

T.C
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SERAMİK ATIKLARININ ASFALT ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike SAYGI

AĞUSTOS 2019

UŞAK

T.C
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SERAMİK ATIKLARININ ASFALT ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike SAYGI

UŞAK 2019

Melike SAYGI tarafından hazırlanan Seramik Atıklarının Asfalt Endüstrisinde Kullanımı adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doktor Öğretim Üyesi Jülide ÖNER



Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doktor Öğretim Üyesi Metin Mutlu AYDIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı / Gümüşhane Üniversitesi



Doktor Öğretim Üyesi Soner ŞEKER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı / Uşak Üniversitesi



Tarih: 02 / 08 / 2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Melike SAYGI



SERAMİK ATIKLARININ ASFALT ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Melike SAYGI

UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Günümüzde endüstriyel atıklar en büyük çevresel sorunlardan biridir. İnsan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmesiyle birlikte, geri dönüştürülmüş malzemelerin üretimi ve kullanımı ile ilgili araştırma ve uygulama sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Atıkların tekrar kullanılması doğal hayatı ve çevreyi koruyarak ülke ekonomisine katkıda bulunur.

Yol kaplama endüstrisi, yol altyapılarının inşası ve korunması için bitüm ve agregaya gibi yüksek miktarda doğal ve sınırlı kaynaklar kullanır. Seramik atıkların geri dönüşümü, değerli agregalardan tasarruf etmek ve maliyetli sıcak karışım asfaltının kullanımını azaltmak için kritik bir gerekliliktir.

Bu çalışmada, sıcak karışım asfaltında farklı oranlarda seramik atıklarının (ağırlıkça% 10,% 20,% 30,% 40 ve % 50 agregaların) doğal agregaya olarak kullanılmasının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Numunelerin mekanik performansları Marshall Stabilitate testi ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel atık, geri dönüşüm, seramik atık, mekanik performans, Marshall Stabilite.

Sayfa Adedi: 134

Tez Yöneticisi: Doktor Öğretim Üyesi Jülide ÖNER



UTILIZATION OF CERAMIC WASTE IN ASPHALT INDUSTRY

(M.Sc. Thesis)

Melike SAYGI

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Nowadays, industrial wastes are one of the biggest environmental problems. With the rapid increase in human population and the depletion of existing resources, the number of research and application related to the production and use of recycled materials increases day by day. The reuse of wastes contributes to the national economy by protecting the natural life and the environment.

The road paving industry uses a high amount of natural and finite resources, such as bitumen and aggregates, for construction and conservation of road infrastructures. Recycling of ceramic waste is a critical necessity to save precious aggregates and reduce the use of costly hot mix asphalt.

This study aims to investigate the feasibility of utilizing different percentage of ceramic waste (10%, 20%, 30%, 40%, and 50% by weight of aggregates) as virgin aggregates in hot mix asphalt. The mechanical performances of the samples were evaluated by Marshall Stability test.

Keywords: Industrial waste, recycling, ceramic waste, mechanical performance, Marshall stability.

Number of Page: 134

Supervisor: Doktor Öğretim Üyesi Jülide ÖNER



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince gerek bilimsel anlamda gerek fikirleriyle her zaman desteğini yanımda hissettiğim, her zaman bana yol gösteren ve ayrıca kişiliği ile kendime örnek aldığım çok kıymetli danışman hocam Doktor Öğretim Üyesi Jülide ÖNER'e en içten dileklerle teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım. Ayrıca her zaman fikirleriyle ufkumu genişleten, yapabileceklerimin farkında olmamı sağlayan eşi Doktor Öğretim Üyesi Eren ÖNER'e teşekkür ederim.

Bu süreç boyunca yardımını esirgemeyen, her konuda her zaman yanımda olan meslektaşım ve arkadaşım Melek Rukiye Şehnaz'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca her zaman yanımda olan ve manevi desteklerinden ötürü arkadaşım Esra Sözver'e teşekkür ederim.

Çalışmanın yürütülmesi kısmında seramik karo temini için SERANOVA SERAMİK FABRİKASINA ve çalışanlarına; agrega, bitüm temini ve deneylerin yapılması için laboratuvarlarını sonuna kadar açan DOĞUSAN FİRMASINA ve çalışanlarına destekleri ve yardımları için teşekkür ederim.

Son olarak beni bu yaşa getirip her zaman arkamda duran sevgili ebeveynlerim Zafer Saygı'ya ve Refika Saygı'ya, kız kardeşim Merve Saygı'ya vermiş oldukları teşvik ve hoşgörülerini için sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. UŞAK İLİNİN COĞRAFI KONUMU VE JEOLJİSİ	5
2.1. Coğrafi Konum	5
2.2. Jeolojik Yapı	6
2.2.1. Paleozoik	6
2.2.2. Mezozoik	6
2.2.3. Senozoik	8
3. SERAMİK TARİHÇESİ	10
4. SERAMİK TEKNOLOJİSİ	13
4.1. Seramik Karo Üretim Aşaması	13
4.1.1. Ön Hazırlama ve Tartım	14
4.1.2. Öğütme	15
4.1.3. Granül Elde Edilmesi	15
4.1.4. Şekillendirme	16
4.1.5. Kurutma	17
4.1.6. Sırlama	18
4.1.7. Pişirme	19
4.1.8. Kalite Sınıflandırması ve Ambalajlama	20

4.2.	Seramik Karo Bileşenleri.....	21
4.2.1.	Masse (Çamur) Hammaddeleri.....	21
4.3.	Seranova Seramik Fabrikası	22
5.	SERAMİK ÜRETİMİNİN ÇEVRE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	28
6.	ATIK SERAMİKLERİN YENİDEN KULLANIMI	30
7.	ASFALT KAPLAMA ÖZELLİKLERİ	33
7.1.	Karayolu Üstyapısı	33
7.1.1.	Esnek Üstyapı	33
7.1.2.	Yarı Rijit Üstyapı	44
7.1.3.	Rijit Üstyapı.....	45
7.2.	Karayolu Altyapısı	45
8.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	46
8.1.	Agregaya Uygulanan Deneyler.....	46
8.1.1.	Elek Analizi	46
8.1.2.	Aşınmaya Karşı Dayanıklılık ve Aşınma Kaybı Deneyi (Los Angeles Deneyi) 47	
8.1.3.	Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık.....	49
8.1.4.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi.....	50
8.1.5.	Yassılık İndeksi	54
8.1.6.	Agrega Birim Ağırlık Deneyi	56
8.1.7.	Cilalanma Deneyi	57
8.1.8.	Metilen Mavisini Deneyi	58
8.2.	Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler.....	59
8.2.1.	Penetrasyon Deneyi	59
8.2.2.	Yumuşama Noktası Deneyi	61
8.2.3.	Düktilite Deneyi	63
8.2.4.	Parlama Noktası Deneyi	64
8.2.5.	İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi.....	65
8.2.6.	Bitümün Birim Özgül Ağırlık Deneyi	66
8.2.7.	Vizkozite Deneyi	67
8.3.	Bitümlü Sıcak Karışıma Uygulanan Deneyler.....	68
8.3.1.	Marshall Tasarım Yöntemi.....	68

9. DENEY SONUÇLARI	79
9.1. Karışım Gradasyonu Ayarlama ve Elek Analizi Deneyi Sonucu	79
9.2. Aşınmaya Karşı Dayanıklılık ve Aşınma Kaybı Deneyi Sonucu (Los Angeles) .	86
9.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi Sonucu	86
9.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu	87
9.4.1. İri Agrega için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu	87
9.4.2. İnce Agrega için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu	87
9.4.3. Filler için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu	89
9.5. Yassılık İndeksi Deneyi Sonucu	90
9.6. Agrega Birim Ağırlık Deneyi Sonucu	90
9.7. Cilalanma Deneyi	91
9.8. Metilen Mavisini Deneyi Deney Sonucu	91
9.9. Penetrasyon Deneyi Sonucu	93
9.10. Yumuşama Noktası Deneyi Sonucu.....	93
9.11. Düktilite Deneyi Sonucu	93
9.12. Parlama Noktası Deneyi Sonucu.....	94
9.13. İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi Sonucu	94
9.14. Bitümün Birim Özgül Ağırlık Deneyi Sonucu.....	94
9.15. Vizkozite Deneyi Sonucu.....	94
9.16. Marshall Tasarım Yöntemi Deney Sonuçları.....	95
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	116

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Yer karosu – sırlı porselen bileşik % miktarları	24
Çizelge 4.2. Yer karosu – sırlı porselen % bileşik içeriği dairesel grafiği	24
Çizelge 4.3. Yer karosu – sırlı porselen günlük üretim ve atık yüzdeleri	25
Çizelge 4.4. Duvar karosu bileşik % miktarları	26
Çizelge 4.5. Duvar karosu % bileşik içeriği	26
Çizelge 4.6. Duvar karosu günlük üretim ve atık yüzdeleri	27
Çizelge 7.1. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri	35
Çizelge 7.2. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri	36
Çizelge 7.3. Kaba Agreganın Fiziksel Özellikler	37
Çizelge 7.4. İnce Agreganın Fiziksel Özellikler	37
Çizelge 7.5. Plent-miks temel tabakası sıkıştırma limitleri	38
Çizelge 7.6. Plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri	38
Çizelge 7.7. Granüler temel tabakası sıkıştırma limitleri	38
Çizelge 7.8. Granüler temel tabakası gradasyon limitleri	39
Çizelge 7.9. Çimento bağlayıcılı granüller temel tabakası sıkıştırma limitleri	39
Çizelge 7.10. Çimento bağlayıcılı granüller temel tabakası gradasyon limitleri	39
Çizelge 7.11. Sathi kaplama gradasyonları	40
Çizelge 7.12. Çift katlı sathi kaplama tipleri	40
Çizelge 7.13. Agrega özellikleri	41
Çizelge 7.14. Binder tabakası için gradasyon limitleri	42
Çizelge 7.15. Aşınma tabakası için gradasyon limitleri	42
Çizelge 7.16. Mineral fillerin gradasyon limitleri	42
Çizelge 7.17. Kaba agreganın fiziksel ve kimyasal özellikleri	43
Çizelge 7.18. İnce agreganın özellikleri	43
Çizelge 7.19. Asfalt betonu dizayn kriterleri	44
Çizelge 8.1. Numune tipleri, bilye sayılıları ve ağırlıkları	48
Çizelge 8.2. Deneye alınacak numunenin elek açıklık aralığı ve kullanım miktarı	55
Çizelge 8.3. Bir numuneye uygulanan 3 farklı ölçüm arasındaki fark sınırları	61

Çizelge 9.1. Aşınma tabakası limitlerine göre ayarlanmış karışım gradasyonu	79
Çizelge 9.2. Elek - (%) geçen gradasyon eğrisi	80
Çizelge 9.3. Aşınma tabakası limitlerine göre ayarlanmış karışım miktarları	81
Çizelge 9.4. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%10-20 seramik karo atığı)	81
Çizelge 9.5. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%30-40 seramik karo atığı)	82
Çizelge 9.6. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%50 seramik karo atığı)	82
Çizelge 9.7. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%10 Granit+sırlı seramik karo atığı)	82
Çizelge 9.8. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%20 Granit+sırlı seramik karo atığı)	83
Çizelge 9.9. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%30 Granit+sırlı seramik karo atığı)	83
Çizelge 9.10. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%40 Granit+sırlı seramik karo atığı)	83
Çizelge 9.11. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%50 Granit+sırlı seramik karo atığı)	84
Çizelge 9.12. Doğal agrega elek analizi sonucu	84
Çizelge 9.13. Duvar karosu elek analizi sonucu	84
Çizelge 9.14. Granit yer karosu elek analizi sonucu	85
Çizelge 9.15. Sırlı porselen yer karosu elek analizi sonucu	85
Çizelge 9.16. Karışım (%50 granit + %50 sırlı porselen) yer karosu elek analizi sonucu ..	85
Çizelge 9.17. İri doğal agrega	87
Çizelge 9.18. İnce doğal agrega	87
Çizelge 9.19. İnce duvar karosu seramik agrega	88
Çizelge 9.20. İnce granit yer karosu seramik agrega	88
Çizelge 9.21. İnce sırlı porselen yer karosu seramik agrega	89
Çizelge 9.22. Doğal agrega filler zahiri özgül ağırlık	89
Çizelge 9.23. Granit yer karosu filler zahiri özgül ağırlık	89
Çizelge 9.24. Sırlı porselen yer karosu filler zahiri özgül ağırlık	90
Çizelge 9.25. Özgül ağırlık ve su emme deneyi toplu sonucu	90
Çizelge 9.26. Sıkışık birim hacim ağırlık sonucu	90
Çizelge 9.27. Gevşek birim hacim ağırlık sonucu	91

Çizelge 9.28. Toplu metilen mavisi deneyi sonucu	93
Çizelge 9.29. Penetrasyon deneyi sonucu	93
Çizelge 9.30. Isıtma kaybı deney sonucu	94
Çizelge 9.31. Bitüm özgül ağırlık sonucu	94
Çizelge 9.32. Bitüm deneylerinin sonuçlarının tek çizelgede gösterimi	95
Çizelge 9.33. %20 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	96
Çizelge 9.34. %30 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	97
Çizelge 9.35. %40 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	98
Çizelge 9.36. %50 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	99
Çizelge 9.37. %20 oranındaki sırlı porselen yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	100
Çizelge 9.38. %30 oranındaki sırlı porselen yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	101
Çizelge 9.39. %40 oranındaki sırlı porselen yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	102
Çizelge 9.40. %20 oranındaki sırlı porselen + granit yer karosu karışımı atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	103
Çizelge 9.41. %30 oranındaki sırlı porselen + granit yer karosu karışımı atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	104
Çizelge 9.42. %40 oranındaki sırlı porselen + granit yer karosu karışımı atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu	105
Çizelge 9.43. Seramik atık türlerine göre optimum mekanik özellikleri sağlayan toplu mekanik deney sonuçları	106

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Uşak İli Haritası	5
Şekil 2.2. Uşak İlinin Stratigrafik Kesiti (Ölçeksiz)	7
Şekil 3.1. Anadolu'daki seramik örnekleri	10
Şekil 3.2. Çatalhöyük'te çıkarılan seramikler	11
Şekil 4.1. Seramik karo üretim şeması	14
Şekil 4.2. Sulu öğütme değirmeni	15
Şekil 4.3. Püskürtmeli kurutucu	16
Şekil 4.4. Hidrolik presler	17
Şekil 4.5. Dikey kurutucular	17
Şekil 4.6. Sır hazırlama değirmenleri	18
Şekil 4.7. Sırlama bantları	18
Şekil 4.8. Seramik fırını	19
Şekil 4.9. Kalite kontrol	20
Şekil 4.10. Ambalajlama	20
Şekil 4.11. İstifleme işlemi	21
Şekil 4.12. Seranova Seramik Fabrikası	23
Şekil 6.1. Seramik sektöründeki sürdürülebilirlik	30
Şekil 6.2. Seramik karo atıkları	31
Şekil 6.3. Seranova Seramik Firmasının atık depo alanı	31
Şekil 7.1. Esnek üstyapı enkesit	34
Şekil 7.2. Esnek üstyapı tabakaları	34
Şekil 8.1. Elekler, terazi ve etüv	46
Şekil 8.2. Tambur ve bilyeler	48
Şekil 8.3. Özgül ağırlık sehpası	51
Şekil 8.4. Deney yapış sırası	53
Şekil 8.5. Yassılık indeksi elekleri ve şablonu	55
Şekil 8.6. Numune tartımı, karıştırılması ve metilen mavisi eklenmesi	59
Şekil 8.7. Penetrasyon aleti	60

Şekil 8.8. İçerisine bitüm yerleştirilen halkalar	62
Şekil 8.9. Bitüm aşağıya sarkması anı	62
Şekil 8.10. Düktilite kalıplarının hazırlanması	63
Şekil 8.11. Düktilite cihazı ve numunelerin çekilmesi	64
Şekil 8.12. Cleveland deney düzeneği	65
Şekil 8.13. Etüv	66
Şekil 8.14. Marshall tokmağı	69
Şekil 8.15. Mikser ve ısıtma kabı	69
Şekil 8.16. Briket	70
Şekil 8.17. Kriko	70
Şekil 8.18. Su banyosu	71
Şekil 8.19. Marshall test cihazı	71
Şekil 8.20. Agreg ve seramik atıklarının gradasyonlarına ayrılıp tartım işlemi	73
Şekil 8.21. Agregaların etüvden alınıp bitüm tartım işlemi	73
Şekil 8.22. Elle karıştırma ve briket kalıbına yerleştirme ilk sıcaklık ölçümü	74
Şekil 8.23. Şişleme işlemi ve Marshall tokmağı ile sıkıştırma	74
Şekil 8.24. Briketlerin soğutulma işlemi	75
Şekil 8.25. Kriko yardımıyla briket kalıplarının çıkartılması ve su banyosu	75
Şekil 8.26. Marshall stabilite ve akma değerlerinin ölçülmesi	76
Şekil 9.1. Granit ve sırlı porselen yer karosu metilen mavisi deney sonucu.....	91
Şekil 9.2. Duvar karosu ve Oktaş taş ocağı (normal agreg) metilen mavisi deney sonucu	92
Şekil 9.3. Granit + sırlı yer karosu karışımı metilen mavisi deney sonucu	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
CSA	Doğal Kırılmış Taş Agregası
RA	Geri Dönüştürülmüş Agregası
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
F	Donma Kaybı
B_s	Sıkışık birim hacim ağırlık
B_g	Gevşek birim hacim ağırlık
MDE	Mikro-deval katsayısı
MB	Metilen mavisi değeri
D_p	Hacim özgül ağırlık
D_t	Maksimum teorik özgül ağırlık
V_h	Sıkıştırılmış kaplamadaki hava boşluğu yüzdesi
V_f	Sıkıştırılmış kaplamadaki asfaltla dolu boşluk yüzdesi
VMA	Agregalar arasındaki boşluk yüzdesi

1. GİRİŞ

Günümüze baktığımızda dünya genelindeki nüfus yoğunluğunda hızlı bir artış yaşanmaktadır. Bu artış; beraberinde sanayi ve teknoloji alanlarındaki hammadde kullanımında ve gereksiniminde artışa neden olmaktadır. Ayrıca bu hammaddelerin kullanımından ortaya çıkan atıkların doğaya bırakılmadan geri dönüşüm zincirine tekrar girebilmesi yönünde birçok çalışma ve araştırma yapılmaktadır.

Geri dönüşüm; ülke ekonomisine katkı sağlamak, doğal ve yaşanılabilir çevre için gerekliliktir. Bunun için hammaddelerin kullanımlarının azaltılması ve /veya üretim aşamaları kısmında oluşan ürünün yeniden bu döngüye dâhil edilmesi sağlanabilir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de karayolu ulaşımı en çok inşa edilen ve kullanılan bir ulaşım ağıdır. Karayolu kaplamalarında en çok dizayn edilen esnek üstyapı türü bitümlü sıcak karışımlardır ve yol inşaatında maliyet açısından çok ciddi bir paya sahiptir. Bu yüzden bir bitümlü karışımda ekonomik açıdan bir kazanç sağlamak istersek bunu ya bitümde ya da agregada alternatif, ucuz kaynaklar veya geri dönüştürülmüş hammaddeler kullanarak yapabiliriz.

Çevre kirliliği insanların doğal kaynaklara ve yaşadıkları ortama bilinçsizce zarar vermesi sonucunda ortaya çıkan istenmeyen durumlar olarak tanımlanabilir. Dünyamız insanların bilinçsiz üretiminden ve tüketiminden kaynaklı çok çeşitli problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bunlardan bir tanesi de seramik üretimi sonucu çok ciddi boyutlara ulaşan seramik karo atıklarıdır. Seramik endüstrisi, üretim sürecinde çevreye verebilecek zararların önceden farkında olup belli başlı önlemler alarak bu sürecin her aşamasının sürdürülebilir olması yönünde adımlar atmalıdır.

Bu çalışmada; Uşak ilinde yüksek oranda ortaya çıkartılan farklı özelliklere sahip seramik atık türlerinin bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kullanılabilirliğine bakılmıştır. Bu amaçla, seramik fabrikasında atık olarak nitelendirilen granit yer karosu,

sırlı porselen yer karosu ve granit yer karosu - sırlı porselen yer karosu karışımları %10, %20, %30, %40, %50 oranlarında asfalt karışımlarında doğal agrega yerine kullanılmıştır. Farklı oranlarda seramik atığı içeren asfalt numunelerinin optimum bitüm tayini yapıldıktan sonra, mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Marshall stabilite testi uygulanarak sonuçlar incelenmiş ve hangi özelliklere sahip seramik karo atığı kullanımının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Geri kazanılmış seramik atıklarının kullanılabilirliği sorgulanmış ve değerlendirilmiştir. Fayda-maliyet analizi yapılarak ekonomik açıdan katkısı hesaplanmıştır.

Literatürde yapılan araştırmada;

Rafi ve ark, sürekli artan nüfusun büyük şehirlerde inşaat faaliyetlerini arttırması sonucunda yenileme ve yıkımdan kaynaklı oluşan atıkları ve çevresel kaygıları göz önünde bulundurarak bu çalışmayı yapmışlardır. Bitümlü sıcak karışıma doğal ezilmiş taş agregalar (CSA) ile geri dönüştürülmüş agregalar (RA) eklemiştirler. CSA ile hazırlanan numuneleri kontrol numunesi olarak kullanmışlardır. Çalışmalarda üç ilave RA seviyesi eklenmiştir. RA hem inşaat, yenileme ve yıkım faaliyetlerinden kaynaklanan beton atıklardan hem de asfalt kaplamalarından elde etmişlerdir. Her iki RA tipinin kaba ve ince agrega fraksiyonları ile ayrı numuneler üretilip Marshall metodu kullanılarak test etmişlerdir. Numunelerin performansı yoğunluk-boşluk ve stabilite/akış analizi açısından araştırmışlar ve Ulusal Karayolu Kurumu tarafından performans kriterleri ile karşılaştırmışlardır. Veriler incelendiğinde % 50'ye kadar RA ilavesiyle yapılan tüm numuneler, optimum asfalt içerikleri, mineral agregalardaki boşluklar ve stabilite/akış açısından kullanım şartlarına uygunluğu görülmüştür [1].

Muniandy ve ark, geleneksel granit agregalarının 75 mikron dolgu maddesi dâhil olmak üzere 5,0 mm aşağıdan ebatlardaki granül agregalarının yerine konması için asfalt karışımlarında bulunan ezilmiş granit seramiklerin performansını incelemek için bir çalışma yapmışlardır. Ağırlıkça % 20, 40, 60, 80 oranlarında granit agrega numuneleri hazırlamışlar ve Marshall stabilite test sonuçları incelendiğinde ve Malezya Bayındırlık İşleri Departmanı'nın şartnamesi ile kıyaslandığında % 20 seramik atık agrega içeren asfalt karışımının kullanılabilirliği görülmüştür [2].

Köken ve ark, yapısal inşaat atıklarından temin edilen ve beton basınç mukavemeti 20 MPa olan geri dönüştürülmüş agregaların tekrar beton üretiminde kullanılabilirliğini sorgulamışlardır. Bu amaçla; %100 geri dönüştürülmüş agrega, iri agregası geri dönüştürülmüş agregadan olup ince agregası kırmataş kumu ve %100 kırmataş agregadan olmak üzere 3 çeşit numune hazırlanmıştır. Veriler incelendiğinde, beton üretiminde atık agrega kullanım miktarı arttıkça basınç dayanımının düştüğü ve taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabilirliği sonucuna ulaşmışlardır [3].

Arabani ve ark, bitümlü sıcak karışıma atık demir tozu ekleyerek trafik yükleri altındaki yorulma davranışını ve çekme dayanımlarını araştırmışlardır. Yapılan deney sonuçlarına göre (dolaylı çekme deneyi); atık demir tozu katkısının bitümlü sıcak karışımda çekme mukavemetini ve devamlı gerilmelere karşı hizmet süresini arttırdığını gözlemlemişlerdir [4].

Do ve ark, BSK içerisine eklenen filler yerine atık kireç takviyesi yaparak kullanılabilirliğini sorgulamışlardır. Numuneler %25, %50, %75, %100 oranlarında atık filler kullanılarak hazırlanmıştır. Elde edilen verilere göre %25, %50, %75, %100 oranlarında katkılı BSK'lar, hiçbir katkı kullanılmamış BSK'ya göre kalıcı deformasyon direnci ve soyulma direncinde artış gözlemlenmiştir. Atık kirecin aşırı sıcaklıklarda BSK'da kalıcı deformasyon direncini yükseltmesi nedeniyle filler olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [5].

Güngör ve ark, Sakarya Köprülü Kavşağı - Gümüşova arasındaki karayolundaki bozulmuş olan binder tabakasının kazınarak tekrar kullanımını incelemişlerdir. Kazınan asfalt sıcak geri dönüşüm yöntemi kullanarak ve plentte soğuk beslenme ile bitümlü temel ve binder tabakasına serilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında ise deformasyonlara uğramış olan karayollarında asfaltın kazınarak tekrar kullanılabilmesi görülmüştür [6].

Akbulut ve Gürer, Afyon-İscehisar'da bulunan bir mermer ocağından atık olarak nitelendirilen parçalanmış mermerleri agrega olarak kullanarak yol kaplamalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca elde edilen sonuçları normal bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan doğal agrega sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Numunelere;

standart agrega, Marshall stabilite ve dolaylı çekme deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları, parça mermer atıklarının mekanik özellikleri sağladığını, elde edilen stabilite ve akma değerlerinin şartname limitleri arasında kaldığını ve binder tabakasında agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [7].

Perez ve ark, bitümlü sıcak karışımlarda, inşaat ve yıkım atıklarının kaba agrega olarak ikame edilebilirliğini incelemişlerdir. Düşük trafik yükleri altındaki yollar için %0, %20, %40, %60 oranlarında kaba agrega eklenerek hazırlanan numunelere Marshall tasarım yöntemi uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde stabilite ve akma değerlerinin şartname limitleri arasında kaldığı fakat soyulma direncinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Tüm veriler ışında değerlendirildiğinde düşük trafik yoğunluğuna sahip yollarda kullanılabilirliği ortaya konulmuştur [8].

Fernández ve ark, yüksek oranlarda yan ürün (elektrik ark ocağı cürufu ve döküm kumu) içeren asfalt karışımlarının geri dönüşebilirliğini ve bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğini çalışmışlardır. Marshall, su hassasiyeti, tekerlek izi, yorulmaya karşı direnç gibi mekanik testler yapmışlardır. Geri dönüştürülmüş asfalt kullanılan numunelere ısı işlem uygulamışlar ve sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla iki genleştirici üzerinde çalışmışlardır. Son olarak, bu yeni karışımların mekanik performansını değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, pratik olarak tüm geleneksel agregaların yerini almak için kullanılan asfalt karışımlarının uygun bir teknik performans göstermiştir [9].

Raval ve ark, seramik atık tozunun M-20 dereceli betonda çimento yerine kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Betonun ağırlığına göre % 0,% 10,% 20,% 30,% 40 ve % 50 oranlarında seramik atık tozu eklenerek beton karışımları üretilmiş ve mekanik testler yapılmıştır. Seramik tozu katkılı numunelerin 7, 14 ve 28 gün mekanik özelliklerini değerlendirilmiş ve % 30'a kadar çimento yerine seramik atık kullanılabileceği görülmüştür [10].

2. UŞAK İLİNİN COĞRAFI KONUMU VE JEOLojİSİ

2.1. Coğrafi Konum

Uşak, Ege Bölgesinde bulunan sekiz kent merkezinden birisidir. Ege Bölgesinin İç Batı Anadolu Bölümünde bulunmaktadır. Uşak; batıda Manisa, doğuda Afyon, kuzeyde Kütahya ve güneyde Denizli illeri ile çevrelenmiş olup aynı zamanda Ege Bölgesi ile Anadolu arasında geçiş bölgesi özelliği taşımaktadır. Mutlak konum olarak da 38 derece 13 dakika ve 38 derece 56 dakika kuzey paralelleri ile 28 derece 48 dakika ve 29 derece 57 dakika doğu meridyenleri arasında yer alır [11,12]. Ayrıca Uşak'ın; Ulubey, Eşme, Banaz, Karahallı ve Sivasslı olmak üzere beş tane ilçesi vardır.



Şekil 2.1. Uşak İli Haritası

İl arazi yapısı dalgalı plato görünümü şeklinde olup arazinin % 57,5'i platolardan, % 37'si dağlardan ve % 5,5'i de ovalardan oluşmaktadır. İlin güney ve batı kısımlarında ovalar ve dalgalı yüzey şekilleri, kuzey ve doğu kısımlarında ise dağlık alanlar görülmektedir. 5341 km² yüzölçümüne sahip olan bu ilin 2018 TÜİK verilerine göre nüfusu ise bir önceki yıla göre % 0,70 artarak 367 514 olmuştur [12-14].

2.2. Jeolojik Yapı

2.2.1. Paleozoik

Kayraktepe formasyonu (Pzk); Uşanın Sivaslı ilçesinin kuzeydoğusunda bulunan Hanoğlu Köyü çevresinde, Sivaslı-Uşak karayolu Yenierice Köyü çevresinde ve kuzeyinde görülür. Bu formasyon; gri, kahverengi, iri feldspat ve kuvars porfiroblastları bünyesinde bulunduran ince taneli, gnays ve milonitik gnayslardan meydana gelir. Üst kısımlara doğru gidildikçe malzemenin tane boyutu küçülür. Birimde fazlasıyla hidrotermal kuvars damarları gözlenir. Bazı yerlerde bantlı bazı yerlerde gözlü gnays özelliğindedir. Bünyesinde; alkali feldspat, plajioloklas, kuvars, muskovit, biyotit, granat, sfen, apatit, klorit ve opak minerallerini içerir [15].

Eşme formasyonu (Pze); Uşanın Eşme ilçesi ve batısında, Sivaslı ilçesi kuzeydoğusunda, Eldeniz ve Cinoğlu köyleri çevresinde ve Uşak'ın kuzeyinde görülür. Bu formasyonda, birimin alt kısımlarında granitik gnayslar, birimin üstüne doğru ise ince boyutlu gnayslar ve daha da üstte çeşitli şistler görülür [16].

Boduşdamı formasyonu (Pzb); Uşak merkezinin kuzeyinde, Sivaslı ilçesinin doğusu ve Karahallı ilçesinin batısında görülür. Bu formasyon yer yer masif görünüşlü ve laminanlı mermerlerden meydana gelir [15,17].

2.2.2. Mezozoik

Aşağıbelova formasyonu (Ja); tipik olarak Çalüstü Tepesinde, Sergenboyun Sırtı ve Çukuroluk Sırtında çevresinde görülür. Birim alt tabakaları sarımsı, kahverengimsi, yeşilimsi renklerde metakumtaşlarından ve sleyt ardalanmalarından oluşur. Üst kısımlarına doğru karbonat miktarı artarak kalkşistlere geçiş göstermektedir [18].

Kızılcasöğüt formasyonu (Jk); Uşanın Sivaslı ilçesinin kuzeyinde bulunan Kızılcasöğüt Kasabasında ve Murat Dağında görülür. Bu birim mermerler üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Gri-mavimsi, bazı yerlerde beyaz renkli dolomitik kalkerlerden ve yer yer çört bantlarından meydana gelmiştir. Ara ara tabakalı ara ara ise masif görünümüldür [15,19,20].

Baklan graniti; Uşak'ın Banaz ilçesine bağlı Bahadır Köyünün kuzeyinde bulunan Baklantepe ve çevresinde görülür. Birim gri-beyaz renkli, yaklaşık aynı boyutlarda, iri taneli biotitlerden ve alkali feldispatlı monzogranitlerden oluşur [15].

Vezirler melanjı (Kvm); Uşak ilinin kuzeyinde Vezirler Köyü ve çevresinde, Murat Dağında ve Banaz Kapıdağ'da görülür. Melanj, çeşitli büyüklüklerden ve litolojik birimlerden meydana gelmiştir. Bu birimlerde tipik olarak karşılaşılan kayalar ultramafitlerdir. Bunun yanı sıra tortul, magmatik ve metamorfik kayalar türlerini de görmek mümkündür. Melanj üzerinde uyumsuz olarak Kürtköy formasyonu bulunur [15,16].

2.2.3. Senozoik

Kürtköy formasyonu (Tmk); alt birimlerinde 0,1-0,5 mm arasında boyutlara sahip yeşil renkli, tek kökenli salt ultramafit kayalardan ve çakıllardan meydana gelmiştir. Bunun üzerine kırmızı renkli, çok kökenli çakıllar gelir. Bu formasyon üzerinde uyumlu olarak Yeniköy formasyonu bulunur [15,16]

Yeniköy formasyonu (Tmy); Uşak ilinde geniş bir yer kaplar. Sarı-turuncu renklerde çakıltaş-kumtaşı-kiltaş-tüfit ve killi kireç aralanmasıyla meydana gelir. Akarsular taşıdığı eski kayalar parçacıklarını, akarsu debisinin yavaşladığı uygun yerlere biriktirir ve karşımıza düzgün katmanlı bu formasyon çıkar [16].

Dikendere volkanitleri (Tmdv); riyolit, riyodasit, tüf ve aglomeralardan meydana gelir [15].

Karaboldere volkanitleri (Tmkv); Uşak'ın Banaz ilçesinin kuzeydoğusunda Devebağırta Tepe ve Bacıdamı Köyü çevrelerinde görülür ve riyodasit, trakiandezit, andezit, tefrit, tüf ve aglomeralardan meydana gelir. Bu ilde Karaboldere volkanitleri ile miyosen sona erer ve pliyosene geçilir [15].

Beydağı volkanitleri (Tpbv); Uşak'ın Eşme ilçesinin kuzeydoğusunda ve çevresinde görülür. Andezit, tüf ve aglomeralardan meydana gelir [15].

Ulubey formasyonu (Tpu); Uşak ilinde geniş bir yer kaplar. Genel olarak kireçtaşı, killi-çakıllı kireçtaşı, yersel kil, kum, silt, tüfit ve linyitli kil bulunur. Formasyonun alt birimleri çakıltaşlarıyla başlar ve üstler doğru kireçtaşıyla devam eder [15].

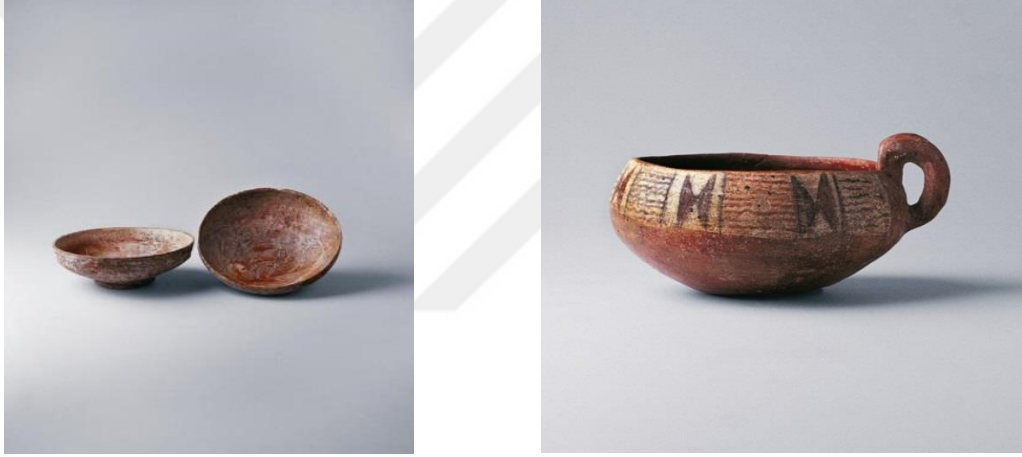
Payamtepe volkanitleri (Tpp); Uşak'ın kuzeybatısında dar bir bölgede görülür. Genel olarak bazaltik andezitlerden meydana gelmiştir. Ulubey formasyonu oluşumu ardından payamtepe volkanitleri meydana gelmiştir. Bu evrede lavlar gösel kireçtaşları üzerine akmiş olup alanda bazaltik tuf ve aglomeraları oluşturmuştur [16].

Asartepe formasyonu (Qat); Uşak-İzmir karayolunun her iki kısmında, Sivashlı ilçesinin batısında ve Ulupınar Köyü etrafında görülür. Bu alandaki pliyosen gölleri kuruduktan sonra oluşmuş olan akarsular yaşlı kayaçları ufalayarak ve taşıyarak güçlerinin kalmadığı noktalarda katmanlı bir şekilde biriktirmesiyle meydana gelmiştir. Formasyonu oluşturan kayaçlar çoğunlukla kırmızı ve turuncu renklerdeki kireç, tuf, kil, çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşur [15,16].

Alüvyon (Qal); Uşak'ın Banaz ilçesinde bulunan Çalüstü Tepesi'nde ve İnkaya'da görülür. Akarsu yatağında bulunan çakıl, kum, kil gibi gevşek malzemelerin taşınmasıyla oluşmuştur [18].

3. SERAMİK TARİHÇESİ

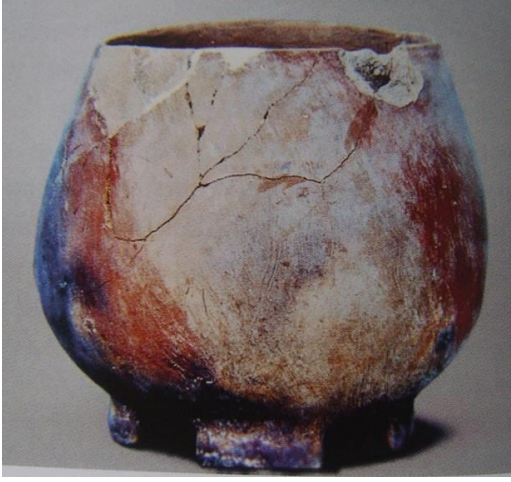
Geleneksel seramik, su ve kilin karıştırılıp kolayca istenilen şeklin verilmesi ve daha sonrasında ateşle pişirilerek dayanıklılık kazanması sonucunda karşımıza çıkmaktadır. Eski dönemlerden günümüze kadar değişik şekillerde hayatımızda vazgeçilmez bir yere sahip olmuştur. İnsanoğlu bunları ilk olarak çanak, çömlek yapımı gibi en temel günlük ihtiyaçlarını karşılamak için kullanmıştır [21].



Şekil 3.1. Anadolu'daki seramik örnekleri [22].

Paleolitik ve mezolitik dönemlerde avcılıkla ve toplayıcılıkla hayata kalmaya çalışan insanoğlu, neolitik dönemlere geldiğinde yerleşik hayata geçmiştir [23]. Bu dönem kendi içerisinde çanak-çömleksiz neolitik dönem ve çanak-çömlekli neolitik dönem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Seramik ilk kez neolitik zamanın çanak-çömlekli döneminde ortaya çıkmıştır [24].

İnsanların çeşitli denemelerinden sonra tesadüfen bulmuş olduğu bu ilk seramikler Anadolu'da karşımıza çıkmaktadır. Çatalhöyük'te (Konya) yapılan arkeolojik kazılar sonucunda elde edilen buluntuların M.Ö. 6000 yılına ait olduğu görülmektedir. Bu bölge, şu anki veriler ışığında dünya tarihindeki en eski seramiklerin bulunduğu yer olarak karşımıza çıkmaktadır [25].



Şekil 3.2. Catalhöyük'te çıkarılan seramikler [26].

Çömlekçi çarkı, hazırlanmış olan seramik hamuruna kolayca şekil vermede kullanılır. Çömlekçi çarkının keşfiyle beraber seramik sanatı ve üretimi hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır ve kolayca dünya geneline yayılmıştır [21]. Dünyanın değişik yerlerinde kullanılan çömlekçi çarklarını kabaca sınıflandırmak istersek dört farklı türe ayırabiliriz. Bunlar; el tornaları, ayak tornaları, pedal tornaları ve elektrikli tornalardır (çömlekçi çarkına İtalyancada torna denilmekte). İnsanoğlu bunları aynı dönemlerde değişik bölgelerde farklı şekillerini kullanmıştır. Bu farklılıklar; alışkanlıklardan, kültürel farklılıklarından ve teknolojinin gelişmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin; Mezopotamya'da M.Ö. 3500 yıllarındaki araba tekerleğinin keşfi Yukarı Mısır'da M.Ö. 3000 yıllarında ortaya çıkacak ayak tornasının oluşmasını sağlamaktadır. Bizim topraklarımızda ise tornaların M.Ö. 3000'li-2000'li yıllarda Alishar, Hattuşa ve Troya yerleşkelerinde kullanılmış olduğu görülmektedir [27,28].

Seramik, 1950'lerden sonra Türkiye'de endüstriyel olarak imal edilmeye başlanmış olup hızla gelişmeye devam etmiştir. Selçuklu Devleti'nin Anadolu'ya göç etmesiyle birlikte yanlarında getirmiş oldukları metotlar seramik karo üretimine zemin hazırlamıştır. Osmanlı Devleti zamanında ise İznik ve Kütahya çok önemli seramik merkezleri haline gelmiştir [29].

Seramik yapıldığı dönemi ve ait olduğu uygarlığın sosyal ve kültürel yaşamı hakkında bize bilgiler vermektedir. Binlerce yıllık birikim bugünkü teknoloji ve bakış

açısıyla beraber günümüz seramik sanatı ve endüstriyle birlikte hız kesmeden gelişimine devam etmektedir.



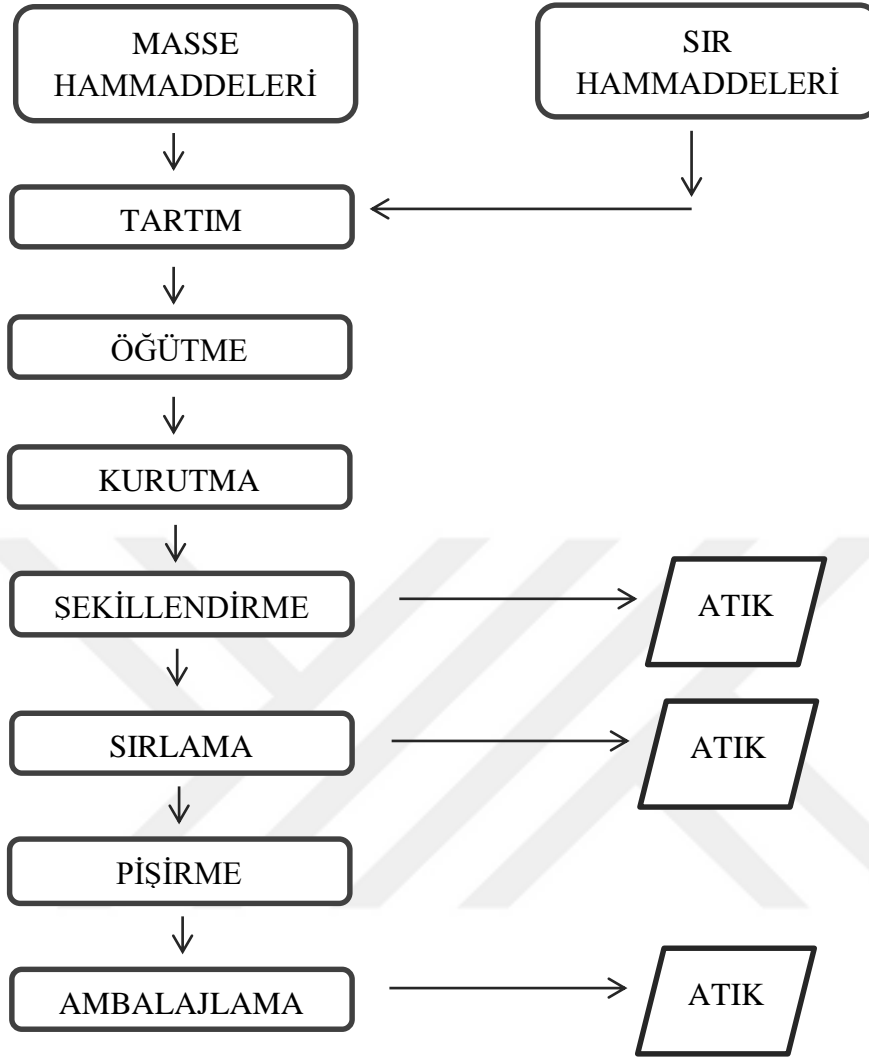
4. SERAMİK TEKNOLOJİSİ

Seramikler kendi içerisinde geleneksel seramik ve ileri teknolojik seramikler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Geleneksel seramikler, en eski uygarlıklardan bu yana geliştirilen malzemelerle yakın ilişki içindedir. Önceleri günlük eşya yapımı gibi basit ihtiyaçlardan karşımıza çıkmıştır ve zamanla gelişerek kil tabletlerde, mimari yapılarda, dini objelerde, süs eşyalarında görmekteyiz. İleri teknolojik seramikler ise aşırı sıcaklıklara dayanıklı, kimyasal kararlılığı olan, yapısı gereği hammaddelerinin kolay temin edilebilirliği ve maddi olarak ucuz olması gibi etkenlerle tercih sebebidir [30]. Şimdilerde gelişen metotlar ve farklı hammaddelerin ortaya çıkışıyla bu sektör hızlı bir şekilde gelişerek çok yönlü kullanım alanlarına imkân tanımaktadır [31]. Örneğin, zırhlı araçlar ve koruyucu yelekler gibi askeri alanda kullanılan teknolojiler, seramikler sayesinde kurşun geçirmezlik özelliğini kazanmıştır. Seramik teknolojisi; elektronik aletler, uzay araçları, tıp vb. daha birçok alanlarda kullanılmaya hız kesmeden devam eden bir teknolojidir [21,31]. Her ne kadar bu farklılıklar olsa da geleneksel ve ileri teknolojik sektörler arasındaki sürekli etkileşimden kazanılacak çok şey vardır.

4.1. Seramik Karo Üretim Aşaması

Seramik karolar veya diğer bir ismiyle fayanslar mekân döşemelerinde en çok tercih edilen malzemelerden biridir. Zamanla kullanım alanındaki artış bu ürünün üretim miktarındaki artışı da beraberinde getirmiştir.

Seramik karo üretiminde toprak ürünleri kullanılmaktadır. Seramik, dünyada kolaylıkla bulunabilen toprak ürünlerinin (kil, kaolen, feldspat gibi), sır ve boya hammaddeleriyle birleşimi sonucunda oluşan bir üründür. Üretim şeması Şekil 4.1.'de aşama aşama gösterilmektedir [32].



Şekil 4.1. Seramik karo üretim şeması [33].

4.1.1. Ön Hazırlama ve Tartım

Seramik karolarda olmasını istediğimiz özellikleri oluşturmak için ilk olarak ön hazırlama basamağından başlanır. Bu aşamada; seramik üreticileri hammadde gereksinimlerini kendi maden ocaklarından temin ederler. Hammadde temininden sonra istenilen boyutlara getirilerek kapalı stoklama alanında ayrı bölümlerde depolanırlar.

Seramik firmalarının kendi özel reçetelerine göre karışım (masse) hazırlanması için istenilen miktarlardaki ve boyutlardaki hammaddelerin tartımı gerçekleştirilir ve kuru öğütme ya da sulu öğütme basamağına geçilir [29].

4.1.2. Öğütme

Öğütme işlemi; malzemelerin tane boyutlarını düşürmek, karışımın saflaşmasını sağlamak, tanelerdeki gözenekleri azaltmak, aglomeraları dağıtmak, kolloid miktarını arttırmak gibi sebeplerle tercih edilen bir yöntemdir. Kuru öğütme ve sulu öğütme yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru öğütme yönteminde malzemelerin morfolojik ve sertlik özelliklerinin birbirine yakın olduğu malzemeler için kullanılır. Fakat sulu öğütmede malzemeler sulu çözelti içinde birlikte öğütülerek istenilen boyutlar sağlanır ve boyutlar kuru yöntemle göre daha iyi küçültülür [34].



Şekil 4.2. Sulu öğütme değirmeni

4.1.3. Granül Elde Edilmesi

Sulu öğütücülerden sonra oluşmuş olan çamur püskürtmeli kurutucu ile granüler şekle gelir. Kuru öğütme yönteminde ise su kullanılmadığı için çamur oluşmaz ve kurutma işlemine gerek duyulmaz. Burada malzeme mekanik yollarla öğütülerek granül şekle getirilir [29].



Şekil 4.3. Püskürtmeli kurutucu

Öğütücülerden kurutma odasına yüksek basınç ile püskürtülen çamur, 500 - 6000 °C'deki hava ile karşılaşır ve ikisi arasındaki sıcaklık farkının fazla olması suyun çabucak buharlaşmasına neden olur. Bu işlem sonucunda presleme için gerekli nem miktarı sağlanır [35].

4.1.4. Şekillendirme

Granül çamur silolarda biraz bekletildikten sonra farklı boyutlardaki ve desenlerdeki kalıplara preslenir. Üretilcek karo ebatlarına göre farklı basınçlar uygulanarak presleme işlemi gerçekleştirilir [36].



Şekil 4.4. Hidrolik presler

4.1.5. Kurutma

Şekillendirme işleminden çıkmış olan karolar yatay veya dikey kurutucularda kurutulurlar. Sırlama öncesi bu işlemle belli bir mukavemet kazanırlar [36].



Şekil 4.5. Dikey kurutucular

4.1.6. Sırlama

Seramiklerde “sır” olarak bilinen malzeme, seramik yüzeyini 0,5-1,0 milimetre kalınlıklarında saran camsı yüzeylerdir ve pişirme sıcaklığına, oksit karışımına, oluşumunda kullanılan malzemelere göre sınıflara ayrılırlar. Yalnızca hammaddelerden oluşuyorsa ham sırlar, firit ve hammadde karışımından oluşuyorsa firitli sırlar ve sadece firitten oluşuyorsa firit sırları olmak üzere gruplandırılırlar [37].

Reçetede belirlendiği oranlarda sır bileşimi hazırlanır daha sonra tamburlu elekler, serigrafi elekleri ya da dijital baskı ekipmanları ile sırlama işlemi uygulanır ve istenilen desenler işlenir.



Şekil 4.6. Sır hazırlama değirmenleri



Şekil 4.7. Sırlama bantları

4.1.7. Pişirme

Sırlama işlemi sonrası pişirmek üzere seramik karolar fırınlara gelirler. Bu aşamanın ilk kısmında maksimum 600 °C'de olan fırının ilk bölümünde karo içerisindeki nem alınır ve başka bir deyişle ön kurutma işlemi gerçekleştirilir. Buradan ön ısıtma bölgesine gelirler ve sıcaklığı maksimum 900 °C'dir. Bu sıcaklıktan sonra seramikte gaz çıkışı meydana gelir fakat sırnın pişirilmesinden önce tüm bu gazın çıkması gerekmektedir. Devamında 900-1250 °C arasındaki bölge ateş bölgesi olarak isimlendirilir. 900-1000 °C aralığında kilin özelliğinden ötürü bir uzama meydana gelir ve bunu 1000 °C'den sonraki küçülme izler. Sonraki kısımda karo aşamalı olarak sıcaklığı 1250 °C'ye yükseltilir Sır bu cehennem bölgesinde erir. Kritik soğuma en yüksek sıcaklıktan 600 °C'ye kadar soğuduğu aşamadır ve burada camlaşma olayı gerçekleşir. İçerideki havanın ortamın sıcaklığına getirilmesi sağlanarak son soğutma işlemi ile pişirme işlemi son bulur [36].



Şekil 4.8. Seramik fırını

4.1.8. Kalite Sınıflandırması ve Ambalajlama

Kalitelere göre sınıflandırma, fabrikada çalışan işçiler ve elektronik ekipmanlarla incelenerek yüzey hatalarına göre ayrılırlar. Bu ayırım sonucuna göre paketlenen seramik karolar istiflenerek müşterilerle buluşmak üzere sevk edilir [39].



Şekil 4.9. Kalite kontrol



Şekil 4.10. Ambalajlama



Şekil 4.11. İstifleme işlemi

4.2. Seramik Karo Bileşenleri

Seramik hammaddelerini oluşturan ana hammaddeler; kil-kaolen grubu, feldspat grubu ve kuvars-kuvarsit-kuvars kumu grubu olmak üzere üçe ayrılır. Bunların yanında sır ve boya hammaddeleri de eklenerek istenilen özelliklerde seramik karo üretimi gerçekleştirilir. Türkiye’de seramik karonun ana hammaddelerini bulmak oldukça kolaydır fakat sır ve boya maddeleri gibi kimyasal malzemeler genellikle ithal olarak temin edilmektedirler [36].

4.2.1. Masse (Çamur) Hammaddeleri

4.2.1.1. Kil-Kaolen Grubu

Killer, yerküredeki feldspatik ana kayaların fiziksel ayrışması ve ufalanan malzemenin uzaklara taşınmasıyla ile beraber bir yerlerde çökelerek birikmesiyle oluşan sulu alüminyum silikatlı mineralleridir. Boyut olarak 2 mikrondan küçük yapılardır [33]. Kaloenler ise ayrışmalar ve taşınmalar sonucunda daha yakın yerlerde birikerek oluşmuşlardır ve tane boyutu olarak killerden daha büyüktür ayrıca killer içerisinde mineralojik açıdan en temiz gruptur. [36]. Killere göre daha temiz olması ve içeriğindeki

Al_2O_3 miktarı fazlalığı nedenleriyle pişirildiğinde karışım rengini beyazlaştırırlar. Bu nedenle kaolenler daha çok lavabo, klozet ve pisuvar gibi saniter ürünlerde kullanımı tercih edilir [36]. Ayrıca kaolenlerin kristalleri killerinkinden daha büyüktür bundan dolayı killer daha plastik ve killerin kuru mukavemetleri yüksektir [35].

Killer ve kaolenler özlü (plastik) seramikler kısmına girmektedirler. Özlü seramikler; su ile yoğrulabilirler, parçalanmadan rahatça şekil verilebilirler ve kurduklarında almış oldukları şekli koruyabilirler [38].

4.2.1.2. Feldspat Grubu

Feldspatlara kimyasal açıdan bakıldığında Na, K, Ca elementlerini bünyesinde bulunduran alüminyum silikatlardır. Feldspatlar ve kuvarslar özsüz (plastik olmayan) seramiklerdir yani tane boyutları küçültülse bile suyla kolayca şekillendirilemeyen, şekillendirilebilse bile dış kuvvetler sebebiyle almış olduğu şekli kaybedip dağılan hammaddelerdir. Bunlar massenin pişme özelliğini ve pişirilme sıcaklık aralığını etkilemektedirler.

Feldspatlar, kuvarslarla beraber cam fazı oluştururlar ve karışımın mukavemetini arttırlar. Ergime sıcaklıkları düşüktür, pişirilme esnasında feldspatlar eriyerek diğer erimeyen hammaddeler arasındaki boşlukları doldururlar [34].

4.2.1.3. Kuvars-Kuvarsit Grubu

Kuvars-kuvarsit grubu özsüz hammaddeler oldukları için plastikliği azaltırlar. Aşırı sıcaklıklara dayanıklılığı ile bünyede iskelet görevi görürler. Pişirilme aşamasından sonra ürünün beyazlığı ve camlaşma sıcaklığı artar [36].

4.3. Seranova Seramik Fabrikası

Seranova Firması, Uşak ilinin Ankara-İzmir yolu üzerindeki Organize Sanayi Bölgesinde bulunmaktadır. Umpaş Holding tarafından çeşitli alanlarda faaliyet gösteren şirketlerinden birisi olup aynı zamanda 50,000 m²'si kapalı, 480,000 m²'si açık, toplamda 530,000 m²'lik alanda yer karosu, duvar karosu ve sırlı porselen imalatını gerçekleştirmekte olan bir firmadır. Yatırımlarını 2000 yılında bitiren firma 400 kişilik çalışanı ile yine aynı yıl üretime başlamıştır.

Seranova 2013 yılında büyük atılımlar ve yenilikler gerçekleştirerek makina parkı, dijital baskı sistemlerini, parlatma ve kareleme hatlarını ve gövde boyama sistemlerini bünyesine katarak üretimine devam etmiştir.



Şekil 4.12. Seranova Seramik Firması

Yer seramiğinde tek pişirim, duvar seramiğinde hızlı çift pişirim teknolojisini kullanmaktadır. Yer ve duvar karolarında TS EN 14411 standardına uygun üretim gerçekleştirmektedir. Üretimde ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi'ni, çevreye duyarlılığının gereği olarak ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi'ni uygulamaktadır

Firma üretiminin yüzde 35'ini ihracata ayırmıştır ve seramik ürünlerinin Avrupa'da rahatça dolaşabilmesi için CE işaretleme bildirgesini bulunduran ilk kuruluş olarak dikkat çekmektedir. Başta Amerika, İtalya, Fransa, Almanya, Rusya, Suudi Arabistan gibi ülkeler olmak üzere 45 farklı ülkeye ihracat yapmaktadır.

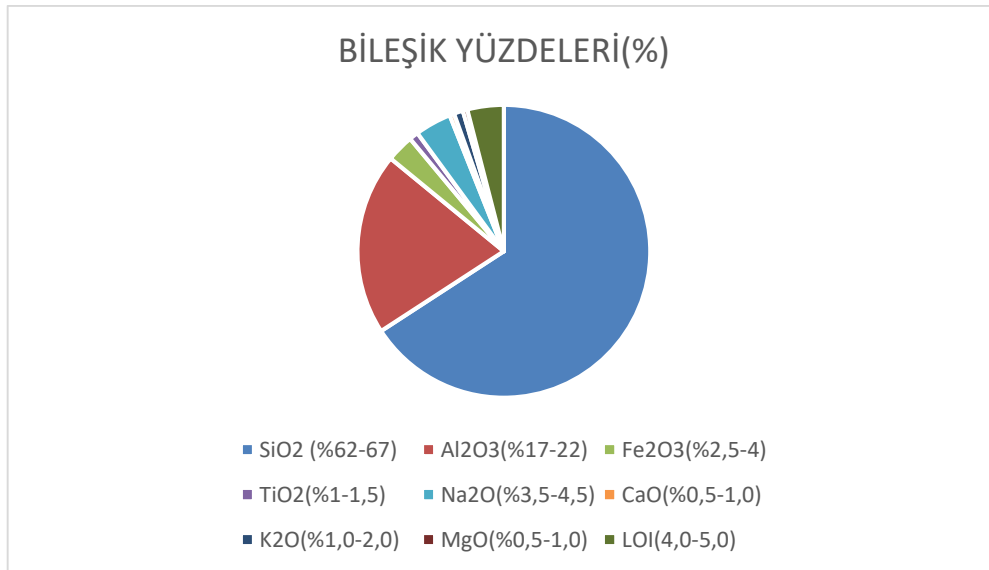
Benim üzerinde deneylerimi yaptığım sırlı porselen, yer karosu ve duvar karosu atıkları Uşak Seranova Seramik Firmasından temin edilmiştir. Bu alınan artık karoların içerdiği % bileşik miktarı ve hangi bileşikleri içerdiği, günlük-yıllık üretim miktarları ve kayıp miktarları aşağıdaki tablo ve grafiklerde detaylıca görülmektedir.

Çizelge 4.1 Yer karosu – sırlı porselen bileşik % miktarları

YER KAROSU – SIRLI PORSELEN

BİLEŞİKLER	% MİKTAR
SiO ₂	62-67
Al ₂ O ₃	17-22
Fe ₂ O ₃	2.5-4.0
TiO ₂	1.0-1,5
Na ₂ O	3.5-4.5
CaO	0.5-1.0
K ₂ O	1.0-2.0
MgO	0.5-1.0
LOI	4.0-5.0

Çizelge 4.2. Yer karosu – sırlı porselen % bileşik içeriği dairesel grafiği



TEKNİK ÖZELLİKLER

- Pişmiş porselen mukavemet sonuç aralığı : 350-450 kg/cm²
- Su emme sonuç aralığı : %0,5-3,5
- 1 m² Yer karosu- porselen : Ortalama 18 kg

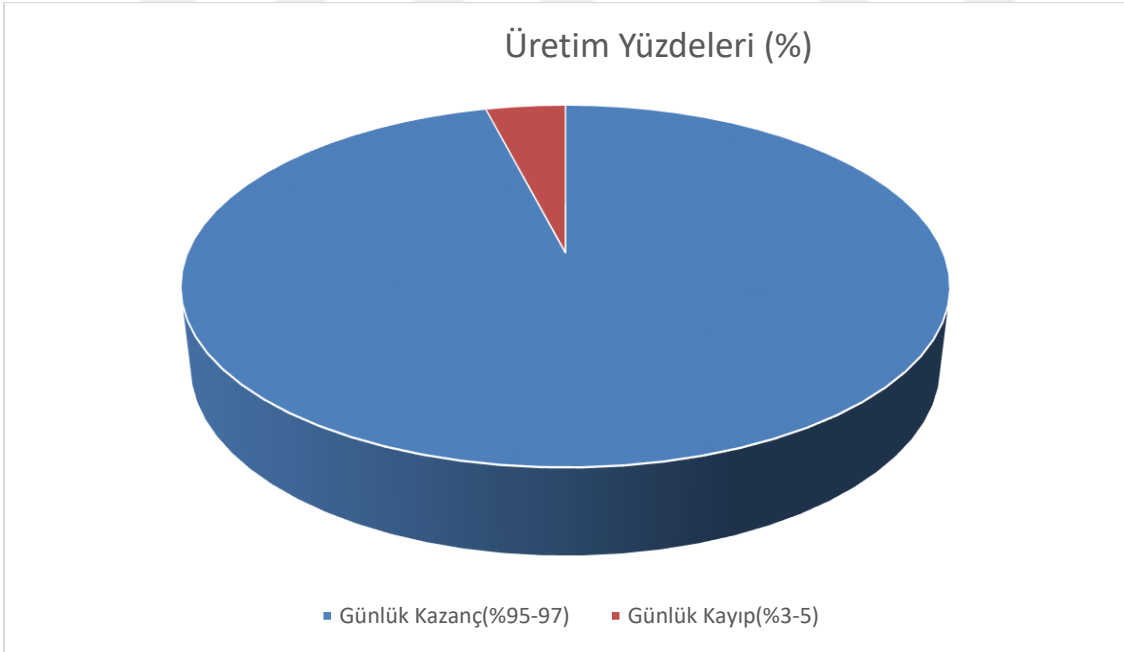
ÜRETİM

- Günlük Üretim : 18000 m²-20000 m²
- Yıllık Üretim : 6480000 m²-7200000 m²

KAYIP

- Günlük Kayıp : Üretimin %3-5'i
- % 4'e göre kayıp : 800 m² ortalama günlük kayıp
800*18=14400 kg ortalama günlük kayıp

Çizelge 4.3. Yer karosu – sırlı porselen günlük üretim ve atık yüzdeleri

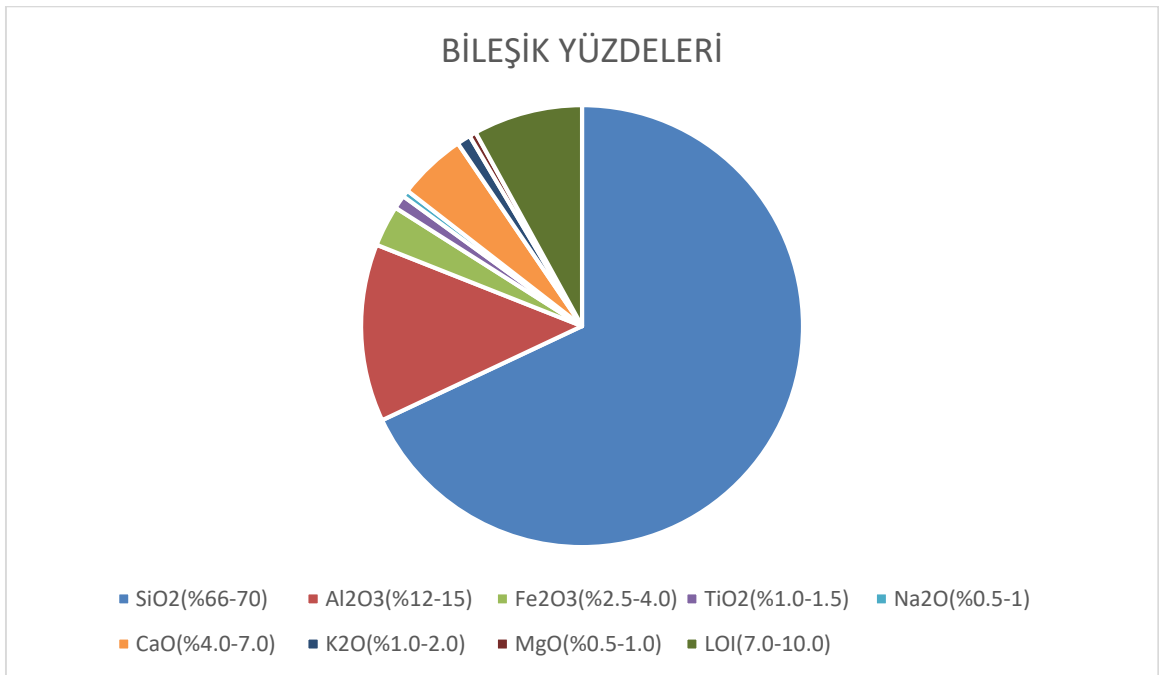


Çizelge 4.4. Duvar karosu bileşik % miktarları

DUVAR KAROSU

BİLEŞİKLER	% MİKTAR
SiO ₂	66-70
Al ₂ O ₃	12-15
Fe ₂ O ₃	2,5-4.0
TiO ₂	1.0-1,5
Na ₂ O	0.5-1.0
CaO	4.0-7.0
K ₂ O	1.0-2.0
MgO	0.5-1.0
LOI	7.0-10.0

Çizelge 4.5. Duvar karosu % bileşik içeriği



TEKNİK ÖZELLİKLER

- Pişmiş duvar karosu mukavemet sonuç aralığı : 180-250 kg/cm²
- Su emme sonuç Aralığı : %14-17
- 1 m² yer karosu- porselen : Ortalama 16 kg

ÜRETİM

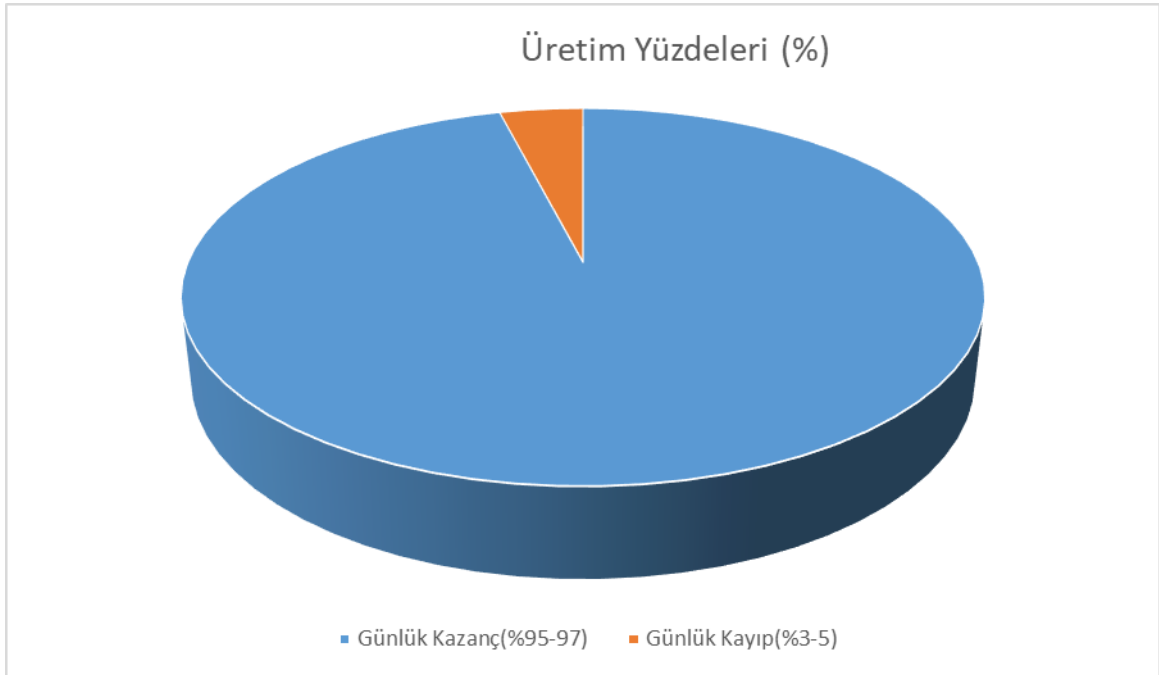
- Günlük Üretim : 8000 m²-10000 m²
- Yıllık Üretim : 2880000 m²- 3600000 m²

KAYIP

- Günlük Kayıp : Üretimin %3- 5'i
- % 4'e göre kayıp : 400 m² ortalama günlük kayıp

400*16=6400 kg ortalama günlük kayıp

Çizelge 4.6. Duvar karosu günlük üretim ve atık yüzdeleri



5. SERAMİK ÜRETİMİNİN ÇEVRE ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Çevre kirliliği insanların doğal kaynaklara ve yaşadıkları ortama bilinçsizce zarar vermesi sonucunda ortaya çıkan istenmeyen durumlar olarak tanımlanabilir. İstenmeyen durumlar; yaşayan canlıların zarar görmesi, hava kirliliği, gürültü kirliliği gibi arzu edilmeyen çevreye zararlı durumlardır. Bu kirlilik ekolojik dengeyi bozarak geri dönüşü olmayan sonuçları beraberinde getirir. Çevre kirliliği kendi içinde havadaki kirlilik, sudaki kirlilik ve topraktaki kirlilik olarak üçe ayrılır [39].

Seramik karo üretim zincirinin ilk basamağı hammadde teminidir ve madencilik endüstrisi tarafından sağlanmaktadır. Yani çevresel önlemler alacağımız basamak ilk olarak bu sektör yardımıyla gerçekleşmelidir. Madencilik sektörü ve seramik sektörü arasındaki ilişkiden kaynaklı ortaya çıkan çevresel sorunlar, yıkama, proses suyu atığı, toz ve öğütme tesisleridir. Ayrıca tesislerin toz tutma düzeneklerini bulundurması zorunludur bu sayede çevreye toz salınımı azaltılmaktadır [31].

Maden ocakları çevreyi çok ciddi boyutlarda etkilememekle beraber bu konularda da gerekli önlemleri almaktadırlar. Ancak özellikle bizim ülkemizde bu tesisler işlem süreçleri boyunca doğal görünüme zarar vermekte ve yeniden düzenleme konusunda hiçbir girişimde bulunmamaktadır [31].

Hava kirliliğinden kaynaklı oluşan çevre kirliliği seramik karo üretimi sırasında yanma ve ısıl proseslerden ortaya çıkan SO_x, NO_x, CO_x ve hammadde granülleridir.

Su kirliliği, seramik karo üretiminin masse hazırlığı sırasındaki hammadde temizliği ve sır hazırlama aşamasında oluşan yıkama işlemlerinden sonra oluşan atık sularından kaynaklanmaktadır. 1m² karo üretmek amacıyla 25-30 litre kullanılan suyun yarısı buharlaşırken diğer kısmı arıtılarak yeniden üretimde kullanılmak üzere geri dönüşümü sağlanabilir. Geri dönüşümün sağlanamadığı ve zararlı içerikler bulunduran atık

suları özenle depolanmalıdır. Aksi taktide zararlı ağır metaller içeren sular; içme sularına, denizlere karışabilir ve birçok canlının ölümüne sebebiyet verebilir [31].



6. ATIK SERAMİKLERİN YENİDEN KULLANIMI

Dünyamız insanların bilinçsiz üretiminden ve tüketiminden kaynaklı çok çeşitli problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bunlardan bir tanesi de seramik üretimi sonucu çok ciddi boyutlara ulaşan seramik karo atıklarıdır.

Seramik endüstrisi, üretim sürecinde çevreye verebilecek zararların önceden farkında olup belli başlı önlemler alarak bu sürecin her aşamasının sürdürülebilir olması yönünde adımlar atmalıdır. Sürdürülebilirlik terimi, ekonomik kalkınmanın kaynakların tüketimiyle olacağını fakat bunların da sınırlılığını vurgulamaktadır. Bu sebeplerle seramik üretim sürecindeki sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla yapılması gerekenler Şekil 6.1.'de görülmektedir [40].

Azaltma	Yeniden Kullanım	Geri Dönüşüm
Hammadde kullanımının azaltılması	Eski (modası geçmiş) seramik kaplamaların yeniden kullanımı	Pişmemiş seramik atıklarının geri dönüşümü
Su kullanımının azaltılması	Eski seramik kaplamaların antika olarak kullanımı	Pişmiş seramik atıklarının geri
Kaynakta atık azaltılması	Kırık seramik kaplamalarının mozaik olarak kullanımı	Su geri dönüşümü
Enerji verimliliğinin artırılması	-	Ambalaj geri dönüşümü
-	-	Enerji geri dönüşümü

Şekil 6.1. Seramik sektöründeki sürdürülebilirlik [40]

Firmalarda oluşan seramik karo atıklarında yararlanmak veya başka bir firmaya değerlendirmesi için vermek daha mantıklıdır. Bu şekilde doğaya verilen zarar azaltılmış olacaktır.

Bu çalışmada oluşan seramik karo atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kullanılabilirliğine bakılacaktır. Bunun için öncelikle kullanılacak olan atıkların, asfaltta kullanılan agregalar ile ortak özelliklerine uygunluğu, maddi açıdan uygunluğu ve KGM şartnamesine uyması beklenmektedir [41].



Şekil 6.2. Seramik karo atıkları



Şekil 6.3. Seranova Seramik Firmasının atık depo alanı

Seramik üretimi sırasında oluşan seramik karo atıkları şekil 6.2. ve 6.3.'de görülmektedir. Buradan almış olduğumuz granit yer karoları, sırlı-porselen yer karoları ve duvar karoları; sırlama, şekillendirme ve ambalajlama gibi kısımlarındaki hatalardan dolayı ıskartaya ayrılmışlardır.



7. ASFALT KAPLAMA ÖZELLİKLERİ

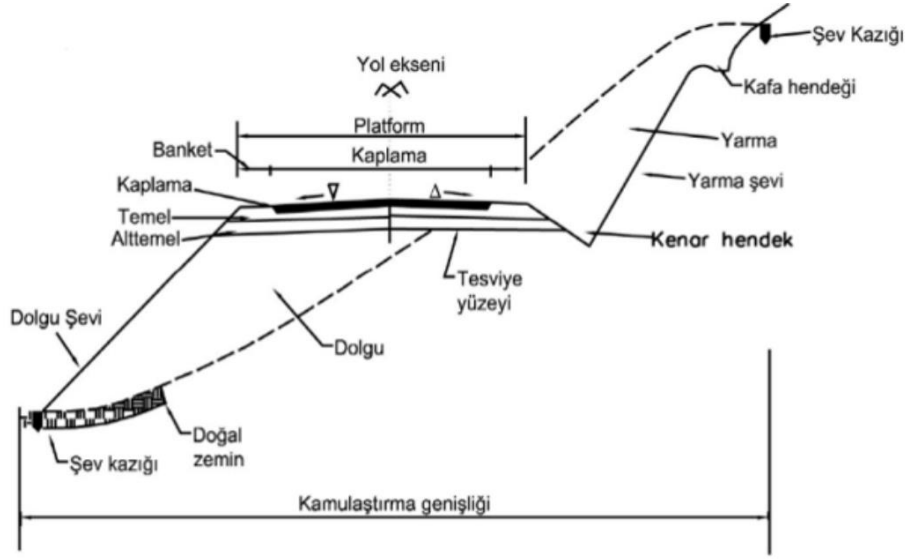
Karayolu; belirli bir şartname standartlarına göre tasarlanan, güzergah dahilinde projede belirlenen yüksekliklere göre yapılandırılan ve üzerinden geçecek olan taşıt yüklerinin önce üstyapı ile karşılaşp daha sonra altyapıya azaltarak ileten, araçların sürüşü esnasında istenilen konfor, hız ve güvenlik parametrelerini sağlayan yapıların hepsi olarak tanımlanabilir. Karayolu, altyapı ve üstyapı olarak ikiye ayrılmaktadır [42].

7.1.Karayolu Üstyapısı

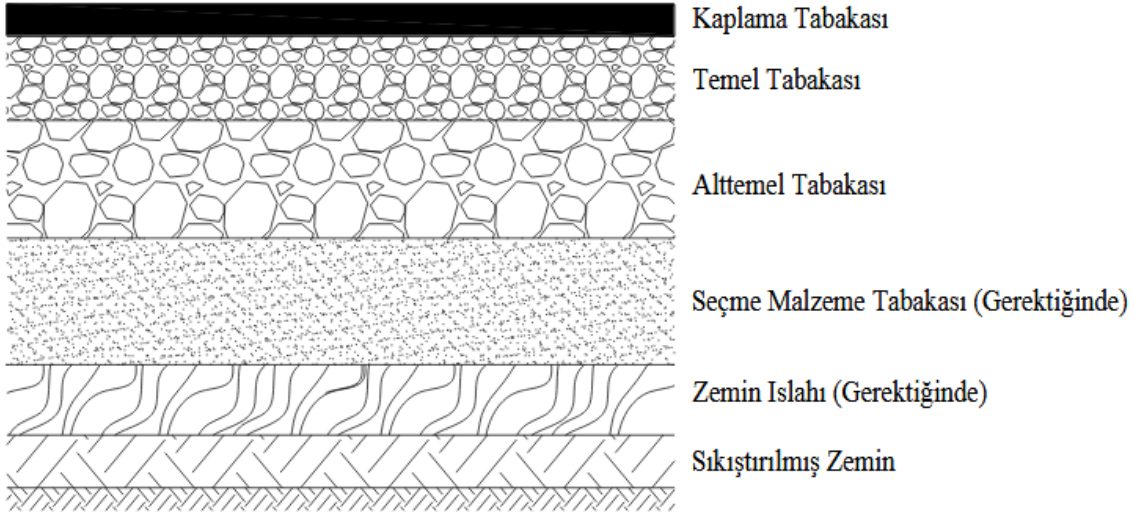
Karayolu üstyapısı, karayolu altyapısını dış etkilerden koruyan, üzerine gelen yükü altyapının taşıyabileceği boyutlara indirip dağıtan ve altyapı üzerine inşa edilen; kaplama, temel ve alttemel katmanlarından oluşan yapıdır [43].

7.1.1. Esnek Üstyapı

Esnek üstyapılar; bitümlü kaplama tabakalarından oluşan, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas içerisinde olan ve trafik yüklerini; kaplama, temel, alttemel tabakaları yardımıyla taban zeminine dağıtan üstyapı şeklidir. Stabilitesi; adezyon, kohezyon ve dane sürtmesi gibi kullanılan agrega ve bağlayıcı özelliklerine göre değişir [44].



Şekil 7.1. Esnek üstyapı enkesit



Şekil 7.2. Esnek üstyapı tabakaları [45]

Şekil 7.2.'de tabii zeminden kaplamaya doğru gidildiğinde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri iyileşmekte ve dane boyutları küçülmektedir bu yüzden serim kalınlığı da azalmaktadır [46].

7.1.1.1. Alttemel Tabakası

Esnek üstyapının temel tabakası ile doğal zemin arasına serilen kısımdır. Üzerindeki tabakalara göre daha az gerilmelere ve yüklere maruz kalır ve daha düşük kalitedeki granüler malzemelerin sıkıştırılmasıyla oluşur. Ayrıca drenaj sağlayabilen bir granülometriye sahip olmaları gereklidir ve üst tabakalar için güzel bir çalışma platformu oluşturur [47].

AASTHO T 27, T 11 ya da TS 1900-1 standartlarındaki metotlar kullanılarak oluşturulan granülometri Tablo 7.1.'de verilmiş olan gradasyon limitlerini göstermektedir. [48].

Çizelge 7.1. Alttemel malzemesi gradasyon limitleri [48]

Elek Açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	in	% Geçen	% Geçen
75	3	100	
50	2	-	100
37,5	1 1/2	85 - 100	80 - 100
25	1	-	60 - 90
19	3/4	70 - 100	45 - 80
9,5	3/8	45 - 80	30 - 70
4,75	No.4	30 - 75	25 - 55
2,00	No.10	-	15 - 40
0,425	No.40	10 - 25	10 - 20
0,075	No.200	0 - 12	0 - 12

Çizelge 7.2. Alttemel malzemesinin fiziksel özellikleri [48]

DENEY ADI		ŞARTNAME LİMİTLERİ	DENEY STANDARDI
% Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp, %		≤ 25 (MS ₂₅)	TS EN 1367 - 2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %		≤ 45 (LA ₄₅)	TS EN 1097 - 2* AASHTO T 96
Yassılık İndeksi, %		35	BS 812
		≤ 30 (FI ₃₀)	TS EN 933-3*
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %		≤ 3,5 (WA _{24,3,5})	TS EN 1097 - 6
Likit Limit, %		≤ 25	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi, %		≤ 6	TS 1900 - 1 AASHTO T 90
Kil Topağı ve Dağılabilen Dane Oranı, maksimum %		İri Malzeme (4,75 mm elek üstü) ≤ 2	ASTM C 142
Organik Madde, (%3 NaOH ile)		Negatif	TS EN 1744-1
METİLEN MAVİSİ MB g/kg	İnce agreganın 0/2 mm'lik kısmına	≤ 4,0 (MB _{4,0}) ≤ 5,5 (MB _{5,5})**	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 5,5 (MB _{5,5})**	
* Referans Metot ** Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

7.1.1.2. Temel Tabakası

Esnek üstyapılardaki temel tabakaları, alttemel-kaplama tabakaları arasında proje dâhilinde hesaplanan kalınlıklara göre yapılır. Temel tabakalarının başlıca görevi, kaplamadan gelen yükleri kendi içerisinde sönmüleyerek alttemele iletir, tabanda kesme ve oturma bozulmalarına engel olmaya çalışır ve üstyapının taşıma yeteneğini artırır. Bunlara ek olarak drenaja ve don etkisinin azaltılmasına yardımcı olur [49].

Esnek üstyapıda temel tabakasının; granüller temel (GT), plent-miks temel (PMT) ve çimento bağlayıcılı granüller temel (ÇBGT) olmak üzere üç farklı çeşidi vardır [50].

Çizelge 7.3. Kaba Agreganın Fiziksel Özellikler [48]

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, MgSO ₄ ile kayıp, %	≤ 20 (MS ₂₀)	TS EN 1367-2
Parçalanma Direnci (Los Angeles), %	≤ 35 (LA ₂₅)	TS EN 1097-2* AASHTO T-96
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı, %	≤ 1,0	ASTM C-142
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	BS 812
	≤ 25 (FI ₂₅)	TS EN 933-3*
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)
Su Emme (Kaba ve İnce Agregada), %	≤ 3,0 (WA _{2,3})	TS EN 1097-6 (Madde 8)
* Referans Metot		

Çizelge 7.4. İnce Agreganın Fiziksel Özellikler [48]

Deney Adı	Şartname Limitleri	Deney Standardı	
Likit Limit, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 89	
Plastisite İndeksi, %	NP	TS 1900-1 AASHTO T 90	
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	Negatif	TS EN 1744-1 (Madde 15.1)	
Metilen Mavisi, MB, g/kg	İnce agreganın 0/2 m'lik kısmına	≤ 3,0 (MB _{3,0}) ≤ 4,5 (MB _{4,5})*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 4,5 (MB _{4,5})*	
* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

7.1.1.2.1. Plent-miks Temel Tabakası (PMT);

Plent-mix temel tabakası; kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzemelerden oluşur. Kaba ve ince olmak üzere en az iki dane boyutu vardır. %100 modifiye proctoru sağlamalıdır. Plent-miks temel kalınlığı 15 cm olmalıdır [51].

Çizelge 7.5. Plent-miks temel tabakası sıkıştırma limitleri [48]

Minimum Sıkışma, %	100	Modifiye Proctor TS 1900-1 ASHTO T 180
	97	Titreşimli Tokmak TS 1900-1 BS 1377
Optimum Su İçeriği, %	$W(\text{opt} - 1) - W_{\text{opt}}$ $W_{\text{opt}} \pm 0,5$	Modifiye Proctor Titreşimli Tokmak

Çizelge 7.6. Plent-miks temel tabakası gradasyon limitleri [48]

Elek Açıklığı		% Geçen	
mm	in	Tip - I	Tip - II
37,5	1 ½	100	
25	1	72 - 100	100
19	¾	60 - 92	80 - 100
9,5	3/8	40 - 75	50 - 82
4,75	No.4	30 - 60	35 - 65
2,00	No.10	20 - 45	23 - 50
0,425	No.40	8 - 25	12 - 30
0,075	No.200	0 - 10	2 - 12

7.1.1.2.2. Granüller Temel Tabakası (GT);

Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş vb. malzemelerden oluşur. İyi derecelendirilmiş gradasyona sahip olmalıdır. Modifiye proctorda % 98 sağlanmalıdır. Minimum granüler temel kalınlığı 15 cm olmalıdır [51].

Çizelge 7.7. Granüler temel tabakası sıkıştırma limitleri [48]

Minimum Sıkışma, %	98	Modifiye Proctor TS 1900-1 ASHTO T 180
	95	Titreşimli Tokmak TS 1900-1 BS 1377
Optimum Su İçeriği, %	$W(\text{opt} - 2) - W_{\text{opt}}$ $W_{\text{opt}} \pm 1$	Modifiye Proctor Titreşimli Tokmak

Çizelge 7.8. Granüler temel tabakası gradasyon limitleri [48]

Elek Açıklığı		% Geçen		
mm	in	A	B	C
50	2	100		
37,5	1 1/2	80 - 100	100	
25	1	60 - 90	70 - 100	100
19	3/4	45 - 80	60 - 92	75 - 100
9,5	3/8	30 - 70	40 - 75	50 - 85
4,75	No.4	25 - 55	30 - 60	35 - 65
2,00	No.10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
0,425	No.40	8 - 20	10 - 25	12 - 30
0,075	No.200	2 - 8	0 - 12	0 - 12

7.1.1.2.3. Çimento Bağlayıcılı Granüller Temel (ÇBGT);

Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çüruf, kırmataş ve ince malzemeden oluşur. %98 modifiye proctoru sağlamalıdır. Çimento bağlayıcılı temel kalınlığı 20 cm olmalıdır [51].

Çizelge 7.9. Çimento bağlayıcılı granüller temel tabakası sıkıştırma limitleri [48]

Minimum Sıkışma, %	98	Modifiye Proctor TS 1900-1 ASHTO T 180
	95	Titreşimli Tokmak TS 1900-1 BS 1377
Optimum Su İçeriği, %	$W_{(opt - 2)} - W_{opt}$ $W_{opt} \pm 1$	Modifiye Proctor Titreşimli Tokmak

Çizelge 7.10. Çimento bağlayıcılı granüller temel tabakası gradasyon limitleri [48]

Elek Açıklığı		% Geçen
mm	in, No	
37,5	1 1/2	100
25	1	72 - 100
19	3/4	60 - 92
9,5	3/8	40 - 75
4,75	No.4	30 - 60
2,00	No.10	20 - 45
0,425	No.40	8 - 25
0,075	No.200	0 - 10

7.1.1.3.Kaplama Tabakası

Esnek üstyapının kaplama tabakası trafik yüklerine en çok maruz kalan tabakadır. Bu trafik yüklerinden kaynaklı olarak oturma ve kesme gerilmelerinden ve çevresel koşullardan etkilenmemesi için diğer tabakalara göre elastisite ve stabilite yüksek olmalıdır. Diğer tabaka kalınlıklarını göre kalınlığı azdır fakat çok iyi kalitedeki malzemelerden oluştuğu için bu gerilmeleri ve yükleri karşılayabilmektedir. Trafığın emniyetli ve konforlu olabilmesi için belli bir pürüzlülükte uniform yuvarlanma yüzeyine sahip olmalıdır [52].

7.1.1.3.1. Sathi (Yüzeysel) Kaplamalar

Sathi kaplamalar, temel tabakası üstüne asfalt, katran ya da ikisini karıştırarak serimi gerçekleştirilir. Daha sonra üzeri agrega ile kaplanır ve sıkıştırılır. Bu hem ekonomik hem de kolaylıkla yapılan bir yöntem olarak esnek üstyapısında kullanılır. Fakat bu yöntem ağır trafik yüklerinin olduğu, hava sıcaklığının yüksek olduğu ve kış mevsiminde tuzlama gerektirecek yollarda uygulanamamaktadır [45].

Çizelge 7.11. Sathi kaplama gradasyonları [48]

Elekler		% Geçen				
Elek	Elek Çapı (mm)	A-Tipi	B-Tipi	C-Tipi	D-Tipi	E-Tipi
1"	25	100	100			
3/4"	19	0 - 20	90 - 100	100		
1/2"	12,5	0 - 10	0 - 20	90 - 100	100	
3/8"	9,5		0 - 10	0 - 20	90 - 100	100
1/4"	6,3					90 - 100
No.4	4,75	0 - 2	0 - 2	0 - 2	0 - 20	60 - 85
No.10	2,0				0 - 2	0 - 2

Çizelge 7.12. Çift katlı sathi kaplama tipleri [48]

	Çift Kat Tip-1	Çift Kat Tip-2	Çift Kat Tip-3
2.Kat	C-Tipi	D-Tipi	E-Tipi
1.Kat	A-Tipi	B-Tipi	C-Tipi

Çizelge 7.13. Agrega özellikleri [48]

Deney	Şartname Limiti ^c	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	$\leq 30 (LA_{30})$	TS EN 1097-2 ^a AASHTO T-96
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (Donma Deneyi, MgSO ₄ ile), % Kayıp	$\leq 18 (MS_{18})$	TS EN 1367-2
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , % Kayıp	$\leq 25 (M_{DE}25)$	TS EN 1097-1
Kırılmışlık, ağırlıkça, % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 80 - \leq 0 (C_{300})$	TS EN 933-5
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	TS EN 12697-11 (EK-A)
Yapışma Deneyi (Vialit Metodu ile) Düşen mıcır sayısı, %	≤ 10	EK-B
Cilalanma Değeri	$\geq 40 (PSV_{40})$	TS EN 1097-8
Yassılık İndeksi, %	≤ 25	BS 812
	$\leq 20 (FI_{20})$	TS EN 933-3 ^a
Su Emme, %	$\leq 2,5 (WA_{24}2.5)$	TS EN 1097-6 (Madde 8)
Kil Topakları ve Ufalanabilir Tane Oranı, %	$\leq 0,3$	ASTM C 142 AASHTO T 112
^a Referans metot. ^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır. ^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043'deki sınıfını gösterir.		

7.1.1.3.2. Beton Asfalt (Asfalt betonu) Kaplamalar

Yoğun taşıt trafiği olan yollarda, otoyollarda, hava meydanlarında kullanılan asfalt betonu yollar, oranları şartnamelerle belirlenmiş agrega ve bağlayıcının kontrol altındaki koşullarda karıştırılması ile elde edilir. Asfalt betonu genel anlamı ile binder ve aşınma tabakalarından oluşur [53]. Binder ve aşınma tabakalarında kullanılacak agrega özellikleri Tablo 7.14., Tablo 7.15. ve Tablo 7.16.'da görülmektedir.

Beton asfalt kaplamalarda kullanılacak agregalar; kaba, ince ve mineral filler hallerinde 3 çeşit gruplandırılarak hazırlanır.

Çizelge 7.14. Binder tabakası için gradasyon limitleri [48]

Elek Boyu mm (in, No)	% Geçen
25 (1")	100
19 (3/4")	80 - 100
12,5 (1/2")	58 - 80
9,5 (3/8")	48 - 70
4,75 (No.4)	30 - 52
2,00 (No.10)	20 - 40
0,425 (No. 40)	8 - 22
0,180 (No. 80)	5 - 14
0,075 (No. 200)	2 - 7

Çizelge 7.15. Aşınma tabakası için gradasyon limitleri [48]

Elek Boyu Mm (in, No)	TİP-1	TİP-2	TİP-3 Çok İnce Aşınma
19 (3/4")	100		
12,5 (1/2")	88 - 100	100	100
9,5 (3/8")	72 - 90	80 - 100	90 - 100
6,0 (1/4")	-	-	25 - 33
4,75 (No.4)	42 - 52	55 - 72	23 - 31
2,00 (No.10)	25 - 35	36 - 53	20 - 27
0,425 (No.40)	10 - 20	16 - 28	12 - 18
0,180 (No.80)	7 - 14	8 - 16	
0,075 (No.200)	3 - 8	4 - 8	7 - 11

Çizelge 7.16. Mineral fillerin gradasyon limitleri [48]

Elek Boyu Mm (No)	Ağırlıkça % geçen
0,425 (No.40)	100
0,075 (No.200)	70 - 100

Çizelge 7.17. Kaba agreganın fiziksel ve kimyasal özellikleri [48]

Deney	Şartname Limitleri ^a		Deney Standardı
	Binder	Aşınma	
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 30 (LA_{30})	≤ 27 (LA_{27})	TSEN 1097-2* (AASHTO T 96)
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , % Kayıp	≤ 25 ($M_{DE} 25$)	≤ 20 ($M_{DE} 20$)	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, ($MgSO_4$ ile kayıp), %	18 (MS_{18})	16 (MS_{16})	TS EN 1367-2
Kırılmışlık, ağırlıkça % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 95 - \leq 0$ ($C_{95/0}$)	$\geq 95 - \leq 0$ ($C_{95/0}$)	TS EN 933-5
Yassılık İndeksi, %	≤ 30	≤ 25	BS 812
	≤ 25 (FI_{25})	≤ 20 (FI_{20})	TS EN 933-3*
Cilalanma Değeri, %	≥ 35 (PSV ₃₅)	≥ 50 (PSV ₅₀)	TS EN 1097-8
Su Emme, %	$\leq 2,5$ ($WA_{2,5}$)	$\leq 2,0$ ($WA_{2,0}$)	TS EN 1097-6
Soyulma Mukavemeti, % Bitümlü Kaplı Yüzey (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	≥ 60	TS EN 12697-11 (Kısım 403 EK-A)
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	ASTM C 142 AASHTO T 112

^a Referans metot.
^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır.
^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043 'deki sınıfını gösterir.

Çizelge 7.18. İnce agreganın özellikleri [48]

Deney	Şartname Limitleri		Deney Standardı
	Binder	Aşınma	
Plastisite İndeksi %	NP	NP	TS 1900-1
Organik Madde, (% 3 NaOH ile)	Negatif	Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme, %	$\leq 2,5$ ($WA_{2,5}$)	$\leq 2,0$ ($WA_{2,0}$)	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm kısına	$\leq 1,5$ ($MB_{1,5}$) $\leq 3,0$ ($MB_{3,0}$)*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısına	$\leq 3,0$ ($MB_{3,0}$)*	

* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.

Çizelge 7.19. Asfalt betonu dizayn kriterleri [48]

Özellikler	Binder		Aşınma TİP-1, TİP-2		Aşınma TİP-3		Deney Standardı
	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		75		75		TS EN 12697-30
Marshall Stabilitesi, kg	750	-	900	-	400	-	TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	6	3	5	5	12	TS EN 12697-8
Asfaltla Dolu Boşluk, %	60	75	65	75	-	-	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk, (VMA) %	13	15	14	16	-	-	TS EN 12697-8
Akma, mm (10 ⁻² in)	2 (8)	4 (16)	2 (8)	4 (16)	2 (8)	4 (16)	TS EN 12697-34
Filler/Bitüm Oranı	-	1,4	-	1,5			
Bitüm (ağırlıkça, 100'e)	3,5	6,5	4,0	7,0	5,0	8,0	TS EN 12697-1
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Direnci, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oranı, min. %	80		80		80		AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60 °C'de), maks. %	-		8		-		TS EN 12697-22
Tekerlek İzinde Oturma (3.000 devirde, 60 °C'de 5 cm kalınlığında numune), maks. %					7		TS EN 12697-22
Not: Tabakalar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48'e göre yapılabilecektir.							

7.1.2. Yarı Rijit Üstyapı

Yarı rijit üstyapılar, rijit üstyapı tabakası üzerine esnek üstyapı tabakasının eklenmesiyle oluşan kompozit bir yapıdır. Esnek tabaka düzgün sürüş yüzeyi ve konfor sağlarken, rijit tabaka temelini sağlam ve sert olmasını sağlar. Trafiğin yoğun, dingil yüklerinin fazla olduğu yollarda tercih edilir. Kullanım ömrünü arttıran ve bakım sıklığını azaltan bir üstyapı şeklidir [41].

7.1.3. Rijit Üstyapı

Yüksek eğilme dayanımına sahip ve kaplamanın betonarme olarak tek tabakalı bir plak şeklinde tasarlandığı ve kaplama tabakası ile yükleri dağıtan bir üstyapı tipidir. Boyuna sürekli donatılı veya kesikli donatılı olarak inşa edilebilmektedir [54].

7.2. Karayolu Altyapısı

Karayolu altyapısı; önceden hazırlanmış geometrik standartlara uygun olan güzergâh boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirmek için, dolgu ve yarma işlemleri yaparak oluşturulur. Altyapı; tesviye yüzeyi ile doğal zemin arasında kalan kısımdır.

Altyapının görevleri; projelendirilmiş olan kotta düzgün bir yüzey oluşturmak, üstyapıdan iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymaktır. Köprü, viyadük, menfez ve istinat duvarı gibi sanat yapıları altyapı olarak değerlendirilir [55].

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1. Agregaya Uygulanan Deneyler

8.1.1. Elek Analizi

Agrega numunesinin standart elekler yardımıyla dane boyutunun belirlenmesi işlemidir.

Elekler: Elek aralıkları 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 0,425 mm, 0,180 mm, 0,075 mm olan elekler kullanılır. Elek serisinin en üstünde kapak ve en altında tava bulunur.

Terazi: En az 0,1 gram hassaslığa sahip terazi.

Etüv: 165 °C sıcaklığın ayarlanabildiği etüv.

Tepsiler ve Fırçalar: Agregaların yıkanması ve kurutulması sırasında kullanılan ekipmanlar.



Şekil 8.1. Elekler, terazi ve etüv.

- Elek analizi yapılacak olan agregaya numunesi önce yıkanır ve daha son 110 °C'deki etüvde 24 saat kuruması için bekletilir. Sıcaklığı oda sıcaklığına geldiğinde tartım işlemi yapılır.

- Elek numaraları sırasıyla 1, 1/2, 3/8, No:4, No:10, No:40, No:80, No:200'dür, en üstte 1 inç ve en altta No:200 olacak şekilde sıralanır.
- Eleme işlemi; elenecek olan agreganın numunesinin 1 inç'lik (en büyük delikli) eleğe konulması ile başlar ve sarsma makinası veya elle elenerek agregaların sınıflarına ayrılır. Bu işlem her elek numarası için 2 dakika yapılmaktadır. (aynı işlem elek makinası yerine elle de yapılabilir.)
- Elekten geçen agreganın miktarı, elek üstünde kalan agreganın miktarının %1'inden az olduğu zaman eleme işlemini bitirip diğer elemeye geçilebilir.
- Tüm bu işlemler sonucunda her elek üstünde kalan malzeme hassas terazi ile tartılır [56,57].

Her bir elek üzerinde kalan agreganın yüzdesi, hangi elek için hesap yapıyorsak o elek üzerinde kalan agreganın ağırlığının deneye başlarken aldığımız toplam agreganın miktarına oranlanması ile bulunur.

$$S_u = \frac{(W_u)}{(W_0)} \times 100 \quad (8.1)$$

S_u : Hesaplanan elek boyutu için elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

W_u : Hesaplanan elek boyutu için elek üstünde kalan malzeme ağırlığı (gr)

W_0 : Deneyde kullanılan toplam agreganın ağırlığı (gr)

8.1.2. Aşınmaya Karşı Dayanıklılık ve Aşınma Kaybı Deneyi (Los Angeles Deneyi)

No:4 numaralı elek üzerinde kalan malzeme kaba agreganın olarak isimlendirilir ve Los-angeles aşınma deneyi genellikle kaba agregaların üzerinde uygulanır. Agregaların aşınmaya karşı dirençlerini tayin etmek amacıyla yapılır.

Bilyeli tambur: İçerisi boş silindirik şekilde tamburdan oluşan bir aşındırma mekanizmasıdır. Tamburun iç yarıçapı 35 cm, iç uzunluğu 50 cm'dir. Uzunluğu doğrultusunda kendi eksenini etrafında dönecek şekilde yataklanmıştır. Bir dakikada 30-35 dönüş yapabilmelidir.

Aşındırma bilyeleri: Dökme demir veya çelikten yapılmış olan ortalama 4,8 cm çapında ve ağırlığı 390-450 gr aralığında değişen 12 tane bilyedir.



Şekil 8.2. Tambur ve bilyeler

- Los Angeles deneyi uygulanacak olan agrega önce yıkanır ve daha sonra elenerek boyutlarına göre sınıflandırılır. Etüvde kurutma işleminden sonra deneye tabii tutulacak olan numune tipi, belirli miktarda alınarak tambur içerisine konulur (W_1).
- Gradasyonu belirlenmiş olan numune için standartlara göre tambur içerisinde ne kadar bilye konulması gerektiği çizelge 8.1.'den bakılarak karar verilir.

Tambur içerisinde numune ve bilyelerle birlikte kapağı sıkıca kapatıldıktan sonra hızı 1 dakikada 30-35 devir olacak şekilde 100 devir yaptırılır. Numune alınarak 1,4 mm elekten elenir ve elek üstü malzeme hassas terazi ile tartılır (W_2).

Çizelge 8.1. Numune tipleri, bilye sayıları ve ağırlıkları

Numune Tipi	A	B	C	D	E	F	G
Bilye Sayısı	11	8	6	12	12	12	11
Bilye Ağırlıkları	4575 ± 25	3325 ± 20	2500 ± 15	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25	4575 ± 25

- İşlem sonunda hem elek üzerinde hem de elek altında kalan tüm malzeme ve bilyeler yine tambura yerleştirilir. A, B, C, D tipi için ek 400 devir, E, F, G tipi için ise ek 900 devir daha yaptırılır. Numune alınarak 1,4 mm elekten elenir ve elek üstü malzeme hassas terazi ile tartılır (W_3) [58].

Agreganın aşınma kaybı; 100 ve 500-1000 devir için 1,4 mm elek altında kalan malzemenin ilk malzeme ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanır ve formüle hali 8.2 ve 8.3'de görülmektedir.

$$a_1 = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_1)} \times 100 (\%) \quad (8.2)$$

$$a_2 = \frac{(W_1 - W_3)}{(W_1)} \times 100 (\%) \quad (8.3)$$

a_1 : 100 devir sonucundaki aşınma kaybı yüzdesi

a_2 : A, B, C, D tipi için 500 devir; E, F, G tipi için 1000 devir sonucundaki aşınma kaybı yüzdesi

W_1 : Deneyde kullanılan toplam numune miktarının etüv kurusu ağırlığı (gr)

W_2 : 100 devir sonucu elek üstü kalan ağırlık (aşınmayan) (gr)

W_3 : 500-1000 devir sonucu elek üstü kalan ağırlık (aşınmayan) (gr)

8.1.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık

Doğal agreganın bitümlü sıcak karışımlarda kullanılıp serilmesi sonucunda karşı karşıya kalacağı sürekli donma çözülme etkisinin laboratuvar ortamında doygun magnezyum sülfat (MgSO₄) çözeltisiyle önceden tayin edilmesi işlemidir.

Deney elekleri: ASTM E 11, E 233'e uygun standart deney elekleri

Terazi: ±0,1 gr hassas terazi

Metal tepsiler: Dikişsiz çekilmiş ya da kaynaklı 0,6 mm et kalınlığına sahip korozyona dayanıklı malzemelerden oluşan 2 L kapasiteli, 120-140 mm'lik iç çap ve 170-220 mm'lik iç yüksekliğe sahip metal tepsilerdir.

Su: Deiyonize ya da damıtılmış su.

Reaktifler: Magnezyum sülfat (MgSO₄)

Etüv: Sıcaklığı 110 °C'de sabitlenebilen havalandırılmalı etüv.

- Malzemeye deiyonize ya da damıtılmış su tepsi içerisindeki malzemenin üzerini 10 mm geçecek şekilde eklenir. Kapakları kapatılarak 20 ± 3 °C' de, 24 ± 1 saat süreyle atmosfer basıncı altında tutulur.

- İki tarafından da aynı miktarda ısı alabilmesi için tepsiler ile dolabın yandaki duvarları arası 50 mm'den fazla olmalı ve tepsiler birbirine değmemelidir. Bu şekilde tepsiler dolaba yerleştirilir.
- Dolaptaki örneğe 10 kere donma-çözülme işlemi gerçekleştirilir. Sıcaklık 150 ± 30 dakikada 20 ± 3 °C' den 0 (sıfır) °C' ye düşürülür ve 210 ± 30 dakika süreyle 0 °C' de tutulur. Daha sonra 180 ± 30 dakikada 0 (sıfır) °C' tan -17,5 ± 2,5 °C' a düşürülür ve en az 240 dakika süreyle -173,5 ± 2,5 °C' ta tutulur.
- Deney süresince, hava sıcaklığı -22 °C'nin altına inmesine engel olunur.
- Her bir döngü tamamlandıktan sonra, kutu muhtevası, yaklaşık 20 °C' deki suya batırılmak suretiyle çözülür. Sıcaklık, (20 ± 3) °C' a ulaştığı anda, çözme işlemi hemen hemen tamamlanmış sayılır.
- Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra, kutular (20 ± 3) °C' ta ki suda en fazla 10 saat süreyle tutulur. Her bir donma-çözülme döngüsü, 24 saat içinde tamamlanmalıdır. Deney sonucunda numune tartımı yapılır [35].

$$\text{Donma kaybı (F)} = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_1)} \times 100 (\%) \quad (8.4)$$

M₁: Deney öncesi numune kuru ağırlığı

M₂: Deney sonrası numune kuru ağırlığı

8.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

8.1.4.1. İri Agrega için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Terazi: 20 kg çekerli, 1 gr duyarlı ve su içinde de tartım yapabilen bir terazi.

Kafes örgülü sepet: 4 mm elek açıklıklı telden yapılmış sepet.

Kova: Kafes örgülü sepetin sığabileceği kova.

Bezler: Havlu ya da bez.

Özgül ağırlık sehpa: Suda tartım yapmaya yardımcı sehpa.



Şekil 8.3. Özgül ağırlık sehпасı

- Tepsiyе yerleştiren agregalar 24 saat suda bekletirler daha sonra çıkartılıp yüzeyi kurulanır ve doyun kuru yüzey halinde tartılır.
- Tartım işlemi ardından sepete konularak su ile dolu kovaya daldırılırlar. Su seviyesinden en az 5 cm aşağıya daldırılmalı ve daneler arasındaki hava boşlukları olmayana dek tokmakla kovaya vurulmalıdır.
- Sepet kovaya değmeyecek konuma getirilerek doyun sudaki ağırlığı tartılır.
- Sonrasında çıkarılan numune etüve konularak etüv kuru haline getirilir ve çıkartılır.
- Oda sıcaklığına getirilerek havadaki kuru ağırlığı kaydedilir [59].

$$\text{Hacim özgül ağırlık} = \frac{A}{B-C} \quad (8.5)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlık} = \frac{A}{A-C} \quad (8.6)$$

$$\text{Absorbsiyon \%} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (8.7)$$

A: Kuru numunenin havadaki ağırlığı (gr)

B: Numunenin doymun kuru yüzey ağırlığı (gr)

C: Numunenin sudaki ağırlığı (gr)

8.1.4.2. İnce Agrega için Özgöl Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Terazi: $\pm 0,1$ gr hassas terazi

Tablalı ya da hava üflemeli ısıtıcı: Deney numunesinin yakın çevresini, $105 \pm 5^\circ\text{C}$ çıkarabilecek güçte hava üfleyerek ısıtmaktadır.

Piknometre: 0,5 veya 1 litrelik cam ölçü kabı kullanılır.

Cam levha: Ölçü kabının üzerini kapatmak için kullanılır.

Metal kalıp: Üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm, yüksekliği 73 mm kesik koni şeklinde metal kalıp.

Sıkıştırma çubuğu: 25 mm çaplarında, ucu yuvarlatılmamış, 350 gr ağırlığında, pirinçten çubuk.

Bezler: Havlu ya da bez.

Termometre: 1°C bölüntülü termometre.

- Numune tartımı yapılır ve 1 gün boyunca suda bekletilir daha sonrasında içindeki malzeme kaybı olmayacak biçimde içindeki su süzülür ve tava içine ince bir tabaka halinde serilir. Tablalı ısıtıcı ile kurutulur. Numune aşırı kurutulmamalıdır. Doymun kuru yüzey haline gelen numune tartılır ve ağırlığı kaydedilir. Daha sonra etüv kurusu haline getirilir.
- Desikatöre yerleştirilerek oda sıcaklığına getirilir. Piknometre tartılarak kaydedilir. Oda sıcaklığına gelen numune piknometre içerisine yerleştirilerek tekrar tartılıp değer kaydedilir. Numunenin kuru ağırlığı piknometre ile birlikteki tartımdan piknometre ağırlığı çıkartılarak bulunur.
- Piknometre 20°C ' deki su ile yarısına kadar doldurulur ve yatay bir zemin üzerinde yavaşça vurularak ve döndürülerek içerisindeki hava kabarcıklarından giderilmesi sağlanır.
- Bir saat beklemenin ardından piknometre 0,5 veya 1 litre işaret çizgisine kadar suyla doldurulup tartılır.
- Bu ağırlıktan numune kuru ağırlığı çıkarılarak cam ölçü kabı + su ağırlığı bulunur [59].



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

Şekil 8.4. Deney yapış sırası

$$\text{Zahiri özgöl ağırlık} = \frac{E}{B+E-D} \quad (8.8)$$

$$\text{Hacim Özgöl ağırlık} = \frac{E}{B+C-A-D} \quad (8.9)$$

$$\text{Absorbsiyon (\%)} = \frac{C-A-E}{E} \times 100 \quad (8.10)$$

A: Piknometre Ağırlığı (gr)

B: Piknometre + Su Ağırlığı (gr)

C: Piknometre + Doymun Kuru Yüzey (D.K.Y.) Numune Ağırlığı (gr)

D: Piknometre + Numune+ Su Ağırlığı (gr)

- E: Kuru Numune Ağırlığı (gr)
F: Zahirî Özgül Ağırlık (gr)
G: Hacim Özgül Ağırlığı (gr)
H: Absorbsiyon (%)

8.1.4.3. Filler için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Filler için özgül ağırlık ve su emme deneyi için kullanılan deney aletleri ve yapılışı ince agregaya uygulanan özgül ağırlık ve su emme deneyi ile aynıdır bu yüzden bu kısımda tekrar anlatılmaya gerek duyulmamıştır. Fakat bu deney sonucu filler için sadece zahiri özgül ağırlık değeri hesaplanır. İnce agregada olduğu gibi hacim özgül ağırlığı ve absorpsiyon değerleri filler için hesaplanmaz.

$$\text{Zahirî özgül ağırlık} = \frac{C-A}{B-A-D+C} \quad (8.11)$$

- A: Piknometre Ağırlığı (gr)
B: Piknometre + Su Ağırlığı (gr)
C: Piknometre + Kuru Numune Ağırlığı (gr)
D: Piknometre + Numune + Su Ağırlığı (gr)
E: Zahirî Özgül Ağırlık (gr)

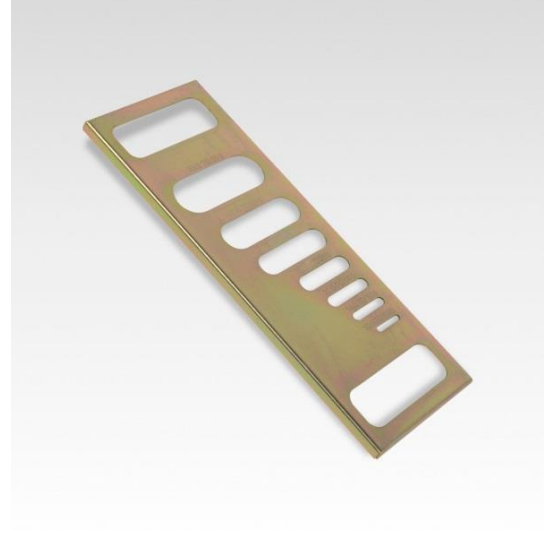
8.1.5. Yassılık İndeksi

İki elek boyutunun aritmetik ortalamasına nominal dane boyutu denir. Elek arasında kalan en küçük danenin, en büyük daneden 0,6'sından küçük olan daneler yassı olarak adlandırılması esasına dayanan bir deneydir.

Terazi: ±0,1 gr hassas 2 tane terazi. (en az 15 kg ve 2-3 kg kapasiteli)

Elek: Yassılık indeksi tayini elek seti.

Yassılık indeksi şablonu: Üzerinde elipsoit açıklığa sahip deliklerin olduğu şablon.



Şekil 8.5. Yassılık indeksi elekleri ve şablonu

- Deney öncelikle malzemeye elek analizi yapılarak başlanır ve dane boyutu dağılımı 63 mm elekten geçen 6,3 mm elek üstünde kalan arasında kalacak biçimde ayrılır.
- Yassılık elek seti kullanılarak elek aralığı Çizelge 8.2.'deki miktarda olacak şekilde deney numuneleri ayarlanır.

Çizelge 8.2. Deneye alınacak numunenin elek açıklık aralığı ve kullanım miktarı.

Elek Açıklıkları (mm)	Her Fraksiyon için Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63 - 50	25
50 - 37,5	18
37,5 - 25	8
25 - 19	2,5
19,0 - 12,0	1
12,0 - 9,5	0,5
9,5 - 6,3	0,25

- Ayarlanan numunelerin dane boyutu dağılımına göre elekler arasındaki malzeme miktarı %5 'ten azsa o aralıktaki malzeme deneye tabi tutulmaz ve yassı dane oranı sıfır olarak alınır.
- İki elek arasındaki malzemeler, kendi elek açıklığına göre şablonlarından geçip geçmediği, el ile birer birer denendir ve her grubun yassı danelerinin ağırlığı tartılıp kaydedilir [45].

$$\text{Yassılık İndeksi (\%)} = \frac{M_2 \times 100}{M_1} \quad (8.12)$$

M_1 : Deneye alınan malzeme ağırlığı (gr)

M_2 : Deneyde çıkan yassı malzeme ağırlığı (gr)

8.1.6. Agreganın Birim Ağırlık Deneyi

Terazi: $\pm 0,1$ gr hassas terazi.

Şişleme çubuğu: Çelikten yapılmış, 60,0 cm yüksekliğinde, 1,6 cm çapında çubuk.

Ölçü kabı: Kullanımı esnasında bozulmayacak maddelerden yapılmış, iki tarafında kulpu bulunan silindirik şekilde farklı hacimlerde kaplar.

8.1.6.1. Sıkışık Birim Hacim Ağırlık

- Bir miktar numune alınıp tartılır ve etüvde $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur.
- Deney ölçü kabı agreganın dane büyüklüğüne göre seçilir.
- Hacmi bilinen boş deney kabının ağırlığı tartılır. (M_1)
- Deney numunesi kabı 1/3 yüksekliğine kadar doldurulup 25 defa şişleme çubuğu ile şişlenir. (Şişleme esnasında çubuğun kap tabanına değmemesine dikkat edilmelidir.)
- Kabın diğer 1/3'lük kısımları doldurularak işlemler tekrarlanır.
- Son işlemde fazladan agreganın konulur ve agreganın fazlası şişleme işleminden sonra sıyırılır.
- Agreganın dolu ölçü kabı tartılır. (M_2)

$$B_s = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (8.13)$$

M_1 : Boş deney kabı ağırlığı (kg)

M_2 : Boş deney kabı ağırlığı + Kabı dolduran sıkışık agreganın ağırlığı (kg)

V : Ölçü kabı hacmi (m^3)

8.1.6.2. Gevşek Birim Hacim Ağırlık

- Bir miktar numune alınıp tartılır ve etüvde 105 °C’de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur.
- Deney ölçü kabı agrega dane büyüklüğüne göre seçilir.
- Hacmi bilinen boş deney kabının ağırlığı tartılır. (M₁)
- Deney numunesi kabı taşıyacak biçimde doldurulur ve agregalar sıkıştırılmamalıdır.
- Kap üzerindeki agrega fazlası sıyırılır.
- Gevşek agrega dolu ölçü kabı tartılır.

$$B_g = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (8.14)$$

M₁: Boş deney kabı ağırlığı (kg)

M₂: Boş deney kabı ağırlığı + Kabı dolduran gevşek agrega ağırlığı (kg)

V: Ölçü kabı hacmi (m³)

8.1.7. Cilalanma Deneyi

Aşınma tabakasına serilecek olan bitümlü sıcak karışımda kullanılan agregaların serim sonunda trafik yükleri ve çevresel etkilere karşı ne derece cilalanması gerektiğini hesaplayabilmek için uygulanan bir deneydir.

Terazi: ±0,1 gr hassas terazi.

Elek seti: 1,6 mm, 8,0 mm, 10 mm, 11,2 mm (veya 12,5mm) ve 14,0 mm gözlü elekler.

Hava dolaşımli etüv: Sıcaklığını 110 ± 5 °C’de sabitleyen etüv.

Gerekli gereç: Elenmiş numuneyi yıkamak için.

Ölçülü cam silindir: Yaklaşık 2,5 L cam silindir.

- Her deney numunesi farklı tamburlara yerleştirilir ve tamburların içerisine 5000 ± 5 gr’lık yük meydana getirmek amacıyla çelik bilyeler eklenir.
- Her bir tambura yaklaşık 2,5 L su konulur ve (100 ± 5) devir/dk. hız ile (12000 ± 10) devir oluncaya kadar döndürülür.

- Dönüş sonucunda agregalar ve bilyeler bir kaba alınır. Tüm malzeme ve su, 8 mm'lik elek ile korunan 1,6 mm'lik eleğe aktarılır ve temiz su ile yıkanır. Sonrasında agregalar ve bilyeler birbirinde ayrılır.
- 8 mm'lik koruyucu elekte kalan agregalar ve 1,6 mm'lik elekte kalan agregalar bir tepsi içine konulur. Agregalar etüvde kurutulur. 1,6 mm'lik elekte kalan agrega miktarı kaydedilir [50].

$$\text{Mikro-deval katsayısı (MDK)} = \frac{500-m}{5} \quad (8.15)$$

MDE: Mikro deval katsayısı (yaş)

m: 1,6 mm'lik elek üstünde kalan agrega miktarı (gr)

8.1.8. Metilen Mavisi Deneyi

Agrega içeriğindeki kil miktarı tayini için kullanılır. Metilen mavisi negatif yüklüdür ve pozitif yüklü kil minerallerinin üzerini kaplar ve bu şekilde kağıda damlatılan çözelti miktarındaki rengin açılmasıyla hesaplanır.

Elek: 2 mm altındaki malzemeye uygulandığı için No:10 elek.

Terazi: ±0,1 gr hassas terazi.

Etüv: 110 ± 5 °C sıcaklığında sabitlenebilen etüv.

Beher: Hazırlanan karışımın konulması için gerekli.

Metilen çözeltisi:

Pipet: 5ml metilen çözeltisi ilavesinde kullanılmak üzere pipet.

Karıştırıcı: 600 devir/dk ve 400 devir/dk' ya ayarlanabilen karıştırıcı.

- Agreg a numunesi No:10 elekten elenir ve No:10 altında kalan numune etüvde 110 ± 5 °C sıcaklığında kurutulur. 1 gr hassasiyetle 200 gr deney numunesi tartılır.
- Tartılan numune üzerine 500 ± 5 ml'lik damıtılmış veya demineralize su konulur 5dk 600 devir sonunda karışıma 5 ml metilen çözeltisi eklenir. Çözelti ilave edildikten sonra karıştırıcı 400 devir/dk' ya ayarlanır ve 1 dakika boyunca karıştırılır.

- Her boya ilavesinden sonra cam çubuk ile süspansiyondan alınan bir damla alınır ve damla süzgeç kâğıdına damlatılır. Alınan damlanın miktarı, birikinti çapı 8 – 12 mm arasında kalacak şekilde olmalıdır.
- Süzgeç kâğıdına damlatılan damlaların renginin açık mavi bir halka haline gelene kadar aynı işlemler tekrar eder [61,62]. (tekrar eden işlem metilen mavisi çözeltisinin damlatılması ve 400 devir/dk karıştırılarak süzgeç kâğıdına damlatılması)



(1)

(2)

(3)

Şekil 8.6. Numune tartımı, karıştırılması ve metilen mavisi eklenmesi.

$$MB = \frac{V1}{M1} \times 10 \quad (8.16)$$

V1: Toplam karışıma eklenen metilen mavisi miktarı (ml)

M1: 0-2 mm arasındaki kurutulmuş deney numunesi miktarı (gr)

8.2. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler

8.2.1. Penetrasyon Deneyi

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan bu deney belirli bir süre ve sıcaklık içerisinde standart bir iğnenin belirli bir yük altında bağlayıcıya dikey bir şekilde düşürülmesiyle iğnenin batma miktarı belirlenir ve bitüm kıvamı tayin edilir.

Penetrometre: Kalibre edilmiş otomatik penetrasyon aleti.

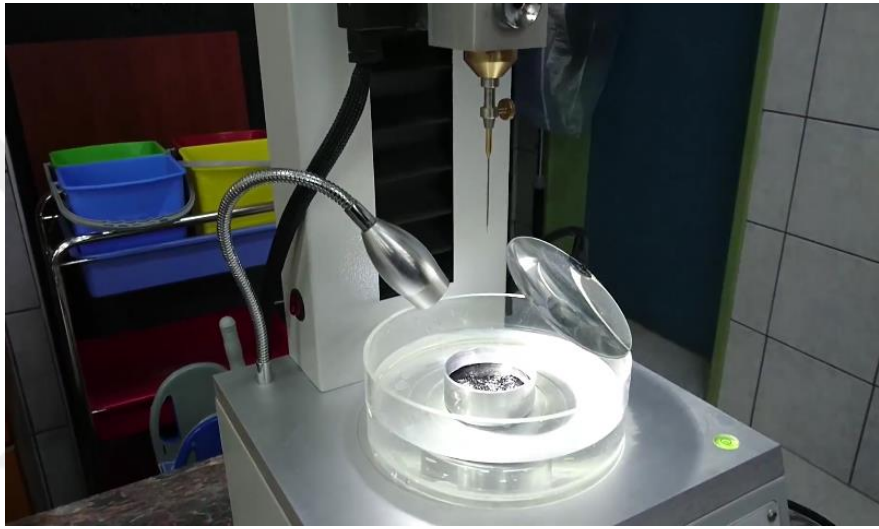
Penetrasyon iğnesi: TS 2535'e uygun standartlarda iğne.

Numune kabı: Silindirik biçimli iç çapı 55-70 mm arasında kalacak şekilde metal veya camdan yapılmış kap.

Su Banyosu: 25 °C'ye ayarlanabilen su banyosu.

Beher: En az 350 cm³ hacme sahip kap.

Zaman ölçer: 0.1 sn ölçüm yapan alet.



Şekil 8.7. Penetrasyon aleti

- Tanklarla getirilen bitümden deney için kullanılmak üzere bir miktar alınıp laboratuvara getirilir. Getirilen bitüm 140 °C'lik etüvde bekletilir ve numune kaplarına konulur.
- İçerisindeki hava boşluklarının kaybolması için tekrar etüve yerleştirilir ve 140 °C'de 1 saat bekletilir.
- Etüvden çıkartılan numune oda sıcaklığına gelene kadar bekletilir.
- Su havuzu 25 °C'ye ayarlanır ve bitüm numunesi 60-90 dakika içerisinde kalır.
- Numune penetrasyon aletine yerleştirilir ve 100 gram ağırlığına sahip penetrasyon iğnesi, numune yüzeyine kadar ama batmayacak şekilde ayarlanır. İğne belirli aralıklarla serbest bırakılır ve 5 sn sonundaki penetrasyon değeri okunur.
- Bir numune için en az 10 mm mesafe olacak şekilde 3 farklı noktaya ölçüm yapılır.

- Ölçümler arasındaki fark Çizelge 8.3'deki gibi olmalıdır aksi takdirde deney geçersiz sayılır [63].

Çizelge 8.3. Bir numuneye uygulanan 3 farklı ölçüm arasındaki fark sınırları

0.01 mm olarak penetrasyon	<49	50-149	150-249	>250
Aradaki maksimum fark	2	4	6	8

Penetrasyon cihazında okunan batma miktarı mm cinsindedir ve penetrasyon değeri cinsine 10 ile çarpılarak getirilir. Bir deney numunesine en az 3 kere okuma yapıldığı için kabul gören 3 okumanın aritmetik ortalaması alınarak yuvarlama işlemi yapılır. Bu değer bitümün penetrasyon derecesidir.

8.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümün yüksek sıcaklık karşısındaki davranışını, kıvamlılığını belirlemek için yapılan bir deneydir.

Isıtıcı: Otomatik deney cihazı.

Su: Damıtılmış su veya yeni kaynamış su.

Halkalar: Hammaddesi pirinç olan, uygun ebatlı ve omuzları kare biçimli iki tane halka.

Bilyeler: Çapı $9,50 \pm 0,05$ mm, ağırlığı $3,5 \pm 0,05$ gr iki tane çelik bilye.

Kap: 600 ya da 800 cm³ hacimli beher.

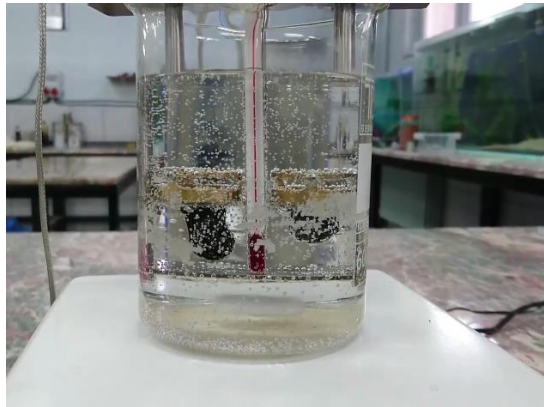
Karıştırıcı: Banyoda homojen bir sıcaklık elde etmek amacıyla kullanılan beher zemininde dönebilen mıknatıs.

Termometre: Cıvalı termometre.



Şekil 8.8. İçerisine bitüm yerleştirilen halkalar

- Bitümün yumuşama sıcaklığı 90°C 'yi aşmayacak biçimde ısıtılır.
- Halkalar içine taşmayacak biçimde bitüm konur ve oda sıcaklığında 30 dakika civarında bekletilir.
- Başlangıçta sıcaklığı 5°C olacak şekilde behere su doldurulur.
- Numuneler, bilye sabitleme aparatı ve termometre beher içine ve beher de ısıtıcı üstüne yerleştirilir.
- Karıştırma işlemi gerçekleşirken aynı zamanda su sıcaklığı dakikada 5°C arttırılacak biçimde ısıtıcı ayarlanır.
- Halkalar içindeki bitümün, bilyelerle beraber aşağıya sarkan kısmı beher zeminine değdiği sırada termometreden sıcaklık değeri okunur. Bu değer yumuşama noktasıdır [64,65].



Şekil 8.9. Bitüm aşağıya sarkması anı

Halkalar içerisindeki bitümün beher tabanına değdiği andaki okunan termometre sıcaklığı yumuşama noktası değeridir.

8.2.3. Düktilite Deneyi

Bitümün yavaş etkiyen yükler altındaki kopmadan uzayabilme yeteneğinin ölçülmesidir.

Kalıp: Standarttaki ölçülere göre düktilite kalıbı.

Su banyosu: Su banyosu en az 10 L su hacmine sahip ve sıcaklığının ayarlayabilir bir cihazdır.

Tuz ve metil alkol: Suyun özgül ağırlığının ayarında kullanılır.

Düktilite cihazı: Bitümlü deney briketinin, su içerisinde titreşim yapmaksızın çekiminde, kalıbın her iki parçasını ters yönlerde sabit bir hızla çekilmesini sağlayan alettir.

- Bitüm yumuşama noktası sıcaklığı 90°C 'yi geçmeyecek kadar ısıtılır. Sonrasında düktilite kalıplarına dökülür. Bu şekilde 3 tane numune hazırlanır.
- Numuneler ilk önce 25°C 'ye gelmesi için yaklaşık 30 dakika oda sıcaklığında sonrasında 25°C 'deki banyo havuzunda 30 dakika bekletilir.
- Numuneler delikli uçlarından düktilite cihazına yerleştirilerek kopuncaya kadar çekme işlemine tabii tutulurlar.
- Koptuğu andaki uzama miktarı cihaz üstündeki cetvelden okunur.



Şekil 8.10. Düktilite kalıplarının hazırlanması



Şekil 8.11. Düktilite cihazı ve numunelerin çekilmesi.

Deney üç tane deney numunesine uygulanarak uzama miktarları cm cinsinden kaydedilir ve 3 değerın aritmetik ortalaması alınarak düktilite değeri hesaplanır.

8.2.4. Parlama Noktası Deneyi

Bitümün kullanım uygulamaları esnasında ısıtılırken oluşabilecek olan bir tutuşma veya alev alma durumlarının önüne geçmek amaçlarıyla bilinmesi önemlidir. Bitümün alevle etkileşimi durumunda parladığı fakat sürekli yanma işleminin gerçekleşmediği sıcaklık derecesini bulmak için yapılan bir deneydir.

Cleveland açık kap cihazı: Deney kabı, ısıtma levhası, deney alevi çubuğu ve termometreden meydana gelir.



Şekil 8.12. Cleveland deney düzeneği.

- Bitüm uygun akıcılığa gelene kadar (150-170 °C) ısıtılır sonrasında kabın çentik kısmına kadar doldurularak deney numunesi ve miktarı ayarlanır.
- Deney başındaki sıcaklığı 14-17 °C/dk ayarlanarak, tahmin edilen parlama noktasına kadar sıcaklık değeri 5-6 °C arttırılır.
- Tahmin edilen parlama noktasına ulaşılmadan 28 °C önce başlanır ve 3'er °C arttırılarak bağlayıcı üstünden deney alevi geçirilir.
- Bağlayıcı üzerinde belli bir sıcaklık değerinde tutuşma gözlemlendiği en düşük sıcaklık parlama noktası olarak kabul edilir. Parlama, bağlayıcı yüzeyinde oluşan mavimsi alev ile karıştırılmamalıdır.

8.2.5. İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi

Bağlayıcının üretimi ve kullanımı sürecinde hava koşullarına karşı göstermiş olduğu davranışının incelenmesi amacıyla yapılan bir deneydir.

Terazi: 0,1 gr hassasiyetli terazi.

Deney kabı: Hammaddesi cam veya metalden yapılmış silindir kap. (çapı: 15 cm, yüksekliği 3,5 mm)

Etüv: Düşey dönel etüv.



Şekil 8.13. Etüv

- Ağırlığı önceden belli olan deney kalıplarına $50 \pm 0,5$ gr bitümlü bağlayıcı konulur ve tartılır.
- 163 ± 5 °C'deki etüve yerleştirilen numuneler dönel tablada 5-6 devir/dk yaptırılır.
- Bu şekilde 5 saat bekletilen numuneler etüvden alınarak oda sıcaklığına gelene kadar bekletilir ve tartılır.

$$\text{Isıtma kaybı \%} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (8.17)$$

W_1 : Bitüm + numune kabı. (gr)

W_2 : Etüvden çıkartıldıktan sonra oda sıcaklığına gelmiş bitüm + numune kabı. (gr)

8.2.6. Bitümün Birim Özgül Ağırlık Deneyi

Bağlayıcı malzemelerin özgül ağırlığını bulabilmek amacıyla yapılan bir deneydir.

Terazi: 0,1 mg hassaslığında tartabilen analitik tartı.

Piknometre: Cam silindirik piknometre.

Su banyosu: Gerekli olan sıcaklığa ayarlanabilen.

- Temiz piknometre boş olarak tartılır. Devamında piknometre çizgisine kadar 25 °C saf su doldurularak tartım işlemi tekrarlanır. Her tartım titiz bir şekilde kaydedilmelidir.

- Piknometredeki su boşaltılır ve kurulanır sonrasında içerisine eritilmiş bir miktar bağlayıcı konularak tartılır. Boş kalan kısmına da su doldurularak içerisinde oluşabilecek hava kabarcıklarının önüne geçilir. Daha sonra piknometre yüzeyi su altında kalacak şekilde 25 °C'ye ayarlanmış olan su banyosuna yerleştirilir.
- Bu işlem sonucunda piknometre dışı kurularak tartılarak kaydedilir.

$$\text{Bitüm özgül ağırlığı} = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)} \quad (8.18)$$

a: piknometre ağırlığı (gr)

b: piknometre + su ağırlığı (gr)

c: piknometre + bitüm ağırlığı (gr)

d: piknometre + bitüm + su ağırlığı (gr)

8.2.7. Vizkozite Deneyi

Vizkozite deneyi, bitüm gibi bağlayıcı malzemelerin kıvamlılık özelliğini belirlemek için uygulanan bir deneydir. Malzemenin değer olarak viskozitesi arttıkça kıvamı artmakta ve yarı katı duruma geçebilmektedir.

Saybold vizkozimetre tüpü: Standarttaki ebatlara göre ve korozyona karşı dayanıklı olmalıdır.

Kronometre: 1/10 sn. hassas kronometre.

Termometre: 0,05 °C hassas termometre.

Banyo: Numune tüplerinin dikey konumda durabilmesini sağlayan, karıştırma ve soğutma işlemlerini yapabilen banyo.

- Bağlayıcı, tüpün galeri seviyesini biraz geçecek halde tüpe koyulur. (tüp 60 cm³)
- Standart tüplere yerleştirilen numune çizelgede belirtilen deney sıcaklığından yüksek ve alevlenme sıcaklığının da 10 °C düşük olmamalıdır.
- Tüpteki numune baget yardımıyla 60 saniye kadar karıştırılır.
- Toplama balonu, deney tüpü hizasına ve birinci damla kap kenarına gelecek biçimde ayarlanır. Devamında numune 160 mikronluk elek açıklığına sahip elekten

süzülerek toplama balonunda biriktirilir. İlk damla balona değdiği anda kronometre başlatılır ve balonda seviyesi belli hizaya kadar dolduğunda kronometre durdurulur.

- Aradaki kaydedilen akma süresi saniye türünden viskozite değerini verir.

Deneyde okunan kronometre saniye cinsinden kaydedilip bir düzeltme sayısı ile çarpılır ve saybolt viskozite değeri bulunur.

Saybolt universal viskozite değeri (sn) = $10 \times$ Saybolt furol viskozite değeri (sn) (8.19)

Saybolt furol viskozite değeri = deney esnasında ölçülen saniye cinsinden zaman

8.3. Bitümlü Sıcak Karışıma Uygulanan Deneyler

8.3.1. Marshall Tasarım Yöntemi

Marshall tasarım yöntemi, bitümlü sıcak karışımlara uygulanan bir deney olup stabilite ve optimum bitüm oranını tayin etmek amacıyla uygulanan bir deneydir. Deney sonunda maksimum teorik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk (VMA), asfalt dolu boşluk (Vf) değerleri hesaplanır, akma ve stabilite değerleri cihazdan okunarak kaydedilir. En az bitümle KTŞ'de belirli olan limitler arasında kalan değer optimum bitüm değeri olarak kabul edilir.

Marshall tokmağı: Marshall tokmağı ortalama 4536 gr üretilir ve silindir şeklindedir. 45,7 cm yükseklikten, serbest düşme hareketiyle numunenin sıkışmasını sağlayan cihazdır. Yol serim işleminde silindirin görevini laboratuvar koşullarında bu alet yapar.



Şekil 8.14. Marshall tokmağı

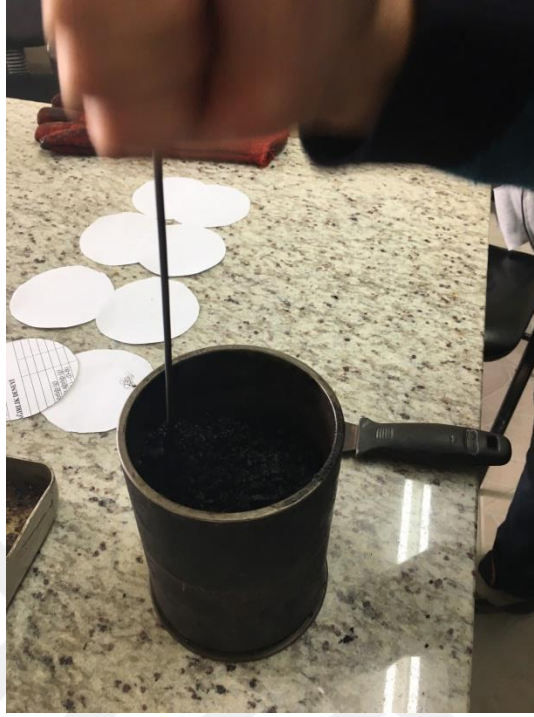
Mikser: Agregas ve bitümün homojen şekilde karışımını sağlayan cihaz.

Isıtma kabı: Agregas ve bitüm karıştırılırken ısı kaybının önüne geçmek için kullanılır.



Şekil 8.15. Mikser ve ısıtma kabı

Briket Kalıbı: 5 cm yarıçapında ve 63,5 mm yüksekliğe sahip silindir kalıp.



Şekil 8.16. Briket kalıbı

Kriko: Numuneleri kalıptan çıkartmaya yarayan alet.



Şekil 8.17. Kriko

Terazi: 0,1 gr hassasiyetli terazi.

Su banyosu Marshall test cihazından önce numuneler suda 60 °C' de sıcaklıkta tutmaya yarayan banyo.



Şekil 8.18. Su banyosu

Marshall test cihazı: Marshall numunelerinin stabilite ve akma değerlerini veren alet.



Şekil 8.19. Marshall test cihazı

- Karışım gradasyonu ayarlanmış olan agrega ve seramik atığı numuneleri toplamı 1100 gr olacak şekilde tartılmıştır ve bir gün boyunca 160 °C'lik etüve konulur.
- Marshall deneyinde kullanılan briket, şişleme çubuğu, kürek gibi malzemeler deney sırasında ısı kaybı yaşanmaması için 160 °C'de etüvde bekletilir.
- Etüvden alınan agrega karışımına 160 °C'lik etüvden çıkartılan bitüm, terazide tartım yapılarak istenilen bitüm yüzdesine göre eklenir. (% 4,0 - 4,5 - 5,0 - 5,5 - 6,0 - 6,5 - 7,0) Her bir bitüm yüzdesi için 3 farklı numune hazırlanır.
- Agrega-seramik atığı ve bitüm karışımı mikser yardımıyla veya kürek kullanılarak elle 1,5 – 2,0 dakika süre ile karıştırılır. Bu geçen zaman esnasında karışımın sıcaklığını kaybetmemesi için mikser kabı altına ısıtıcı yerleştirilir. Karıştırma işlemi hızlı ve homojen bir şekilde yapılmalıdır.
- Karıştırma işlemi esnasında, etüvden alınan boş kalıp içerisi çok fazla olmayacak biçimde yağlanır ve tabanına uygun kesilmiş yağlı kâğıt yerleştirilir.
- Etüvden alınan kürek ile karışım kalıba boşaltılır. Gevşek numunenin sıcaklığı ölçülür ve 140 °C'nin altına düşmemesi sağlanır. Boşluk kalmaması için ön bir sıkıştırma işlemi etüvden alınan şişleme çubuğu ile şişlenerek gerçekleştirilir. Kalıp tabanına koyduğumuz gibi üzerine de yağlı kâğıt konulur.
- Marshall tokmağına yerleştirilen brikete iki tarafına da 75 kere darbe yapılarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir.
- Sıkıştırma işleminden sonra numunelerin soğuması için oda sıcaklığında bekletilir ve numaralandırılır.
- Soğuyan numuneler kriko yardımıyla kalıplarından çıkartılır. Briketler oda sıcaklığında 24 saat bekletilir ve sonrasında 60 °C'deki sıcak su banyosunda 40 dakika bekletilir.
- Briketler sırasıyla kurularak Marshall test cihazına yerleştirilerek akma ve stabilite değerleri kaydedilir.

Deney yapılış sırası:



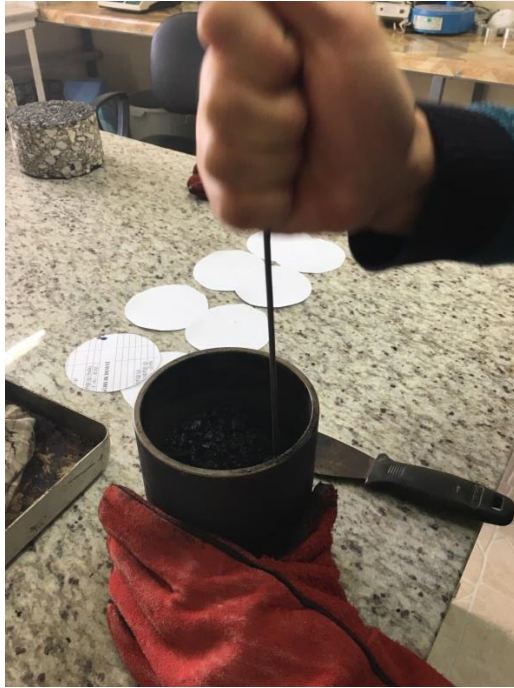
Şekil 8.20. Agrega ve seramik atıklarının tartımı



Şekil 8.21. Agregaların etüvden alınması ve bitüm tartımı



Şekil 8.22. Elle karıştırma, briket kalıbına yerleştirme ve ilk sıcaklık ölçümü



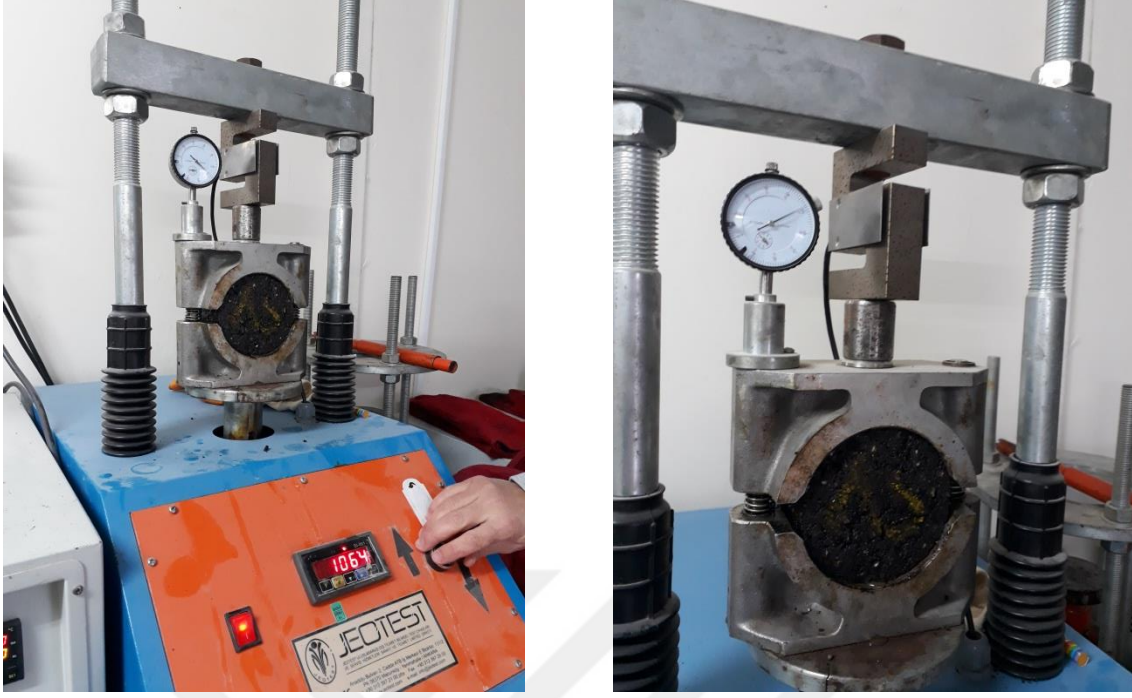
Şekil 8.23. Şişleme işlemi ve Marshall tokmağı ile sıkıştırma



Şekil 8.24. Briketlerin soğutulma işlemi



Şekil 8.25. Kriko yardımıyla briket kalıplarının çıkartılması ve su banyosu.



Şekil 8.26. Marshall stabilite ve akma değerlerinin ölçülmesi

Briket yüksekliği:

Deney sonuçlarına bakıldığında her bir briket yüksekliğinin birbirinden farklı ölçüldüğü görülmektedir. Marshall deneyi sonucunda ölçülen stabilite değeri düzeltme faktörü ile çarpılır ve bu düzeltme faktörü briket yüksekliğine göre tablodan okunarak hesaba katılır. Standart bir briketin yüksekliği 63,5 mm'dir ve bu yükseklik değerine karşılık gerek düzeltme faktörü de 1'dir. Briket yüksekliği arttıkça düzeltme faktörü sayısı küçülür, azaldıkça da artar.

Briket hacmi:

Briketin hacmi havada ve suda tartılarak ve aşağıdaki formülde yerine konularak bulunur.

$$V=A-C \quad (8.20)$$

A: Briket havada ağırlık (gr)

C: Briket suda ağırlık (gr)

V: Hacim (cm³)

Hacim özgül ağırlık (Dp):

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (8.21)$$

A = Briket havada ağırlık (gr)

V = Briket hacim (cm³)

Maksimum teorik özgül ağırlık (Dt):

$$D_t = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (8.22)$$

Dt = Briket maksimum teorik özgül ağırlık (kN/cm³)

Wa = Agregaya ağırlığına göre % bitüm (gr)

Gef = Agregaya efektif özgül ağırlık (kN/cm³)

Gb = Bitüm özgül ağırlık (kN/cm³)

Sıkıştırılmış kaplamadaki hava boşluğu %'si (Vh):

$$V_h = \frac{(D_t - D_p)}{D_t} \times 100 \quad (8.23)$$

Vh = Sıkıştırılmış kaplamadaki hava boşluğu %'si

Dt = Briket maksimum teorik özgül ağırlık (kN/cm³)

Dp = Sıkıştırılmış kaplama hacim özgül ağırlık (kN/cm³)

Sıkıştırılmış kaplamadaki agregalar arası boşluk (VMA):

$$VMA \% = \left(100 - \frac{D_p}{G_{sb}}\right) \left(\frac{100}{100 + W_a}\right) \times 100 \quad (8.24)$$

VMA = Sıkıştırılmış kaplamadaki agregalar arası boşluk

Gsb = Bitüm hacim özgül ağırlık (kN/cm³)

Wa = Agregaların ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

Sıkıştırılmış kaplamadaki asfaltla dolu boşluk %'si (Vf):

$$Vf = \frac{(VMA - Vh)}{VMA} \times 100 \quad (8.25)$$

Vf = Sıkıştırılmış kaplamadaki asfaltla dolu boşluk %'si

VMA = Agregalar arasındaki boşluk %'si

Vh = Sıkıştırılmış kaplamadaki hava boşluğu %'si

9. DENEY SONUÇLARI

9.1. Karışım Gradasyonu Ayarlama ve Elek Analizi Deneyi Sonucu

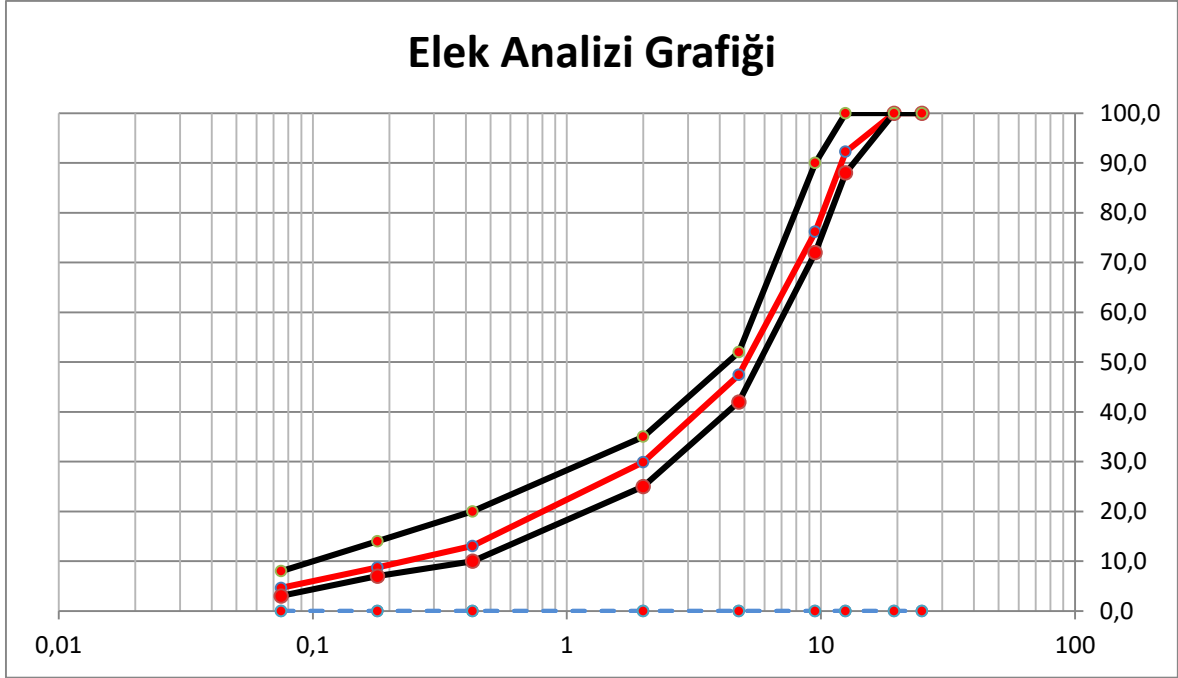
Tez çalışması kapsamında kullanılan doğal agregalar Uşak Oktaş Taş Ocağından alınmıştır ve seramik atığı olarak alınan seramikler Seranova Seramik Firmasından temin edilmiştir. Çalışma, karayolu Teknik Şartnamesinin asfalt betonu aşınma tabakası kriterlerine göre dizayn edilmiştir ve “Aşınma Tip-1” gradasyon limiti seçilmiştir. Çizelge 9.1.’de KTŞ’ye göre gradasyon alt limit ve üst limit sınırları görülmektedir. Ayrıca Çizelge 9.3. de görüldüğü üzere bir numune ağırlığı 1100 gramdır.

Çizelge 9.1. Aşınma tabakası limitlerine göre ayarlanmış karışım gradasyonu

AŞINMA TABAKASI GRADASYON - geçen (%)								
KULLANIM ORANLARI		18	37	45	ŞARTNAME ALT LİMİT (%) geçen	Karışım Gradasyonu (%) geçen	ŞARTNAME ÜST LİMİT (%) geçen	
ELEK AÇIKLIĞI (mm)		12 - 25	5 - 12	0 - 5				
3/4"	19	100	100	100	100	100,0	100	
1/2"	12,5	57	100	100	88	92,3	100	
3/8"	9,5	29,3	70	100	72	76,2	90	
No.4	4,75	1,1	6	100	42	47,4	52	
No.10	2	0,4	1,3	65,2	25	29,9	35	
No.40	0,425	0,3	0,4	28,6	10	13,1	20	
No.80	0,18	0	0	19,4	7	8,7	14	
No.200	0,075	0	0	10,3	3	4,6	8	
BSK ELEK FRAKSİYONLARI							Kaba (%)	52,6
							İnce (%)	42,8
							Filler (%)	4,6

Sonuç olarak ayarlanmış olduğumuz gradasyonda; kaba agrega % 52,6 (No:4 üzeri), ince agrega % 42,8 (No:4-No.200 üzeri) ve filler % 4,6 (No:200 altı) bulunmaktadır. Tüm seramik atıkları ve agregalar toplamda bu yüzdeleri sağlayacak şekillerde ayarlanmıştır.

Çizelge 9.2. Elek - (%) geçen gradasyon eğrisi



Şartname alt ve üst sınırları arasında kalacak şekilde karışım gradasyonu ayarlanmış olup Çizelge 9.2.'de de görüldüğü üzere elek açıklığı - (%) geçen gradasyon eğrisi çizilmiştir.

Çizelge 9.3. Aşınma tabakası limitlerine göre ayarlanmış karışım miktarları

HER ELEK ÜSTÜ KULLANILAN MALZEME MİKTARI					
KARISIM GRADASYONU (%) (kalan)	KÜMİLATİF KALAN (gr)	NUMUNE		ELEK AÇIKLIĞI (mm)	
		KALAN (gr)	TOPLAM		
0,0	0,0	0,0	578,6	3/4"	19
7,7	84,7	84,7		1/2"	12,5
16,1	261,8	177,1		3/8"	9,5
28,8	578,6	316,8		No.4	4,75
17,5	771,1	192,5	470,8	No.10	2
16,8	957	185,9		No.40	0,425
4,3	1004,3	47,3		No.80	0,18
4,1	1049,4	45,1		No.200	0,075
4,6	1100,0	50,6	50,6	Filler	0.075 altı
100,0	Top. Num. (gr)	1100			

Ayarlanmış olan karışım gradasyonu; (çizelge 9.1.'de görüldüğü üzere) atık yüzdelere ve karışım kombinasyonlarına göre toplamı 1100 gr olacak şekilde dağıtılmıştır. (çizelge 9.4-9.11 arasında görülmektedir.)

Granit yer karosu, sırlı-porselen yer karosu ve duvar karosu için kullanılan agrega miktarı;

Çizelge 9.4. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%10-20 seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Seramik Karo (%10)	Doğal Agrega (%90)	Seramik Karo (%20)	Doğal Agrega (%80)
84,7	1/2"	0	84,7	0	84,7
177,1	3/8"	0	177,1	0	177,1
316,8	No.4	0	316,8	0	316,8
192,5	No.10	19,25	173,25	38,5	154
185,9	No.40	18,59	167,31	37,18	148,72
47,3	No.80	4,73	42,57	9,46	37,84
45,1	No.200	4,51	40,59	9,02	36,08
50,6	Filler	5,06	45,54	10,12	40,48

Çizelge 9.5. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%30-40 seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Seramik Karo (%30)	Doğal Agrega (%70)	Seramik Karo (%40)	Doğal Agrega (%60)
84,7	1/2"	0	84,7	0	84,7
177,1	3/8"	0	177,1	0	177,1
316,8	No.4	0	316,8	0	316,8
192,5	No.10	57,75	134,75	77	115,5
185,9	No.40	55,77	130,13	74,36	111,54
47,3	No.80	14,19	33,11	18,92	28,38
45,1	No.200	13,53	31,57	18,04	27,06
50,6	Filler	15,18	35,42	20,24	30,36

Çizelge 9.6. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%50 seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Seramik Karo (%50)	Doğal Agrega (%50)
84,7	1/2"	0	84,7
177,1	3/8"	0	177,1
316,8	No.4	0	316,8
192,5	No.10	96,25	96,25
185,9	No.40	92,95	92,95
47,3	No.80	23,65	23,65
45,1	No.200	22,55	22,55
50,6	Filler	25,3	25,3

Granit + sırlı-porselen yer karosu karışımı için kullanılan agrega miktarları;

Çizelge 9.7. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%10 Granit+sırlı seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Granit Seramik Karo (%5)	Sırlı Seramik Karo (%5)	Doğal Agrega (%90)
84,7	1/2"	0	0	84,7
177,1	3/8"	0	0	177,1
316,8	No.4	0	0	316,8
192,5	No.10	9,625	9,625	173,25
185,9	No.40	9,295	9,295	167,31
47,3	No.80	2,365	2,365	42,57
45,1	No.200	2,255	2,255	40,59
50,6	Filler	2,53	2,53	45,54

Çizelge 9.8. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%20 Granit+sırlı seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Granit Seramik Karo (%10)	Sırlı Seramik Karo (%10)	Doğal Agrega (%80)
84,7	1/2"	0	0	84,7
177,1	3/8"	0	0	177,1
316,8	No.4	0	0	316,8
192,5	No.10	19,25	19,25	154
185,9	No.40	18,59	18,59	148,72
47,3	No.80	4,73	4,73	37,84
45,1	No.200	4,51	4,51	36,08
50,6	Filler	5,06	5,06	40,48

Çizelge 9.9. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%30 Granit+sırlı seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Granit Seramik Karo (%15)	Sırlı Seramik Karo (%15)	Doğal Agrega (%70)
84,7	1/2"	0	0	84,7
177,1	3/8"	0	0	177,1
316,8	No.4	0	0	316,8
192,5	No.10	28,88	28,88	134,75
185,9	No.40	27,89	27,89	130,13
47,3	No.80	7,10	7,10	33,11
45,1	No.200	6,77	6,77	31,57
50,6	Filler	7,59	7,59	35,42

Çizelge 9.10. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%40 Granit+sırlı seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Granit Seramik Karo (%20)	Sırlı Seramik Karo (%20)	Doğal Agrega (%60)
84,7	1/2"	0	0	84,7
177,1	3/8"	0	0	177,1
316,8	No.4	0	0	316,8
192,5	No.10	38,5	38,5	115,5
185,9	No.40	37,18	37,18	111,54
47,3	No.80	9,46	9,46	28,38
45,1	No.200	9,02	9,02	27,06
50,6	Filler	10,12	10,12	30,36

Çizelge 9.11. Deneylerde kullanılan agrega miktarları (%50 Granit+sırlı seramik karo atığı)

Hesaplanan Miktarları (gr)	Elek açıklığı	Granit Seramik Karo (%25)	Sırlı Seramik Karo (%25)	Doğal Agrega (%50)
84,7	1/2"	0	0	84,7
177,1	3/8"	0	0	177,1
316,8	No.4	0	0	316,8
192,5	No.10	48,13	48,13	96,25
185,9	No.40	46,48	46,48	92,95
47,3	No.80	11,83	11,83	23,65
45,1	No.200	11,28	11,28	22,55
50,6	Filler	12,65	12,65	25,3

Agrega ve seramik atıklarına uygulanan elek analizi sonuçları;

Çizelge 9.12. Doğal agrega elek analizi sonucu

Elek Boyutu		(19-25 mm)	(13-19 mm)	(5-13 mm)	(0-5 mm)	KARIŞIM
mm	inç	% geçen	% geçen	% geçen	% geçen	Gradasyon
25	1"	100	-	-	-	-
19,1	3/4"	63,4	100	-	-	84,7
12,7	1/2"	5,6	9,1	100	-	177,1
9,52	3/8"	2,5	0,7	51,7	100	316,8
4,76	No.4	0,5	0,2	2,4	98,5	192,5
2,00	No.10	0,1	0,1	1,3	63,1	185,9
0,42	No.40	0,1	0,1	0,4	37,0	47,3
0,177	No.80	0,1	0,1	0,1	23,3	45,1
0,075	No.200	0,1	0,1	0,1	12,3	50,6

Çizelge 9.13. Duvar karo elek analizi sonucu

Elek Boyutu	Geçen Miktar (%)	Kalan Miktar (%)	Kalan Miktar (gr)	Kümülatif Birikim (gr)
No.4	100	0	0	0
No.10	58,65	41,35	184,01	184,01
No.40	21,12	78,88	167,01	351,02
No.80	15,96	84,04	22,96	373,98
No.200	11,91	88,09	18,02	392,00
Filler	0	100	53,00	445

Çizelge 9.14. Granit yer karosu elek analizi sonucu

Elek Boyutu	Geçen Miktar (%)	Kalan Miktar (%)	Kalan Miktar (gr)	Kümülatif Birikim (gr)
No.4	91,8	8,2	69,37	69,37
No.10	62,7	37,3	246,19	315,56
No.40	25,5	74,5	314,71	630,27
No.80	20,14	79,86	45,35	675,62
No.200	13,88	86,12	52,96	728,58
Filler	0	100	117,42	846

Çizelge 9.15. Sırlı porselen yer karosu elek analizi sonucu

Elek Boyutu	Geçen Miktar (%)	Kalan Miktar (%)	Kalan Miktar (gr)	Kümülatif Birikim (gr)
No.4	88,9	11,1	98,35	98,35
No.10	57,3	42,7	279,97	378,32
No.40	24,4	75,6	291,49	669,82
No.80	17,4	82,6	62,02	731,84
No.200	11,5	88,5	52,27	784,11
Filler	0	100	101,89	886

Çizelge 9.16. Karışım (%50 granit + %50 sırlı porselen) yer karosu elek analizi sonucu

Elek Boyutu	Geçen Miktar (%)	Kalan Miktar (%)	Kalan Miktar (gr)	Kümülatif Birikim (gr)
No.4	90,35	9,65	50,18	50,18
No.10	60	40	157,82	208
No.40	24,95	75,05	182,26	390,26
No.80	18,77	81,23	32,14	422,40
No.200	12,69	87,31	31,62	454,01
Filler	0	100	65,99	520

9.2. Aşınmaya Karşı Dayanıklılık ve Aşınma Kaybı Deneyi Sonucu (Los Angeles)

Bu deney sadece doğal agrega numunesine uygulanmıştır. Kullanılan seramik karo atıkları No:4 elek altı malzemeden oluşmaktadır bu yüzden kaba seramik karo atığı kullanılmadığı için bu deneye gerek duyulmamıştır.

Doğal agrega için;

- B tipi için deney uygulanmıştır.
- $W_1=5000$ gr
- Bilye sayısı 11 tane (Toplam bilye ağırlığı= 4575+25 gr)
- 100 devir sonucu aşınmamış malzeme miktarı $W_2=4765$ gr

$$a_1 = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_1)} \times 100 (\%) \quad a_1 = \frac{(5000 - 4765)}{(5000)} \times 100 (\%) = \% 4,7$$

- 500 devir sonucu aşınmamış malzeme miktarı $W_3=3600$ gr

$$a_2 = \frac{(W_1 - W_3)}{(W_1)} \times 100 (\%) \quad a_2 = \frac{(5000 - 3600)}{(5000)} \times 100 (\%) = \% 28,0$$

KTŞ'ye göre numunenin aşınma kaybı yüzdesinin %35 den küçük olması gerekmektedir ve doğal agreganın bu sınırlar içinde kaldığı görülmektedir.

9.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi Sonucu

$$M_1=300 \text{ gr}$$

$$M_2=295,65 \text{ gr}$$

$$\text{Donma kaybı (F)} = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_1)} \times 100 (\%) \quad F = \frac{(300 - 295,65)}{(300)} \times 100 = 1,45(\%)$$

Deney sonucuna göre doğal agreganın donma kaybı değeri %1,45 olarak hesaplanır.

9.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu

9.4.1. İri Agrega için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu

No:4 elek üstü kaba agregası için uygulanır ve sadece doğal agregası için deney yapılmıştır. Çünkü seramik karo atığı No:4 elek numarası altı olarak deneylerde kullanılmaktadır.

Çizelge 9.17. İri doğal agregası

A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı (gr)	2551,2
B	Doygun- yüzey- kuru malzemenin havadaki ağırlığı (gr)	2562,0
C	Doygun- yüzey- kuru malzemenin sudaki ağırlığı (gr)	1617,4
$A/(B-C)$	Hacim Özgül Ağırlık	2,701
$A/(A-C)$	Zahiri Özgül Ağırlık	2,732
$((B-A)/A)*100$	Su absorpsiyonu(%)	0,423

9.4.2. İnce Agregası için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu

No:4 elek altı ve filler arasında kalan kısma ince agregası denir ve bu deney seramik atıkları ve doğal agregası için uygulanmıştır.

Çizelge 9.18. İnce doğal agregası

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	264,6
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	818,3
C	Piknometre+ D.K.Y. Numune Ağırlığı (gr)	765,3
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	1134,1
E	Kuru Numune Ağırlığı (gr)	497,5
$E/(B+E-D)$	Zahiri Özgül Ağırlık	2,739
$E/(B+C-A-D)$	Hacim Özgül Ağırlığı	2,692
$(C-A-E)/E$	Absorpsiyon (%)	0,643

Çizelge 9.19. İnce duvar karosu seramik agrega

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	453,8
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	1100,7
C	Piknometre+ D.K.Y. Numune Ağırlığı (gr)	672,7
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	1213,3
E	Kuru Numune Ağırlığı (gr)	180,7
$E/(B+E-D)$	Zahiri Özgül Ağırlık	2,653
$E/(B+C-A-D)$	Hacim Özgül Ağırlığı	1,700
$(C-A-E)/E$	Absorbsiyon (%)	21,140

Çizelge 9.20. İnce granit yer karosu seramik agrega

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	453,8
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	1100,7
C	Piknometre+ D.K.Y. Numune Ağırlığı (gr)	705
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	1243,2
E	Kuru Numune Ağırlığı (gr)	244,2
$E/(B+E-D)$	Zahiri Özgül Ağırlık	2,401
$E/(B+C-A-D)$	Hacim Özgül Ağırlığı	2,247
$(C-A-E)/E$	Absorbsiyon (%)	2,867

Çizelge 9.21. İnce sırlı porselen yer karosu seramik agrega

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	653
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	1803,8
C	Piknometre+ D.K.Y. Numune Ağırlığı (gr)	1004,7
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	2006
E	Kuru Numune Ağırlığı (gr)	340,7
$E/(B+E-D)$	Zahiri Özgül Ağırlık	2,460
$E/(B+C-A-D)$	Hacim Özgül Ağırlığı	2,279
$(C-A-E)/E$	Absorbsiyon (%)	3,229

9.4.3. Filler için Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi Sonucu

Çizelge 9.22. Doğal agrega filler zahiri özgül ağırlık

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	100,8
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	348,0
C	Piknometre+ Kuru Numune Ağırlığı (gr)	150,8
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	379,6
(C-A)	Zahiri özgül ağırlık	2,727
(B-A-D+C)		

Çizelge 9.23. Granit yer karosu filler zahiri özgül ağırlık

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	167,2
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	670
C	Piknometre+ Kuru Numune Ağırlığı (gr)	246
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	717
(C-A)	Zahiri özgül ağırlık	2,478
(B-A-D+C)		

Çizelge 9.24. Sırlı porselen yer karosu filler zahiri özgül ağırlık

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	167,2
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	670
C	Piknometre+ Kuru Numune Ağırlığı (gr)	253,5
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	720,9
(C-A)	Zahiri özgül ağırlık	2,438
(B-A-D+C)		

Çizelge 9.25. Özgül ağırlık ve su emme deneyi toplu sonucu

	Doğal agregası			Granit yer karosu		Sırlı porselen yer karosu		Duvar karosu	
	Kaba	İnce	Filler	İnce	Filler	İnce	Filler	İnce	Filler
Zahiri özgül ağırlık	2,732	2,692	2,727	2,401	2,478	2,460	2,438	2,653	x
Hacim Özgül Ağırlığı	2,701	2,739	x	2,247	x	2,279	x	1,700	x
Su emme (%)	0,423	0,643	x	2,867	x	3,229	x	21,14	x

9.5. Yassılık İndeksi Deneyi Sonucu

$$\text{Yassılık İndeksi (\%)} = \frac{M_2 \times 100}{M_1} \rightarrow \frac{400,2 \times 100}{2300} = 17,4(\%)$$

M₁: 2300 gr

M₂: 400,2 gr

Deney sonucuna göre kullanılan doğal agreganın yassılık indeksi değeri %17,4 olarak hesaplanmıştır.

9.6. Agregası Birim Ağırlık Deneyi Sonucu

Çizelge 9.26. Sıkışık birim hacim ağırlık sonucu

Boş deney kabı ağırlığı (kg)	M ₁	6,003
Boş deney kabı ağırlığı + Kabı dolduran sıkışık agregası ağırlığı (kg)	M ₂	10,178
Ölçü kabı hacmi (m ³)	V	0,002124
Sıkışık birim hacim ağırlık	B _s	1965,6309

Çizelge 9.27. Gevşek birim hacim ağırlık sonucu

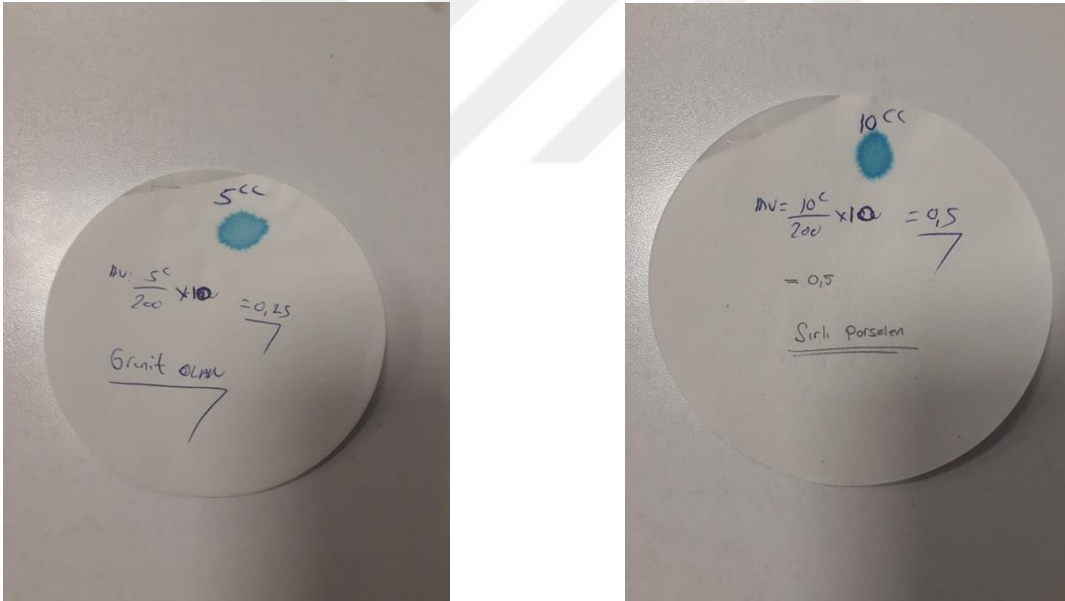
Boş deney kabı ağırlığı (kg)	M ₁	6,003
Boş deney kabı ağırlığı + Kabı dolduran sıkışık agrega ağırlığı (kg)	M ₂	9,502
Ölçü kabı hacmi (m ³)	V	0,002124
Gevşek birim hacim ağırlık	B _g	1647,3635

9.7. Cilalanma Deneyi

m=497,4 gr (1,6mm'lik elek üstünde kalan malzeme miktarı)

$$\text{Mikro-deval katsayısı (MDK)} = \frac{500-m}{5} \rightarrow \frac{500-497,4}{5} = 0,52$$

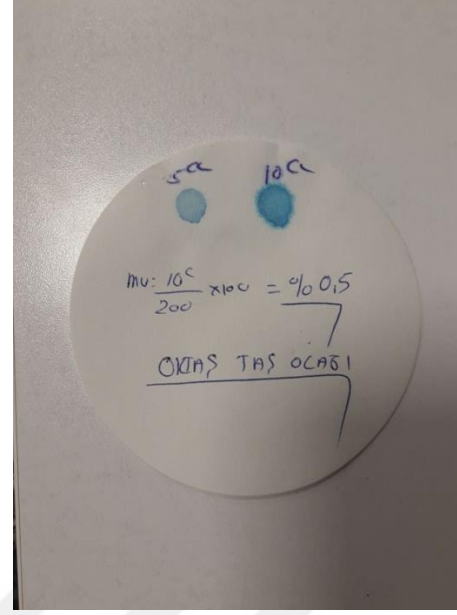
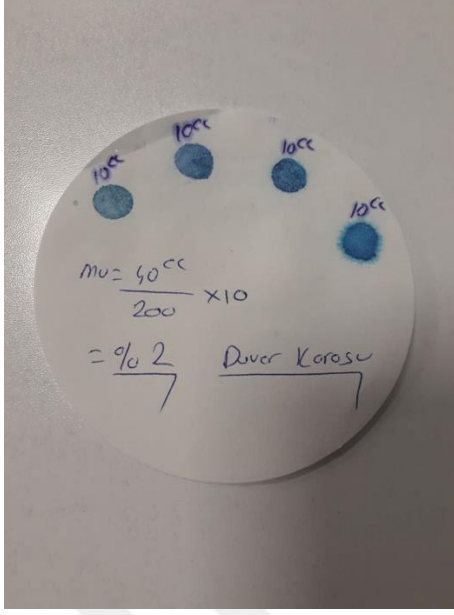
9.8. Metilen Mavisi Deneyi Deney Sonucu



Şekil 9.1. Granit ve sırlı porselen yer karosu metilen mavisi deney sonucu

$$\text{Granit yer karosu; } MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \rightarrow = \frac{5}{200} \times 10 = 0,25$$

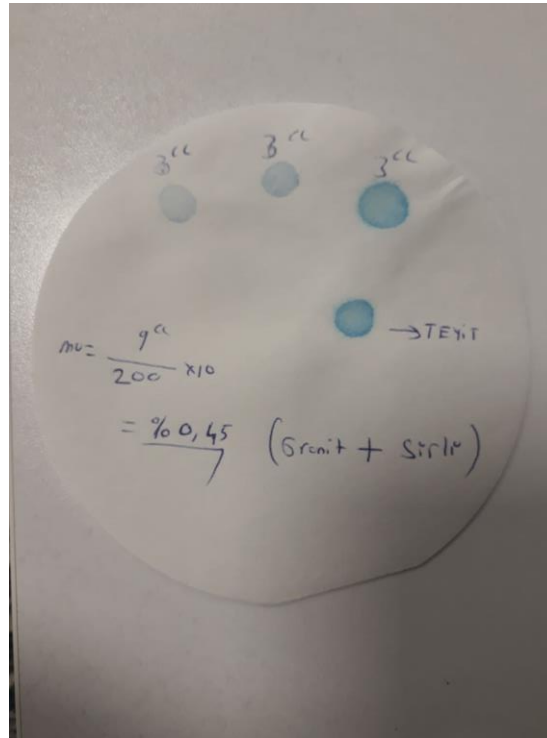
$$\text{Sırlı porselen yer karosu; } MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \rightarrow = \frac{10}{200} \times 10 = 0,5$$



Şekil 9.2. Duvar karosu ve Oktaş taş ocağı (normal agrega) metilen mavisi deney sonucu.

Duvar karosu; $MB = \frac{V1}{M1} \times 10 \rightarrow = \frac{40}{200} \times 10 = 2$

Oktaş taş ocağı; $MB = \frac{V1}{M1} \times 10 \rightarrow = \frac{10}{200} \times 10 = 0,5$



Şekil 9.3. Granit + sırlı yer karosu karışımı metilen mavisi deney sonucu.

$$\text{Granit + sırlı yer karosu karışımı; MB} = \frac{V1}{M1} \times 10 \rightarrow = \frac{9}{200} \times 10 = 0,45$$

Çizelge 9.28. Toplu metilen mavisi deneyi sonucu

Malzeme çeşitleri	Toplam eklenen metilen mavisi (ml)	MB
Granit yer karosu	5	0,25
Sırlı porselen yer karosu	10	0,5
Duvar karosu	40	2
Oktaş Taş Ocağı (Normal agregası)	10	0,5
Granit + Sırlı yer karosu karışımı	9	0,45

9.9. Penetrasyon Deneyi Sonucu

Yapılan deney sonuçları sonrasında hesaplanan bitümün batma miktarı 5,6 mm o da 56 penetrasyon derecesi olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 9.29. Penetrasyon deneyi sonucu

	1. okuma	2. okuma	3. okuma	Ortalama
1. numune	56,38	55,91	55,96	56,08333
2. numune	55,75	55,82	56,21	55,92667
2 NUMUNE ORTALAMASI				56,005

9.10. Yumuşama Noktası Deneyi Sonucu

Bitümün tabana değdiği andaki okunmuş olan termometre sıcaklığı 51 °C'dir. Bu yüzden kullanmış olduğumuz bitümün yumuşama noktası 51 °C olarak kaydedilmiştir.

9.11. Düktilite Deneyi Sonucu

Yapılmış olan üç deney sonucunun aritmetik ortalaması alınarak 77 (25 °C, 5cm/dk) olarak hesaplanmıştır.

9.12. Parlama Noktası Deneyi Sonucu

Bitümde belirli bir sıcaklık değerinde tutuşma gözlemlendiği en düşük sıcaklık parlama noktası olarak kabul edilir. Parlama noktasından önce daha düşük sıcaklıkta oluşan mavimsi alev ile karıştırılmamalıdır. Yapılan deney sonucuna göre bitümün kaydedilen parlama noktası 219 °C'dir.

9.13. İnce Film Halinde Isıtma Kaybı Deneyi Sonucu

Çizelge 9.30.'da da görüldüğü üzere her kaba uygulanan ısıtma kaybı deneyi sonucu 0,29 olarak hesaplanmıştır. Bu üç değer aritmetik ortalamasını aldığımız zaman deney sonucu 0,29 olarak kaydedilir.

Çizelge 9.30. Isıtma kaybı deney sonucu

	1. kap	2. kap	3. kap
Boş kap ağırlığı (gr)	54,2	52	53,2
(Kap+Bitüm) ilk ağırlığı (gr)	103,8	103,2	104,5
(Kap+Bitüm) son ağırlığı (gr)	103,5	102,9	104,2
Isıtma kaybı (%)	0,29	0,29	0,29

9.14. Bitümün Birim Özgül Ağırlık Deneyi Sonucu

Çizelge 9.31. Bitüm özgül ağırlık sonucu

A	Piknometre Ağırlığı (gr)	24,31
B	Piknometre+ Su Ağırlığı (gr)	75,79
C	Piknometre+ Kuru Numune Ağırlığı (gr)	46,83
D	Piknometre+ Numune+ Su Ağırlığı (gr)	76,44
(C-A)/(B+C-A-D)	Hacim özgül ağırlık	1,030

9.15. Vizkozite Deneyi Sonucu

Deney sonucunda;

- 135 °C'deki viskozite değeri 0,425 Pa.s
- 165 °C'deki viskozite değeri 0,150 Pa.s olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 9.32. Bitüm deneylerinin sonuçlarının tek çizelgede gösterimi

Bitüm Deneyleri Toplu Sonuçları	
Penetrasyon (25 °C, 0,1 mm)	56
Yumuşama Noktası (°C)	51
Düktilite (25 °C, 5cm/dk)	77
Parlama Noktası (°C)	219
Isıtma Kaybı (%)	0,3
Birim Özgül Ağırlık (g/cm³)	1,030
Vizkozite (135 °C, Pa.s)	0,425

9.16. Marshall Tasarım Yöntemi Deney Sonuçları



Çizelge 9.33. %20 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM		Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim öztül ağırlık	Maksimum Teorik öztül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr		1	2	3	ortalama													
1	4,00	44,0	140				62,4	1139	657,9	1147,5	489,6	2,326				2,6	1049	1,028	1078	
2	4,00	44,0	140				63,5	1141	658,5	1149	490,5	2,326				2,75	1074	1,000	1074	
3	4,00	44,0	140				62,6	1142,5	660,2	1151,1	490,9	2,327				2,8	1051	1,023	1075	
												2,327	2,52	7,69	15,61	50,8	2,72		1076	
4	4,50	49,5	140				64,4	1145,5	665,2	1152	486,8	2,353				3,3	1189	0,978	1163	
5	4,50	49,5	140				63,4	1147,5	665,6	1154,5	488,9	2,347				3,1	1166	1,003	1169	
6	4,50	49,5	140				63,4	1146,5	666,7	1155,5	488,8	2,346				3,05	1170	1,003	1174	
												2,349	2,503	6,17	15,22	59,5	3,15		1169	
7	5,00	55,0	140				63,4	1153,5	669,3	1158,5	489,2	2,358				3,3	1194	1,003	1198	
8	5,00	55,0	140				62,8	1151	669,3	1157,6	488,3	2,357				3,6	1181	1,018	1202	
9	5,00	55,0	140				62,9	1154,5	670,1	1160,5	490,4	2,354				3,5	1184	1,015	1202	
												2,356	2,486	5,21	15,34	66,1	3,47		1201	
10	5,50	60,5	140				62,6	1156,5	670,7	1159,8	489,1	2,365				3,7	1201	1,023	1229	
11	5,50	60,5	139				63,1	1155,7	670,9	1159,1	488,2	2,367				3,8	1211	1,010	1223	
12	5,50	60,5	139				63,2	1159,5	673,6	1163,5	489,9	2,367				3,6	1210	1,008	1220	
												2,366	2,469	4,18	15,4	72,9	3,7		1224	
13	6,00	66,0	140				63,3	1161,6	670,7	1165,3	494,6	2,349				4,2	1157	1,005	1163	
14	6,00	66,0	140				63,5	1165,5	672,9	1168,9	496	2,35				4,15	1175	1,000	1175	
15	6,00	66,0	140				63,1	1163,2	672,7	1167,1	494,4	2,353				4,25	1158	1,010	1170	
												2,35	2,453	4,19	16,36	74,4	4,2		1169	
16	6,5	71,5	141				62,5	1168,5	668,6	1170,3	501,7	2,329				4,38	1035	1,025	1061	
17	6,5	71,5	140				62,4	1167	667,6	1169	501,4	2,327				4,4	1015	1,028	1043	
18	6,5	71,5	140				61,8	1162,5	666,1	1163,5	497,4	2,337				4,59	1010	1,043	1053	
												2,331	2,437	4,35	17,43	75,1	4,46		1053	

Çizelge 9.34. %30 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM		Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm3	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr		1	2	3	ortalama													
1	4,00	44,0	140				62,5	1138,0	653,0	1145,0	492,0	2,313					2,80	1048	1,025	1074
2	4,00	44,0	140				63,5	1143,5	658,0	1153,0	495,0	2,310					3,40	1054	1,000	1054
3	4,00	44,0	140				63,5	1145,0	660,0	1155,0	495,0	2,313					3,20	1075	1,000	1075
												2,312	2,505	7,71	15,41	50,0	3,13			1068
4	4,50	49,5	140				64,5	1149,5	657,5	1152,0	494,5	2,325					3,70	1163	0,975	1134
5	4,50	49,5	140				64,5	1152,0	659,0	1156,5	497,5	2,316					3,30	1136	0,975	1108
6	4,50	49,5	140				63,4	1151,0	660,0	1155,0	495,0	2,325					3,50	1189	1,003	1193
												2,322	2,488	6,69	15,46	56,7	3,50			1145
7	5,00	55,0	140				62,5	1150,0	658,5	1151,0	492,5	2,335					3,60	1172	1,025	1201
8	5,00	55,0	140				62,4	1152,0	660,5	1155,5	495,0	2,327					3,70	1171	1,028	1204
9	5,00	55,0	140				62,1	1149,5	659,8	1153,0	493,2	2,331					3,50	1162	1,035	1203
												2,331	2,472	5,70	15,53	63,3	3,60			1203
10	5,50	60,5	140				62,5	1152,5	663,5	1155,0	491,5	2,345					3,90	1145	1,025	1174
11	5,50	60,5	139				63,1	1164,0	669	1167,0	498,0	2,337					3,80	1169	1,010	1181
12	5,50	60,5	139				63,1	1162,5	668	1166,5	498,5	2,332					3,70	1174	1,010	1186
												2,338	2,456	4,79	15,67	69,4	3,80			1180
13	6,00	66,0	140				62,9	1149,6	658,5	1152,4	493,9	2,328					4,05	1092	1,015	1108
14	6,00	66,0	140				63,5	1158,2	662,8	1160,5	497,7	2,327					4,11	1116	1,000	1116
15	6,00	66,0	140				64,1	1144,8	654,2	1147,2	493,0	2,322					4,08	1148	0,985	1131
												2,326	2,440	4,69	16,52	71,6	4,08			1118
16	6,50	71,5	141				64,8	1157,0	659,1	1158,1	499,0	2,319					4,38	1059	0,968	1025
17	6,50	71,5	140				65,1	1160,2	661,2	1161,3	500,1	2,320					4,40	1075	0,960	1032
18	6,50	71,5	140				64,3	1149,8	654,9	1151,0	496,1	2,318					4,59	1055	0,980	1034
												2,319	2,425	4,36	17,15	74,6	4,46			1030

Çizelge 9.35. %40 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM		Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr		1	2	3	ortalama													
1	4,50	49,5	135				65,5	1146,0	652,0	1158,5	506,5	2,263					3,10	1018	0,953	970
2	4,50	49,5	138				64,5	1143,0	651,5	1154,5	503,0	2,272					2,90	1011	0,975	986
3	4,50	49,5	140				64,1	1145,5	653,0	1156,0	503,0	2,277					3,10	1008	0,985	993
												2,271	2,472	8,14	16,58	50,9	3,03			983
4	5,00	55,0	141				64,5	1142,0	654,5	1151,0	496,5	2,300					3,10	1066	0,975	1039
5	5,00	55,0	140				64,2	1152,0	656,5	1156,5	500,0	2,304					3,20	1081	0,983	1063
6	5,00	55,0	142				64,5	1150,0	654,5	1154,0	499,5	2,302					3,50	1079	0,975	1052
												2,302	2,456	6,25	15,83	60,5	3,27			1051
7	5,50	60,5	140				64,6	1158,0	661,9	1161,0	499,1	2,320					3,60	1139	0,973	1108
8	5,50	60,5	139				64,5	1159,0	662,9	1162,0	499,1	2,322					3,40	1130	0,975	1102
9	5,50	60,5	140				64,2	1160,5	664,7	1165,0	500,3	2,320					3,70	1123	0,983	1104
												2,321	2,44	4,89	15,56	68,6	3,57			1105
10	6,00	66,0	140				62,4	1165,0	670,5	1168,6	498,1	2,339					3,40	1147	1,028	1179
11	6,00	66,0	139				62,3	1169,0	673,5	1171,8	498,3	2,346					4,10	1161	1,030	1196
12	6,00	66,0	139				62,4	1167,5	672,0	1170,5	498,5	2,342					3,80	1115	1,028	1146
												2,342	2,424	3,39	15,17	77,7	3,77			1174
13	6,50	71,5	140				63,5	1158,6	662,9	1160,5	497,6	2,328					4,05	1116	1,000	1116
14	6,50	71,5	140				63,1	1164,2	667,1	1166,4	499,3	2,332					4,15	1113	1,010	1124
15	6,50	71,5	138				62,9	1153,5	661,9	1157,0	495,1	2,330					4,18	1111	1,015	1128
												2,330	2,409	3,29	16,02	79,4	4,13			1123
16	7,00	77,0	141				64,3	1201,3	682,9	1201,8	518,9	2,315					4,38	1055	0,980	1034
17	7,00	77,0	140				64,8	1202,0	683,3	1203,0	519,7	2,313					4,40	1078	0,968	1044
18	7,00	77,0	138				64,5	1203,0	683,1	1204,1	521,0	2,309					4,59	1075	0,975	1048
												2,312	2,394	3,43	17,04	79,9	4,46			1042

Çizelge 9.36. %50 oranındaki granit yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM		Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr		1	2	3	ortalama													
1	4,00	44	140				64,5	1143,0	657,8	1152,5	494,7	2,310					2,70	1062	0,975	1035
2	4,00	44	140				65,1	1143,5	658,5	1156,5	498,0	2,296					2,80	1010	0,960	970
3	4,00	44	140				64,8	1142,5	656,0	1153,0	497,0	2,299					3,00	1005	0,968	973
												2,302	2,488	7,50	15,04	50,1	2,83			993
4	4,50	49,5	140				64,5	1147,0	660,8	1157,5	496,7	2,309					3,10	1050	0,975	1024
5	4,50	49,5	140				64,8	1149,5	662,5	1156,5	494,0	2,327					3,40	1075	0,968	1041
6	4,50	49,5	140				64,8	1148,5	662,5	1158,0	495,5	2,318					3,20	1067	0,968	1033
												2,318	2,472	6,80	14,85	58,1	3,23			1032
7	5,00	55	140				64,1	1154,5	665,5	1157,8	492,3	2,345					3,20	1160	0,985	1143
8	5,00	55	140				63,5	1153,0	667,5	1158,5	491,0	2,348					3,30	1154	1,000	1154
9	5,00	55	140				64,5	1155,5	664,5	1159,5	495,0	2,334					3,50	1120	0,975	1092
												2,343	2,456	5,61	14,36	67,9	3,33			1130
10	5,50	60,5	140				63,5	1158,0	670,5	1163,0	492,5	2,351					3,60	1140	1,000	1140
11	5,50	60,5	139				64,5	1159,0	672,5	1162,8	490,3	2,364					3,50	1150	0,975	1121
12	5,50	60,5	139				64,5	1159,5	673,7	1163,5	489,8	2,367					3,40	1167	0,975	1138
												2,361	2,44	3,24	14,1	77,0	3,50			1133
13	6,00	66	140				63,5	1160,6	670,0	1168,5	498,5	2,328					3,60	1090	1,000	1090
14	6,00	66	140				63,5	1161,2	670,1	1169,4	499,3	2,326					4,10	1100	1,000	1100
15	6,00	66	140				62,6	1161,5	670,2	1168,0	497,8	2,333					3,70	1120	1,023	1146
												2,329	2,424	3,93	15,65	78,9	3,80			1112
16	6,50	71,5	141				63,1	1168,3	670,9	1170,8	499,9	2,337					3,80	1030	1,010	1040
17	6,50	71,5	140				64,3	1167,0	671,3	1169,0	497,7	2,345					4,20	1102	0,980	1080
18	6,50	71,5	140				63,5	1168,5	666,1	1170,0	503,9	2,319					4,40	1070	1,000	1070
												2,334	2,409	3,14	15,89	80,2	4,13			1063

Çizelge 9.37. %20 oranındaki sırlı porselen yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM			Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim öztül ağırlık	Maksimum Teorik öztül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr	°C		1	2	3	ortalama													
1	4,00	44,0	140				63,8	1142,5	655,1	1152,0	496,9	2,299					2,90	1045	0,993	1038	
2	4,00	44,0	140				63,4	1140,5	655,3	1150,0	494,7	2,305					3,10	1085	1,003	1088	
3	4,00	44,0	140				63,5	1141,0	655,0	1151,0	496	2,300					2,80	1036	1,000	1036	
												2,302	2,524	8,80	16,61	47,0	2,93			1054	
4	4,50	49,5	140				64,5	1147,5	661,3	1157,0	495,7	2,315					3,15	1129	0,975	1101	
5	4,50	49,5	140				63,5	1137,5	659,3	1150,0	490,7	2,318					3,25	1103	1,000	1103	
6	4,50	49,5	140				63,3	1145,5	664,1	1158,0	493,9	2,319					3,20	1106	1,005	1112	
												2,317	2,506	7,53	16,44	54,2	3,20			1105	
7	5,00	55,0	140				63,5	1143,0	664,9	1154,5	489,6	2,335					3,60	1161	1,000	1161	
8	5,00	55,0	140				63,7	1151,0	662,6	1156,0	493,4	2,333					3,55	1152	0,995	1146	
9	5,00	55,0	140				64,6	1148,5	662,5	1153,5	491	2,339					3,70	1168	0,973	1136	
												2,335	2,489	6,18	16,19	61,9	3,62			1148	
10	5,50	60,5	140				64,4	1145,0	664,1	1151,5	487,4	2,349					4,00	1198	0,978	1172	
11	5,50	60,5	139				64,4	1147,0	663,6	1151,0	487,4	2,353					3,70	1201	0,978	1175	
12	5,50	60,5	139				64,1	1146,0	662,7	1150,0	487,3	2,352					3,90	1200	0,985	1182	
												2,351	2,473	4,90	15,98	69,4	3,87			1176	
13	6,00	66,0	140				63,4	1160,5	669,0	1165,5	496,5	2,337					4,05	1121	1,003	1124	
14	6,00	66,0	140				63,2	1149,0	662,8	1155,0	492,2	2,334					4,15	1109	1,008	1118	
15	6,00	66,0	140				63,1	1155,5	666,5	1160,0	493,5	2,341					4,18	1132	1,010	1143	
												2,338	2,456	4,82	16,9	71,5	4,13			1129	
16	6,50	71,5	141				64,5	1165,3	665,3	1167,3	502	2,321					4,38	1005	1,000	1005	
17	6,50	71,5	140				65,1	1169,5	666,3	1170,6	504,3	2,319					4,40	1015	0,998	1013	
18	6,50	71,5	140				65,4	1165,8	663,6	1166,5	502,9	2,318					4,59	1010	1,000	1010	
												2,320	2,440	4,95	17,94	72,4	4,46			1009	

Çizelge 9.38. %30 oranındaki sırlı porselen yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM			Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr	°C		1	2	3	ortalama													
1	4,00	44,0	140				63,5	1140,2	649,5	1147,0	497,5	2,292					2,90	832	1,000	832	
2	4,00	44,0	140				64,0	1135,0	642,5	1140,3	497,8	2,280					2,90	995	0,988	983	
3	4,00	44,0	140				62,6	1136,8	644,5	1142,0	497,5	2,285					2,80	998	1,023	1021	
												2,286	2,508	8,88	16,53	46,3	2,87			945	
4	4,50	49,5	140				62,5	1143,5	653,5	1147,0	493,5	2,317					3,35	1050	1,025	1076	
5	4,50	49,5	140				63,5	1133,5	653,9	1144,0	490,1	2,313					3,40	1088	1,000	1088	
6	4,50	49,5	140				63,5	1144,0	655,7	1150,5	494,8	2,312					3,50	1094	1,000	1094	
												2,314	2,491	7,11	15,90	55,3	3,42			1086	
7	5,00	55,0	140				62,4	1146,0	658,8	1151,5	492,7	2,326					3,70	1088	1,028	1118	
8	5,00	55,0	140				62,1	1150,5	661,5	1155,0	493,5	2,331					3,40	1102	1,035	1141	
9	5,00	55,0	140				63,4	1150,0	659,9	1154,5	494,6	2,325					3,50	1103	1,003	1106	
												2,327	2,474	5,94	15,81	62,4	3,53			1122	
10	5,50	60,5	140				62,4	1148,0	660,9	1152,5	491,6	2,335					3,70	1122	1,028	1153	
11	5,50	60,5	139				63,5	1156,5	665,3	1160,0	494,7	2,338					3,80	1163	1,000	1163	
12	5,50	60,5	139				62,5	1146,0	660,8	1149,0	488,2	2,347					3,90	1141	1,025	1170	
												2,340	2,458	4,79	15,76	69,6	3,80			1162	
13	6,00	66,0	140				64,8	1150,0	656,6	1152,5	495,9	2,319					4,05	1081	0,968	1046	
14	6,00	66,0	140				64,3	1158,0	662,1	1160,0	497,9	2,326					4,20	1103	0,980	1081	
15	6,00	66,0	140				65,1	1161,0	664,2	1163,0	498,8	2,328					4,15	1113	0,960	1068	
												2,324	2,442	4,82	16,73	71,2	4,13			1065	
16	6,50	71,5	141				64,7	1170,0	664,1	1171,6	507,5	2,305					4,38	965	0,970	936	
17	6,50	71,5	140				64,9	1169,0	664,3	1170,8	506,5	2,308					4,40	965	0,960	926	
18	6,50	71,5	140				65,3	1168,0	662,6	1170,4	507,8	2,300					4,59	980	0,956	937	
												2,305	2,426	5,02	17,82	71,8	4,46			933	

Çizelge 9.39. %40 oranındaki sırlı porselen yer karosu atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM			Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr	°C		1	2	3	ortalama													
1	4,00	44,0	140				64,3	1145,2	647,1	1152,0	504,9	2,268					2,60	972	0,980	953	
2	4,00	44,0	140				63,9	1148,9	645,0	1153,0	508,0	2,262					2,90	995	0,990	985	
3	4,00	44,0	140				64,5	1139,5	641,8	1144,0	502,2	2,269					2,80	998	0,975	973	
												2,266	2,472	8,32	16,97	51,0	2,77			970	
4	4,50	49,5	140				64,5	1142,5	653,5	1154,0	500,5	2,283					3,60	1104	0,975	1076	
5	4,50	49,5	140				63,5	1141,0	647,8	1148,0	500,2	2,281					3,20	1065	1,000	1065	
6	4,50	49,5	140				63,4	1142,0	652,0	1150,0	498,0	2,293					3,00	1052	1,003	1055	
												2,286	2,455	6,92	16,66	58,5	3,27			1066	
7	5,00	55,0	140				63,5	1147,5	651,8	1149,0	497,2	2,308					3,40	1116	1,000	1116	
8	5,00	55,0	140				62,4	1143,5	651,5	1146,5	495,0	2,310					3,30	1089	1,028	1119	
9	5,00	55,0	140				63,6	1152,5	656,7	1157,0	500,3	2,304					3,10	1105	0,998	1103	
												2,307	2,439	5,42	16,27	66,7	3,27			1113	
10	5,50	60,5	140				63,5	1160,1	663,4	1163,2	499,8	2,321					3,40	1125	1,000	1125	
11	5,50	60,5	139				63,5	1157,0	659,2	1159,0	499,8	2,315					3,50	1156	1,000	1156	
12	5,50	60,5	139				62,9	1138,5	649,2	1140,0	490,8	2,320					3,60	1174	1,015	1192	
												2,319	2,424	4,30	16,26	73,3	3,50			1158	
13	6,00	66,0	140				64,2	1162,5	666,5	1165,0	498,5	2,332					3,70	1125	0,983	1106	
14	6,00	66,0	140				64,8	1166,0	668,0	1170,0	502,0	2,323					3,50	1136	0,968	1100	
15	6,00	66,0	140				64,5	1162,5	666,0	1164,0	498,0	2,334					3,80	1170	0,975	1141	
												2,330	2,408	3,26	16,25	79,9	3,67			1115	
16	6,50	71,5	141				65,1	1169,5	668,0	1172,0	504,0	2,320					4,10	1025	1,000	1025	
17	6,50	71,5	140				64,3	1171,5	667,0	1174,0	507,0	2,311					4,00	998	0,988	986	
18	6,50	71,5	140				64,7	1170,5	667,0	1172,5	505,5	2,316					4,10	1043	1,000	1043	
												2,316	2,393	3,25	17,15	81,1	4,07			1021	

Çizelge 9.40. %20 oranındaki sırlı porselen + granit yer karosu karışımı atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM			Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr			1	2	3	ortalama													
1	4,50	49,5	140				63,6	1142,0	657,5	1150,0	492,5	2,319					3,30	1041	0,993	1034	
2	4,50	49,5	140				62,4	1145,5	658,0	1151,0	493,0	2,324					3,20	1012	1,028	1040	
3	4,50	49,5	140				62,5	1143,5	659,0	1152,5	493,5	2,317					3,10	1032	1,025	1058	
												2,320	2,505	7,38	16,32	54,8	3,20			1044	
4	5,00	55,0	140				62,4	1145,0	660,0	1149,5	489,5	2,339					3,50	1090	1,028	1121	
5	5,00	55,0	140				62,5	1145,5	661,5	1152,5	491,0	2,333					3,40	1087	1,025	1114	
6	5,00	55,0	140				62,6	1143,5	660,0	1151,0	491,0	2,329					3,50	1097	1,023	1122	
												2,334	2,488	6,19	16,22	61,9	3,47			1119	
7	5,50	60,5	140				62,3	1155,0	669,0	1158,0	489,0	2,362					3,30	1161	1,003	1164	
8	5,50	60,5	140				62,0	1154,5	666,5	1157,5	491,0	2,351					3,40	1117	1,038	1159	
9	5,50	60,5	140				62,1	1152,5	665,0	1155,5	490,5	2,350					3,60	1124	1,035	1163	
												2,354	2,471	4,72	15,88	70,3	3,43			1162	
10	6,00	66,0	140				61,4	1160,0	671,5	1163,0	491,5	2,360					3,80	1063	1,056	1123	
11	6,00	66,0	139				62,1	1163,0	672,5	1165,5	493,0	2,359					3,60	1093	1,035	1131	
12	6,00	66,0	139				62,5	1161,5	671,5	1163,5	492,0	2,361					3,80	1099	1,025	1126	
												2,360	2,455	3,86	16,08	76,0	3,73			1127	
13	6,50	71,5	140				63,8	1165,0	668,8	1167,5	498,7	2,336					4,05	1101	0,993	1093	
14	6,50	71,5	140				64,1	1168,1	672,5	1171,0	498,5	2,343					4,15	1104	0,985	1087	
15	6,50	71,5	140				64,0	1167,2	670,5	1169,0	498,5	2,341					4,18	1102	0,988	1089	
												2,340	2,439	4,04	17,17	76,5	4,13			1090	
16	7,00	77,0	141				64,3	1171,2	670,1	1174,3	504,2	2,323					4,38	965	0,980	946	
17	7,00	77,0	140				64,5	1182,4	674,9	1184,6	509,7	2,320					4,40	975	0,975	951	
18	7,00	77,0	140				64,8	1173,4	671,5	1175,5	504,0	2,328					4,59	979	0,968	948	
												2,324	2,423	4,11	18,15	77,4	4,46			948	

Çizelge 9.41. %30 oranındaki sırlı porselen + granit yer karosu karışımı atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM			Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr			1	2	3	ortalama													
1	4,50	49,5	140				63,5	1140,0	654,6	1149,5	494,9	2,303					3,50	1004	1,000	1004	
2	4,50	49,5	138				64,5	1144,0	655,6	1153,0	497,4	2,300					3,60	1022	0,975	996	
3	4,50	49,5	140				63,8	1142,0	654,8	1151,5	496,7	2,299					3,40	1005	0,993	998	
												2,301	2,474	7,01	15,77	55,5	3,50			999	
4	5,00	55,0	140				62,4	1150,5	658,2	1155,0	496,8	2,316					3,70	1088	1,028	1118	
5	5,00	55,0	141				63,4	1149,5	659,0	1155,0	496,0	2,318					3,50	1097	1,003	1100	
6	5,00	55,0	140				62,1	1152,0	661,2	1157,5	496,3	2,321					3,70	1076	1,035	1114	
												2,318	2,458	5,69	15,54	63,4	3,63			1111	
7	5,50	60,5	147				61,4	1152,5	663,2	1155,7	492,5	2,340					3,60	1081	1,056	1142	
8	5,50	60,5	140				62,5	1152,0	661,9	1156,9	495,0	2,327					3,55	1116	1,025	1144	
9	5,50	60,5	140				62,4	1158,5	664,5	1161,0	496,5	2,333					3,50	1098	1,028	1129	
												2,334	2,442	4,43	15,38	71,2	3,55			1138	
10	6,00	66,0	140				62,4	1157,5	667,5	1161,0	493,5	2,345					3,80	1061	1,028	1091	
11	6,00	66,0	139				62,5	1157,0	666,5	1159,0	492,5	2,349					3,85	1057	1,025	1083	
12	6,00	66,0	139				61,5	1165,0	670,6	1168,0	497,4	2,342					3,70	1046	1,053	1101	
												2,346	2,426	3,30	15,35	78,4	3,78			1092	
13	6,50	71,5	140				63,5	1161,0	668,0	1164,0	496,0	2,341					4,05	1010	1,000	1010	
14	6,50	71,5	140				64,1	1165,0	671,6	1168,5	496,9	2,345					3,95	1042	0,985	1026	
15	6,50	71,5	140				64,3	1167,0	672,2	1170,5	498,3	2,342					4,05	1025	0,980	1005	
												2,342	2,411	2,83	15,86	82,2	4,02			1014	
16	7,00	77,0	141				64,6	1172,0	669,2	1174,8	505,6	2,318					4,15	959	0,973	933	
17	7,00	77,0	140				64,8	1173,0	668,5	1175,2	506,7	2,315					4,20	975	0,968	944	
18	7,00	77,0	140				65,1	1175,0	669,1	1176,5	507,4	2,316					4,25	978	0,960	939	
												2,316	2,396	3,31	17,19	80,7	4,20			939	

Çizelge 9.42. %40 oranındaki sırlı porselen + granit yer karosu karışımı atığına uygulanan Marshall Stabilite Deneyi Sonucu

No	BİTÜM			Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık gr	Sudaki Ağırlık gr	Doy.Yüz Ağırlık gr.	Hacim cm ³	Hacim özgül ağırlık	Maksimum Teorik özgül ağırlık	% Boşluk	%	Asfalt Dolu Boşluk	Akma mm	Stabilite kg	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilme Faktörü
	Wa,%	gr			1	2	3	ortalama													
1	4,50	49,5	140				63,5	1141,5	650,7	1155,5	504,8	2,261					3,10	1030	1,000	1030	
2	4,50	49,5	138				64,6	1141,5	651,0	1153,5	502,5	2,272					3,30	1058	0,973	1029	
3	4,50	49,5	141				63,0	1140,5	650,0	1152,0	502,0	2,272					3,20	1036	1,013	1049	
												2,268	2,461	7,83	16,35	52,1	3,20			1036	
4	5,00	55,0	140				63,0	1148,5	653,0	1153,0	500,0	2,297					2,50	1092	1,013	1106	
5	5,00	55,0	140				63,9	1148,5	654,5	1152,5	498,0	2,306					3,90	1112	0,990	1101	
6	5,00	55,0	138				63,2	1149,0	656,0	1154,5	498,5	2,305					3,40	1105	1,008	1114	
												2,303	2,445	5,81	15,49	62,5	3,27			1107	
7	5,50	60,5	139				62,5	1154,0	658,5	1160,5	502,0	2,299					3,50	1142	1,025	1171	
8	5,50	60,5	142				63,2	1155,5	658,5	1161,0	502,5	2,300					3,30	1154	1,008	1163	
9	5,50	60,5	141				63,4	1150,7	657,5	1156,5	499,0	2,306					3,45	1175	1,003	1179	
												2,301	2,429	5,25	15,94	67,1	3,42			1171	
10	6,00	66,0	140				62,9	1158,5	663,4	1165,3	501,9	2,308					3,90	1110	1,015	1127	
11	6,00	66,0	139				63,2	1159,5	664,0	1164,9	500,9	2,315					3,80	1146	1,008	1155	
12	6,00	66,0	139				63,5	1160,0	662,6	1163,8	501,2	2,314					3,70	1139	1,000	1139	
												2,313	2,413	5,18	15,93	73,8	3,80			1140	
13	6,50	71,5	139				64,5	1162,0	660,0	1165,1	505,1	2,301					4,05	1101	0,975	1073	
14	6,50	71,5	138				64,8	1168,0	664,5	1170,2	505,7	2,310					4,15	1146	1,008	1155	
15	6,50	71,5	140				64,7	1167,0	662,5	1168,8	506,3	2,305					4,18	1139	1,000	1139	
												2,305	2,398	3,88	16,59	73,8	4,13			1123	
16	7,00	77,0	141				64,8	1176,5	664,3	1176,9	512,6	2,295					4,38	1015	0,968	983	
17	7,00	77,0	140				65,1	1167,5	659,5	1169,0	509,5	2,291					4,40	1005	0,960	965	
18	7,00	77,0	140				64,5	1172,3	662,6	1172,7	510,1	2,298					4,59	1010	0,975	985	
												2,295	2,383	3,71	17,35	78,6	4,46			977	

Marshall grafiklerini ve tablolarını bir arada değerlendirebilmek ve maksimum atık seramik kullanımını tespit edebilmek amacıyla mekanik deney sonuçları toplu halde Çizelge 9.43.'de sunulmaktadır.

Çizelge 9.43. Seramik atık türlerine göre optimum mekanik özellikleri sağlayan toplu mekanik deney sonuçları

Atık Seramik Türü	Asfalt karışımındaki optimum atık seramik yüzdesi (%)	Optimum bitüm yüzdesi (%)	Marshall stabilite (kgf)	Boşluk (%)	Asfalt dolu boşluk (%)	VMA	Akma
Sırlı porselen	30	5,5	1162	4,79	69,6	15,76	3,8
Granit	40	5,5	1105	4,89	68,6	15,56	3,57
Granit + sırlı porselen	30	5,5	1138	4,43	71,2	15,38	3,55
Aşınma Tabakası Tip-1 Marshall Standart Değerler Aralıkları			900	(3-5)	(65-75)	(14-16)	(2-4)

Seramik atığı olarak kullanılmış olan; sırlı porselen, granit, granit - sırlı porselen karışım atıklarının sırasıyla %30, %40 ve %30 oranlarında bitümlü sıcak karışımlarda kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar Karayolları Teknik Şartnamesinin aşınma tabakası Tip-1 standart limitler arasında kalmaktadır.

Seramik atığı eklenmiş olan bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm içeriğine bakıldığında hepsinin de optimum bitüm değeri eşit ve %5,5 olarak kaydedilmiştir. Bu sebeple kullanılacak olan bitüm maliyet miktarı her üç numune içinde aynı olacaktır fakat kullanım yüzdelere bakıldığı zaman granit yer karosu eklenmiş olan numunenin %40 oranında doğal agrega yerini aldığı görülmektedir. Maliyet açısından ve diğer şartname değerlerinin de sağladığı için bu seramik atığı tercihi diğerlerine göre daha uygun olacaktır.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çevre kirliliği insanların doğal kaynaklara ve yaşadıkları ortama bilinçsizce zarar vermesi sonucunda ortaya çıkan istenmeyen durumlar olarak tanımlanabilir. İstenmeyen durumlar; yaşayan canlıların zarar görmesi, hava kirliliği, gürültü kirliliği gibi arzu edilmeyen çevreye zararlı durumlardır. Bu kirlilik ekolojik dengeyi bozarak geri dönüşü olmayan sonuçları beraberinde getirir. Seramik karo üretim zincirinin ilk basamağı hammadde teminidir ve madencilik endüstrisi tarafından sağlanmaktadır. Yani çevresel önlemler alacağımız basamak ilk olarak bu sektör yardımıyla gerçekleşmelidir. Madencilik sektörü ve seramik sektörü arasındaki ilişkiden kaynaklı ortaya çıkan çevresel sorunlar, yıkama, proses suyu atığı, toz ve öğütme tesisleridir. Maden ocakları çevreyi çok ciddi boyutlarda etkilememekle beraber bu konularda da gerekli önlemleri almaktadırlar. Ancak özellikle bizim ülkemizde bu tesisler işlem süreçleri boyunca doğal görünümü zarar vermekte ve yeniden düzenleme konusunda hiçbir girişimde bulunmamaktadır.

Dünyamız insanların bilinçsiz üretiminden ve tüketiminden kaynaklı çok çeşitli problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bunlardan bir tanesi de seramik üretimi sonucu çok ciddi boyutlara ulaşan seramik karo atıklarıdır. Seramik endüstrisi, üretim sürecinde çevreye verebilecek zararların önceden farkında olup belli başlı önlemler alarak bu sürecin her aşamasının sürdürülebilir olması yönünde adımlar atmalıdır. Sürdürülebilirlik terimi, ekonomik kalkınmanın kaynakların tüketimiyle olacağını fakat bunların da sınırlılığını vurgulamaktadır. Firmalarda oluşan seramik karo atıklarında yararlanmak veya başka bir firmaya değerlendirmesi için vermek daha mantıklıdır. Bu şekilde doğaya verilen zarar azaltılmış olacaktır.

Bu tez kapsamında seramik karo atıklarının bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kullanılabilirliğine bakılacaktır. Bu amaçla, seramik fabrikasında atık olarak nitelendirilen granit yer karosu, sırlı porselen yer karosu ve granit yer karosu - sırlı porselen yer karosu karışımları farklı oranlarda asfalt karışımlarında doğal agrega yerine kullanılmıştır. Farklı oranlarda seramik atığı içeren asfalt numunelerinin optimum bitüm

tayini yapıldıktan sonra, mekanik özellikler bir arada değerlendirilmiştir. Marshall Tasarım Yöntemine ait standartlar dahilinde üç farklı tipteki seramik atıklarıyla hazırlanan asfalt karışımlarının optimum bitüm yüzdesi % 5,5 olarak belirlenmiştir. Optimum bitüm içeriklerine ait Marshall Tasarım parametreleri değerlendirildiğinde; standartların %40 oranında granit yer karosunun, %30 sırlı porselen yer karosunun ve %30 granit yer karosu - sırlı porselen yer karosu karışımlarının doğal agreganın yerini alabileceğini göstermiştir. Maksimum oranda atık kullanımının hem çevresel hem de ekonomik avantajları göz önüne alındığında; %40 oranında granit yer karosunun asfalt karışımlarda doğal agreganın yerini alabileceği sonucuna tez kapsamında ulaşılmıştır.

Çalışmanın özgün değeri, Uşak ilinde yüksek oranda var olan seramik atıklarının asfalt kaplamalarda kullanılmasını sağlayarak bir kilometre asfalt kaplama maliyetini düşürmektir. Uşak ilinde yılda ortalama 200 km. asfalt kaplama inşası yapılmaktadır. 1 km. uzunluğunda ve 5 m. Genişliğindeki bir asfalt kaplama tasarımının maliyeti yaklaşık olarak 150.000,00 TL'dir. Asfalt kaplama maliyeti yaklaşık olarak toplam maliyetin %60'ını oluşturmaktadır. 1 km. uzunluğundaki asfalt kaplama inşasının asfalt maliyeti 90.000,00 TL'ye ulaşmaktadır. Dolayısıyla Uşak iline bir yılda harcanan asfalt maliyeti toplamda 18.000.000,00 TL olmaktadır. Diğer yandan 1 km. asfalt yol inşası için gerekli agrega maliyeti 3.500,00'dir. %40 oranında Granit yer karosunun 1 km. asfalt yolda doğal agrega yerine kullanıldığı planlanırsa, %1,56 oranında kar sağlanacaktır. Sonuç olarak, Uşak ilinde %40 oranında Granit yer karosunun asfalt yolda doğal agrega yerine kullanımıyla bir yılda beklenen kar miktarı 280.800,00 TL olacaktır.

Çalışma kapsamında doğal ve atık seramiklere ait detaylı agrega karakteristikleri ortaya çıkarılmış ve farklı oranlarda kullanılan seramik atıklarıyla hazırlanmış asfalt kaplamaları üzerinde Marshall tasarım testi uygulanmıştır. İleriki çalışmalara ışık tutmak amacıyla, çeşitli oranlarda atık seramiklerle üretilen asfalt karışımların soyulmaya karşı mukavemetlerinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Rafi, M. M., Qadir, A., Siddiqui, S. H., 2011, Experimental testing of hot mix asphalt mixture made of recycled aggregates, *Waste Management & Research*, 29:(12) 1316–1326.
- [2] Muniandy, R., Ismail, D. H., Hassim, S., 2018, Performance of recycled ceramic waste as aggregates in hot mix asphalt (HMA), *J Mater Cycles Waste Manag*, 20:844–849.
- [3] Köken, A., Köroğlu, M. A., Yonar, F., 2008, Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 7:(1), 86-97.
- [4] Arabani, M., Mirabdolazimi, S. M., 2011, Experimental investigation of the fatigue behaviour of asphalt concrete mixtures containing waste iron powder, *Materials Science and Engineering*, Volume 528, Issues 10–11, Pages 3866–3870.
- [5] Do, H. S., Mun, P. H., Keun, R. S., 2008, A study on engineering characteristics of asphalt concrete using filler with recycled waste lime, *Waste Management*, 28, 191–199.
- [6] Güngör, A. G., Orhan, F., Kaşak, S., Çalışkol, A., Yönter, G., Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Kgm Uygulamaları.
- [7] Akbulut, H., Gürer, C., 2006, Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 3943-3960.
- [8] Perez, I., Pasandin, A. R., Medina, L., 2012, Hot mix asphalt using C&D waste as coarse aggregates, *Materials and Design*, 36, 840-846.
- [9] Rodríguez-Fernández, I., Lastra-González, P., Indacochea-Vega, I., Castro-Fresno, D., 2019, Recyclability potential of asphalt mixes containing reclaimed asphalt pavement and industrial by-products, *Construction and Building Materials*, 195, 148-155.

- [10] Raval, A. D., Patel, I. N., Pitroda, J., 2013, Ceramic waste: Effective replacement of cement for establishing sustainable concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(6), 2324-2329.
- [11] Coşkun, F., 2010, “Sivaslı İlçesinde Eğitim ve İlişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Uşak, 3.
- [12] Durman, A., 2014 “Uşak Çeşmeleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Van, 10.
- [13] Darende, B., 2015, “Uşak İlinde Dericiliğin İncelenmesi “ Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-9.
- [14] İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, 2018, “Yıllara Göre İl Nüfusları İstatistikleri” <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- [15] T.C. Uşak Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2011, “Uşak İli Çevre ve Durum Raporu”, *ÇŞB, Uşak*, 3-7.
- [16] Ercan, T., Dincel, A., Metin, B., Türkecan, A., Günay, E., 1978, Uşak Yöresindeki Neojen Havzalarının Jeolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21: 97-106.
- [17] Aysal, N., Korkanç. M., 2002, Sivaslı (Uşak) Mermer Yataklarının Jeolojik ve Mühendislik Özellikleri, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 15(2): 1-10.
- [18] Öztürk, A., Karadağ, M., 2009, Yukarıkaracahisar (Banaz-Uşak) Bölgesinin Stratigrafisi ve Petrografik Özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 24(4): 1-22.
- [19] Öner, C., 2005, “Uşak Merkez Nadara Köyü Civarı Jeolojisi ve Demir Cevherleşmelerinin Yataklanması ve Madem Ekonomisi Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 12-19, 31.
- [20] Selahattin, P., Güney, Y., 2013, Uşak İli Arazisinde Karstik Şekiller, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27: 440-475.

- [21] Özdağ, D, E., 2015, “Cam ve Metal Malzemelerin Seramik Sanatında Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-9.
- [22] İnternet: Rezan Hâs Müzesi “Anadolu’da Pişen Toprak Sergisi”, 2007 <http://www.rhm.org.tr/event/anadoluda-pisen-toprak/16/>
- [23] Mutluay, N., 2010, “Anadolu Neolitik Çağ Uygarlığı”, *Alter Yayıncılık*, Ankara, 7.
- [24] Çoksolmaz, E., 2011, “Çanak Çömleksiz Neolitik Dönem Yerleşmelerinin Anadolu’daki Dağılımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, 15.
- [25] İnternet: Türkiye Seramik Federasyonu, “Seramikin Alfabetesi” <https://www.serfed.com/akademik-calismalar>
- [26] İnternet: Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi <http://kirsehirarkeoloji.blogspot.com/2010/12/ortan-anadolu-neolitik-kalkolitik.html>
- [27] Çobanlı, Z., Canbolat, A., 2014, Seramik Sanatında Kullanılan Tornalar, *Anadolu Üniversitesi Sanat & Tasarım Dergisi*, 6(6): 156-167.
- [28] Mutlu, S, H., 2007, Zamanın Çarkında Anadolu’da Seramik, *Anadolu Sanat Dergisi*, 18: 71-78.
- [29] Ayna, O, M., 2012, “Hidrojenle Zenginleştirilmiş Yakma Sistemleri ve Seramik Sektörü Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Uşak, 5-12.
- [30] Demirkol, İ., 2010, “Zirkonyum Seramiklerinin Üretilmesi ve Mekanik Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 1.
- [31] Okumuş, H., 2008, “Seramik Tasarım ve Üretiminde Sağlık Açısından Alınması Gereken Önlemler”, Sanatta Yeterlilik Tezi, *Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İstanbul, 7-9, 90-95.

- [32] Baltacı, Y., 2013, “Yer Karosu Opak Mat Sırlarında Karıştırıcı Bilyalı Değirmen (Atritor) Öğütme Parametlerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 6.
- [33] Kayacı, B., 2006, “Proses Ham Atığının Seramik Karo Bünyelerde Kullanımı”, Yüksek Lisans, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 4.
- [34] Binal, G., 2013, “Manyezit Atıkların Seramik Karo Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi’ Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 29.
- [35] Binal, G., 2007, “Yer Karosu Süreç Parametlerinin Faktöriyel Tasarım ile İncelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2,5.
- [36] Çakıcı, R. İ., 2014, “Seramik Üretiminde Alternatif Hammaddelerin Kullanılma Olanaklarının Araştırılması ve Maliyet Azaltma Çalışmalarının Yapılması”, Yüksek Lisans, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14.
- [37] Yamaner, C., Akpınar, S., 2014, Bazı Bor Bileşiklerinin Sırda Ham Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14: 169-175.
- [38] Arcasoy, A., 1983, “Seramik Teknolojisi”, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları, No:2, İstanbul.
- [39] İraz, N., 2018, “Çevre Kirliliği ve Motorlu Taşıtlar Vergisi’nin Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkisi”, Yüksek Lisans, *Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Tekirdağ, 4.
- [40] Poyraz, M., Yılmaz, Z., 2018, Seramik Karo Sektöründe Sürdürülebilirlik, *Anadolu Üniversitesi Sanat & Tasarım Dergisi*, 6(1): 256-270.
- [41] Kara, Ç., 2012, “Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 29,31.

- [42] Ağar, E., Öztaş, G., 1998, “Beton Yollar”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [43] Umar, F. ve Yayla, N., 1994 “Yol İnşaatı”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [44] Karaşahin, M., 1993, “Resilient Behavior of Granular Materials of Analysis of Highway Pavements”, PhD Thesis, *Department of Civil Engineering University of Nottingham*, England.
- [45] Er, A., 2011, “Özel Öğütölmüş Lastik Atığı İçeren Asfalt Betonunun Performans Özelliklerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 26, 33.
- [46] Arapođlu, A, S., 2015, “Bozulmuş Aafalt Kaplamaların Geri Dönüşüm Maliyet Analizi ve Optimum Geri Kazanım Mesafesinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- [47] Öksüz, B., 2011, “Asfalt Betonu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Endüstrisi*, Isparta, 2.
- [48] Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013, “Karayolu Teknik Şartnamesi”, KGM Yayınları, KGM, Ankara.
- [49] İnce, M., 2012, “Asfalt Kaplama Yol Üstyapılarında Oluşan Bozulmaların Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Endüstrisi*, Samsun, 15.
- [50] Alp, B., 2018, “Aşınma Asfalt Betonu ve Taş Mastik Asfalt Tekniđinin Köprü Uygulamalarında Kullanılması ve Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Endüstrisi*, İstanbul, 15.
- [51] Hanlı, E., 2009 “Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14.

- [52] Yavuz, C. S., 2018, “Bitümlü Sıcak Karışımlarda Asfalt Plent Atıklarının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 12.
- [53] Tunç, A., 2007, “Yol Malzemeleri ve Uygulamaları”, Nobel Yayın Dağıtım.
- [54] Aytekin, Ş., 2018, “İlık Asfalt Üretiminde Kullanılan Katkıların Performans Değerlendirmeleri ve Bu Katkılarla KGM Şartnamelerine Göre Asfalt Kaplama Dizaynı”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 13.
- [55] Öztürk, E., 2009, “Zonguldak Bölgesi Kireçtaşı, Andezit ve Bazalt Oluşumları ile Filyos Çayı Sedimanlarının (Çaycuma-Devrek) Asfalt Üretiminde Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 7.
- [56] Altan, F., 2018, “ Taş Matik Asfaltta Elektrik Ark Fırını Cürufunun Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Doğal Agrega ile Karşılaştırılması”, , *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-26.
- [57] Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001, Asfalt ve Uygulamaları, İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- [58] Gündüz, A., 2011, “Asfalt Kaplamalarda Atık Lastik İlavesinin Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 39-44.
- [59] Umar, F., Ağar E., 1991. Yol Üst Yapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 339 s.
- [60] Özen, H., 2005, Ulaştırma Laboratuvar Deneyleleri, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65s.
- [61] Özbebek, H., Açıık, H., 2011, “İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deneyle Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi”, THBB Beton, 84-92.

- [62] Yitik, H., 2006, “İnce Tanelerdeki Kil İçeriğinin Metilen Mavisi Deneyi ile Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- [63] Geçkil, T., Selođlu, M., 2019, “Reaktif Terpolimerin Bitümün Kıvamına ve Sıcaklık Duyarlılığına Etkisi”, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 204-213.
- [64] Gökalp, İ., Özinal, Y., Uz, V, E., 2018, “Atık Bitkisel Yemelik Yağların Saf Bitüm Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 570–578.
- [65] Atalaş, T., Kizirgil, M, E., 2012, “Saf ve Polimer Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarının Dönel Viskozimetre Deneyi ile Belirlenmesi”, *Alataş ve Kizirgil Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3): 249-256.

ÖZGEÇMİŞ

Kişiler Bilgiler

Soyadı, adı : SAYGI, Melike
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1994, İstanbul
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 505 609 29 09
e-mail : melikesaygi94@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	devam ediyor
Lisans	Pamukkale Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2017
Lise	Uşak Şehit Abdülkadir Kılavuz Anadolu Öğretmen Lisesi	2012

İş Deneyimi

-

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Satranç, Halk Oyunları, Fotoğrafçılık, Tarihi Alanları ve Müzeleri Gezmek