,5	0,0	-	62,4
	22,4	0,0	-	37,3
0,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	83,3
	31,5	0,0	0,0	57,3
	22,4	0,0	0,0	31,5
1,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	85,1
	31,5	0,0	0,0	55,4
	22,4	0,0	0,0	30,1
3	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	84,4
	31,5	0,0	0,0	54,9
	22,4	0,0	0,0	29,5
5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	84,7
	31,5	0,0	0,0	55,8
	22,4	0,0	0,0	30,9
7	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	82,5
	31,5	0,0	0,0	51,6
	22,4	0,0	0,0	28,3
10	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,3	80,3
	31,5	0,0	0,0	46,7
	22,4	0,0	0,0	29,2

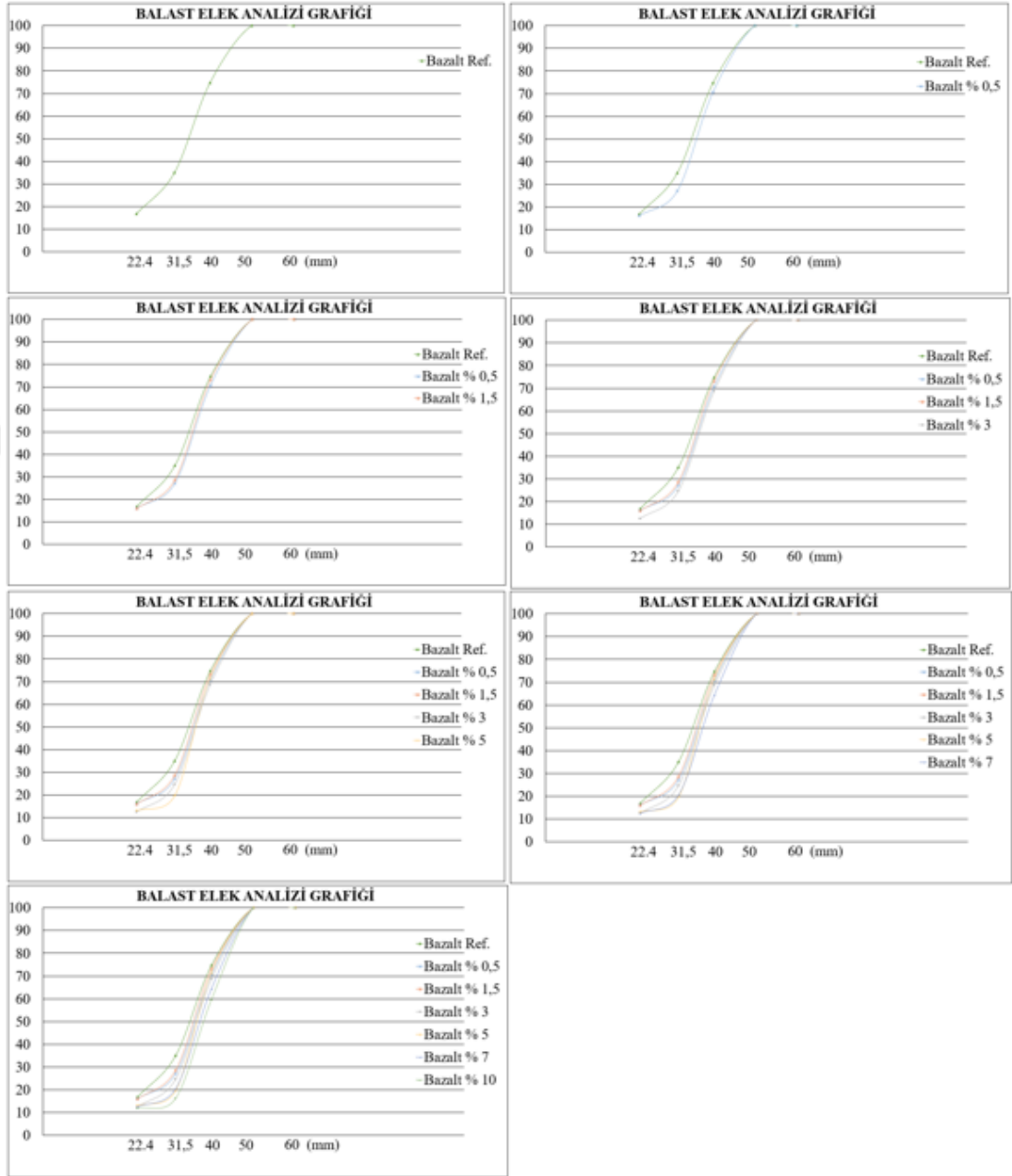
Tablo 22. Bazalt balastının 2. deney elek analizi sonuçları

Bazalt 2. Deney				
Elek Analizi				
%	Elek (mm)	Kaplamadan Önce Geçen %	Kaplamadan Sonra Geçen %	Aşınmadan Sonra Geçen %
0 Ref.	60,0	100,0	-	100,0
	50,0	100,0	-	100,0
	40,0	50,0	-	73,5
	31,5	0,0	-	31,9
	22,4	0,0	-	16,1
0,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	68,6
	31,5	0,0	0,0	29,1
	22,4	0,0	0,0	18,0
1,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	71,3
	31,5	0,0	0,0	28,3
	22,4	0,0	0,0	16,3
3	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	65,7
	31,5	0,0	0,0	28,6
	22,4	0,0	0,0	13,1
5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	71,1
	31,5	0,0	0,0	19,8
	22,4	0,0	0,0	12,5
7	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	65,7
	31,5	0,0	0,0	24,0
	22,4	0,0	0,0	14,3
10	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	62,2
	31,5	0,0	0,0	22,5
	22,4	0,0	0,0	15,5

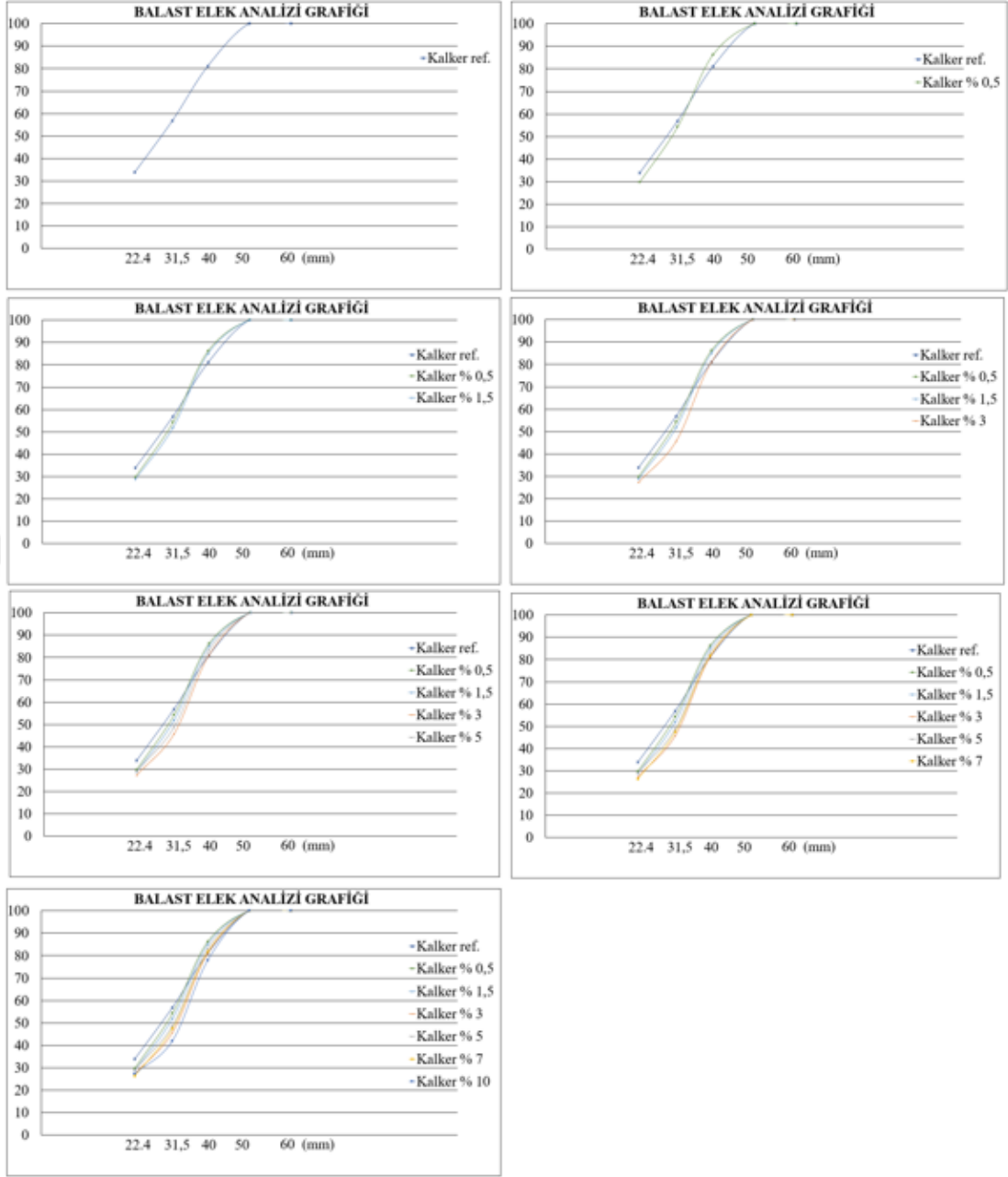
Tablo 23. Kalker balastının 2. deney elek analizi sonuçları

Kalker 2. Deney				
Elek Analizi				
%	Elek (mm)	Kaplamadan Önce Geçen %	Kaplamadan Sonra Geçen %	Aşınmadan Sonra Geçen %
0 Ref.	60,0	100,0	-	100,0
	50,0	100,0	-	100,0
	40,0	50,0	-	76,6
	31,5	0,0	-	51,3
	22,4	0,0	-	30,3
0,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	89,3
	31,5	0,0	0,0	51,1
	22,4	0,0	0,0	27,9
1,5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	85,1
	31,5	0,0	0,0	48,3
	22,4	0,0	0,0	27,3
3	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	77,7
	31,5	0,0	0,0	36,5
	22,4	0,0	0,0	25,0
5	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	81,9
	31,5	0,0	0,0	41,7
	22,4	0,0	0,0	27,0
7	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	81,0
	31,5	0,0	0,0	43,3
	22,4	0,0	0,0	24,1
10	60,0	100,0	100,0	100,0
	50,0	100,0	100,0	100,0
	40,0	50,0	50,0	75,5
	31,5	0,0	0,0	37,2
	22,4	0,0	0,0	25,1

Yapılan Los Angeles testinden sonraki elek analizi sonuçları ile oluşturulan grafik aşağıda gösterilmiştir.



Grafik 7. Bazalt balastına yapılan Los Angeles deneyi sonrası elek analizi grafiği



Grafik 8. Kalker balastına yapılan Los Angeles deneyi sonrası elek analizi grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İlgili tez çalışmasında elde edilen sonuçlar bir araya getirilmiş ve aşağıdaki gibi yorumlanmıştır.

Los Angeles deneylerinde bazalt balastına yapılan deneylerde en yüksek aşınma değeri referans numunesinde %13, en düşük aşınma değeri ise %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numuneye yapılan deneyde %8 olarak bulunmuştur. Kalker balastına yapılan testlerde ise en yüksek aşınma değerinin referans numunesinde %27 olarak bulunmuşken en düşük aşınma değeri ise %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numune ile yapılan deneyde %19 olarak elde edilmiştir. Los Angeles deneylerinde hem bazalt hem de kalker balastı agregalarındaki fiziksel aşınmalarında balast bağlayıcı ajan kaplamalarının artması ile genel anlamda olumlu sonuçlar ortaya çıktığı söylenebilir.

Mikro deval testindeki sonuçları ele alacak olursak, bazalt balastlarında aşınma direncinde referansta ortalamasında gördüğümüz değer %5,2 iken, %5 balast bağlayıcı ajan kaplamada %2,7' ye düştüğü görülmüştür. Bu bağlamda kaplanan balastlarda fiziksel iyileşmeler meydana geldiği söylenebilir. Aynı durum kalker balastında da baktığımızda referans değerinde 14,7 olan aşınma direncinin %10 balast bağlayıcı ajan kaplamada 3,3 aşınma direncine düştüğü gözlemlenmiştir. Böylece mikro deval testlerinde her iki kayaç türü içinde balast bağlayıcı ajan malzeme ile kaplanarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Su emme deneylerinde karşımıza çıkan sonuçların referans testlerdeki sonuçlara oranla ne durumda olduğu gözlemlenmiştir. Bazalt balastına yapılan testlerdeki ortalama değerlerde referans numunesinde %0,22 olan su emme oranının, %10 balast bağlayıcı ajan kaplamada %0,05 e düştüğü gözlemlenmiştir. Kalker balastına yapılan testlerdeki ortalama değerlerde ise referans numunesinde %0,25 su emme gözlemlenirken, %10 balast bağlayıcı ajan malzemesi ile kaplanan numunelerin ortalama değerinin %0,07 su emme olduğu görülmektedir. Böylece kaplanan malzeme oranı artırıldıkça genel olarak su emme oranında düşüş gözlemlenmiştir. Kaplanan malzemenin su emmedeki performansının olumlu olduğunu söylenebilir.

Yapılan özgül ağırlık deneylerindeki değerlere bakacak olursak, bazalt balastına yapılan deneylerde en yüksek değer olarak referans numunelerinde ortalama özgül

ağırlık değerini $2,65 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Bazalt balastına yapılan deneylerde en düşük değer ise %10 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numunelerin ortalaması $2,47 \text{ gr/cm}^3$ olduğu görülmektedir. Böylelikle balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numunelerin özgül ağırlıklarında oranlar arttıkça düştüğü görülmektedir. Balast bağlayıcının özgül ağırlık değerini daha düşük olduğu göz önüne alacak olursak daha hafif bir malzeme ile kaplandığından dolayı düşüşün olacağı öngörülmekteydi ve sonuçlarla düşünülen değerler orantılı bir şekilde görülmektedir.

Kirlilik indeksinde kullandığımız Los Angeles'tan çıkan malzemelerde iyileşme olduğunu yukarıda belirtilmişti. Bazalt balastına yapılan deneylerde en yüksek kirlilik indeksini referans numunelerine yapılan testlerin ortalamasında 23,3 olarak görmüş bulunmaktayız. Bazalt balastına yapılan deneylerde en düşük değeri ise %3 balast bağlayıcı ajan kaplamada yapılan testlerin ortalamasında kirlilik indeksinin 15,7 olduğu bulunmuştur. Kaplama oranı ile orantılı arttığını tam olarak söyleyememekteyiz. Kalker balastına yaptığımız testlerde en yüksek kirlilik indeksinin referans numunelerine yapılan deneylerin ortalamasının 45,9 olduğu bulunmuştur. Kalker balastına yapılan deneylerde en düşük kirlilik indeksi değerini ise %7 balast bağlayıcı ajan ile kaplanan numunelerin ortalamasında 34,8 olarak gözlemlenmiştir. Böylece kaplamanın balast agregalarında kirliliği yüzde yüz doğru orantılı olmasa da iyileştirdiğini söylenebilir.

Demiryolu hatlarına gelen suyun tahliyesini değişen oranlarda balast bağlayıcı ajan kullanarak yaptığımız drenaj testlerinde "k" katsayısını bularak aradaki değişkenliği gözlemlendi. Bazalt balastına yapılan testler "k" katsayısı en yüksek olan referans deneylerine yapılan deneylerin ortalamasında $3,88E-01$ olarak bulunmuştur. Bazalt balastına yapılan drenaj deneyinde ise en küçük "k" değeri %10 balast bağlayıcı ajan uygulanan deneylerin ortalamasında $1,90E-01$ olarak bulunmuştur. Bazalt balastlarında yapılan çalışmada drenajı hemen hemen yarı yarıya düştüğü gözlemlenmiştir. Kalker balastına yapılan testler "k" katsayısının en yüksek olan referans deneylerine yapılan deneylerin ortalamasında $3,88E-01$ olarak bulunmuştur. Kalker balastına yapılan drenaj deneyinde ise en küçük "k" değeri %10 balast bağlayıcı ajan uygulanan deneylerin ortalamasında $1,88E-01$ olarak bulunmuştur. Kalker balastlarında yapılan çalışmada drenajı hemen hemen yarı yarıya düştüğü gözlemlenmiştir. İki kayaç içinde %0 dan %10 a kadar kullanılan balast bağlayıcı ajan

ile yapılan testlerde hemen hemen yarı yarıya düştüğü gözlemlenmiştir. Drenaj katsayısının düşük olduğunu varsayarsak drenajın azaldığı görülmüş fakat suyun drenajının yine de devam edeceğini söylenebilir.

Yapılan deneylerin tümünde kaplanmadan önceki elek analizi sonucu ile kaplamadan sonra yapılan elek analizi sonuçlarının aynı olduğu görülmüştür. Kaplanan numunelerin Los Angeles deneyi sonrasında yapılan elek analizi yapılmış ve sonuçlarında genel olarak balast bağlayıcı ajan kaplama oranı arttıkça yüzde geçen miktarında düşüşler olduğu söylenebilir.



KAYNAKÇA

- Barbieri, D.M. Hoff, I. ve Mørk, M.B.E. (2019). Innovative stabilization techniques for weak crushed rocks used in road unbound layers: a laboratory investigation, *Transp. Geotech.* 18, 132–141.
- Bilgiç, Ş. (2017). Demiryolu ders notları-1. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ulaştırma Anabilim Dalı. Erişim adresi: <https://web.ogu.edu.tr/Storage/akalin/Uploads/demiryolu-dersnotu-1-2017.pdf>
- Chandra, S. & Agarwal, M.M. (2007). *Railway Engineering*. Oxford: Oxford University Press.
- D'Angelo, G. Sol-Sánchez, M. Thom, N. Lo Presti, D. ve Rubio-Gámez, M.C. (2017) Bitumen stabilized ballast, Transportation Research Board 96th Annual Meeting, 8.12 January, Washington DC, United States. Erişim adresi: <https://trid.trb.org/view/1438835>
- D'Angelo, G. Thom, N. ve Lo Presti, D. (2016) Bitumen stabilized ballast: a potential solution for railway track-bed, *Constr. Build. Mater.* 124, 118–126.
- D'Angelo, G. Bressi, S. Giunta, M. Lo Presti, D. ve Thom, N. (2018) Novel performance-based technique for predicting maintenance strategy of bitumen stabilised ballast, *Constr. Build. Mater.* 161, 1–8.
- Dersch, M. S. & Tutumluer, E. (2010). Proceedings of the Joint Rail Conference. 27-29 April, USA. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/267600442_Polyurethane_Coating_of_Railroad_Ballast_Aggregate_for_Improved_Performance
- DM Yapı ve Maden Kimyasalları, (2019). DM SİL BB. Erişim adresi: <http://dmkimya.com.tr/en-en/urunler-dm-sil-bb.html>
- Gundavaram, D. & Karimullah Hussaini, S.K. (2019) Polyurethane-based stabilization of railroad ballast – a critical review, *International, J. Rail Transp.* 7, 219–240.
- Jing, G. Qie, L. Markine, V. ve Jia, W. (2019). Polyurethane reinforced ballasted track: review, innovation and challenge, *Constr. Build. Mater.* 208, 734–748.
- Karahan, D.S. (2018). Dogal Taşlar. Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı. Erişim adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/dogaltas.pdf>
- Koohmishi, M. & Palassi, M. (2017) Effect of particle size distribution and subgrade condition on degradation of railway ballast under impact loads, *Granul. Matter.* 19, 1–12.
- Kozak, M. (2021). Demiryolu Balastının ve Özelliklerinin Araştırılması. *Demiryolu Mühendisliği*, 13, 86-96.

- Kumru, F. M. (2019). Demiryolunda Balastsız (Slab Track) ve Balastlı Üstyapı Uygulamalarının Maliyet Analizi. *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*.
- Lakusic, S. Haladin, I. ve Ahac M. (2010). Track Stability Using Ballast Bonding Method. 20-22 Ekim, Slovenya. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/272815590_Track_stability_using_ballast_bonding_method
- Li, D. & Davis, D. (2005) Transition of railroad bridge approaches, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 131 1392–1398.
- Lonescu, D. (2004) Ballast Degradation and measurement of Ballast Fouling. 7th Railway Engineering proceedings, 5-6 July, London, UK. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/275341734>
- Robnett, Q. L. Thompson, M. R. ve Hay, W. W. (1975) Ballast and foundation materials research program. Washington: Technical data based report.
- Rostler, F.S. White, R.M. Nair, K. Hicks, R.G. ve Newton, J.W. (1996). Study of Methods of Stabilizing Conventional Ballast Using Polymers. Oakland, CA. Erişim adresi: <https://trid.trb.org/view/6217>
- Schmidt, S. ve diğ. (2017). Railway Ballast Permeability and cleaning Considerations. *Transportation Research Record*, 2607, 24-32.
- Selig, E. T. & Waters, J. M. (1994) Track geotechnology and substructure management. London: Thomas Telford Services Ltd.
- TS 5694 EN 12670. (2004). Dogal Taşlar: Terimler Ve Tarifler. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 7043 EN 13450. (2004). Demiryolu Balastları İçin Agregalar. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-1. (2011). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro-Deval). Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-2. (2020). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için metotlar. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 1097-6. (2022). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 933-1. (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

Yayla, N. (2004) Karayolu Mühendisliği. İstanbul: Birsen Yayınevi.



EKLER

EK A

BAZALT PETROGRAFIK ANALİZİ



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA REKTÖRLÜĞÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI
DÖNER SERMAYE İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ
TEL : 0212 473 7070 FAX : 0212 473 7180
V.D. : 4690006243

Sayı: 17058
Tarih: 30.01.2019

PETROGRAFİK ANALİZ RAPORU

HAZIRLAYAN

Doç. Dr. Namık AYSAL
(Jeoloji Yük. Müh.)
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

MART, 2019

PETROGRAFİK ANALİZ RAPORU

Çalışkan Madencilik Nakliyecilik Yapı Elemanları San. Tic. Ltd. Şti. Kırklareli İli, Vize İlçesi, Okçular Köyünde Bulunan Granit Ocak Sahasından 27.01.2019 tarihinde alınan 5 adet örneğin birer tane ince kesiti hazırlanmış, hazırlanan ince kesitler İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji – Petrografi Anabilim Dalı'nda bulunan Leitz Ortoplan araştırma mikroskobu ve Leica görüntü analiz sistemi kullanılarak analiz edilmiş ve fotoğraflanmıştır. Söz konusu ince kesit tanımlamaları aşağıda sunulmuştur.

Örnek No: 1

Kayaç adı: Meta-granit

Makro Özellikler: Kayaç el örneğinde koyu gri, siyahımsı renkli, homojen bir görünüme sahip ve eş taneli bir görünüme sahiptir. Kayaç birincil granit dokusunu büyük ölçüde korumuştur. Kayaç içerisindeki mafik mineraller (biyotit, klorit ve nadiren amfibol) gözle görülebilecek büyüklüktedir.

Mikro Özellikler: Petrografik incelemelerde kayacın birincil mineral fazını kuvars, alkali feldspat (çoğunlukla mikroklin), plajyoklas ve biyotit minerallerinin oluşturduğu, nadiren de ufak honblend türü amfibollerin bulunduğu gözlenmiştir. İkincil mineral fazında ise klorit, epidot ve muskovit minerallerinin geliştiği gözlenmiştir. Kayaçta şistozite düzlemleri zayıf olup biyotit ve klorit mineralleri ile ardalanmalı kuvars ve feldspat mineralleri oluşturmaktadır. Alkali feldspat çoğunlukla iri gözler şeklinde mikroklin mineralleri ile temsil edilmektedir. Nadiren kuvarslar arasında ufak kristaller halinde de ortoklas kristalleri izlenir. Plajyoklaslar çoğunlukla ufak kristaller halinde olup kataklastik kuvarslarla birlikte bulunur. Plajyoklaslarda albit ve polisentetik ikiz karakteristiktir. Kuvarslar genellikle dalgalı sönmelidir ve mortar dokusu gösterir. Kuvarslarda milonitleşme sonrası yeniden kristalizasyon da gözlenmektedir. Yeniden kristalizasyon kayaç dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Doku kataklastiktir. Kayaç düşük dereceli metamorfizmadan etkilenmiş bir granittir. Opak mineral olarak manyetit ve piritler gözlenir.

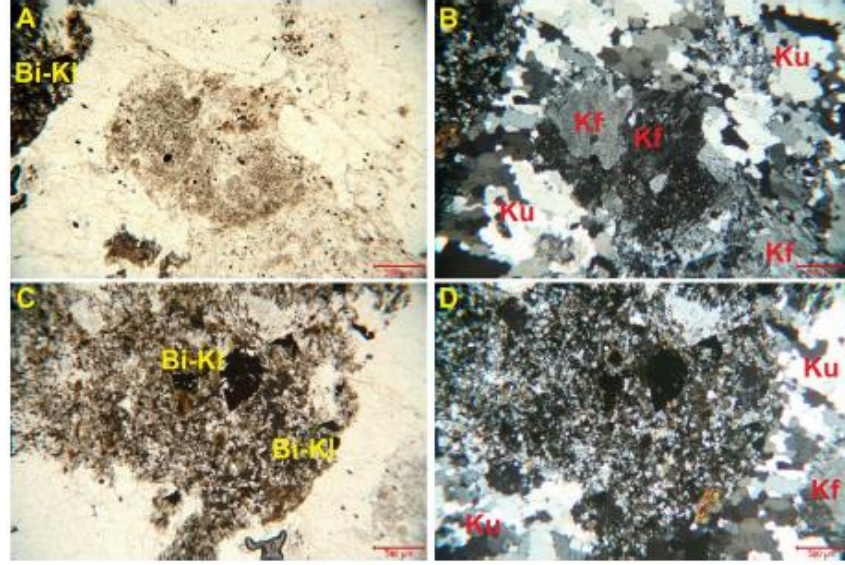


Foto 1 A-B. 1 numaralı örnek genel görünüm (A tek nikol, B çift nikol). C-D. İri alkali feldspat (mikroklin) minerali çevresinde daha ufak kuvars ve kahve renkli biyotit - klorit mineralleri. (Ku: kuvars, Kf: feldspat, Bi: biyotit, Kl: klorit).

Örnek No: 2

Kayaç adı: Meta-Granodiyorit

Makro Özellikler: Kayaç el örneğinde koyu gri, siyahımsı renkli olup alacalı bir görünüme sahiptir. Kayaçta birincil granit dokusu korunmuştur. Kayaç içerisindeki mafik mineraller ve felsik mineraller gözle görülebilir büyüklüktedir. Kayaç genel itibarıyla orta – iri taneli bir kayadır.

Mikro Özellikler: Yapılan ince kesit çalışmalarında kayacın birincil mineral fazını kuvars, alkali feldspat, plajiyoklas ve biyotit minerallerinin oluşturduğu, ikincil mineral fazında ise klorit, epidot ve muskovit minerallerinin geliştiği gözlenmiştir. Kayaçta zayıf bir şistozite gözlenmekte olup şistozite düzlemlerini biyotit ve klorit mineralleri ile ardalımalı kuvars ve feldspat mineralleri oluşturmaktadır. 1 numaralı örneğe oranla daha fazla mafik mineral (biyotit ve klorit) içermektedir. Alkali feldspat çoğunlukla iri gözler halinde bulunan mikroklinler ile temsil edilirken, nadiren kuvarslar arasında ufak kristaller halinde de izlenir. Plajiyoklaslar çoğunlukla albitlemiştir. Kuvarslar genellikle dalgalı sönmelidir. Kuvarslarda milonitleşme sonrası yeniden kristalizasyon gözlenir. Düşük dereceli metamorfizmadan etkilenmiştir ve doku kataklastiktir. Kayaç içerisindeki mafik

mineral fazlalığı dikkate alınarak meta-granodiyorit olarak isimlendirilmiştir. Opak mineral olarak manyetit ve piritler gözlenir.

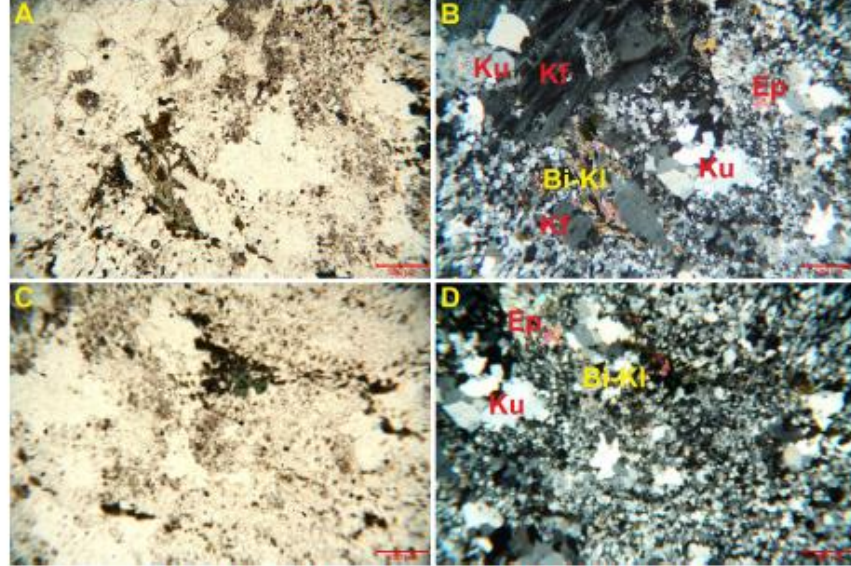


Foto 2. A-B) 2 numaralı örnek genel görünüm (A tek nikol, B çift nikol). C-D) İri alkali feldspat minerali çevresinde daha ufak kuvars ve kahve renkli biyotit ve yeşil renkli klorit mineralleri. (Ku: kuvars, Kf: feldspat, Bi: biyotit, Kl: klorit, Ep: Epidot).

Örnek No: 3

Kayaç adı: Meta-Granit

Makro Özellikler: Kayaç el örneğinde pembemsi gri renkli ve orta – iri tanelidir. Kayaçta birincil granit dokusu büyük ölçüde korunmuştur.

Mikro Özellikler: Yapılan ince kesit çalışmalarında kayacın birincil mineral fazını alkali feldspat, kuvars, çok az plajyoklas, hornblend ve biyotit minerallerinin oluşturduğu, ikincil mineral fazında ise klorit ve epidot minerallerinin geliştiği gözlenmiştir. Kayaçta zayıf olan şistozite düzlemlerini biyotit ve klorit mineralleri ile aralanmalı kuvars ve feldspat mineralleri oluşturmaktadır. Alkali feldspat çoğunlukla iri gözler şeklinde izlenirken, nadiren kuvarslar arasında ufak kristaller halinde de izlenir. Kısmen korunmuş hornblend mineralleri yarı özşekilli kristaller halinde bulunur. Bu örnekte de kuvarslarda milonitleşme sonrası yeniden kristalizasyon belirgin şekilde izlenmektedir. Doku kataklastiktir. Ufak kuvars ve feldspat taneleri çoğunlukla kayacın matrisini oluşturmaktadır. Opak mineral olarak manyetit ve piritler gözlenir.

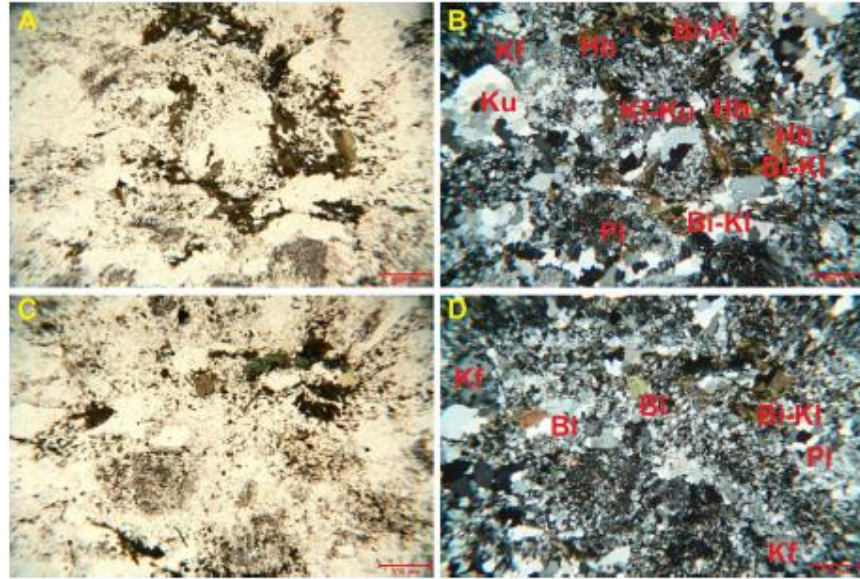


Foto 3. A-B) 3 numaralı örnek genel görünüm: Yeşil renkli kloritler ile kahve renkli biyotitler ve aralarındaki ufak kuvarslar (A tek nikol, B çift nikol). C-D) İri alkali feldspat minerali çevresinde rekrystalize kuvarslar. (Ku: kuvars, Kf: feldspat, Bi: biyotit, Kl: klorit, Pl: plajiolklas, Hb: hornblend).

Örnek No: 4

Kayaç adı: Meta-Granit

Makro Özellikler: ayaç el örneğinde pembemsi gri renkli iri tanelidir. Kayaçta birincil granit dokusu büyük ölçüde korunmuştur. İri pembe renkli feldspatlar oldukça yaygındır.

Mikro Özellikler: Yapılan ince kesit çalışmalarında kayacın birincil mineral fazını alkali feldspat, kuvars, çok az plajiolklas, muskovit ve biyotit minerallerinin oluşturduğu, ikincil mineral fazında ise klorit ve epidot minerallerinin geliştiği gözlenmiştir. Kayaçta düzlemlerini biyotit, epidot ve klorit mineralleri ile ardalanmalı ufak taneli kuvars ve nispeten daha iri taneli olan feldspat mineralleri oluşturmaktadır. Alkali feldspat çoğunlukla iri gözler şeklindeki mikroklinler ile temsil edilirken, nadiren kuvarslar arasında ufak kristallerine de rastalanmaktadır. Bir önceki örnekte olduğu gibi alkali feldspatların çoğunda pertit yapısı egemendir. Kuvarslarda milonitleşme sonrası yeniden kristalizasyon gözlenir. Doku kısmen protomilonitik kısmen kataklastik taneli dokuludur. Opak mineral olarak manyetit ve piritler gözlenir.

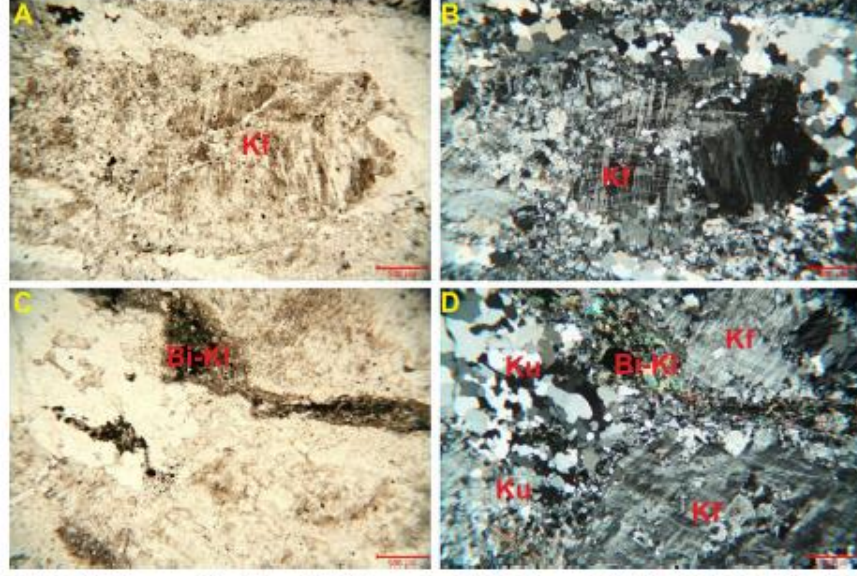


Foto 4. A-B) 4 numaralı örnek genel görünüm: milonitik dokulu granit (A tek mikol, B çift mikol). C-D) İri alkali feldspat (mikroklin) minerali çevresinde re-kristalize kuvarslar, biyotit ve klorit mineralleri. Deforme olmuş alkali feldspatlar ve arasında re-kristalize kuvarslar (Ku: kuvars, Kf: feldspat, Bi: biyotit, Kl: klorit).

Örnek No: 5

Kayaç adı: Meta-Granpdiorit

Makro Özellikler: Kayaç el örneğinde koyu gri siyah renkli ve ufak tanelidir. Kayaçta birincil granit dokusu büyük ölçüde kaybolmuş ve milonitik doku egemen olmuştur. Kayaçta şistozite diğer örneklerle nazaran daha belirgin olup yer yer gözlü yapı dikkat çekicidir.

Mikro Özellikler: Yapılan ince kesit çalışmalarında kayacın birincil mineral fazını alkali feldspat, kuvars, çok az plajyoklas, muskovit ve biyotit minerallerinin oluşturduğu, ikincil mineral fazında ise klorit ve epidot minerallerinin geliştiği gözlenmiştir. Kayaçta şistozite düzlemlerini epidot, biyotit ve klorit mineralleri ile ardalanmalı kuvars ve feldspat mineralleri oluşturmaktadır. Plajyoklas ve Alkali feldspat çoğunlukla iri gözler şeklinde izlenirken, nadiren kuvarslar arasında ufak kristaller halinde de izlenir. Alkali feldspatların çoğu mikroklin şeklindedir. Kuvarslarda yeniden kristalizasyon gözlenir. Doku protomilonitiktir. Yersel olarak öz şekilli pirit mineralleri izlenir.

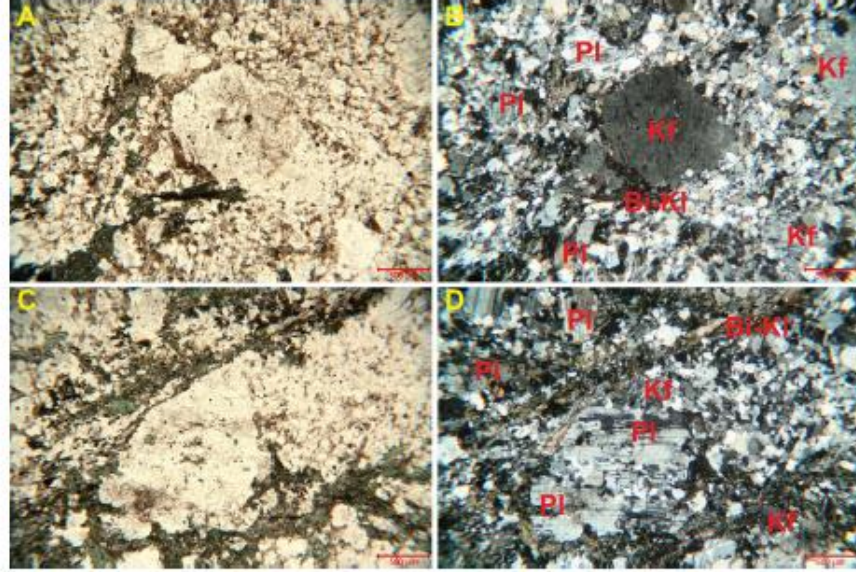


Foto 5. A-B) 5 numaralı örnek genel görünüm: protomilonitik dokulu granit (A tek nikol, B çift nikol). C-D) İri alkali feldspat minerali (mikroklin ve plajiolklas) çevresinde re-kristalize kuvarslar, muskovit ve epidot mineralleri ile klorit mineralleri. (Ku: kuvars, Kf: feldspat, Bi: biyotit, Kl: klorit, Pl: plajiolklas, Ep: epidot).

Doç. Dr. Namık AYSAL
(Jeoloji Yük. Müh.)
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Tel: 0535 8952637



EK B
KALKER PETROGRAFİK ANALİZİ



JEOKİMYA LABORATUVAR ANALİZ RAPORU

ÖRNEK SAHİBİNİN

Adı - Soyadı :

Adresi :

Bursa

ÖRNEĞİN

Cinsi : Agrega

Getirilme Şekli : Elden

Adedi : İki (2)

Rapor Tarihi : 09.11.2016

ANALİZ SONUÇLARI

Örnek ↓	Sülfat (%)	Klor (mg/l)
Körfez Taş Ocağı Hereke	0.0048	12
Başköy Taş Ocağı	0.0076	20

Prof. Dr. Mümtaz ÇOLAK

D.E.U. Tinaztepe Yerleşkesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 35160 Buca-İZMİR
Tel: (232) 4127301/00 Fax : (232) 4531129 **Döner Sermaye Hesap adresi:**T.C. VAKIFLAR BANKASI
BALÇOVA ŞUBESİ, DEU Mühendislik Fakültesi Döner Sermaye Birimi
IBAN NO : TR 740001500158007299649608



Sayı :
Konu : Doğal taş petrografik analiz

19/12/2019

KAYAÇ NUMUNESİNİN PETROGRAFİK TANIMLAMASI (TS 10088 EN 932-3+A1)

Örnek No:
Örnek Sahibi:
Çıkarıldığı bölge:
Formasyon/Yaş: İnatlar/Jura
Kayacın İsmi: Kireçtaşı

1. Makroskobik İnceleme

5 x 5 x 10 cm boyutlarında bir parça kaya el örneğinden hazırlanmış iki adet ince kesitten incelenmiştir. Kayaç sarımsı gri renkli ince kalsit dolgulu damarlar içeren karbonat kaya görüntümüne sahiptir.

2. Kimyasal (Reaktifli) İnceleme

Örnek seyreltilmiş (%5) HCl asit çözeltisiyle, olağan bir kireçtaşına (kalkerlere) benzer şekilde köpürerek reaksiyon vermiştir.

3. Mikroskobik İnceleme

Örneğe ait ince kesitler polarize ve polarize olmayan "Olympus BX41 ve BX50" tip araştırma mikroskoplarında incelenmiştir. İnceleme sonuçları aşağıdaki gibidir.

a) Karbonat Kaya Bileşenleri

Allokemler: Örnek içinde tanımlanabilen allokemler (kimyasal olarak oluşmuş ancak taşınarak çökelen kırıntılar) seyrek biyoklastlardır. Genelde ostrakod ve plantik foraminiferlerden oluşmakta homojen dağılımlı daha az oranda ekinoderin ekinoderm ve diken parçaları gözlenmektedir.

Ortokemler: Örneğin ortokimyasal bölümleri (su içinde doğrudan kristalleşerek çökelen) mikrit boyutunda kalsiyum karbonattan oluşmuş ve homojen dağılımlıdır.

Yabancı Bileşenler: Kaya içinde yabancı bileşenler yoktur.

b) Diyajenetik bileşenler

İlksel kayacın bazı bölümleri (birbirini kesen kılcak damarlar) taşlaşma sırasında ileri derecede yeniden kristalleşmiş (rekristalize olmuştur) ve az olarak psöydospara (boyu 10 mikrondan büyük taşlaşma sırasında oluşan kalsit kristalleri), genel olarak öz şekilli veya daha az öz şekilli, iri kristalli sparkalsite ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) dönüşmüştür.

c) **Mineraller:** Örnek neredeyse tümsele yakın kalsitten (% 98 CaCO_3), ve çok az oranda dolomit (% 2 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), minerallerinden yapıldır.

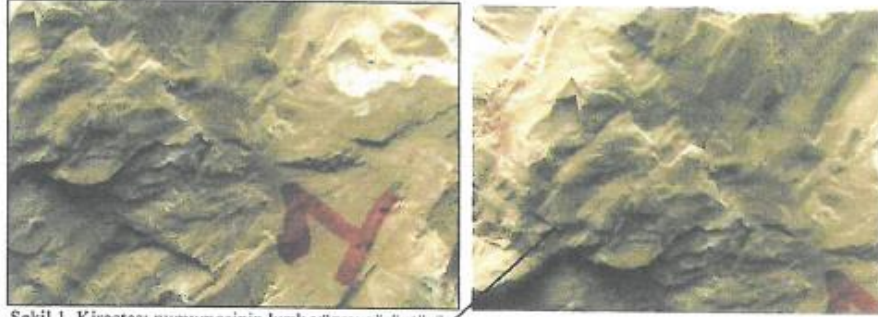


d) Doku: Mikritik aramada destekli doku.

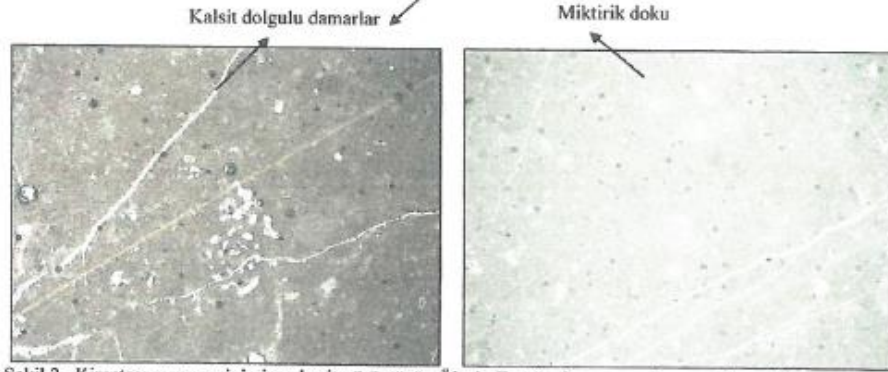
4. Kayaç Adı

Örnek mineralojik ve dokusal olarak sedimanter kayalardan mikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır..

KAYAÇ NUMUNESİNİN EL ÖRNEĞİ ve İNCE KESİT GÖRÜNTÜSÜ



Şekil 1. Kireçtaşı numunesinin kırık yüzey görüntüsü



Şekil 2 –Kireçtaşı numunesinin ince kesit görüntüsü. Ölçek: Fotoğrafların uzun kenarı 3,6 mm'dir.

Doç. Dr. Hakan ELÇİ



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı
Üniversite Mahallesi Durumkoyun Bulvarı No: 135 06830 Çankaya/ANKARA
Tel: 0312 201 10 00 pbx Fax: 0312 287 54 00
http://www.mta.gov.tr nurlune@mta.gov.tr

MTA
MAT-180027-17
13/04/2018

ANALİZ/TEST RAPORU ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI ANALYSIS/TEST RESULTS

Numune Kayıt No :
Numune İşareti : El Num

Analiz / Test Adı : Modal (Kantitatif) Mineralojik Petrografik Analiz
Analiz / Test Metodu :

MAKROSKOBİK TANIMLAMA:

Renk: Sarımsı gri (5Y 7/2 Yellowish Gray, Geological Rock - Color Chart, 2009)

Doku: Masif

Tane büyüklüğü: Çok ince taneli

Dolgu damarlar: Ornekteki ince damarlar ikincil mineraller tarafından doldurulmuş olup, makroskobik olarak gözlenmektedir.

MİKROSKOBİK TANIMLAMA:

Doku: Masif

Bileşenler:

Karbonat grubu mineraller (mikrit): Çok ince taneli kalsiyum karbonattan oluşan karbonat çamuru (< 0,010 mm), bağlayıcı olarak bulunmakta, homojen dağılımlı,

Mikro fosiller: Genellikle ostrakod ve planktik foraminiferlerden oluşmakta, homojen dağılımlı, daha az oranda ekinoidlerin ekinodem ve diken parçaları da gözlenmektedir.

Silis grubu mineraller (Kuvars): Az oranda, küçük taneli, öz şekilsiz, damar dolgusu içerisinde karbonat kristalleri ile birlikte gözlenmektedir.

Ak zemin:

Cimento: Genel bağlayıcı mikrittir.

Süreksizlikler:

Yoğun, birbirini kesen karbonat dolgu kalcal damarlar (maksimum genişlik 1,84 mm), küçük taneli kalsit kristalleri (0,08-0,8 mm) tarafından doldurulmuştur.

Dr. Gonca GÜRLER

Dr. Sezin ÖZAKSOY

En ileri eden sayfalarda yerimdir.
I am given on the following pages.

- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılmı
This report shall not be reproduced/published e

... .. yrdılan numuneye aittir.
The results are valid for only the analysed/tested sample.

- İmzasız ve mühürlü rapor geçerlidir.
Report without signature and seal is not valid.

KY.FR.6.10.21 Rev.No/Tarih: 09/24.10.2017

2 / 3





T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı
Üniversite Mahallesi Cumhuriyet Bulvarı No: 100 06000 Çankaya/ANKARA
Tel: 0312 201 10 00 faks: 0312 267 00 00
http://www.mta.gov.tr rumune@mta.gov.tr

MTA
MAT-18062717
13J04/2918

ANALİZ/TEST RAPORU ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI ANALYSIS/TEST RESULTS

Analiz / Test Adı : Modal (Kantitatif) Mineralojik Petrografik Analiz

Analiz / Test Metodu :

Açıklamalar: Bu kayaç, Folk (1962) sınıflandırmasına göre "Biyomikrit" olarak da isimlendirilebilir. Fasiyesi ve fauna, derin deniz ve düşük enerjili ortamı işaret etmektedir.
Mevcut olan farklı kalınlıktaki, farklı yönlereki damar sistemlerinden dolayı kayaçta mikroskobik olarak breşik bir görünüm gözlenmektedir.

Örnekte yapılan kimyasal analiz sonucuna göre, "Modal Mineralojik Analiz" sonucu hesaplanmış ve yaklaşık olarak;

Kalsit % 97,2

Dolomit % 2,8

bulunmuştur.

Kayaçın Adı: MİKROKİTİK KİREÇTAŞI

Dr. Gonca GÜRLER

Dr. Sezin ÖZAKSOY

- Analiz/tesst sonuçları ve metodları takip eden sayfalarda verilmektedir.
The analysis/test results and methods are given on the following pages.

- Sonuçlar sadece analiz/tesst yapılan numuneye aittir.
The results are valid for only the analysed/tested sample.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/24.10.2017

- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yaaylanamaz.
This report shall not be reproduced/translated even partially.

- İmzasız ve mühürlü rapor geçerlidir.
Report without signature and seal is not valid.

3 / 3



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALDANMAZ Harun
Uyruğu : TÜRKİYE
Doğum tarihi ve yeri : -
Telefon : -
Faks : -
e-mail : -

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İnşaat Mühendisliği	2022
Lisans	İnşaat Mühendisliği	2015
Lise	Fen Bilimleri	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Devam	Halkalı Yeni Havalimanı Metro Projesi	Uzman KG/KK Mühendisi
2018-2019	Terkos İkitelli Ø2500mm İsale Hattı İnşaatı	Şantiye Şefi
2017-2018	Tatarcık Yolu Projesi	Şantiye Şefi
2015-2017	Avrasya Tüneli	Kalite Kontrol Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

-

