

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FARKLI AGREGA KÖKENLERİNİN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA
SOYULMA MUKAVEMETİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal Faruk KOÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**FARKLI AGREGA KÖKENLERİNİN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA
SOYULMA MUKAVEMETİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal Faruk KOÇ

(501201009)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan YILDIRIM

AĞUSTOS 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501201009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Bilal Faruk KOÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FARKLI AGREGA KÖKENLERİNİN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA SOYULMA MUKAVEMETİ ÜZERİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hasan YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Halit ÖZEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **8 Temmuz 2023**

Savunma Tarihi : **3 Ağustos 2023**





Aileme...



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan YILDIRIM’a teşekkürlerimi sunarım. Fikir ve görüşleri ile her zaman destek olan, tecrübesi ile yol gösteren kıymetli iş arkadaşım Dr. Mehmet Akif ÇELİMLİ’ye minnettarlığımı sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi, manevi her türlü destek ve imkanı benden esirgemeyen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ağustos 2023

Bilal Faruk KOÇ
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. KARAYOLU	5
2.1 Karayolu Altyapısı	5
2.2 Karayolu Üstyapısı	5
2.3 Karayolu Üstyapı Bozulma Tipleri	6
2.3.1 Timsah sırtı çatlaklar	6
2.3.2 Kenar çatlakları	7
2.3.3 Enine çatlaklar	8
2.3.4 Boyuna çatlaklar	9
2.3.5 Blok (Harita) çatlakları	9
2.3.6 Tekerlek izi oturmaları	10
2.3.7 Yerel oturmalar	11
2.3.8 Çukurlar	12
2.3.9 Soyulma	12
3. LİTERATÜR TARAMASI	15
3.1 Agregası Tipinin Asfalt Karışımlara Olan Etkisi	15
3.1.1 Agregası tipinin soyulma mukavemeti üzerine etkisi	15
3.2 Asfalt Karışımlarında Soyulma Mukavemeti Tespiti	16
3.2.1 Agregası ve bitüm arasındaki ilişkinin çeşitli metodlarla araştırılması	17
3.3 Soyulma Mukavemetine Etkiyen Diğer Parametreler	19
4. KULLANILAN STANDARTLAR	21
4.1 Standartlar ve Şartnameler	21
4.1.1 TS EN 12697-11 (2020)	21
4.1.2 TS EN 58	21
4.1.3 TS EN 12697-2+A1	21
4.1.4. TS EN 12697-35	21
4.1.5 Karayolları Teknik Şartnamesi	22
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	23
5.1 Kullanılan Malzemeler	23
5.1.1 Bitüm	23
5.1.2 Agregası	24
5.2.1.1 Kalker	25
5.2.1.2 Bazalt	27
5.2.1.3 Çakıl	29
5.2.1.4 Kumtaşı	30

5.2.1.5 Beyaz kalker	33
5.2.1.6 Dolomit.....	35
5.2.1.7 Kimyasal analiz	37
5.2 Deneylerin Yapılışı.....	38
5.2.1 1.Set.....	48
5.2.2 2.Set.....	49
5.2.3 3.Set.....	51
5.2.4 4.Set.....	53
5.2.5 5.Set.....	55
6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	59
6.1 1.Set Sonuçları.....	59
6.1.1 1.Set Bazalt.....	60
6.1.2 1.Set Beyaz Kalker	62
6.1.3 1.Set Çakıl	64
6.1.4 1.Set Dolomit	66
6.1.5 1.Set Kalker.....	68
6.1.6 1.Set Kumtaşı	70
6.2 2.Set Sonuçları.....	73
6.2.1 2.Set Bazalt.....	73
6.2.2 2.Set Beyaz Kalker.....	75
6.2.3 2.Set Çakıl	77
6.2.4. 2.Set Dolomit	79
6.2.5 2.Set Kalker.....	81
6.2.6 2.Set Kumtaşı	83
6.3 3.Set Sonuçları.....	86
6.3.1 3.Set Bazalt.....	86
6.3.2 3.Set Beyaz Kalker.....	88
6.3.3 3.Set Çakıl	90
6.3.4 3.Set Dolomit	92
6.3.5 3.Set Kalker.....	94
6.3.6 3.Set Kumtaşı	96
6.4 4.Set Sonuçları.....	99
6.4.1 4.Set Bazalt.....	99
6.4.2 4.Set Beyaz Kalker.....	101
6.4.3 4.Set Çakıl	103
6.4.4 4.Set Dolomit	105
6.4.5 4.Set Kalker.....	107
6.4.6 4.Set Kumtaşı	109
6.5 5.Set Sonuçları.....	112
6.5.1 5.Set Bazalt.....	112
6.5.2 5.Set Beyaz Kalker.....	114
6.5.3 5.Set Çakıl	116
6.5.4 5.Set Dolomit	118
6.5.5 5.Set Kalker.....	120
6.5.6 5.Set Kumtaşı	122
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	125
KAYNAKLAR.....	131

KISALTMALAR

BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
TS	: Türk Standartları
EN	: European Standards



SEMBOLLER

T_m : Karıştırma Sıcaklığı

T_c : Sıkıştırma Sıcaklığı

$^{\circ}\text{C}$: Celcius





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Deneysel çalışmada kullanılan bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri[29].....	23
Çizelge 5.2: Kalkerin fiziksel özellikleri.	25
Çizelge 5.3 : Kalkerin petrografik bileşimi.	26
Çizelge 5.4: Bazaltın fiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 5.5 : Bazaltın petrografik bileşimi.	28
Çizelge 5.6 : Çakılın fiziksel özellikleri.	29
Çizelge 5.7 : Çakılın petrografik bileşimi.....	30
Çizelge 5.8 : Kumtaşının fiziksel özellikleri.	31
Çizelge 5.9 : Kumtaşının petrografik bileşimi.....	32
Çizelge 5.10 : Beyaz kalkerin fiziksel özellikleri.	33
Çizelge 5.11 : Beyaz kalkerin petrografik bileşimi.	34
Çizelge 5.12 : Dolomitin fiziksel özellikleri.....	35
Çizelge 5.13 : Dolomitin petrografik bileşimi.	36
Çizelge 5.14 : Deneysel çalışmada kullanılan agregalara ait kimyasal analiz sonuçları.	37
Çizelge 5.15 : 1.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.....	48
Çizelge 5.16: 2.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.....	50
Çizelge 5.17 : 3.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.....	52
Çizelge 5.18 : 4.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.....	53
Çizelge 5.19 : 5.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.....	55



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 2021 Yılı Karayolları Genel Müdürlüğü Sorumluluğundaki Yol ağında Yıllık Taşıt-Km, Yolcu-Km ve Ton-Km Değerleri [2].	1
Şekil 1.2: KGM Bölge Şubeleri 2021 Yılı Bakım-Onarım İhaleleri Toplam Maliyetleri[3].	2
Şekil 2.1: Yol Üstyapısı Tip Enkesiti [5].....	6
Şekil 2.2 : Esnek üstyapıda oluşmuş timsah sırtı çatlak.	7
Şekil 2.3 : Esnek üstyapıda gözlemlenen kenar çatlağı[7].	8
Şekil 2.4 : Esnek üstyapıda gözlemlenen enine çatlak[8].....	8
Şekil 2.5 : Esnek üstyapıda gözlemlenen boyuna çatlak[7]	9
Şekil 2.6 : Esnek üstyapıda gözlemlenen blok çatlağı.....	10
Şekil 2.7 : Esnek üstyapıda gözlemlenen tekerlek izi bozulma tipleri [9].....	11
Şekil 2.8 : Esnek üstyapılarda oluşmuş bir tekerlek izi oturması.	11
Şekil 2.9 : Esnek üstyapıda oluşmuş yerel oturma tipi bozulma[6].	12
Şekil 2.10 : Esnek üstyapıda oluşmuş çukur tipi bozulma.	12
Şekil 2.11: Esnek üstyapıda oluşmuş soyulma tipi bozulma.	13
Şekil 5.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki kalker agregası.	25
Şekil 5.2 . Kalkere ait petrografik-polarizan mikroskop görünümü.	26
Şekil 5.3 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki bazalt agregası.	27
Şekil 5.4 : Bazalta ait petrografik-polarizan mikroskop görünümü.	28
Şekil 5.5 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki çakıl agregası.	29
Şekil 5.6 : Çakılın petrografik-polarizan mikroskop görünümü.....	30
Şekil 5.7 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki kumtaşı agregası.	30
Şekil 5.8 : Kumtaşının petrografik-polarizan mikroskop görünümü.....	32
Şekil 5.9 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki beyaz kalker agregası.	33
Şekil 5.10 : Kumtaşının petrografik-polarizan mikroskop görünümü.....	34
Şekil 5.11 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki dolomit agregası.	35
Şekil 5.12 : Dolomitin petrografik-polarizan mikroskop görünümü.	36
Şekil 5.13 : Deneysel çalışmada kullanılan elek.	38
Şekil 5.14 : Agregaların 8 mm'lik elek üzerinde yıkanması.	39
Şekil 5.15 : Yüzey kuru suya doymun etüv işlemine hazır yıkanmış agregalar.	39
Şekil 5.16 : Ağırlık ölçümlerinde kullanılan hassas terazi.	40
Şekil 5.17 : Yüzey kuru suya doymun 150 adet bazalt agregasının ağırlık ölçümü... 40	
Şekil 5.18 : Deneysel çalışmada kullanılan etüv.	42
Şekil 5.19 : Deneysel çalışmada kullanılan 1,5lt kapasiteli metal karıştırma kabı.... 43	
Şekil 5.20 : Karıştırma işlemlerinde kullanılan spatula.....	43

Şekil 5.21 : Deneyde kullanılan elektrikli ocak.....	44
Şekil 5.22 : Deneyisel çalışmada kullanılan temassız laboratuvar termometresi.	44
Şekil 5.23 : Üretimi tamamlanmış numunenin laboratuvar ortamında 1 saat beklemesi.	45
Şekil 5.24 : Numunelerin saf su içerisine konulması.....	46
Şekil 5.25 : 24 saat süreyle bekletilmek üzere 60°C 'lik etüvde su dolu derin laboratuvar tepsisi içerisine konulmuş numune.	46
Şekil 5.26 : Isı ayarlı su havuzu içerisinde 48 saat 19°C'de bekletilmek üzere konulan numuneler.	47
Şekil 5.27 : Görüntüleme için hazırlanan 1.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.....	49
Şekil 5.28: Görüntüleme için hazırlanan 2.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.....	51
Şekil 5.29 : Görüntüleme için hazırlanan 3.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.....	53
Şekil 5.30 : Görüntüleme için hazırlanan 4.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.....	55
Şekil 5.31 : Görüntüleme için hazırlanan 5.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.....	57
Şekil 6.1 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set bazalt numuneleri.....	60
Şekil 6.2 : 1.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	61
Şekil 6.3 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set beyaz kalker numuneleri.	62
Şekil 6.4 : 1.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	63
Şekil 6.5 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set çakıl numuneleri.....	64
Şekil 6.6 : 1.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	65
Şekil 6.7 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine alınan 1.set dolomit numuneleri.	66
Şekil 6.8 : 1.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	67
Şekil 6.9 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set kalker numuneleri.	68
Şekil 6.10 : 1.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	69
Şekil 6.11 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set kumtaşı numuneleri.....	70
Şekil 6.12 : 1.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	71
Şekil 6.13 : 1.Set sonuçlarına ilişkin grafik.	72
Şekil 6.14 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set bazalt numuneleri.....	73
Şekil 6.15 : 2.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	74
Şekil 6.16 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set beyaz kalker numuneleri.	75
Şekil 6.17 : 2.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	76
Şekil 6.18 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set çakıl numuneleri.....	77
Şekil 6.19 : 2.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	78
Şekil 6.20 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set dolomit numuneleri.	79
Şekil 6.21 : 2.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	80

Şekil 6.22 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set kalker numuneleri.	81
Şekil 6.23 : 2.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	82
Şekil 6.24 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set kumtaşı numuneleri.....	83
Şekil 6.25 : 2.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	84
Şekil 6.26 : 2.Set sonuçlarına ilişkin grafik.	85
Şekil 6.27 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set bazalt numuneleri.....	86
Şekil 6.28 : 3.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	87
Şekil 6.29 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set beyaz kalker numuneleri.	88
Şekil 6.30 : 3.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	89
Şekil 6.31 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set çakıl numuneleri.	90
Şekil 6.32 : 3.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	91
Şekil 6.33 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set dolomit numuneleri.....	92
Şekil 6.34 : 3.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	93
Şekil 6.35 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set kalker numuneleri.	94
Şekil 6.36 : 3.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	95
Şekil 6.37 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set kumtaşı numuneleri.....	96
Şekil 6.38 : 3.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	97
Şekil 6.39 : 3.Set sonuçlarına ilişkin grafik.	98
Şekil 6.40 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set bazalt numuneleri.....	99
Şekil 6.41 : 4.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	100
Şekil 6.42 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set beyaz kalker numuneleri.	101
Şekil 6.43 : 4.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	102
Şekil 6.44 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set çakıl numuneleri.	103
Şekil 6.45 : 4.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	104
Şekil 6.46 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set dolomit numuneleri.....	105
Şekil 6.47 : 4.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	106
Şekil 6.48 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set kalker numuneleri.	107
Şekil 6.49 : 4.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	108
Şekil 6.50 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set kumtaşı numuneleri.....	109
Şekil 6.51 : 4.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	110
Şekil 6.52 : 4.Set sonuçlarına ilişkin grafik.	111
Şekil 6.53 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set bazalt numuneleri.....	112
Şekil 6.54 : 5.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	113
Şekil 6.55 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set beyaz kalker numuneleri.	114

Şekil 6.56 :	5.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	115
Şekil 6.57 :	Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set çakıl numuneleri.....	116
Şekil 6.58 :	5.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	117
Şekil 6.59 :	Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set dolomit numuneleri.	118
Şekil 6.60 :	5.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	119
Şekil 6.61 :	Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set kalker numuneleri.	120
Şekil 6.62 :	5.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.	121
Şekil 6.63 :	Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set kumtaşı numuneleri.....	122
Şekil 6.64 :	5.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.....	123
Şekil 6.65 :	5.Set sonuçlarına ilişkin grafik.	124
Şekil 7.1 :	Agrega kökenlerine göre 5 farklı setin ortalama soyulma mukavemeti sonuçları gösteren grafik.....	125



FARKLI AGREGA KÖKENLERİNİN BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARDA SOYULMA MUKAVEMETİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Artan dünya nüfusu ve yeni yerleşim yerlerinin oluşmasına bağlı olarak ulaşım ağları büyüyerek genişlemiş ve genişlemeye devam etmektedir. Ulaşımın ve taşıt kullanımının artması beraberinde trafik yüklerini de getirmektedir. Yüksek trafik yükleri ise karayolu üstyapısında kalıcı deformasyonlara sebep olmaktadır. Oluşan karayolu üstyapı bozulmaları ise trafik güvenliğini tehlikeye atmasının yanında bakım-onarım masrafı olarak geri yansımaktadır. Ülkemizde 2021 yılında -yerel yönetimler hariç olmak üzere- yaklaşık 3,5 milyar TL karayolu bakım-onarımına harcanmıştır ve bu maliyet her sene katlanarak artmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı karayollarını servis ömrü uzun olacak şekilde tasarlamalı ve üstyapı bozulmalarını minimum seviyelerde tutacak çalışmalar yapılmalıdır.

Karayolu üstyapılarında oluşan bir çok bozulma tipi olmakla birlikte bu tez çalışması kapsamında “soyulma” tipi üstyapı bozulması incelenerek bitüm sıcak karışımlarda kullanılan agreganın soyulma mukavemetine olan etkisi incelenmiştir. Agregaların -fiziksel kimyasal özelliklerinin soyulma davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bu çalışmada bazalt, beyaz kalker, çakıl, dolomit, kalker ve kumtaşı olmak üzere altı farklı agrega kullanılmıştır. Çalışma kapsamında agregaların fiziksel özellikleri, fiziksel deney metodları; kimyasal özellikleri, petrografik ve kimyasal analizler ile ortaya konulmuştur.

Tez çalışması kapsamında soyulma davranışını daha iyi belirleyebilmek ve soyulma tipi bozulmanın etmenlerini ortaya koyabilmek amacıyla çalışma kapsamına ilki karıştırma sıcaklığı (T_m), ikincisi su içerisinde bekletme işlemi (water conditioning) olmak üzere iki farklı parametre daha eklenmiştir. Deneysel çalışmalar TS EN 12697-11:2020 standartının Statik Metodu ve Karayolları Teknik Şartnamesinin Soyulma Mukavemeti Deneyi kısımlarına göre yapılarak sonuçlandırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre agreganın kökeni değiştikçe bitümlü sıcak karışımlardaki soyulma karşısında göstermiş olduğu mukavemetler de değişiklik göstermektedir. Fiziksel olarak daha yassı olanların ya da los angeles parçalanma direnci daha yüksek olan agregaların daha düşük soyulma mukavemeti göstererek yüksek soyulmalara maruz kaldıkları gözlemlenmiştir. Kimyasal olarak incelendiğinde sertlik sınıfına göre durabilitesi ve sertliği yüksek, yüksek homojenliğe sahip yapıdaki kayalardan elde edilen agregalar ile üretilen karışımların daha yüksek soyulma mukavemeti gösterdikleri gözlemlenmiştir.

Karıştırma sıcaklığı açısından bakıldığında ise yüksek karıştırma sıcaklıklarının agrega bitüm benzeşmesini artırarak yüksek adezyon sağladığı ve bu sebeple düşük soyulmalar meydana getirdiği ortaya konulmuştur. Karıştırma sıcaklıkları düştükçe soyulma miktarlarında artışlar meydana gelmiştir.

Su içerisinde bekletme işlemi (water conditioning) kapsamında TS EN 12697-11 ve Karayolları Teknik Şartnamelerinin önerdiği metodlar ayrı ayrı ve birleştirilerek çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Su içerisinde belirli bir süre boyunca sabit sıcaklıkta bekletme işlemlerinin soyulma mukavemetine olan etkisi de bu sayede deneysel çalışmalarda incelenmiş oldu. Bu işlem sırasında KTŞ'nin önerisi olarak yüksek sıcaklık tercih edildiğinde soyulma miktarlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Yani su içerisinde bekletme işleminde de (Water conditioning) sıcaklık arttığında süre düşse dahi soyulma mukavemetine negatif etki yaptığı gözlemlenmiştir.



THE EFFECT OF DIFFERENT AGGREGATE ORIGINS ON THE STRIPPING STRENGTH OF HOT BITUMINOUS MIXES

SUMMARY

Depending on the increase in the world population and the formation of new settlements, the transportation network is gradually developing. The developing transportation network, on the other hand, causes an increase in the traffic load and causes deterioration in the highway pavement. In addition to endangering traffic safety, the occurring deterioration of the pavement also causes many economic drawbacks. In our country, as of 2021, excluding local governments, approximately 3.5 billion TL has been spent on highway pavement maintenance and repair. The spent maintenance and repair costs continue to increase exponentially every year. Highway pavements should be designed to have a longer service life and studies should be carried out to keep pavement deterioration at minimum levels. Based on these reasons, in this study, “stripping” which is one of the deteriorations that occurs in highway flexible pavement, is examined in detail.

It is known that the stripping behavior depends on the adhesion between the aggregate and the bitumen. This situation reveals that the chemical and physical properties of the aggregate will affect the stripping strength. For this reason, 6 different aggregates; basalt, white limestone, gravel, dolomite, limestone and sandstone were used in the experimental studies. Before starting the stripping strength tests the physical properties of aggregates such as specific gravity, water absorption, Los Angeles abrasion test; chemical properties such as microscopic imaging, chemical components, Mohs hardness classes, origins were determined by experimental methods. Bitumen 50/70 was used in all experimental work.

While conducting the experimental study, the static method of TS EN 12697-11 (2020): Determination of the affinity between aggregate and bitumen standard and the Stripping Strength Test section of the Turkish Highways Technical Specification were used.

In order to present and prove other parameters affecting the stripping behavior mixing temperature (T_m) and water conditioning parameters were also included as variables in the experimental study. The mixing temperature (T_m) affects the viscosity of the bitumen and changes the quantity of adhesion to the aggregate. Therefore, it is necessary to use high mixing temperatures to ensure high adhesion. As a result of the interaction of the aggregate bitumen interface with high adhesion, it also causes a decrease in deterioration such as stripping caused by water. In the scope of the experimental study 3 different mixing temperatures 165 °C, 150 °C and 135°C, were applied in order to understand the effects of mixing temperature. Thus, the effects of decreasing mixing temperatures on stripping strength were examined in detail.

The water conditioning process, which is used as another variable in the thesis, is the place where literally stripping type deterioration occurs. In water conditioning process, TS EN 12697-11 standard recommended that 19°C should be applied for 48 hours. In addition, it is mentioned in the standard that the process can be continued by using different temperatures and time intervals. On the other hand, Turkish Highways Technical Specification recommends 60°C water conditioning for 24 hours. In the light of this information, 3 different types of water conditioning were chosen respectively 1- 48 hours 19°C, 2- 24 hours 60°C ve 3- 24 hours 19°C + 12 hours 60°C. By this way, the effects of water conditioning processes on stripping strength were examined.

First of all, the effects of the origins of the aggregates namely the physical and chemical properties on the stripping strength were determined. According to the findings, aggregate origin plays an important role in the stripping behaviour of hot bitumen mixes. The six aggregates used showed differences in stripping behavior. It has been determined that specific gravity and water absorption have no observed effect on stripping strength. Major stripping differences were observed between aggregates with very close each other in terms of aggregate specific gravity. Likewise, it has been observed that aggregates with similar water absorption properties have different stripping strengths in their stripping behavior. However, when the los angeles abrasion value was examined, it was observed that the aggregates with high abrasion value had lower stripping strength. When the stripping behavior was examined in terms of mohs aggregate hardness class, it was determined that aggregates with low hardness class were tend to high stripping. It has been shown that aggregates with smoother and flatter surfaces are subject to high stripping, even if their other physical properties are better. When the photomicrograph of the aggregates was evaluated, it was determined that those with homogeneous distribution in terms of chemical components exhibited higher stripping strength.

Although the physical properties of the dolomite aggregates are similar compared to other aggregates, it performed very poorly in stripping. This is caused by chemical properties. When the chemical components were examined, it was understood that the stripping strength of the aggregates with high Fe_2O_3 content was good. It is considered that the SiO_2 value has an optimum value in aspect of stripping behavior and when this value is exceeded it is considered that it adversely affects the stripping strength of mixes.

In the effects of the mixing temperature on the stripping strength, it was determined that the mixtures using high mixing temperature showed higher stripping strength. This can be explained by the decrease in the viscosity of the bitumen at high temperatures and the increase in bitumen aggregate adhesion. In addition, as the mixing temperatures increased, it was evaluated that the bitumen penetrated the microvoids in the aggregates and reduced the amount of stripping.

When the effects of the water conditioning process applied to the produced samples were examined, it was observed that the amount of stripping increased as the water conditioning temperature increased, even if the time was shortened. In the study, it was determined that when water conditioning conditions were applied at 19°C for 48 hours, the amount of stripping decreased compared to 60°C for 24 hours. When 60°C conditions are applied, it is understood that the 50/70 bitumen that used in mixes exceeds the softening point, therefore the bitumen softens and strips off easily. Since the bitumen type and class was kept constant for each set and aggregate, the effect of water conditioning could be easily demonstrated.

Aggregates used in hot bituminous mixtures should be in crushed stone and angular forms rather than flat and smooth in order to increase the stripping strength. Aggregates with high hardness class should be preferred in places where stripping type deterioration is commonly seen. Bitumen with high softening point should be chosen as binder for hot bituminous mixtures to be used in both humid and high temperature climate residential areas. In places where stripping is not desired, bitumen should be modified or additives that increase adhesion should be added to the mixture in order to prevent this deterioration. In addition, using high mixing temperatures can be considered as an option for mixtures where low stripping is desired.



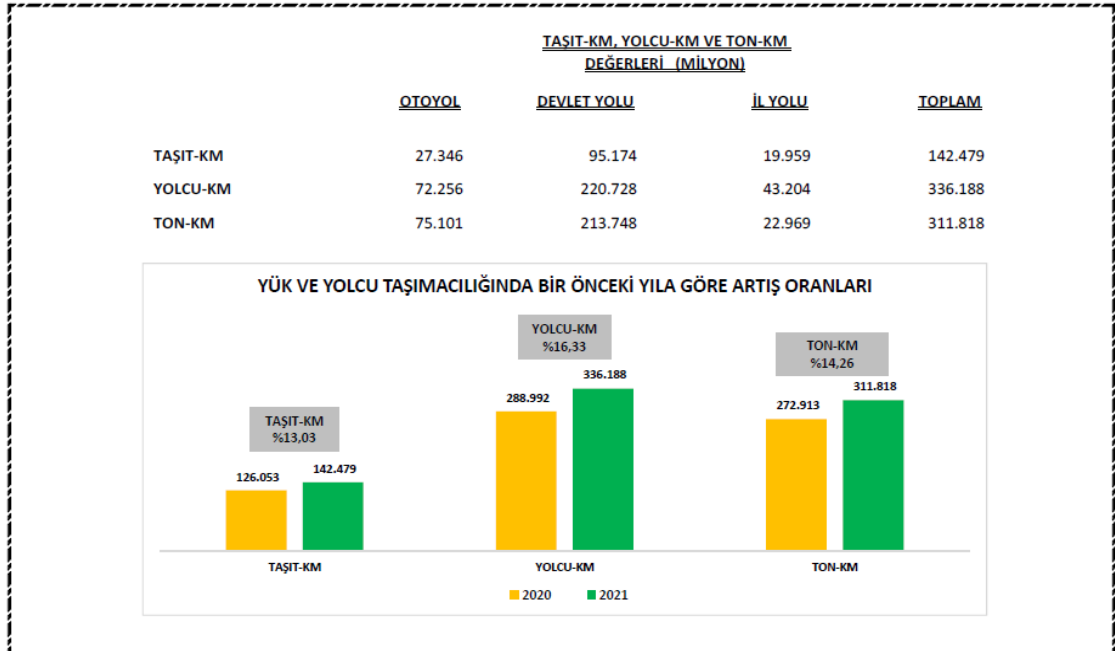


1. GİRİŞ

Dünya nüfusu, her geçen yıl artmaktadır. Nüfustaki bu artış yeni yaşam alanları oluşturmakta ya da mevcut yaşam alanlarının tamamının aktif olarak kullanılmasına sebep olmaktadır. Artan nüfus ve oluşan yeni yaşam alanları ile beraber ulaşım olan ihtiyaç da doğal bir süreçten geçerek artmaktadır.

Ulaşım; insanların hayatını doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde yolcu taşımacılığının %95.2'si karayolu ile sağlanmaktadır. Bu oran ABD'de %89, Avrupa Birliği Ülkelerinde ise %79 civarlarındadır. Yük taşımacılığında karayolu kullanım oranı ise ülkemizde %76.1'dir. Bu oran ABD'de %69.5 Avrupa Birliği Ülkelerinde ise yaklaşık %45'tir[1].

Ülkemizdeki karayolu ulaşımının 2021 veri detayları incelendiğinde; 2020 yılına göre taşıtların katettiği yol %13.03 oranında artarak 142,479 milyon km olarak belirtilmiştir. Yine aynı şekilde Taşıt-Km, Yolcu-Km ve Ton-Km cinsinden artışlar ve kıyaslamalar Şekil 1.1'de verilmiştir[2].



Şekil 1.1: 2021 Yılı Karayolları Genel Müdürlüğü Sorumluluğundaki Yol ağında Yıllık Taşıt-Km, Yolcu-Km ve Ton-Km Değerleri [2].

Ülkemizde son yıllarda giderek artan karayolu kullanımı, beraberinde karayolu üstyapısında bozulmaları ve bozulmalara bağlı bakım maliyetlerini de artırmıştır. 2021 yılında 62.225km yol için KGM tarafından harcanan toplam bakım onarım maliyeti yaklaşık 3.5 Milyar Türk Lirası olarak raporlanmıştır[3]. Bu maliyet detayları Şekil 1.2’de gösterilmektedir. Belirtilen bu maliyete yerel yönetimlerin ve il özel idarelerinin yapmış oldukları bakım onarımlar dahil değildir.

BÖLGELER	BAKIM YOL AĞI (KM)	BAKIM-ONARIM İHALELERİ			TOPLAM İHALELİ BAKIM GİDERLERİ (TRA+RUT+DİĞ) (TL)
		TRAFİK GÜVENLİĞİ (TL)	RUTİN BAKIM (YOL BAKIM ONARIM VE KAR MÜCADELESİ) (TL)	DİĞER BAKIM (TL)	
1. BÖLGE (İSTANBUL)	2.978	88.520.565	134.981.003	52.532.162	276.033.730
2. BÖLGE (İZMİR)	5.039	80.045.454	109.149.260	48.580.626	237.775.340
3. BÖLGE (KONYA)	5.214	97.351.276	96.601.878	41.606.929	235.560.083
4. BÖLGE (ANKARA)	3.442	103.886.488	135.641.005	32.988.483	272.515.976
5. BÖLGE (MERSİN)	4.646	111.865.958	100.930.230	36.331.365	249.127.554
6. BÖLGE (KAYSERİ)	3.916	81.677.205	144.485.739	42.809.426	268.972.371
7. BÖLGE (SAMSUN)	4.435	77.661.171	136.554.265	37.331.135	251.546.571
8. BÖLGE (ELAZIĞ)	3.727	42.299.854	48.821.839	20.360.486	111.482.179
9. BÖLGE (D.BAKIR)	4.347	73.619.927	52.915.471	38.199.116	164.734.514
10. BÖLGE (TRABZON)	3.554	79.139.978	77.527.118	128.119.677	284.786.773
11. BÖLGE (VAN)	3.087	65.610.313	48.594.097	46.790.336	160.994.747
12. BÖLGE (ERZURUM)	2.116	33.199.828	40.682.806	22.501.590	96.384.224
13. BÖLGE (ANTALYA)	3.330	51.622.912	97.260.434	56.779.600	205.662.946
14. BÖLGE (BURSA)	4.549	75.048.541	60.398.316	46.002.853	181.449.709
15. BÖLGE (KASTAMONU)	2.934	60.354.415	52.798.766	38.956.833	152.110.015
16. BÖLGE (SİVAS)	3.370	48.773.412	89.978.171	29.858.779	168.610.362
18. BÖLGE (KARS)	1.541	29.260.729	57.115.176	12.119.902	98.495.807
BÖLGE TOPLAMI	62.225	1.199.938.028	1.484.435.575	731.869.298	3.416.242.900

Şekil 1.2: KGM Bölge Şubeleri 2021 Yılı Bakım-Onarım İhaleleri Toplam Maliyetleri[3].

Arazinin kazı ve dolguları yapılarak yol olarak inşa edilme aşaması oldukça masraflı ve uzun uğraşlar isteyen süreçlerdir. Ülkemizin zor topografik ve iklim koşulları ile çok geniş arazilerde yerleşimler olması sebebiyle karayollarında bakım onarımdan ziyade servis ömrü uzun olan yollar inşa edilmesi büyük önem arz etmektedir. Servis ömrü uzun yollar inşa etmeye, öncelikle var olan yolları korumak ve yolların fiziki standartlarını artırmakla başlamak en doğru yol olacaktır.

Mevcut yollarımızı korumak için yollarda oluşan tüm bozulmaları, bu bozulmalara nelerin sebep olduğunu ve bu bozulmaların nasıl engellenebileceği gibi parametrelerin detaylıca araştırılıp verilerin ortaya konulması gerekmektedir.

Dünyada yollar genel olarak 20 yıl servis ömrüne göre tasarlanıp, projelendirilmektedir. Fakat 20 yıl olarak projelendirilen yolların başlangıç yatırımları, işletme ve bakım onarım masrafları da oldukça maliyetli olmaktadır. Bu denli pahalı yapım, bakım-onarım maliyeti olan yol işleri; bakım-onarım maliyetlerini

azaltmaya yönelik bilimsel çalışmalar yapmaya sebebiyet vermektedir. Diğer bir deyişle karayolu üstyapısının servis ömrünü -bakım onarım maliyetlerini artırmadan- uzatacak çalışmalar giderek önemli hale gelmeye başlamıştır.

Karayolu styapısında oluşan ve bakım onarım gerektiren birçok bozulma tipi vardır. Karayolu styapısında görülen bazı tipik bozulmaların (tekerlek izi, çukurlar vb.) oluşumu, su kaynaklı problemlerin varlığı ile hızlanabilmektedir. Bu çalışmada ise karayolu esnek üstyapılarında görülen bozulma tiplerinden ‘‘Soyulma’’ incelenerek; piyasada bulunan ve asfalt betonu içinde kullanılan 6 farklı agregaya (bazalt, kumtaşı, kalker, beyaz kalker, dolomit, çakıl) deneysel işlemler uygulanarak, Soyulma Mukavemeti açısından en iyi performansı sergileyen agrega kökenleri araştırılmıştır.





2. KARAYOLU

Karayolu önceden planlanan bir güzergah boyunca, belirli standartlara uygun olarak hesaplanarak her türlü taşıtın ve yayanın güvenlik, konfor ve istenilen hız koşullarında ulaşımının sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen kamu yararına açık arazi kesimlerinin tamamı olarak açıklanabilir.

2.1 Karayolu Altyapısı

Karayolu altyapısı, yolun ana taşıyıcısıdır. Karayolu altyapısını oluşturan zeminin durabilitesi üstyapının taşıma gücüne etki etmektedir. Gerekli sıkıştırma işlemleri uygulanarak yol alt yapısı üst yapı imalatına hazır hale getirilmelidir. Sıkıştırma işlemi ve ekipmanları zemin tipine göre değişiklik gösterebilir. Uygun sıkıştırma ile zeminin kayma direnci artar, su absorpsiyon kapasitesini minimuma indirilir ve servis ömrünce maruz kaldığı basınçlar sebebiyle yolda meydana gelebilecek oturmaların önüne geçilir[4].

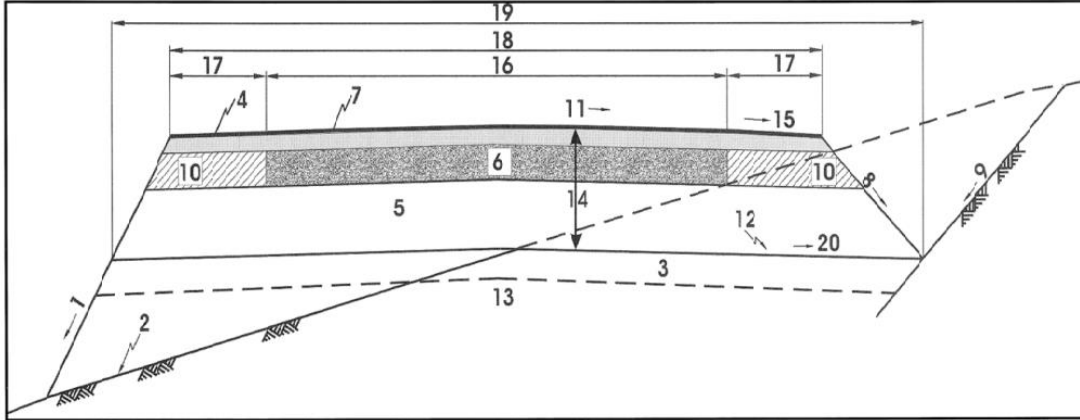
2.2 Karayolu Üstyapısı

Karayolu üstyapısı trafik yüklerini altyapıya (taban zeminine) dağıtan ve tabakalar (kaplama, temel, alttemel) halinde inşa edilen bir yapıdır. Yol üstyapısı esnek ve rijit olmak üzere ikiye ayrılır. Rijit üstyapıda ana malzeme beton, esnek üstyapıda ise ana malzeme bitümdür. Ülkemizde neredeyse tüm karayolları esnek üstyapı kullanılarak inşa edilmiştir.

Üstyapı yapılmadan önce altyapı, üstyapıya istenen bir destek sağlayacak şekilde şartnamelere uygun olarak hazırlanır. Üstyapının performansı altyapısının fiziksel özellikleri ile doğrudan ilişkilidir.

Yol üstyapısı, trafik yüklerinin ve doğal şartların(yağmur, donma-çözünme vb.) etkisi altındadır. Trafik yükleri taşıtların hareketleri esnasında radyal çekme ve basınç gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Gerilmelerin şiddeti dingil yüklerinin tekrar sayısı ile de doğru [5]. Yol üstyapısı tasarlanırken yola gelecek tüm dingil yükleri dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Yol üstyapısı katmanları Şekil 2.1'deki gibidir:



Şekil 2.1: Yol Üstyapısı Tip Enkesiti [5]

1. Dolgu Şevi
2. Doğal Zemin
3. Üstyapı Tabanı
4. Banket Kaplaması
5. Alttemel Tabakası
6. Temel Tabakası
7. Kaplama Tabakası (aşınma ve binder tabakalarından oluşmaktadır.)
8. Hendek Şevi
9. Yarma Şevi
10. Banket Temeli
11. Yolun Enine Eğimi
12. Tesviye Yüzeyi
13. Yol Gövdesi Taban Zemini
14. Üstyapı Proje Kalınlığı
15. Banket Eğimi
16. Trafik Şeritleri Genişliği
17. Banket Genişliği
18. Platform Genişliği
19. Üstyapı Taban Genişliği
20. Taban Yüzeyinin Enine Eğimi

2.3 Karayolu Üstyapı Bozulma Tipleri

2.3.1 Timsah sırtı çatlaklar

Esas olarak yorulma çatlağıdır ve Şekil 2.2'de örneklendirilmiştir. Timsah sırtı çatlaklar genellikle aşağıdaki sebeplerle oluşmaktadır:

- Taban zemini, temel tabakalarının yetersiz sıkışması ve/veya yetersiz drenaj nedeni ile taşıma gücü yetersizliği.
- Kaplamanın aşırı trafik yüküne maruz kalarak yorulması.

- Uygun olmayan kalitesiz malzeme kullanımı ve kötü yapım teknikleri.
- Çevre ve iklim koşulları (donma-çözünme etkisi, nem değişiklikleri vb.) [6]



Şekil 2.2 : Esnek üstyapıda oluşmuş timsah sırtı çatlak.

2.3.2 Kenar çatlakları

Kenar çatlakları Şekil 2.3'te gösterilmiştir ve oluşum nedenleri sırasıyla aşağıda listelenmiştir:

- Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve üstyapının kenarında aşırı trafik yüklenmesi.
- Üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj.
- Üstyapıda don etkisi gözlemlenmesi.
- Üstyapı platform genişliğinin yetersiz olması sebebiyle trafik yüklerinin banket kenarına yakın seyretmesi [6].



Şekil 2.3 : Esnek üstyapıda gözlemlenen kenar çatlağı[7].

2.3.3 Enine çatlaklar

Şekil 2.4’te görüldüğü üzere seyahat yönüne dik çatlaklardır. Enine çatlakların oluşma sebepleri sırasıyla:

- Esas olarak yüzeydeki sıcaklık çekme kuvvetine neden olacak kadar düştüğünde, sıcak karışım tabakası içinde oluşan çekme kuvvetinin gerilme dayanımını aşması durumu[8].
- Tabanda donma ve su içeriğinde değişiklik yaşanması.
- Alt tabakalarda oluşan eski çatlakların yüzeye yansması.
- Karışım içindeki bitümün sıcaklığa karşı yüksek hassasiyet göstermesi[6].
- Asfaltın serim aşamasında ara verilmesi sonucu oluşan ek yerleri[7].



Şekil 2.4 : Esnek üstyapıda gözlemlenen enine çatlak[8].

2.3.4 Boyuna çatlaklar

Yolun eksenine paralel oluşan ve Şekil 2.5’te gösterilen sürekli çatlaklardır. Boyuna çatlakların oluşma sebepleri sırasıyla:

- Dolgu olan yerlerde yetersiz sıkışma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma.
- Dolgunun yanal hareketi.
- Çevre ve iklim şartları (don etkisi ve nem değişiklikleri).
- Üstyapı taşıma gücünün yetersiz olması[6].
- Gerilmelerin nispeten daha düşük olduğu kaplama şeritlerinin birleşim yerlerinde yanlış üretim[8].
- Şeritlerin asfalt dökümü esnasında oluşan ek yerlerinin zayıf nokta olarak davranış sergilemesi.



Şekil 2.5 : Esnek üstyapıda gözlemlenen boyuna çatlak[7]

2.3.5 Blok (Harita) çatlakları

Kare formunda olup hem boyuna hem enine yönde gelişen çatlaklardır. Genelde düşük trafik hacmine sahip yollarda gelişir. Blok çatlakların oluşma sebepleri sırasıyla:

- Tekrarlı şişme ve büzülme etkisi (tabanda şişebilen plastik zeminlerin varlığı)[6], [8].
- Donma etkisi.
- Bitümlü kaplamanın yaşlanmasıyla dolaylı gevrekleşip kırılması[6].



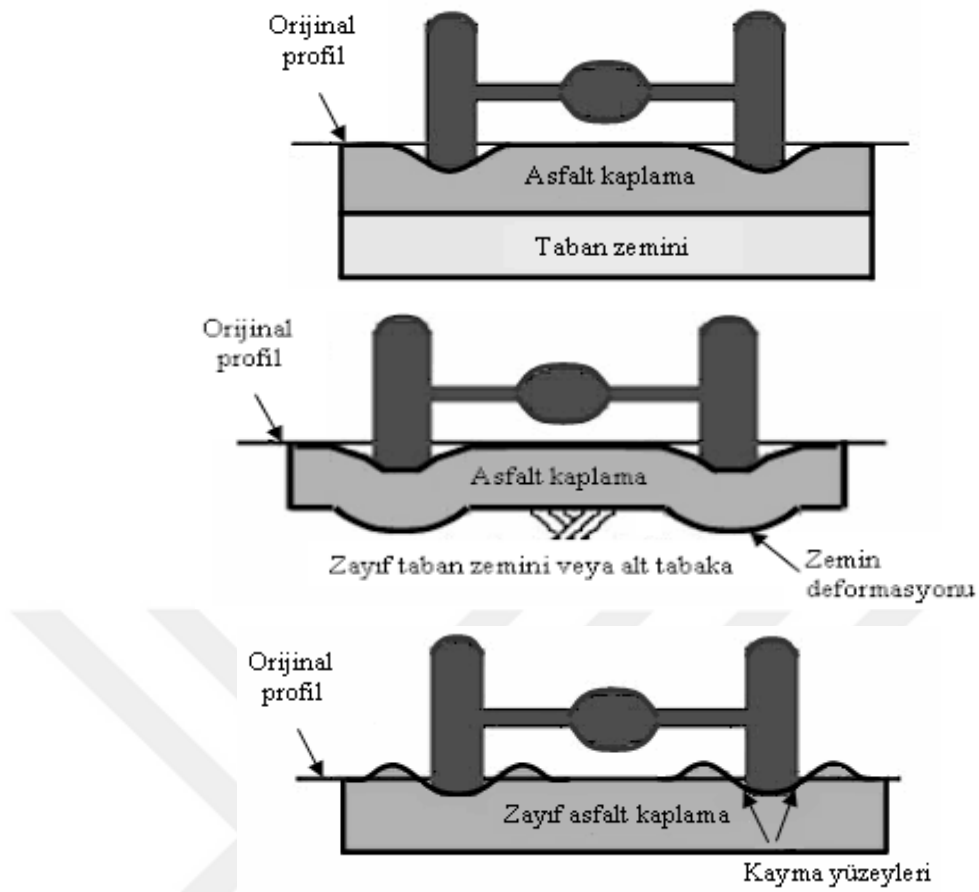
Şekil 2.6 : Esnek üstyapıda gözlemlenen blok çatlağı.

2.3.6 Tekerlek izi oturmaları

Tekerlek izi oturmaları oluşumu sebepleri sırasıyla:

- Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm muhtevası sebeplerinden dolayı bitümlü sıcak karışım tabakalarının stabilite ve taşıma güçlerini kaybetmeleri.
- Bitümlü sıcak karışım içeren katmanların yeterince sıkıştırılmaması.
- Üstyapı tabakalarının yüksek trafik hacimlerine maruz kalması sonucu oluşan büyük gerilmeler altında kalıcı deformasyonların oluşması.
- Yer altı suyunun yükselerek temel ve alttemel tabakalarında taşıma güçlerini kaybetmelerine sebep olması.
- Yeterli drenajın olmaması sebebiyle alttemelin stabilitesini kaybetmesi.
- Alttemel, temel ve kaplama tabaklarına yeterince sıkıştırma işleminin yapılmaması sonucu trafik yükleri altında taşıma gücü kaybı.

Tekerlek izi oturmalarına ilişkin fotoğraflar Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Esnek üstyapıda gözlemlenen tekerlek izi bozulma tipleri [9]



Şekil 2.8 : Esnek üstyapılarda oluşmuş bir tekerlek izi oturması.

2.3.7 Yerel oturmalar

Yerel oturmaların oluşma sebepleri:

- Dolgu aşamasında uygun şev eğimi yapılmaması.
- Altyapı, temel veya alttemel katmanlarından herhangi birisinde yetersiz sıkıştırma.

- Üstyapı tabanının yetersiz taşıma gücüne sahip olması.
- Teknik olarak uygun olmayan bakımlar, yetersiz veya eksik sıkıştırma ve drenajlar.

Yerel oturmalara ilişkin görüntü Şekil 2.9’da örneklendirilmiştir.



Şekil 2.9 : Esnek üstyapıda oluşmuş yerel oturma tipi bozulma[6].

2.3.8 Çukurlar

Yollarda oluşan çukurlar (Şekil 2.10) genelde yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü sebebiyle oluşmaktadır. Başka bir sebep olarak düşük kaliteli (veya yıkanmamış) agrega kullanımı veya üstyapının yetersiz kalınlıklarda dizayn edilmeside çukur oluşmasına sebep olabilmektedir.



Şekil 2.10 : Esnek üstyapıda oluşmuş çukur tipi bozulma.

2.3.9 Soyulma

Soyulma tipik olarak agrega ve asfalt bağlayıcı arasındaki etkileşim/bağ kaybı olarak tanımlanabilir. Soyulma genelde BSK katmanının altında başlar ve yukarı doğru ilerler

ve bu durum tipik soyulmayı ifade eder. Eğer soyulma yüzeyde başlayıp katmanın aşağısına doğru ilerlerse (raveling) sökölme olarak isimlendirilir.

Soyulma, esasen su kaynaklı bir problem olarak nitelendirilmektedir. Asfalt bağlayıcının agrega yüzeyinden su ve trafik etkisiyle sıyrılarak ayrılması durumu soyulmayı ifade etmektedir. Bu durum bilim dünyasında karmaşık bir fenomendir ve hala tam olarak anlaşılamamıştır. Agregaların minerolojisi ve kimyasal kompozisyonlarının asfalt bağlayıcının agregadan soyulması üzerinde önemli bir etkisi olduğu ortaya konmuştur. Bazı agregaların(hydrophilic) asidik eğilimli olduğu ve su ile etkileşim sonrası soyulma mukavemeti açısından düşük performans sergiledikleri görülmüştür. Diğer taraftan bazı agregaların(hydrophobic) bazik eğilimli olduğu ve su ile etkileşim sonrası herhangi bir soyulma oluşturmadıkları gözlemlenmiştir[10].

Soyulma esasen su kaynaklı bir bozulma tipidir ve agrega tipine göre farklılık göstermektedir.

Soyulma mukavemeti ise; su ve trafik etkisiyle agrega ile asfalt bağlayıcı arasındaki adezyonun kaybolmasıyla bitümün agregadan sıyrılarak soyulmasına karşı gösterilen dirençtir.

İleri soyulma olan üstyapılarda trafik güvenliğini tehlikeye atacak Şekil 2.11'deki gibi bızulmalar oluşmaktadır.



Şekil 2.11 : Esnek üstyapıda oluşmuş soyulma tipi bozulma.



3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1 Agregat Tipinin Asfalt Karışımlara Olan Etkisi

Soyulma su ve trafik kaynaklı bir problem olduğu için yağışlı iklimlere sahip ülkelerin yol inşaatında büyük bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

BSK'nın ağırlıkça yaklaşık %95'ini oluşturan agregaların fiziksel (özgül ağırlık, su emme, yassılık indeksi vb.) ve mekanik özellikleri üstyapının performansını direkt olarak etkilemektedir. Kaba agregaların yassılık indeksi asfalt karışımlarının mukavemetine, permeabilitesine ve hava boşluğu oranlarına etki etmektedir. İnce agregalar ise BSK'ların çekme mukavemetine etki etmektedir. İnce agregaların yassılık indeksi arttıkça asfalt karışım içindeki agregalar arası kilitlenme artmaktadır.

Küçük agregalar mükemmel düzeyde kilitlenme sağladıkları için asfalt karışımlar için tercih sebebi olmaktadır.

Bazı çalışmalar göstermiştir, tekerlek izi oluşması ile agregat tipi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Örneğin tekerlek izi oluşumunda bazalt kullanılan asfalt karışımında bozulma lineer artarken, kalker kullanılan asfalt karışımında üstel şekilde artmaktadır.

Agregat tipi ve gradasyonu ayrıca optimum bitüm muhtevasını da etkilemektedir. Agregat gradasyon eğrisi düşük limitlere yaklaştıkça kalıcı deformasyonların (tekerlek izi) oluşumu artmaktadır[11].

3.1.1 Agregat tipinin soyulma mukavemeti üzerine etkisi

Sıcak asfalt karışımları suya maruz kalınca, agregat ve asfalt bağlayıcı arasındaki adezyon kaybı sebebiyle soyulma gibi problemler gözlenmektedir. Agregaların kimyasal özellikleri BSK'ların su dayanıklılığı konusunda önemli bir rol oynamaktadır[12]. Behiry çalışmasında kalker agregası ile hazırlanmış olduğu BSK'nın granit agregası ile hazırlanmış olduğu BSK'ya göre soyulma mukavemeti açısından daha iyi performans sergilediğini gözlemlemiştir. Çevresel koşulların ve trafik hacminin yanında kullanılan agregat tipi karayolu üstyapısında soyulma oluşma ihtimalini doğrudan etkilemektedir[13]. Eğer durumu suya karşı hassasiyet olarak

değerlendirecek olursak agregaların kimyasal özellikleri agregaların porositelerinden çok daha önemlidir[12].

Asfaltta gözlemlenen ve kaplama performansını etkileyen bozulmalardan olan yorulma çatlakları, tekerlek izi oluşumları nem ve su etkisiyle artabilir. Agregalar ve bitüm arasındaki adezyon kuvveti arttıkça üstyapının yapısal ve fonksiyonel performansı artmaktadır. Nejad ve arkadaşları bitümü polietilen ile modifiye ederek BSK'ların soyulma mukavemetinin önemli ölçüde artacağını ortaya koymuşlardır[14].

3.2 Asfalt Karışımlarında Soyulma Mukavemeti Tespiti

Soyulma mukavemeti tespiti aşamalarında genel olarak European Standard 12697-11 “Determination of the affinity between aggregate and bitumen”[15] standardı kullanılmaktadır. Martin Hugener ve arkadaşları EN12697-11 standardına ek olarak Swiss National Standard SN 670 460 standardını da kullanarak soyulma mukavemeti üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Soyulma mukavemeti deneyleri hem bitüm kaplı agregalara hem de sıkıştırılmış asfalt numunelerine uygulanabilmektedir. Sıkıştırılmış asfalt numuneleri ya da karot numuneleri bazı su işlemlerine (water conditioning) maruz bırakılabilir. Bu testlere devam olarak ilgili numuneler göreceli kıyaslama amacıyla bazı mekanik testlere de (Duriez, Marshall) tabii tutulabilir. Ancak asfalt karışımların suya olan hassasiyetlerini boşluk oranı ya da agregaların boyut dağılımı (gradasyon) gibi test sonucuna büyük etkileri olan parametreleri göz ardı ederek tespit etmek de sağlıklı değildir.

Bu sebeple çoğu ülkede mekanik deneylere değinmeden, suya daldırma ya da kaynama deneyleri (EN 12697-11) tercih edilmektedir[16].

Belirli çaptaki agregalar seçilir ve sıcak bitüm ile kaplanır. Soğuma sonrası üretilen numuneler belli bir sıcaklıktaki suya belli bir süre boyunca daldırılır. Eğer agregalar ve asfalt bağlayıcı arasında gerekli adezyon sağlanamamışsa bitüm agregalar yüzeyinden sıyrılarak soyulma meydana gelir.

Hugener ve arkadaşları ayrıca karıştırma sıcaklığı (T_m) olarak 130 °C olarak seçmiş ve tüm bitüm sınıfları için bu sıcaklığı sabit tutmuştur. Başka bir set üretiminde ise 50/70 bitüm sınıfı için T_m 'yi 150°C, 70/100 bitüm sınıfı için T_m 'yi 145°C olarak kullanmışlardır. Aynı çalışma içerisinde EN12697-11[15] standardının Static Method kısmına göre 19°C ile su işlemlerini gerçekleştirince bitümün agregalar yüzeyinden

soyulmadığını görmüşlerdir. Bu sebeple soyulma mukavemetinin değişimini incelemek amacıyla su işleminde sıcaklığı 19-60°C arasında değiştirmişlerdir.

Su işlemleri sıcaklığı arttıkça soyulma derecesinin arttığı ve iki farklı bitüm sınıfındaki gözlemlenen mukavemetler arası farkların arttığı tespit edilmiştir.

Daha yüksek karıştırma sıcaklıklarının daha efektif adezyon sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Daha düşük karıştırma sıcaklıkları bitüm ile agregası arasındaki etkileşimin (affinity) daha az olmasına sebebiyet vermektedir. Hugener ve arkadaşları yaptıkları çalışmalar neticesinde su işlem/muamele sıcaklıklarının 19°C yerine 40°C olarak ve karıştırma sıcaklığının (T_m) 12697-35'e [17] göre referans sıcaklığından (T_R) 15°C düşük olacak şekilde güncellenmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir [16].

3.2.1 Agregası ve bitüm arasındaki ilişkinin çeşitli metodlarla araştırılması

Krzysztof ve arkadaşlarına göre agregası ve bitümün etkileşimi /benzeşmesi, özellikle donma-çözünme süreçlerine maruz kalan asfalt karışımların durabilitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir[18]. Bu sebeple Krzysztof ile arkadaşları, su ve ısı işlemler prosedürlerinde standardın dışına çıkarak farklı metodlar denemişlerdir. Agregaları ve bitüm arasındaki adezyon su geçirmezlik ve kaplamanın sertleşme süreçlerine karşı gösterdiği direnci yolun kullanımı aşamasında çok fazla etkilemektedir.

Bitüm ve agregası arasındaki benzeşme/adezyon agregasının nemlilik, yüzey kirliliği (toz), porozite, bitümü absorbe etme yeteneği, kimyasal özellikleri (asidik, alkalın) ; bitümün ise vizkosite, adezyon özelliklerine bağlıdır[18].

Krzysztof ile arkadaşları denedikleri metodlarda iki tip agregayı (kalker-bazik karakterli, granit-asit karakterli) 8-11mm çaplarında kullanmışlardır. Numuneleri EN12697-11'e göre üretmişlerdir ve üretim sonrası uyguladıkları işlemler sırasıyla aşağıda listelenmiştir.

- Üretimi tamamlanmış numuneleri, 160°C'de 4-24 saat arasında ısıtıp tekrar karıştırma işlemi.
- Üretimi tamamlanmış numuneleri -18°C'de 4 saat dondurma işlemi daha sonra saf suya daldırılmış şekilde 60°C'de 2 saat eritme işlemi. (Bu işlem 1 set için bir defa daha tekrarlanmıştır.)

- EN12697-11'in rolling battle metoduna göre gerekli işlemler saf su ile 6 saat boyunca uygulanmıştır. Aynı işlemler daha sonra %7 derişimli NaCl çözeltisi içinde uygulanmıştır.

Krzysztof ve arkadaşlarının elde ettikleri verilere göre kalkerin soyulma mukavemeti performansı her işlemde %90 üzerinde çıkarak çok iyi sonuç vermiştir. Granitin soyulma mukavemetinin ekstra ısıt işlemlere maruz bırakılınca arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak ise sıcaklık arttıkça viskozite azalır ve agrega yüzeyine daha iyi yapışma sağlamaktadır. Eğer bitüm modifiye edilirse agreganın asidik ya da bazik olmasının yapışma üzerine büyük bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca saf su ya da NaCl çözeltisi kullanmanın da adezyon üzerinde bir etkisi olmadığını raporlamışlardır. Standarda göre üretilmiş numunenin daha sonra 160°C'de 2 saat ısıt işleme maruz bırakılmasının adezyon üzerine o kadar büyük bir etkisi var ki diğer tüm farklılıkların(donma-çözünme, NaCl çözeltisi içinde ısıt işlem, adezyon artırıcı malzemeler) önüne geçmektedir[18].

İlgili çalışmanın[18] genel olarak geliştirilebileceği kısım üretimi tamamlanmış numunenin 160°C 2 saat ısıt işleminden sonra çok yüksek oranda bitüm agrega benzeşmesi gerçekleşmesi ve bunun sonucu olarak diğer faktörlerin dikkate alınamamasıdır. Çünkü agrega tipinin hidrofobik ya da hidrofilik olmasının bitüm adezyonu üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tahmin edilmekte ve bu makaleye göre bu durumun adezyon üzerinde bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir. Bu sebeple agreganın hidrofobik ve hidrofilik olarak sınıflandırıldıktan sonra sadece bu konu üzerinde çalışmalar yapılarak agreganın asit ya da baz karakterli olmasının adezyon üzerine etkisinin olup olmadığı araştırılabilir.

Karacasu ve arkadaşları bitüm ve agrega ilişkisini bitümü çevresel atıklarla modifiye ederek Karayolları Teknik Şartnamesine[19] göre test etmişler. Agrega olarak kireçtaşı ve bazalt olmak üzere 2 tip, bitüm olarak 50/70 ve 70/100 olmak üzere 2 tip; katkı olarak %10 atık lastik ve %1 PVC kullanılmıştır. Karacasu ve arkadaşları deneyleri aşamalarında EN12697'den farklı olarak agregalara ikinci 140-150°C bir etüv işlemini 1 saat boyunca uygulamıştır. Üretilmiş numunelerin su ve ısıt işlem aşamalarında 60°C'lik etüvde 24 saat bekletmiş ve daha sonra numunelerin içinde olduğu deney kaplarına saf su ilave edilerek kapaklarını kapatmışlar ve son olarak kapakları kapalı halde petri kaplarını 60°C'lik etüvde yine 24 saat bekletmişlerdir. 24

saat sonunda petri kabının içerisindeki su değiştirilerek değerlendirme aşamasına geçmişlerdir.

Elde ettikleri sonuca göre kireçtaşı agreganın bazalt agregasına yüzeyinde daha fazla gözenek bulunmasından dolayı, kireçtaşı numuneleri bazalt numunelerine göre soyulma mukavemeti açısından daha iyi sonuçlar vermiştir[20].

Canestrari ve ekibi, iki farklı agregayı iki farklı yüzey sıcaklığı kullanarak test etmişlerdir. Fakat izledikleri deney metodu standarttan oldukça farklıdır. Çekme/sökme deneyini (pull out test), üretilen numuneleri 25°C ve 40°C saf su içerisinde 24 saat beklettikten sonra yapmışlardır[21].

3.3 Soyulma Mukavemetine Etkiyen Diğer Parametreler

Kassem ve arkadaşlarına göre, ılık asfalt karışımları içerisinde belirli yüzdelerde kullanılan bazı katkı malzemeleri su kaynaklı oluşan bozulmaların azalmasına sebep olduğundan bahsetmişlerdir[22].

Siddiqui ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada kullandıkları anti-stripping (soyulma karşıtı) katkıları ya da kimyasal katkılar agrega ve bitüm arayüzeyine etki ederek bağlayıcının agrega yüzeyinden su sebebiyle kopmasını engellemektedir[23].

Zhang ve arkadaşları ise yaptığı çalışmalarda agreganın mineral kompozisyonu ile su emme özellikleri arasında iyi bir korelasyon gözlemlemiştir. Bunun yanında agreganın jeolojik kökeninin su hassasiyetinde bağlayıcı tipine göre daha önemli olduğuna değinmişlerdir[24].

Liu ve arkadaşları agreganın kimyasal ve fiziksel özelliklerinin su kaynaklı oluşacak hasarlarda bitümün özelliklerinden daha önemli olduğunu vurgulamışlardır. Cui ve arkadaşları ise bu açıklamayı detaylandırarak agreganın porositelerinin (bir fiziksel özellik) kimyasal özelliklerine göre daha az önemli olduğunu vurgulamıştır[12], [25], [26].

Agrega yüzey sıcaklığının bitüm ile adezyonu ve dolayısıyla su hassasiyeti üzerinde bir etkisi olacağı düşünülmektedir. Canestrari ve ekibi bu düşünceyle agrega yüzey sıcaklıklarını 90°C ile 135°C arasında değiştirerek etkileri incelemişlerdir. Daha yüksek agrega yüzey sıcaklıkları daha yüksek adezyon sağlayarak (düşük vizkosite

daha iyi yapışmaya olanak vermiştir.) su kaynaklı oluşan bozulmalara karşı daha iyi performans göstermiştir[21].



4. KULLANILAN STANDARTLAR

4.1 Standartlar ve Şartnameler

Bu başlığın altında TS EN 12697-11'in içinde geçen ve deneysel aşamada kullanılacak standartlar anlatılacaktır.

4.1.1 TS EN 12697-11 (2020)

Deneyde kullanılan ana standart TS EN 12697-11 (2020) Bitümlü karışımlar - Test yöntemleri - Bölüm 11: Agregas ve bitüm arasındaki benzeşmenin belirlenmesi [15]standarttır. Bu standartta, kullanılacak tüm ekipmanlar, deney esnasında uygulanacak adımlar ve değerlendirmenin nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Deney standardı bitüm ile agregas arasındaki benzeşmenin ölçülmesi üzerine iki farklı metod önermektedir. İlk metod dönen şişe metodu (rolling bottle method) olarak ifade edilmektedir. İkinci metod ise standartta statik metod olarak geçmektedir. Bu tez çalışması kapsamında statik metod kullanılacaktır.

4.1.2 TS EN 58

TS EN 58 standardı bitümlü bağlayıcılardan numune almaya yönelik bir prosedürleri açıklayan bir dökümandır. Sıcak karışım içerisinde kullanılacak olan bitümlü bağlayıcının modifiye edilmeden veya adezyon artırıcı katkıları kullanmadan nasıl numune alınacağını ortaya koyan bir standarttır[27].

4.1.3 TS EN 12697-2+A1

Esas olarak TS EN 12697-2+A1 standardı sıcak asfalt içerisinde kullanılacak olan agregaların tanecik büyüklüğü dağılımı tayini hakkındaki prosedürleri ortaya koyan bir standarttır. TS EN 12697-11'e göre hazırlanacak karışımlarda kullanılacak agregalar da TS EN 12697-2+A1'e göre hazırlanacaktır[28].

4.1.4. TS EN 12697-35

TS EN 12697-35: Bitümlü karışımlar-Deney Yöntemleri-Bölüm:35 Laboratuvarda hazırlanan karışım standardı aslında bir çok farklı bitümlü karışım metodunun nasıl

yapılacağını anlatmaktadır. Fakat bizim çalışmamız özelinde TS 12697-11'e göre karışım sıcaklığı belirlenme durumu TS 12697-35'e atıf yapılarak netilendirilmiştir. Yani TS 12697-35 standardı bu çalışmada sadece karışım sıcaklığı(T_m) tayini için kullanılacaktır[17].

4.1.5 Karayolları Teknik Şartnamesi

Deneyde çeşitlilik olması adına, ülkemizde kullanımda olan Karayollar Teknik Şartnamesinin Kısım 403'ün Ek-A bölümünde yer alan Soyulma Mukavemeti Deneyi kullanılarak da üretim yapılacaktır[19].



5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Kullanılan Malzemeler

5.1.1 Bitüm

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan bağlayıcı Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş.'nin Kırıkkale rafinerisinden alınan 50/70 sınıftaki bitümdür.

Her bir deney set üretiminde aynı kaptan bitümlerin kullanılması durumunda bitümün yaşlanacağı ve bu sebeple sonuçlar üzerinde etkisi olacağı düşünüldüğünden 50/70 bitüm küçük kaplara bölünerek deneysel işlemlerde kullanılmıştır.

Kullanılan bitüme ait özellikler aşağıdaki Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Deneysel çalışmada kullanılan bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri[29].

Özellik	Birim	Değer	Sınır
Penetrasyon 25°C'ta, 100g, 5 saniye	x 0.1 mm	50/70	
Yumuşama Noktası (ring and ball metod)	°C	46-54	
Sertleşmeye karşı direnç (a) 163°C'ta	%	0.5	En çok
- Kütle Değişimi (ısıtmadaki kayıp)	%	50	En az
- Kalıcı Penetrasyon	°C	48	En az
- Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası			
Parlama Noktası	°C	230	En az
Çözünürlük	% ağırlık	99	En az
Yumuşama Noktası Yükselmesi	°C	9	En çok

5.1.2 Agregalar

Deneyisel çalışmalar kapsamında genel olarak agrega kökenlerinin soyulma mukavemeti araştırıldığı için üretimlerde değişken olarak kullanılan esas parametre agregalar tipleridir. Bu sebeple tezin deneyisel kısmında piyasada en çok kullanılmakta olan agregalar dahil olmak üzere 6 farklı tipte agrega (Şekil 5.1, Şekil 5.3, Şekil 5.5, Şekil 5.7, Şekil 5.9, Şekil 5.11) kullanılmıştır.

Blazejowski ve arkadaşlarının da değindiği üzere agregaların kimyasal özelliklerinin soyulma mukavemeti üzerine etkisi olduğu düşünülmektedir[18]. Bu sebeple kullanılan tüm agregalara ait fiziksel ve kimyasal deneyler uygulanarak agregaların özellikleri tez kapsamında ortaya konulmuştur. Fiziksel deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarlarında kimyasal deneyler ise İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Fiziksel deneyler kapsamında her bir agregaya ait üç farklı boyut seçilmiştir: Kırmakum (0-5 mm), Kırmataş-1 (5-12 mm), Kırmataş-2 (12-22 mm). Deneyler 3 farklı boyuttaki agregalara uygulanmış ve agreganın boyutunun fiziksel özellikleri üzerinde etkisi olup olmadığı da araştırılmıştır. Fiziksel deney olarak; özgül ağırlık, su emme, los angeles (parçalanma direnci) deneyleri uygulanmıştır ve Çizelge 5.2, Çizelge 5.4, Çizelge 5.6, Çizelge 5.8, Çizelge 5.10, Çizelge 5.12'deki tablolarla detaylı olarak agrega agregalar gösterilmiştir.

Kimyasal analizler kapsamında ise X ışınları Flüoresans (XRF) metodu kullanılmıştır. Makroskopik incelemeler esnasında agregalar %10'luk HCl asidi ile muamele edilmiş ve reaksiyon oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Aynı zamanda makroskopik incelemeler ile renk analizi ve sertlik sınıfı tespiti yapılmıştır.

Mikroskopik incelemeler ile içeriğinde bulunan tüm bileşenler detaylı olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda köken tespiti yapılarak, isimlendirme çalışması mikroskopik incelemeler neticesinde ortaya konulmuştur.

Kimyasal analizler kapsamında son olarak mikroskop kullanılarak petrografik-polarizan görüntü örnekleri (Şekil 5.2, Şekil 5.4, Şekil 5.6, Şekil 5.8, Şekil 5.10, Şekil 5.12) alınmıştır.

5.1.2.1 Kalker



Şekil 5.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki kalker agregası.

Çizelge 5.2: Kalkerin fiziksel özellikleri.

Agrega Boyutu	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma (%)
Kırmakum (0-5 mm)	2,7	0,81	
Kırmataş-1 (5-12 mm)	2,72	0,41	24,66
Kırmataş-2 (12-22 mm)	2,72	0,42	

Makroskopik İnceleme

Koyu siyahımsı renk tonlarında homojen görünümlü, mikro çatlaklı, masif doğal kayadır. %10'luk HCl asidi ile muamelede reaksiyon izlenmiştir. Sertlik 3-4 Mohs olup düşük sertlikte kayaç grubuna girmektedir. Makroskopik olarak alterasyon izlenmemektedir.

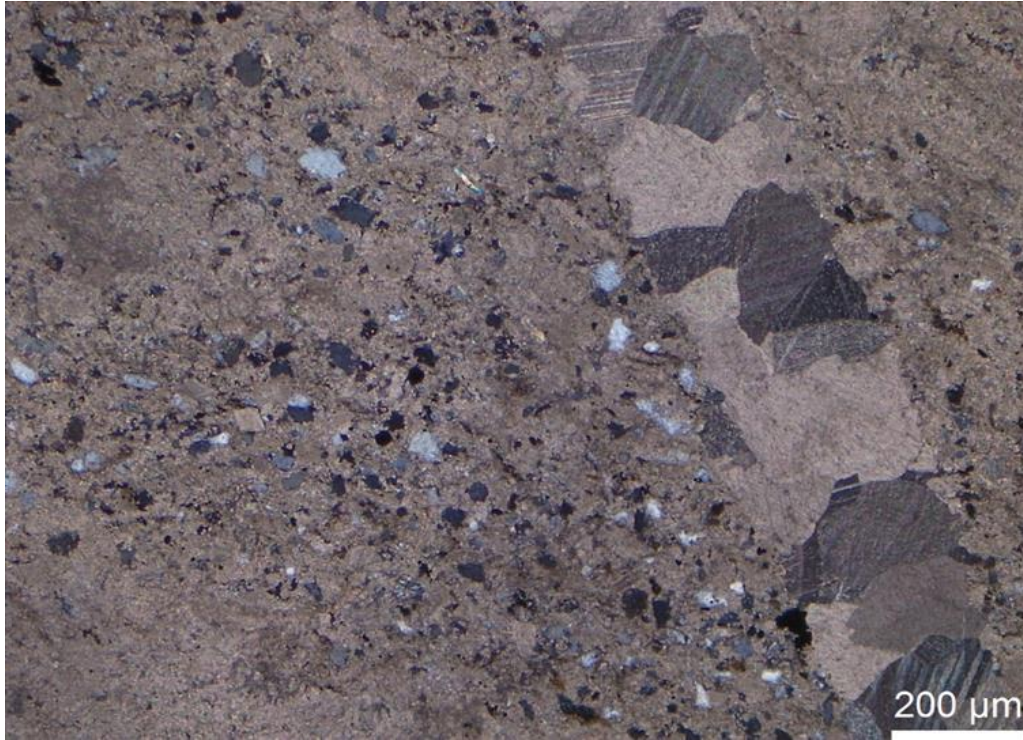
Mikroskopik İnceleme

Kayaç mikritik ve yer yer sparitik dokulu bir sedimanter kayadır. Kayaç mikritik ve sparitik kalsitlerin yanı sıra kuvars, feldspat ve mika türü silikat mineralleri de içermektedir. Ayrıca kayaçta özellikle mikritik olan zonlarda kavkı izleri de fark edilebilmektedir. Kayaçta görülen karbonat dışındaki diğer mineraller belirli zonlar/seviyelerde yoğunlaşmışlardır. Bu seviyelerde demir oksit getirimi de görülmektedir. Kayaç ayrıca mikro çatlak/fissürleri boyunca orta-iri tane boyutlu

ikincil kalsit içeriklidir. Kayaç bileşenlerinin kimyasal oranı Çizelge 5.3.'te verilmiştir. Kayaç kumlu kalker (Şekil 5.1) olarak adlanmıştır.

Çizelge 5.3 : Kalkerin petrografik bileşimi.

Bileşenler	Modan Oran (%)
Mikritik kalsit	68-70
Sparitik kalsit (+damar dolgu ikincil kalsit)	10-12
Kuvars+feldspat+mika (muskovit)	8-10
Kavkı izi	6-8
Opak mineral/demir oksit getirimi	3-5



Şekil 5.2 . Kalkere ait petrografik-polarizan mikroskop görünümü.

5.1.2.2 Bazalt



Şekil 5.3 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki bazalt agregası.

Çizelge 5.4: Bazaltın fiziksel özellikleri.

Agrega Boyutu	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma (%)
Kırmakum (0-5 mm)	2,87	1,21	
Kırmataş-1 (5-12 mm)	2,94	1,11	10,11
Kırmataş-2 (12-22 mm)	2,95	0,81	

Makroskopik İnceleme

Koyu siyahımsı renk tonlarında homojen görünümlü, masif doğal kayadır. %10'luk HCl asidi ile muamelede reaksiyon izlenmemiştir. Sertlik 5-6 Mohs olup sert kayagrubuna girmektedir. Makroskopik olarak alterasyon izlenmemektedir.

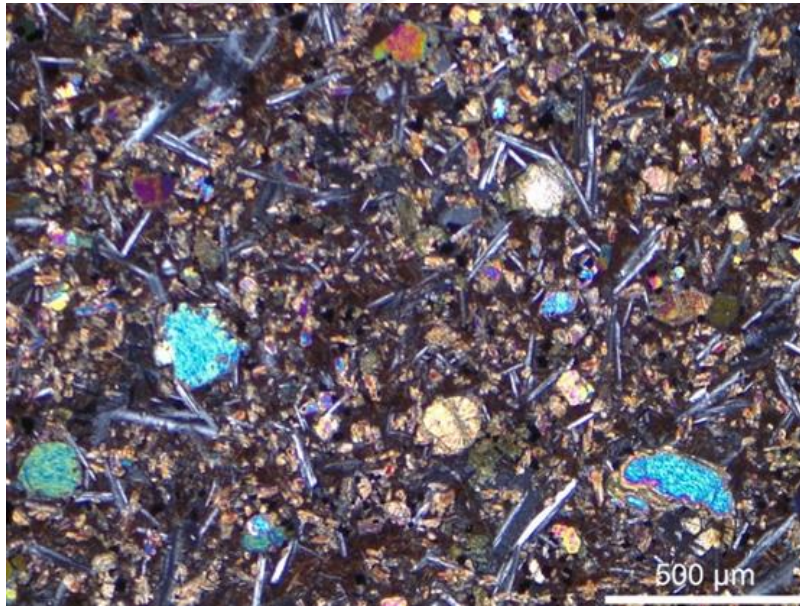
Mikroskopik İnceleme

Kayaç camsı-mikrolitik/porfirik dokulu volkanik bir kayagörneğidir. Matriks (hamur)/tane oranı yaklaşık 3/2 civarındadır. Mikrolitik-camsı hamurda; mikrolit ve cam fazı yaklaşık eşit orandadır, mikrolitler daha çok piroksen ve daha az plajioklaz mikrolit (ince-uzun) tanecikleridir. Genellikle gelişigüzel dağılımlıdır. Volkanik camsı kısımda ise silisleşme ve kloritleşme kısmen meydana gelmiştir. Kayaç taneseli kısmı (mineraller) başlıca plajioklaz, piroksen, olivin ve opak minerallerden meydana gelmiştir. Kayacın iri bileşenleri; orta irilikte piroksenler (monoklinik piroksen) ile daha ince-mikrolitik plajioklazlardır ve labrador bileşimindedirler. Kloritleşme ve

silisleşme (özellikle kalsedon) yaygındır. Kayaç bazalt (olivinli) olarak adlanmıştır ve bazaltın kimyasal bileşenleri Çizelge 5.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : Bazaltın petrografik bileşimi.

Bileşenler	Modan Oran (%)
Camsı-Mikrolitik Hamur (Çoğunlukla piroksen mikrolitlerinden oluşan ve plajiolaz mikrolitlerinden oluşan ince tanecikler ve kloritleşmiş, silisleşmiş ve kısmen taze volkanik cam)	50 – 52
Piroksen (orta-iri tane boyutlu, monoklinik piroksen türünde)	12-14
Olivin (orta iri ve küçük taneli boyutlu)	8-10
Plajiolaz (ince mikrolitik ve kısmen birincil özelliğini kaybetmiş, silisleşmiş ve kloritleşmiş taneler)	20 – 22
Opak Mineraller (saçılmış küçük tanalar)	4-6



Şekil 5.4 : Bazalta ait petrografik-polarizan mikroskop görünümü.

5.1.2.3 Çakıl



Şekil 5.5 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki çakıl agregası.

Çizelge 5.6 : Çakılın fiziksel özellikleri.

Agrega Boyutu	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma (%)
Kırmakum (0-5 mm)	2,55	2,04	
Kırmataş-1 (5-12 mm)	2,60	1,94	22,62
Kırmataş-2 (12-22 mm)	2,62	1,42	

Makroskopik İnceleme

Koyu gri renk tonlarında homojen görünümlü, masif doğal kayadır. %10'luk HCl asidi ile muamelede reaksiyon izlenmemiştir. Sertlik 6-7 Mohs olup sert kayaç grubuna girmektedir. Makroskopik olarak alterasyon izlenmemektedir.

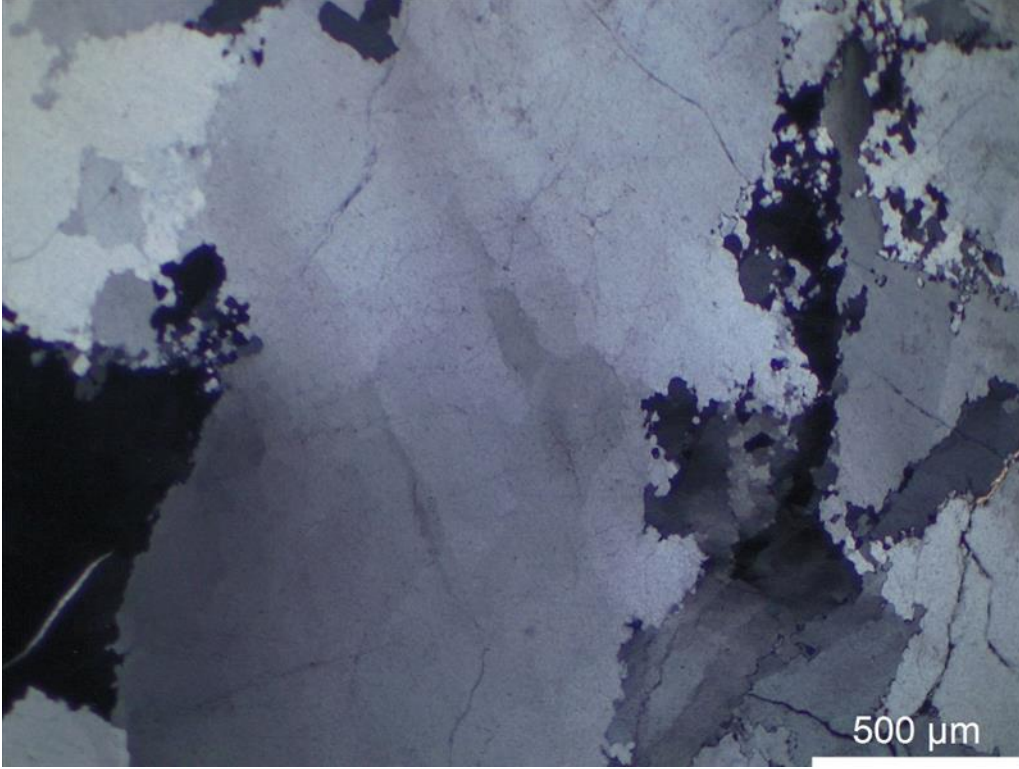
Mikroskopik İnceleme

Kayaç kuvars damarına ait olup, çok iri kristalli kuvarslardan oluşmaktadır ve % 99 oranında kuvars minerali içermektedir. Tipik dalgalı sönme gösteren kuvarsların bazı çatlak zonlarında mikro kuvarslar bulunur. Ayrıca kayaç fissürlerde % 1'den daha az oranda oranında demir oksit getiriminin izlerini ve yok denecek kadar az mika içeriklidir. Kayaç kuvarsit çakılı olarak adlanmıştır.

Çakılın kimyasal petrografik bileşenleri Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : Çakılın petrografik bileşimi.

Bileşenler	Modan Oran (%)
Kuvars	99
Demir oksit getirimi ve mika	1'den az



Şekil 5.6 : Çakılın petrografik-polarizan mikroskop görünümü.

5.1.2.4 Kumtaşı



Şekil 5.7 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki kumtaşı agregası.

Çizelge 5.8 : Kumtaşının fiziksel özellikleri.

Agrega Boyutu	Özgül Ağırlık (gr/cm³)	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma (%)
Kırmakum (0-5 mm)	2,70	1,42	
Kırmataş-1 (5-12 mm)	2,70	0,91	18,31
Kırmataş-2 (12-22 mm)	2,72	0,81	

Makroskopik İnceleme

Koyu siyahımsı renk tonlarında homojen görünümlü, mikro çatlaklı, masif doğal kayadır. %10'luk HCl asidi ile muamelede reaksiyon izlenmemiştir. Sertlik 5-6 Mohs olup sert kayaç grubuna girmektedir. Makroskopik olarak alterasyon izlenmemektedir.

Mikroskopik İnceleme

Homojene yakın tane boyutlu, oldukça düşük oranda matriksli kumtaşıdır. Kayaç bileşenleri birincil kuvars, feldspat, mika, ikincil klorit, kalsit ve serizit mineralleri ile opak mineral/demir oksit getirimidir. Kuvarslar kısmen dalgalı sönme göstermektedirler. Feldspatlar alkali feldspat ve plajiolaz türünde olup yoğun alteredirler. Taneler arasında serisitleşme ve kloritleşme gelişmiştir. Kayacı kesen fissürlerde karbonatlaşma ve yanı sıra kloritleşme gelişmiştir. Bazı zonlarda da karbonat (ikincil kalsit) gelişimi vardır. Kayaç % 60-65 kuvars, %10-15 feldspat, %5-6 kalsit (ikincil), %2-3 opak mineral, %2-3 klorit (ikincil), %1-2 serizit (ikincil) içerir. Kayaç bileşenlerinin oranı Çizelge 5.9'da verilmiştir. Kayaç kumtaşı olarak adlanmıştır.

Çizelge 5.9 : Kumtaşının petrografik bileşimi.

Bileşenler	Modan Oran (%)
Kuvars	62-64
Feldspat	16-18
Mika (muskovit)	6-8
Klorit	2-4
Kalsit	2-4
Serizit	1-3
Opak mineral/demir oksit getirimi	4-6



Şekil 5.8 : Kumtaşının petrografik-polarizan mikroskop görünümü.

5.1.2.5 Beyaz kalker



Şekil 5.9 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki beyaz kalker agregası.

Çizelge 5.10 : Beyaz kalkerin fiziksel özellikleri.

Agrega Boyutu	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma (%)
Kırmakum (0-5 mm)	2,60	2,67	
Kırmataş-1 (5-12 mm)	2,62	2,25	30,95
Kırmataş-2 (12-22 mm)	2,61	2,04	

Makroskopik İnceleme

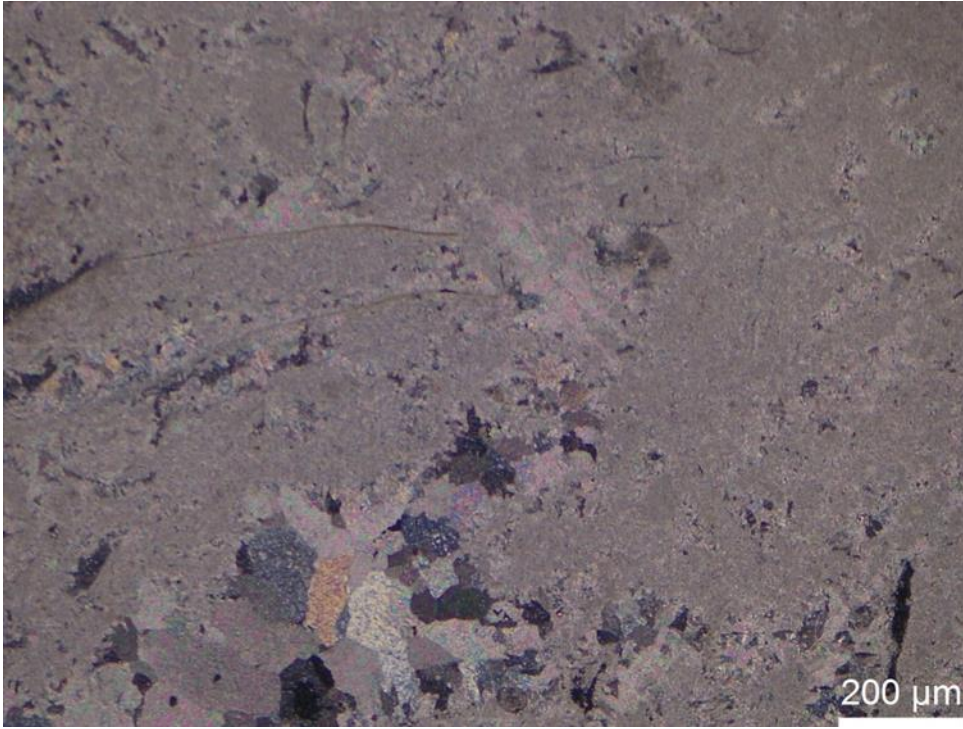
Koyu siyahımsı renk tonlarında homojen görünümlü, mikro çatlaklı, masif doğal kayadır. %10'luk HCl asidi ile muamelede reaksiyon izlenmiştir. Sertlik 3-4 Mohs olup düşük sertlikte kayaç grubuna girmektedir. Makroskopik olarak alterasyon izlenmemektedir.

Mikroskopik İnceleme

Kayaç yarı mikritik ve yarı sparitik dokulu bir sedimanter kayadır. Kayaçta mikrokristalen kısım çoğunluktadır. Sparitik katekler belirli zonlarda kümelenmiş halde kısmende saçılmış taneler olarak görülürler. Sferulitik dokuda da izlenmektedirler. Demir oksit getirimi genelde fissürler boyunca görülmektedir. Kayacın diğer bir petrografik özelliği belli oranda fosil/kavkı izleri içermesidir. Kayaç bileşenlerinin oranı Çizelge 5.11'de verilmiştir. Kayaç kalker olarak adlanmıştır.

Çizelge 5.11 : Beyaz kalkerin petrografik bileşimi.

Bileşenler	Modan Oran (%)
Mikritik kalsit	54-56
Sparitik kalsit (+damar dolgu ikincil kalsit)	34-36
Kavkı izi	6-8
Opak mineral/demir oksit getirimi	2-4



Şekil 5.10 : Kumtaşının petrografik-polarizan mikroskop görünümü.

5.1.2.6 Dolomit



Şekil 5.11 : Deneysel çalışmalarda kullanılan 8-11 mm boyutlarındaki dolomit agregası.

Çizelge 5.12 : Dolomitin fiziksel özellikleri

Agrega Boyutu	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma (%)
Kırmakum (0-5 mm)	2,82	0,81	
Kırmataş-1 (5-12 mm)	2,84	0,7	24,80
Kırmataş-2 (12-22 mm)	2,83	0,5	

Makroskopik İnceleme

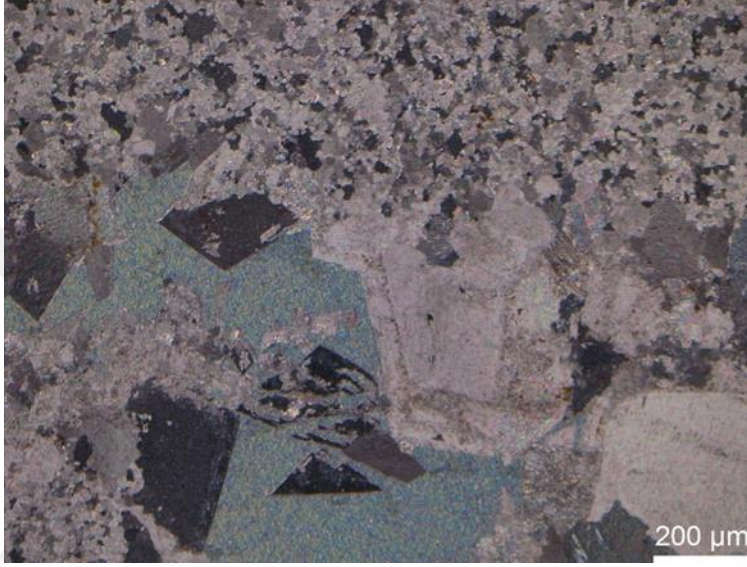
Koyu grimsi-bejimsi renk tonlarında, heterojen görünümlü, mikro çatlaklı, masif doğal kayadır. %10'luk HCl asidi ile muamelede hafif reaksiyon izlenmiştir. Sertlik 3-4 Mohs olup düşük sertlikte kayaç grubuna girmektedir. Makroskopik olarak alterasyon fissürler boyunca demir oksit getirimi şeklinde görülmektedir.

Mikroskopik İnceleme

Farklı tane boyutlu, sparitik, kısmen mozayik dokuludur. Kayaç birincil kalsit ve dolomit taneleri yanında ikincil kalsit ve opak mineraller ve demir oksit bileşenlerine sahiptir. Kalsitler kristalin, farklı tane boyutlu, kısmen ikizli-dilinimlidir ve impürte içermeyen berrak tanelerden oluşmuştur. Dolomit kristalleri iri taneli kalsitlerle beraberdir ve kısmen diğer tanelere göre yüksek rölyeflidirler. Opak mineraller ince tanelidir ve mineral sınırları ve çatlaklar boyunca görülürler. Agreganın kimyasal bileşenleri Çizelge 5.13'te gösterilmiştir. Kayaç dolomitik kalker olarak adlanmıştır.

Çizelge 5.13 : Dolomitin petrografik bileşimi.

Bileşenler	Modan Oran (%)
Kalsit	40-42
Kalsit-ikincil	12-14
Dolomit	42-46
Opak mineral	2-3



Şekil 5.12 : Dolomitin petrografik-polarizan mikroskop görünümü.

5.1.2.7 Kimyasal analiz

Kimyasal Analizler X Işınları Flüoresans (XRF) Metoduyla yapılmıştır. Sonuçlar % mertebesinde dir.

Çizelge 5.14 : Deneysel çalışmada kullanılan agregalara ait kimyasal analiz sonuçları.

Örnek	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	Cr ₂ O ₃	Ba	Ni	Sr	Zr	A.Z	TOPLAM
Çakıl	2.92	1.47	9.59	76.63	0.12	0.62	2.48	0.48	0.04	3.57	<0,01	0.02	0.01	0.05	<0,01	0.03	0.03	1.94	99.99
Bazalt	3.66	8.04	14.07	44.78	0.97	2.47	9.44	2.86	0.16	11.45	0.01	0.08	0.06	0.05	0.03	0.09	0.04	1.73	99.99
Kumtaşı	2.29	3.67	15.93	58.21	0.20	2.24	2.61	1.05	0.11	8.38	0.20	0.01	0.02	0.04	<0,01	0.01	0.02	4.99	99.99
Dolomit	<0,01	19.30	0.20	0.38	<0,01	0.03	32.51	0.02	<0,01	0.14	<0,01	0.01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	47.40	99.99
Kalker	0.03	1.30	1.70	4.81	<0,01	0.65	49.71	0.09	0.01	0.58	0.20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.12	<0,01	40.79	99.99
Beyaz Kalker	0.02	0.32	0.25	0.74	0.04	0.05	54.61	0.02	0.05	0.20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.02	<0,01	43.67	99.99

5.2 Deneylerin Yapılışı

Deneyler Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç.Dr. Murat BOSTANCIOĞLU'nun onayı ile Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bitüm Laboratuvarında yapılmıştır. SCÜ'den alınan onaya ilişkin yazı EKLER kısmında paylaşılmıştır.

Kullanılan agregalara 12697-2'ye göre tanecik boyutu dağılımı yapılmıştır ve 12697-11'in istediği 8-11 mm çaplarında olacak şekilde agrega gradasyonu Şekil 5.13'teki elek kullanarak sağlanmıştır.



Şekil 5.13 : Deneysel çalışmada kullanılan elek.

Agregalar soyulma mukavemeti deneylerine dahil edilmeden önce TS EN 12697-11 'e göre 8mm'lik elek üzerinde Şekil 5.14.'deki gibi yıkanmıştır. Bu sayede agregaya yüzeyindeki tozlar giderilerek agregabitüm yapışmasının toz sebebiyle etkilenip azalmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 5.14 : Agregaların 8 mm'lik elek üzerinde yıkanması.

Yıkanmış agregalardan 150 adet alınarak yüzeyleri kurulandı. Yüzeyleri kurulan agregalar bir kaba alınarak (Şekil 5.15) etüv işlemi için hazırlandı.



Şekil 5.15 : Yüzey kuru suya doymuş etüv işlemine hazır yıkanmış agregalar.

Bu işlemden sonra suya doymuş yüzeyleri kuru şekilde ağırlıkları miligram hassasiyetli terazi (Şekil 5.16) ile ölçüldü.



Şekil 5.16 : Ağırlık ölçümlerinde kullanılan hassas terazi.

Daha sonra bu agregalar 100 ± 5 °C'ye ayarlanmış etüve bir kap içerisinde konularak kurutuldu. Kurutma işlemi sırasında agregaların yüzey kuru suya doygun ağırlıkları ölçülmüş (Şekil 5.17) ve kurutma işlemlerden sonra yine ağırlıkları ölçüldü. Bir önceki ölçüm ile sonraki ölçüm arasındaki ağırlık farkı %1'den az olana kadar etüvde kurutma işlemine devam edildi.



Şekil 5.17 : Yüzey kuru suya doygun 150 adet bazalt agregasının ağırlık ölçümü.

TS EN 12697-11:2020'nin 5.2.3.1'inci maddesine göre karışım sıcaklığının TS EN 12697-35'e göre seçilmesi gerektiğini söylemektedir. TS EN 12697-35 standartının 6.1'inci maddesinde ise maksimum karıştırma sıcaklığının (T_m), referans sıkıştırma sıcaklığından (T_c) en fazla 20°C üzerinde olacak şekilde seçilmesi gerektiği söylenmektedir. Ayrıca aynı maddenin içerisinde hedef laboratuvar karıştırma sıcaklığının, EK B'de gösterilen çizelgedeki sıkıştırma sıcaklığından (maksimum karıştırma sıcaklığını geçmeyecek şekilde) yüksek seçilmesi gerektiğinden

bahsedilmiştir. Çünkü karışım sıkıştırma aşamasına kadar ısı kaybettiğinde gerekli sıkıştırma sıcaklığı ile arasındaki farkın $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'i geçmemesi gerekmektedir.

Agrega yüzey sıcaklığının bitüm ile adezyonu ve dolayısıyla su hassasiyeti üzerinde bir etkisi olacağı bilinmektedir. Hatta Canestrari ve ekibinin yapmış olduğu çalışmaya göre daha yüksek agrega yüzey sıcaklıklarının daha yüksek adezyon sağlayarak su sebebiyle oluşan bozulmalarda azalmalara sebep olmuştur[21]. Bundan dolayı bu çalışma kapsamında -karışım sıcaklığının da standartlarda net bir sıcaklık değeri olarak ortaya konulmaması sebebiyle- karışım sıcaklığı değişken olarak belirlenmiştir. Yani üretilen setlerde kullanılan karışım sıcaklığı değiştirilerek agrega tipinin yanında karışım sıcaklığının da soyulma mukavemeti üzerine etkisi araştırma kapsamına dahil edilmiş oldu.

Soyulma mukavemeti tespiti için temel standardı olan TS EN 12697-11:2020'in 6.4'üncü maddesi uyarınca deneysel işlemler takip edilmiştir. Bu başlıklar altında ise deneysel sürecin aşamaları maddeler halinde:

- 11mm'lik elekten geçip 8mm'lik elek üzerinde kalan yıkanmış agregalardan 150 adet alınarak kurutuldu.
- Kurutulan 150 adet agreganın ağırlığı ölçüldü.
- Bitüm Şekil 5.18'de görülen etüve konularak gerekli akışkanlığa ulaşana kadar 3 ± 1 saat bekletildi.



Şekil 5.18 : Deneyisel çalışmada kullanılan etüv.

- Seçilen karıştırma sıcaklığının 15°C düşük sıcaklığında $\pm 5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle olacak şekilde; agregalar, bitüm, ve karıştırma kabı ayrı ayrı eş zamanlı ısıtıldı.
- Daha sonra Şekil 5.19’de görülen karıştırma kabına agregalar konuldu.



Şekil 5.19 : Deneysel çalışmada kullanılan 1,5lt kapasiteli metal karıştırma kabı.

- Agregaların üzerine agregaların ağırlığının %4'ü kadar bitüm eklendi.
- Tüm agregaların yüzeyi kaplanana kadar 5 dakika boyunca spatula (Şekil 5.20) yardımı ile karıştırma işlemine devam edildi.



Şekil 5.20 : Karıştırma işlemlerinde kullanılan spatula.

- Karıştırma esnasında karıştırma sıcaklığının istenilen tolerans aralığından daha fazla düşerek deney sonuçlarının etkilenmemesi adına ısı ayarlı bir elektrikli ocak (Şekil 5.21) üzerinde seçilen karıştırma sıcaklığına uygun olarak karıştırma işlemleri yapılmıştır.



Şekil 5.21 : Deneyde kullanılan elektrikli ocak.

- Ocak üzerinde karıştırma işlemi devam ederken, bir taraftan karışımın sıcaklığının uygun olup olmadığı karıştırma esnasında Şekil 5.22’de görülen ± 3 °C hassasiyetli temassız laboratuvar termometresi ile ölçülmüştür.



Şekil 5.22 : Deneysel çalışmada kullanılan temassız laboratuvar termoemetresi.

- 5 dakika sonunda eğer yüzeyi bitüm ile kaplanmayan agregası kalmışsa, bitüm agregası ağırlığının %4,5'ine çıkartılır aynı işlem tekrarlanır.
- Tüm agregası yüzeyleri bitüm ile kaplanana kadar bitüm ağırlıkça %0,5 artırılarak karıştırma süreci tamamlanır.
- Üretilen numunelerin konulması için özel olarak kestirilmiş (17cm*22cm - 150 adet agregası boşluklu tek kat olacak şekilde yerleşebilsin diye) ısıya dayanıklı camlar üzerine dökülerek TS EN 12697-11'in 6.4.4'üne göre oda sıcaklığında 1 saat $\pm$ 5 dakika bekletilmeye bırakılır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 : Üretimi tamamlanmış numunenin laboratuvar ortamında 1 saat beklemesi.

TS EN 12697-11:2020 6.4.4'te laboratuvar ortamında 1 saat bekletilmiş numuneyi saf su (Şekil 5.24) içerisinde koyup 19 ± 1 °C'de 48 saat beklemeye almayı önerir. Ama yine aynı madde içerisinde alternatif saf su içerisinde bekletilme süresi ve sıcaklıkların kullanılabileceğinden bahsedilmektedir. Bu sebeple setler içerisinde su içerisinde bekletme süresi ve suyun sıcaklığının soyulma mukavemeti üzerine olan etkisini de araştırmak amacıyla bu değışkenler kullanılarak da numuneler test edilmiştir.



Şekil 5.24 : Numunelerin saf su içerisinde konulması.

Standardın yanında KGM Teknik Şartnamesinin Ek kısmında bulunan Soyulma Mukavemeti Deneyi kısmına göre ise 1 saat laboratuvar ortamında bekletilmiş numunelerin 24 saat süreyle bekletilmek üzere 60°C'lik etüve konularak üzerine en az 3cm yüksekliğinde su dolu olacak şekilde kaplara yerleştirilir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 : 24 saat süreyle bekletilmek üzere 60°C 'lik etüvde su dolu derin laboratuvar tepsisi içersine konulmuş numune.

Ayrıca üretimi tamamlanmış setlerden bazıları TS EN 12697-11'in önerdiği üzere saf su içeresine konulup ısı ayarlı su havuzunun içeresinde 19 ± 1 °C'de 48 saat Şekil 5.26'teki gibi bekletilmiştir.



Şekil 5.26 : Isı ayarlı su havuzu içeresinde 48 saat 19°C'de bekletilmek üzere konulan numuneler.

5.2.1 1.Set

1. Set numuneleri üretilirken her agregadan (150) yüz ellışer adet alınarak ayrı ayrı kaplara konuldu ve her bir agreganın 150 adetine karşılık gelen ağırlıklar ölçülerek kullanılacak bitüm oranı belirlendi. 1.Set kapsamındaki her bir agreganın ve kullanılacak bitüm ağırlıklarını (agrega ağırlığının yüzde 4'ü kadar bitüm) gösteren tablo aşağıda (Çizelge 5.15) görölmektedir. (Ağırlık ölçümleri hassas laboratuvar terazisi ile yapılmıştır.)

Çizelge 5.15 : 1.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.

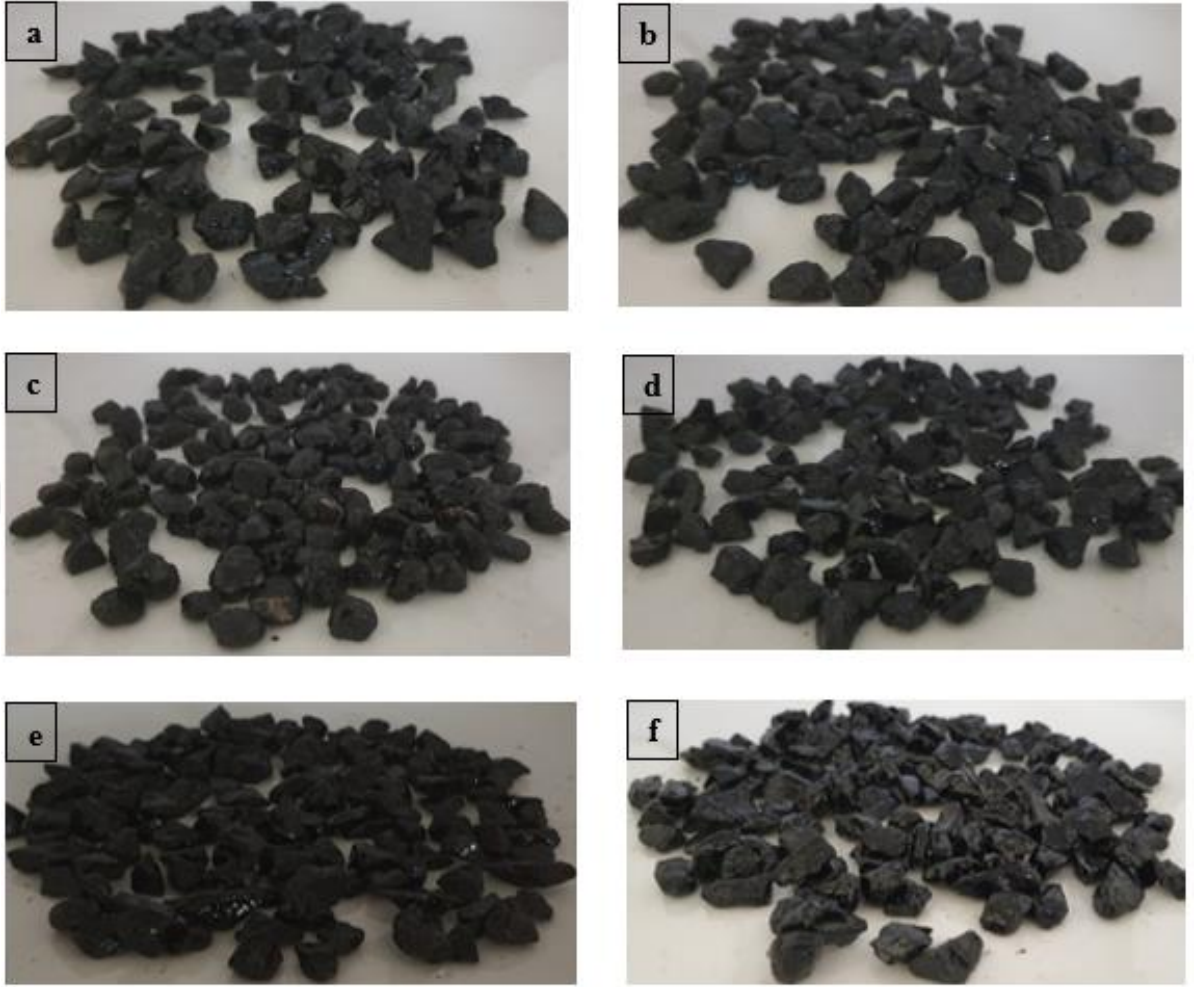
Agrega Cinsi	Adet	Ağırlık (gr)	Bitüm (gr)	Toplam Karışım (gr)
Bazalt	150	197,5	7,9	205,4
Kalker	150	210,4	8,42	218,82
Beyaz Kalker	150	211,9	8,48	220,38
Dolomit	150	213,8	8,55	222,35
Kumtaşı	150	192,9	7,72	200,62
Çakıl	150	225,5	9,02	234,52

1.set kapsamında tez çalışmasının ilk değişkeni olarak kullanılan karıştırma sıcaklığı EN 12697-35'in 6.1'inci maddesinde yer alan tabloya (**EK B**) göre 50/70 bitüm kullanıldığı için 165°C seçilmiştir. Ayrıca EN 12697-11'in 6.4.1'inci maddesi uyarınca seçilen karıştırma sıcaklığından 15°C aşağısında yani 150°C'de tüm ekipmanlar etüvde ısıtılmıştır. Daha sonra etüvden çıkarılarak karıştırma işlemi ısı ayarlı ocak üzerinde 165°C'de yapılmıştır.

Üretimi tamamlanan 1.set numuneler, 17x22cmlik özel üretim ısıya dayanıklı camlar üzerine tek sıra olacak şekilde Şekil 5.23'teki gibi yerleştirilmiştir.

Tez çalışmasında literatür çalışmasının da ışığında ikinci değişken olarak EN 12697-11'in 6.4.4'üncü maddesi de dikkate alınarak suya maruz bırakma süresi ve suyun derecesi seçilmiştir. 1.set kapsamında ise ısı ayarlı su banyosu içerisinde 48 saat 19°C duracak şekilde yani EN 12697-11 standartının ilk önerisine göre numuneler soyulma mukavemeti deneyine tabii tutulmuştur.

Görünteleme işlemleri için 1.set numuneler beyaz bir seramik plaka üzerine Şekil 5.27'deki gibi tek kat olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.27 : Görüntüleme için hazırlanan 1.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.

48 saatin sonunda numuneler su banyosundan çıkarılmış, derin saf su dolu beyaz bir tepsi içerisindeki su içerisine konulmuş ve fener ışığı altında soyulma oranları göz ile incelenerek tayin edilmiştir.

5.2.2 2.Set

1.set hazırlanırken uygulanan agrega ve bitüm ağırlık tespiti işlemleri aynı şekilde uygulanarak 2.set karışımlarında kullanılacak ağırlıklar tespit edilmiş ve Çizelge 5.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.16: 2.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.

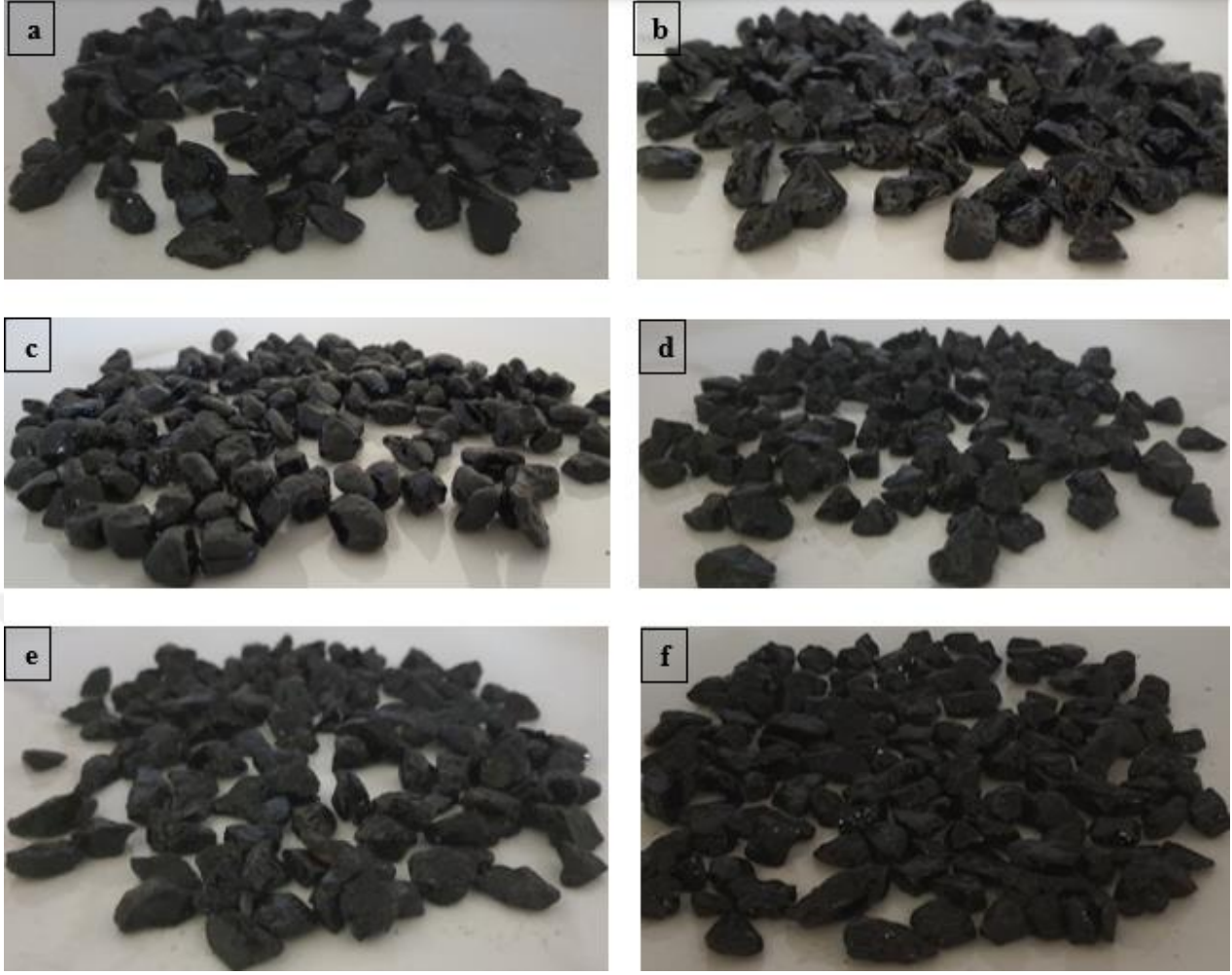
Agrega Cinsi	Adet	Ağırlık (gr)	Bitüm (gr)	Toplam Karışım (gr)
Beyaz Kalker	150	205,4	7,8	213,6
Çakıl	150	223,1	8,9	232,0
Kalker	150	196,0	7,8	203,8
Bazalt	150	197,6	7,9	205,5
Kumtaşı	150	211,8	8,4	220,2
Dolomit	150	196,1	7,8	203,9

2.set kapsamında tez çalışmasının ilk değişkeni olarak kullanılan karıştırma sıcaklığı EN 12697-35'in 6.1'inci maddesinde yer alan tabloya (**EK B**) göre 50/70 bitüm kullanıldığı için yeniden 165°C seçilmiştir. Ayrıca EN 12697-11'in 6.4.1'inci maddesi uyarınca seçilen karıştırma sıcaklığından 15°C aşağısında yani 150°C'de tüm ekipmanlar etüvde ısıtılmıştır. Daha sonra etüvden çıkarılarak karıştırma işlemi ısı ayarlı ocak üzerinde bu sefer aynı zamanda KTŞ'nin soyulma mukavemeti deneyi için önermiş olduğu 150°C seçilerek bu sıcaklıkta karıştırma işlemi tamamlanmıştır.

Üretimi tamamlanan 2.set numuneler, 17x22cmlik özel üretim ısıya dayanıklı camlar üzerine tek sıra olacak şekilde Şekil 5.23'teki gibi yerleştirilmiştir.

2.set kapsamında EN 12697-11'in suya maruz bırakma sürelerinde bir esneklik (farklı zaman aralıklarında farklı sıcaklıklardaki suda bekletme işlemi) tanındığından bahsedilmişti. Bu sebeple tez çalışmasının 2. değişkeni olarak seçilen su içerisinde bekletme faktörü 2.set kapsamında KTŞ'nin önerisi olan 60°C'de 24 saat olarak seçilmiş ve uygulanmıştır.

Görünteleme işlemleri için 2.set numuneler beyaz bir seramik plaka üzerine Şekil 5.28'deki gibi tek kat olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.28: Görüntüleme için hazırlanan 2.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.

24 saatin sonunda numuneler su banyosundan çıkarılmış, derin saf su dolu beyaz bir tepsi içerisinde su içerisine konulmuş ve fener ışığı altında soyulma oranları göz ile incelenerek tayin edilmiştir.

5.2.3 3.Set

1. ve 2. set hazırlanırken uygulanan agrega ve bitüm ağırlık tespiti işlemleri aynı şekilde uygulanarak 3.set karışımlarında kullanılacak ağırlıklar tespit edilmiş ve Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17 : 3.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.

Agrega Cinsi	Adet	Ağırlık (gr)	Bitüm (gr)	Toplam Karışım (gr)
Beyaz Kalker	150	179,9	7,2	187,1
Çakıl	150	225,8	9,0	234,8
Kalker	150	197,5	7,9	205,4
Bazalt	150	185,3	7,4	192,7
Kumtaşı	150	234,4	9,4	243,8
Dolomit	150	226,3	9,1	235,4

3.set kapsamında tez çalışmasının ilk değişkeni olarak kullanılan karıştırma sıcaklığı EN 12697-35'in 6.1'inci maddesinde yer alan tabloya (**EK B**) göre 50/70 bitüm kullanıldığı için yeniden 150°C seçilmiştir (karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı aynı seçildi). Ayrıca EN 12697-11'in 6.4.1'inci maddesine göre karıştırma sıcaklığından 15°C aşağısında yani 135°C'de tüm ekipmanlar etüvde ısıtılmıştır. Daha sonra etüvden çıkarılarak karıştırma işlemi ısı ayarlı ocak üzerinde 135°C'de karıştırma işlemi tamamlanmıştır. (Böylece karıştırma sıcaklıklarındaki değişimin soyulma mukavemeti üzerindeki etkisi de araştırma kapsamına dahil edildi.)

Üretimi tamamlanan 3.set numuneler, 17x22cmlik özel üretim ısıya dayanıklı camlar üzerine tek sıra olacak şekilde Şekil 5.23'teki gibi yerleştirilmiştir.

3.set kapsamında su içerisinde bekletme aşaması KTŞ'nin önerisi olan 60°C'de 24 saat olarak seçilmiş ve uygulanmıştır.

Görünteleme işlemleri için 3.set numuneler beyaz bir seramik plaka üzerine Şekil 5.29'deki gibi tek kat olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.29 : Görüntüleme için hazırlanan 3.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d) dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.

24 saatin sonunda numuneler su banyosundan çıkarılmış, derin saf su dolu beyaz bir tepsi içerisindeki su içerisine konulmuş ve fener ışığı altında soyulma oranları göz ile incelenerek tayin edilmiştir.

5.2.4 4.Set

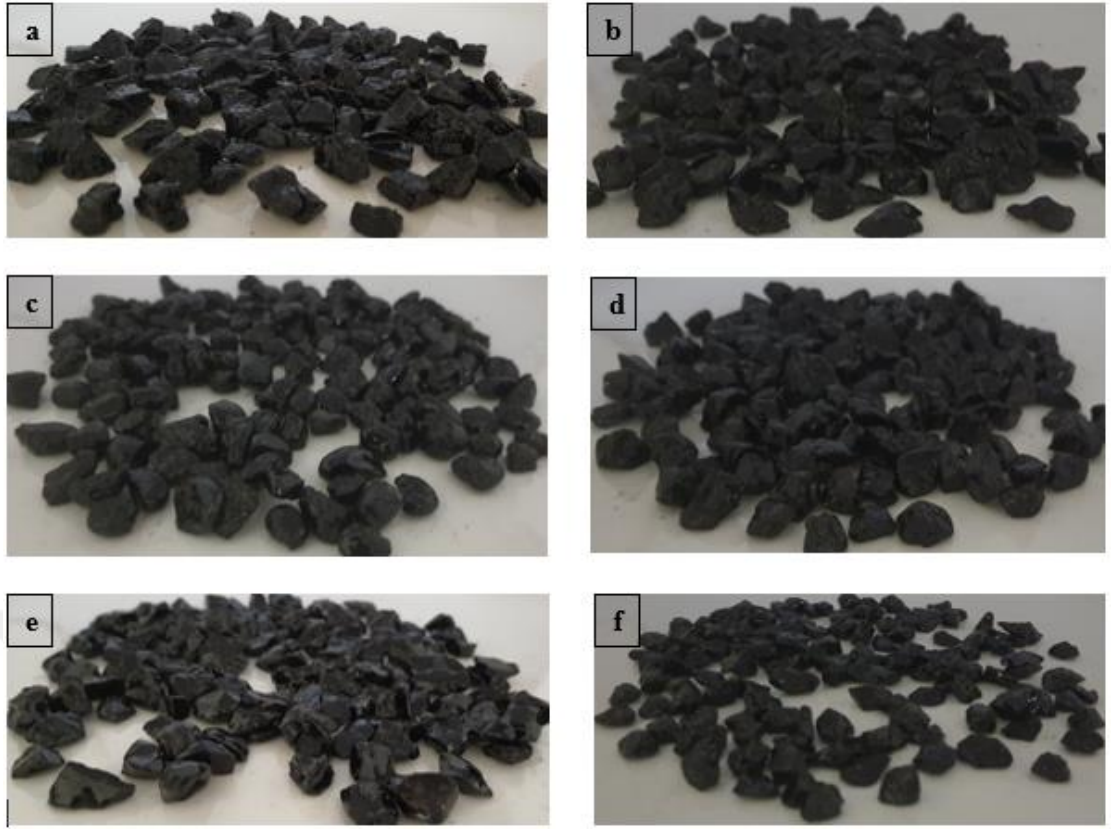
Çizelge 5.18 : 4.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.

Agrega Cinsi	Adet	Ağırlık (gr)	Bitüm (gr)	Toplam Karışım (gr)
Beyaz Kalker	150	207,9	8,3	216,2
Çakıl	150	233,1	9,3	242,4
Kalker	150	191,1	7,6	198,7
Bazalt	150	191,4	7,7	199,1
Kumtaşı	150	214,8	8,6	223,4
Dolomit	150	207,3	8,3	215,6

4.set kapsamında tez çalışmasının ilk değişkeni olarak kullanılan karıştırma sıcaklığı EN 12697-35'in 6.1'inci maddesinde yer alan tabloya (**EK B**) göre 50/70 bitüm kullanıldığı için yeniden 150°C seçilmiştir (karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı aynı seçildi). Ayrıca EN 12697-11'in 6.4.1'inci maddesine göre karıştırma sıcaklığından 15°C aşağısında yani 135°C'de tüm ekipmanlar etüvde ısıtılmıştır. Daha sonra etüvden çıkarılarak karıştırma işlemi ısı ayarlı ocak üzerinde 135°C'de karıştırma işlemi tamamlanmıştır.

4.set kapsamında tez çalışmasının ikinci değişkeni olarak kullanılan su içerisinde bekletme aşamasında hem TS EN 12697-11'in metodu hem de KTş'nin metodu %50-%50 olacak şekilde uygulanmıştır. Yani ncelikle TS EN 12697-11'in metodu olan 19°C'de 48 saatin yarısı olarak 19°C'de 24 saat ve KTş'nin metodu olan 60°C'de 24 saatin 60°C'de 12 saat su içeresinde bekletme işlemleri uygulanmıştır.

Görünteleme işlemleri için 4.set numuneler beyaz bir seramik plaka üzerine şekil 5.30'daki gibi tek kat olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.30 : Görüntüleme için hazırlanan 4.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d) dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.

36 saatin sonunda numuneler su banyosundan çıkarılmış, derin saf su dolu beyaz bir tepsi içerisindeki su içerisine konulmuş ve fener ışığı altında soyulma oranları göz ile incelenerek tayin edilmiştir.

5.2.5 5.Set

Çizelge 5.19 : 5.set kapsamında üretilen karışımların ağırlık bilgileri.

Agrega Cinsi	Adet	Ağırlık (gr)	Bitüm (gr)	Toplam Karışım (gr)
Beyaz Kalker	150	186,3	7,4	193,7
Çakıl	150	220,1	8,8	228,9
Kalker	150	194,5	7,8	202,3
Bazalt	150	197,2	7,9	205,1
Kumtaşı	150	212,3	8,5	220,8
Dolomit	150	212,1	8,5	220,6

5.set kapsamında tez çalışmasının ilk değişkeni olarak kullanılan karıştırma sıcaklığı EN 12697-35'in 6.1'inci maddesinde yer alan tabloya (**EK B**) göre 50/70 bitüm kullanıldığı için 3. ve 4. Setlerdeki gibi 150°C seçilmiştir. Ayrıca EN 12697-11'in 6.4.1'inci maddesine göre karıştırma sıcaklığından 15°C aşağısında yani 135°C'de tüm ekipmanlar etüvde ısıtılmıştır. Daha sonra etüvden çıkarılarak karıştırma işlemi ısı ayarlı ocak üzerinde 135°C'de karıştırma işlemi tamamlanmıştır.

Üretimi tamamlanan 5.set numuneler, 17x22cmlik özel üretim ısıya dayanıklı camlar üzerine tek sıra olacak şekilde Şekil 5.23'teki gibi yerleştirilmiştir.

5.set kapsamında su içerisinde bekletme aşaması literatür çalışmasının da ışığında ikinci değişken olarak EN 12697-11'in 6.4.4'üncü maddesi de dikkate alınarak suya maruz bırakma süresi ve suyun derecesi seçilmiştir. 5.set kapsamında ise ısı ayarlı su banyosu içerisinde 48 saat 19°C duracak şekilde yani EN 12697-11 standartının ilk önerisine göre 5.set numuneler soyulma mukavemeti deneyine tabii tutulmuştur.

Görünteleme işlemleri için 5.set numuneler beyaz bir seramik plaka üzerine Şekil 5.31'daki gibi tek kat olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.31 : Görüntüleme için hazırlanan 5.set numuneleri: a) bazalt, b) beyaz kalker, c) çakıl, d)dolomit, e) kalker, f) kumtaşı.

48 saatin sonunda numuneler su banyosundan çıkarılmış, derin saf su dolu beyaz bir tepsi içerisindeki su içerisine konulmuş ve fener ışığı altında soyulma oranları göz ile incelenerek tayin edilmiştir.



6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Tez çalışmasında bağlayıcı olarak 50/70 sınıf bitüm; agrega olarak bazalt, beyaz kalker, çakıl, dolomit, kalker, kumtaşı tipleri kullanılmıştır. Agregaların jeolojik kökenlerinin soyulma mukavemeti üzerine önemli bir etkisi olduğu Zhang ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuştur[24]. Agregaların kimyasal özelliklerinin de soyulma mukavemeti üzerine bitümden daha fazla etkisi olduğu bilinmektedir[18]. Bu sebeple tez çalışmasında 6 farklı agrega kullanılmış , jeolojik kökenleri ve kimyasal özellikleri petrografik analizler ile ortaya konulmuş ve bitüm sıcak karışımlarda soyulma mukavemetleri kıyaslanmıştır.

Ayrıca literatürde görüldüğü üzere yüksek karıştırma sıcaklıklarının daha yüksek adezyon sağlayarak soyulma mukavemetini artırdığı gösterilmiştir[16], [18]. Bundan dolayı tez çalışmasında karıştırma sıcaklıkları da değişken olarak deneysel çalışma içerisine dahil edilerek soyulma mukavemeti üzerinde etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışma aşamalarından olan su içerisinde belirli bir zaman aralığı ve sıcaklıkta bekletme adımı Hugener ve ekibi değişiklikler yaparak soyulma mukavemetini incelemiş ve bu adımın da soyulma mukavemeti üzerine önemli bir etkisi olduğunu vurgulamışlardır[16]. Bu bilgiler ışığında daha kapsamlı hale getirmek amacıyla su içerisinde bekletme adımı farklı metodlar denenmiştir.

Yapılan deneylere ilişkin sonuçlar önce setler halinde daha sonra genel olarak tüm çalışma şeklinde değerlendirilecektir.

Üretimi tamamlanmış numuneler derin beyaz bir tepsi içerisine konulmuş ve üzerine 3cm dolu olacak şekilde saf su doldurulmuştur (Şekil 6.1, Şekil 6.3, Şekil 6.5, Şekil 6.7, Şekil 6.9). Yandan ve yukarıdan gelen fener ışığı altında agrega agrega incelenerek ve soyulma oranları tespit edilmiştir.

6.1 1.Set Sonuçları

1.set üretiminde diğer setlere göre daha yüksek karıştırma sıcaklığı 165°C ve 48 saat 19°C su içerisinde bekletme (water conditioning) işlemi uygulandı. Bunun neticesinde oluşan sonuçlar ve sonuçlara ilişkin fotoğraflar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

6.1.1 1.Set Bazalt



Şekil 6.1 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set bazalt numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 1.set bazalt numunesinin (Şekil 6.2) soyulma mukavemeti %97 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.2 : 1.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.1.2 1.Set Beyaz Kalker



Şekil 6.3 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set beyaz kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 1.set beyaz kalker numunesinin (Şekil 6.4) soyulma mukavemeti %91 olarak tespit edilmiştir.



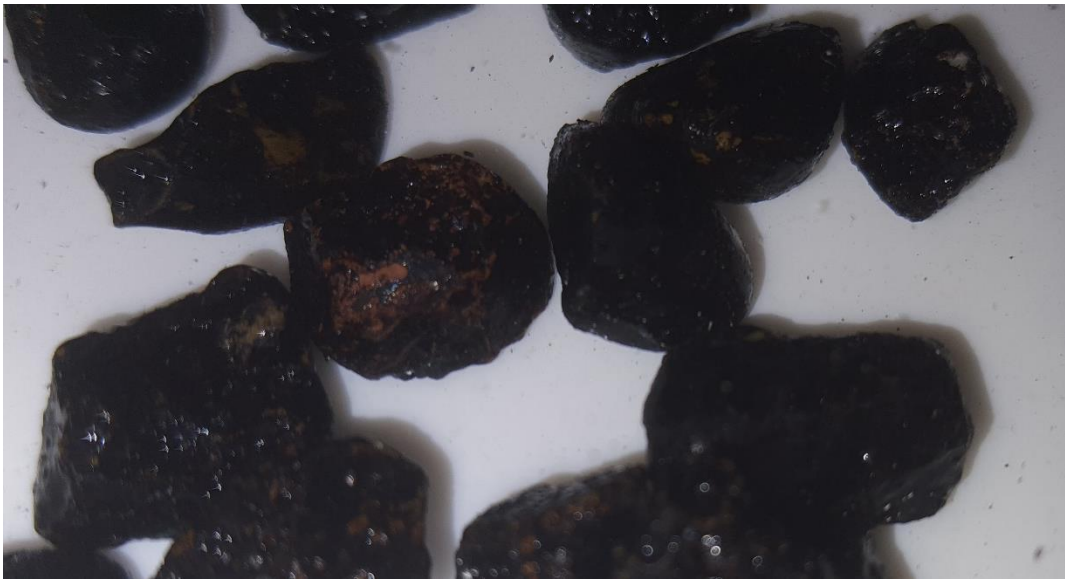
Şekil 6.4 : 1.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.1.3 1.Set akıl



Şekil 6.5 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set çakıl numuneleri.

Yapılan görsel değeriendirmeler sonucu 1.set çakıl numunesinin (Şekil 6.6) soyulma mukavemeti %81 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.6 : 1.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.1.4 1.Set Dolomit



Şekil 6.7 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine alınan 1.set dolomit numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 1.set dolomit numunesinin (Şekil 6.8) soyulma mukavemeti %91 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.8 : 1.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.1.5 1.Set Kalker



Şekil 6.9 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 1.set kalker numunesinin (Şekil 6.10) soyulma mukavemeti %90 olarak tespit edilmiştir.



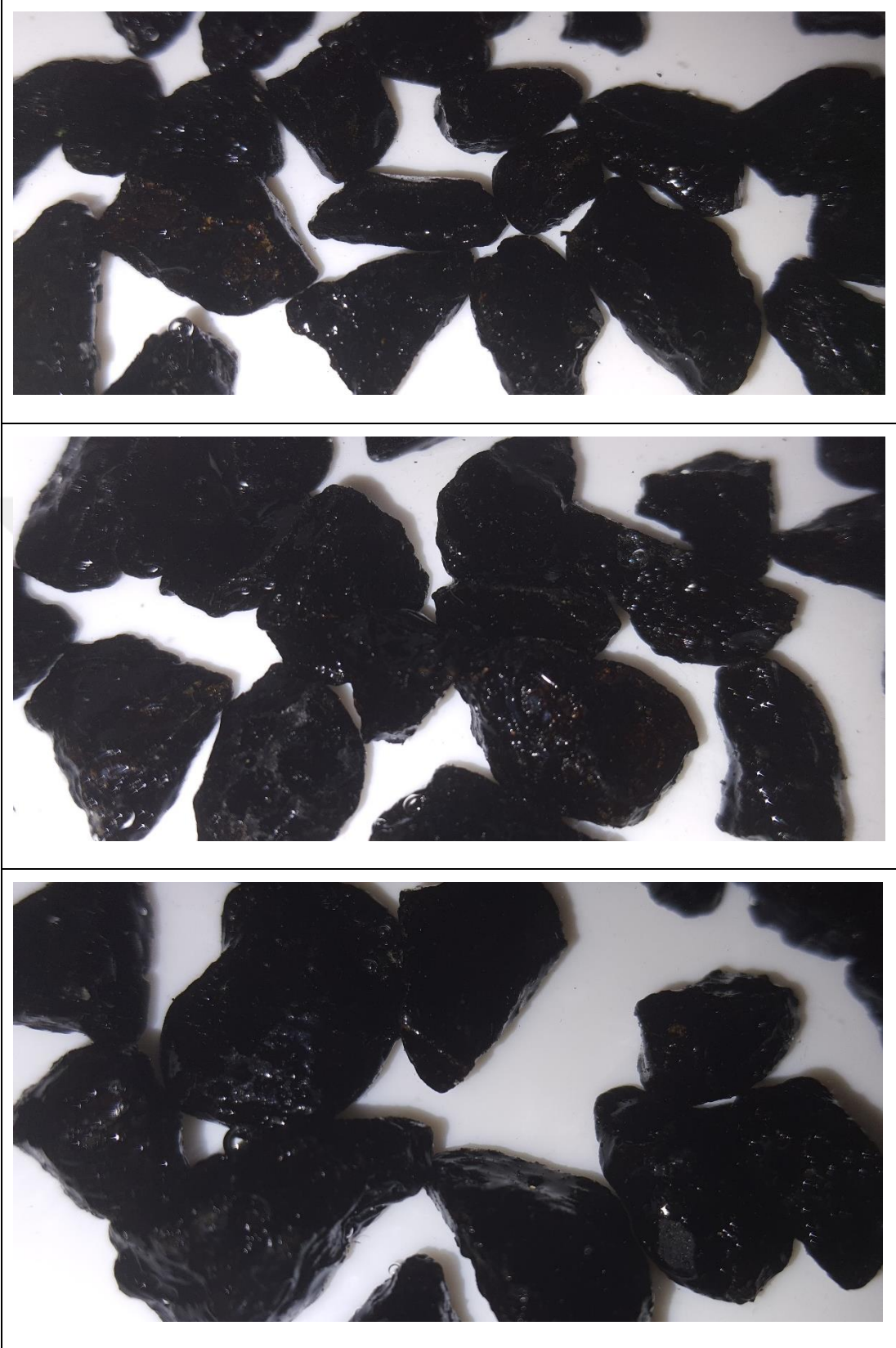
Şekil 6.10 : 1.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.1.6 1.Set Kumtaşı

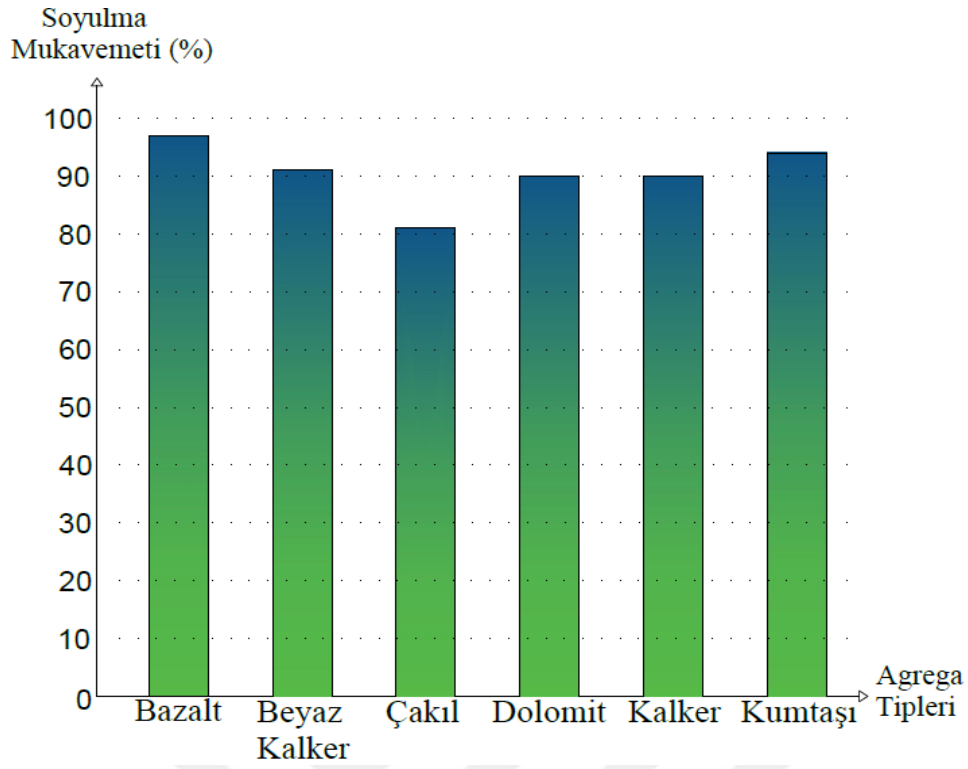


Şekil 6.11 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 1.set kumtaşı numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 1.set kumtaşı numunesinin (Şekil 6.12) soyulma mukavemeti %94 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.12 : 1.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.



Şekil 6.13 : 1.Set sonuçlarına ilişkin grafik.

1.Set kapsamında üretilen tüm numuneler görsel olarak değerlendirilmiş ve 1.set soyulma mukavemetleri tespit edilerek sonuçlara ilişkin grafik Şekil 6.13'te gösterilmiştir.

6.2 2.Set Sonuçları

2.set üretiminde karıştırma sıcaklığı 165°C seçilip standartların ve KTŞ'nin ışığında karıştırma sıcaklığının 15°C aşağısında 150°C'de ve 24 saat 60°C su içerisinde bekletme (water conditioning) işlemi uygulandı. Bunun neticesinde oluşan sonuçlar ve sonuçlara ilişkin fotoğraflar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

6.2.1 2.Set Bazalt

Numuneler görüntülenmek üzere Şekil 6.14'teki gibi saf su içerisinde alınmıştır.



Şekil 6.14 : Görüntülenmek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set bazalt numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 2.set bazalt numunesinin (Şekil 6.15) soyulma mukavemeti %95 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.15 : 2.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.2.2 2.Set Beyaz Kalker

Numuneler görüntülenmek üzere Şekil 6.16'teki gibi saf su içerisinde alınmıştır.



Şekil 6.16 : Görüntülenmek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisinde konulan 2.set beyaz kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 2.set beyaz kalker numunesinin (Şekil 6.17) soyulma mukavemeti %81 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.17 : 2.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

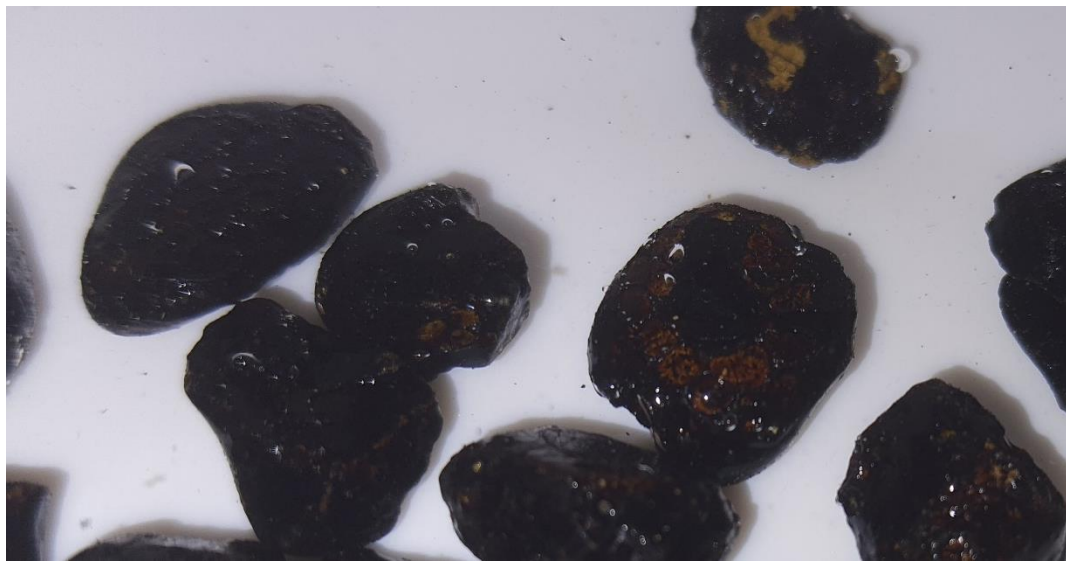
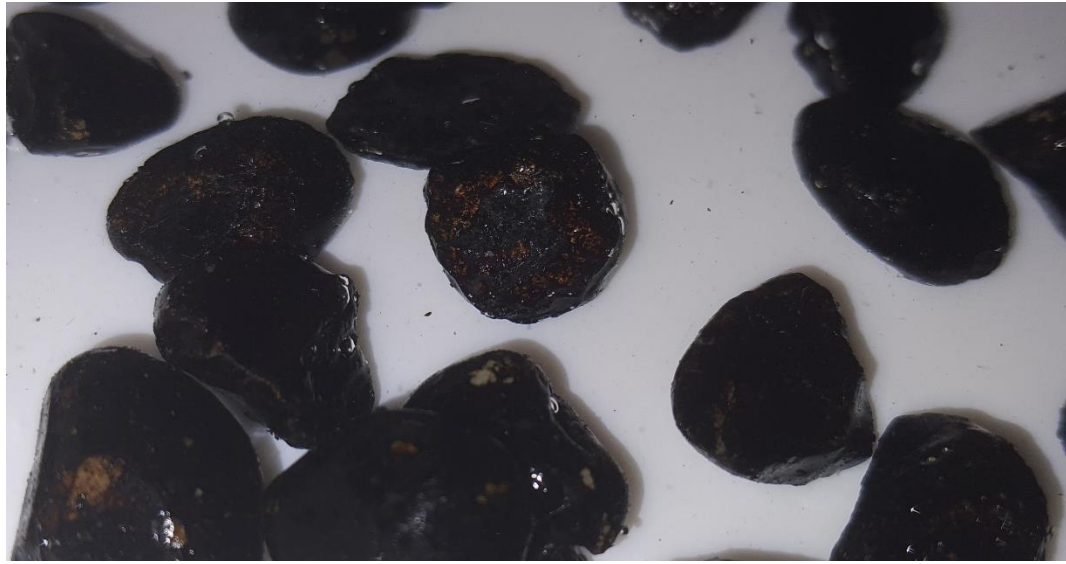
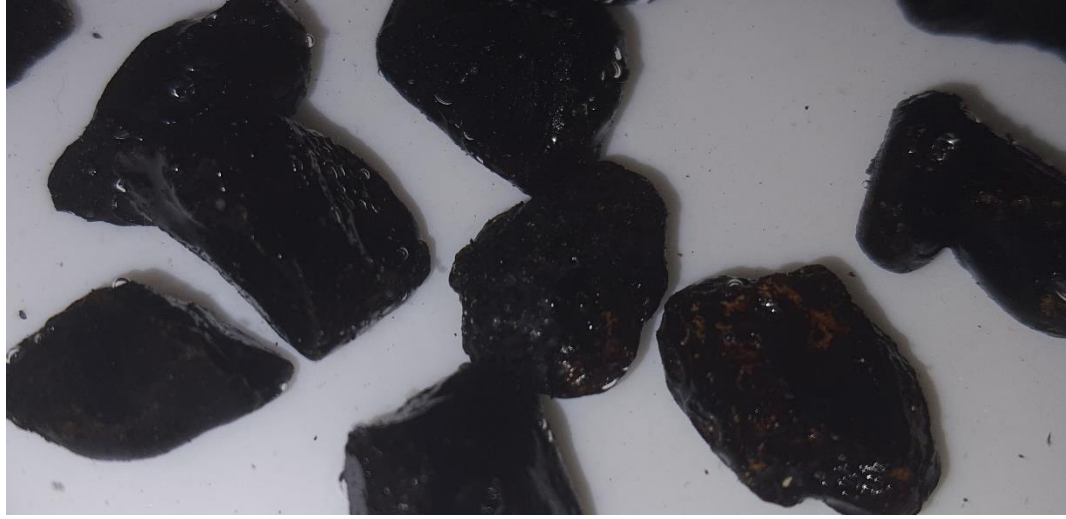
6.2.3 2.Set akıl

Numuneler görüntülenmek üzere Şekil 6.18'teki gibi saf su içerisine alınmıştır.



Şekil 6.18 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set çakıl numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 2.set çakıl numunesinin (Şekil 6.19) soyulma mukavemeti %80 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.19 : 2.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.2.4. 2.Set Dolomit

Numuneler görüntülenmek üzere Şekil 6.20’teki gibi saf su içerisinde alınmıştır.



Şekil 6.20 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisinde konulan 2.set dolomit numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 2.set dolomit numunesinin (Şekil 6.21) soyulma mukavemeti %82 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.21 : 2.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.2.5 2.Set Kalker

Numuneler görüntülenmek üzere Şekil 6.22’teki gibi saf su içerisinde alınmıştır.



Şekil 6.22 : Görüntülenmek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 2.set kalker numunesinin (Şekil 6.23) soyulma mukavemeti %89 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.23 : 2.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

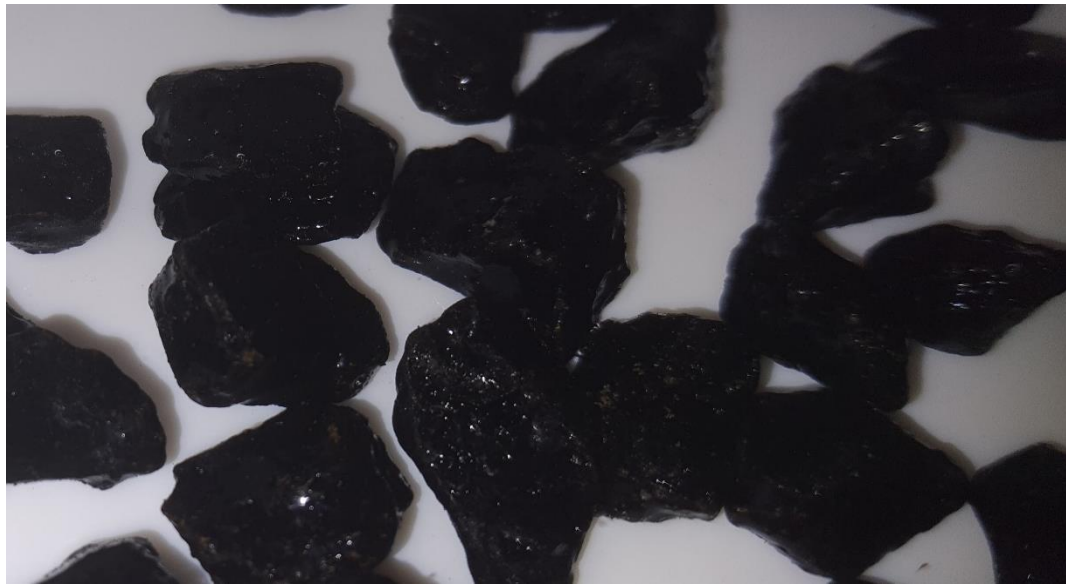
6.2.6 2.Set Kumtaşı

Numuneler görüntülenmek üzere Şekil 6.24'teki gibi saf su içerisine alınmıştır.

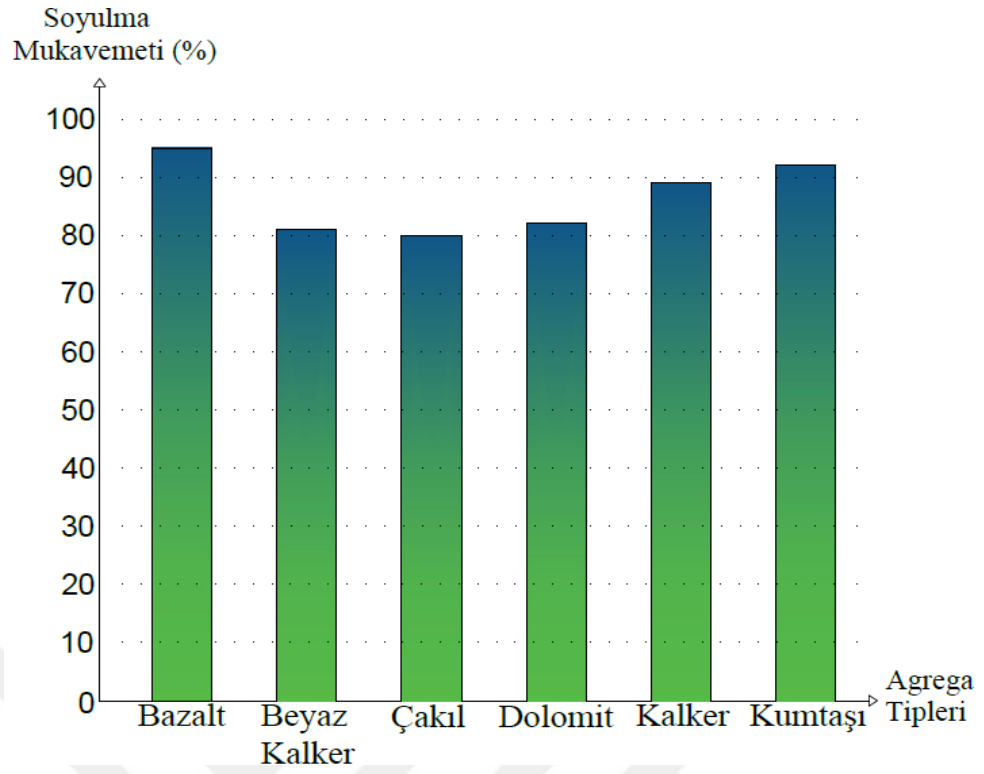


Şekil 6.24 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 2.set kumtaşı numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 2.set kumtaşı numunesinin (Şekil 6.25) soyulma mukavemeti %92 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.25 : 2.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.



Şekil 6.26 : 2.Set sonuçlarına ilişkin grafik.

2.Set kapsamında üretilen tüm numuneler görsel olarak değerlendirilmiş ve 2.set soyulma mukavemetleri tespit edilerek sonuçlara ilişkin grafik Şekil 6.26'da gösterilmiştir.

6.3 3.Set Sonuçları

3.set üretiminde karıştırma sıcaklığı 135°C seçilmiş tüm ısıtma ve karıştırma işlemleri 135°C 'de yapılmıştır. Su içerisinde bekletme (water conditioning) işlemi içinse KTŞ'nin ışığında 24 saat 60°C prosedürü uygulandı. Bunun neticesinde oluşan sonuçlar ve sonuçlara ilişkin fotoğraflar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

6.3.1 3.Set Bazalt

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil6.27).



Şekil 6.27 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set bazalt numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 3.set bazalt numunesinin (Şekil 6.28) soyulma mukavemeti %86 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.28 : 3.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.3.2 3.Set Beyaz Kalker

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.29).



Şekil 6.29 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set beyaz kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 3.set beyaz kalker numunesinin (Şekil 6.30) soyulma mukavemeti %79 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.30 : 3.Set beyaz kallker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.3.3 3.Set akıl

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değeriendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.31).



Şekil 6.31 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içine konulan 3.set çakıl numuneleri.

Yapılan görsel değeriendirmeler sonucu 3.set çakıl numunesinin (Şekil 6.32) soyulma mukavemeti %55 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.32 : 3.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.3.4 3.Set Dolomit

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.33).



Şekil 6.33 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set dolomit numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 3.set dolomit numunesinin (Şekil 6.34) soyulma mukavemeti %45 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.34 : 3.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.3.5 3.Set Kalker

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.35).



Şekil 6.35 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 3.set kalker numunesinin (Şekil 6.36) soyulma mukavemeti %84 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.36 : 3.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.3.6 3.Set Kumtaşı

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.37).

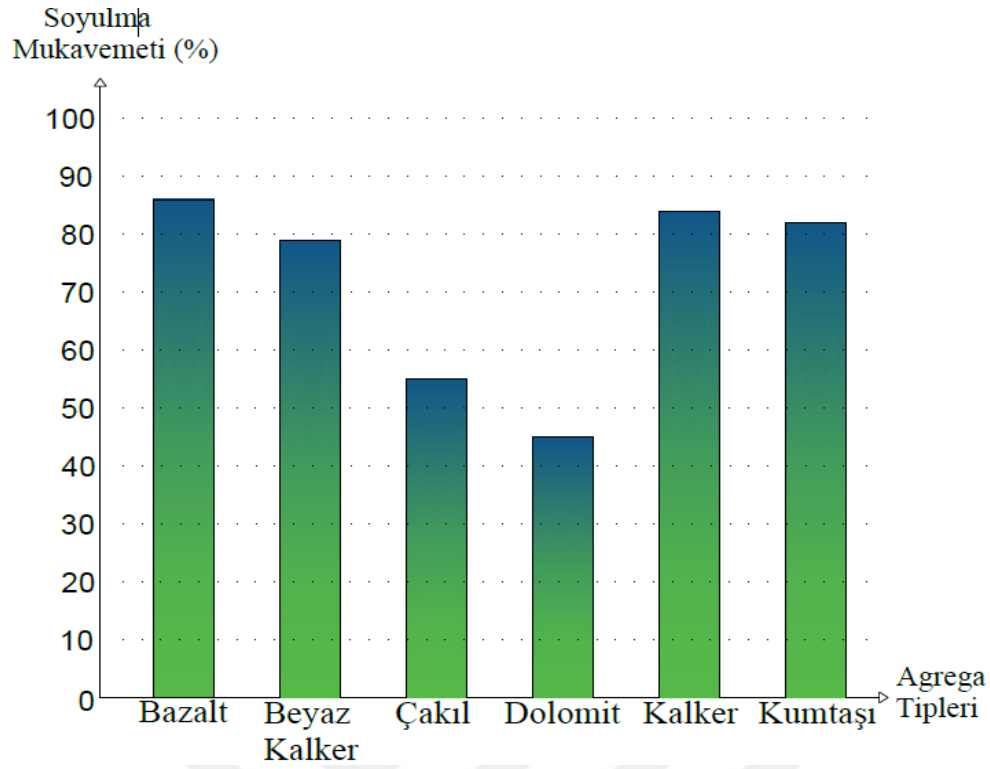


Şekil 6.37 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 3.set kumtaşı numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 3.set kumtaşı numunesinin (Şekil 6.38) soyulma mukavemeti %82 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.38 : 3.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.



Şekil 6.39 : 3.Set sonuçlarına ilişkin grafik.

3.Set kapsamında üretilen tüm numuneler görsel olarak değerlendirilmiş ve 3.set soyulma mukavemetleri tespit edilerek sonuçlara ilişkin grafik Şekil 6.39'da gösterilmiştir.

6.4 4.Set Sonuçları

4.set üretiminde karıştırma sıcaklığı 135°C seçilmiş tüm ısıtma ve karıştırma işlemleri 135°C 'de yapılmıştır. Su içerisinde bekletme (water conditioning) işlemi içinse hem EN 12697-11 hem de KTŞ'nin ışığında sırasıyla 12 saat 60°C ve 24 saat 19°C prosedürleri uygulandı. Bunun neticesinde oluşan sonuçlar ve sonuçlara ilişkin fotoğraflar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

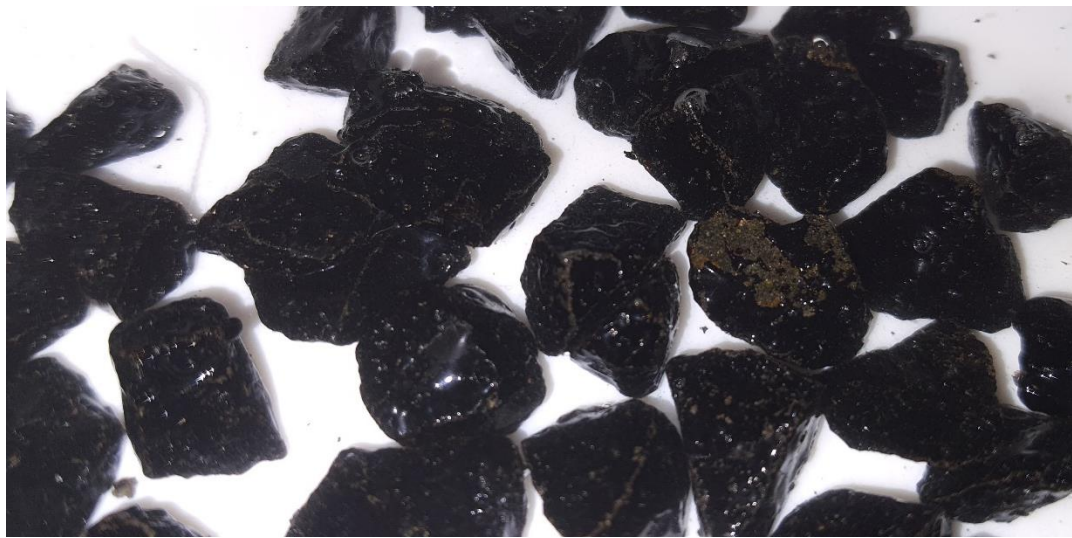
6.4.1 4.Set Bazalt

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.40).



Şekil 6.40 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set bazalt numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 4.set bazalt numunesinin (Şekil 6.41) soyulma mukavemeti %89 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.41 : 4.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

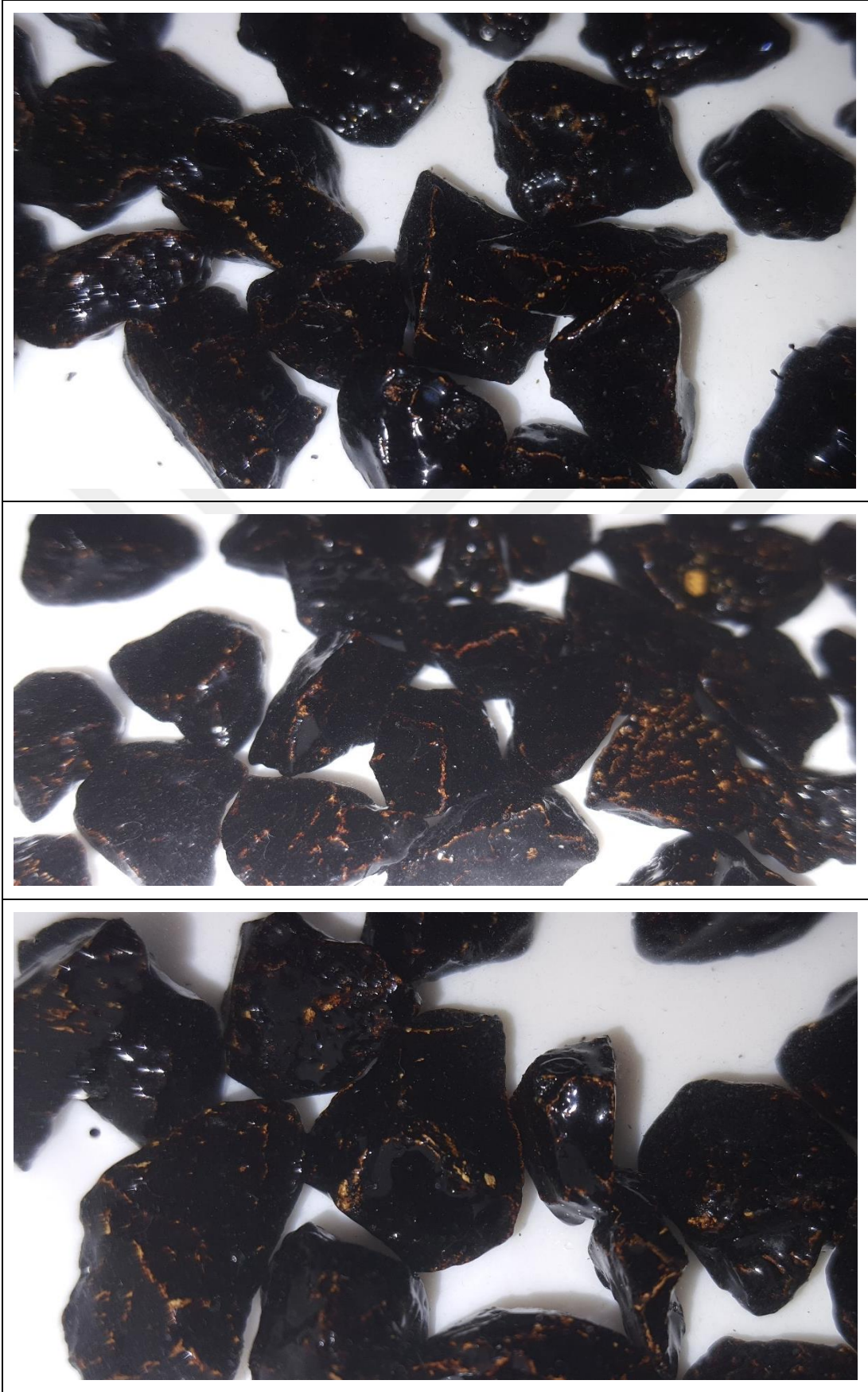
6.4.2 4.Set Beyaz Kalker

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.42).



Şekil 6.42 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set beyaz kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 4.set beyaz kalker numunesinin (Şekil 6.43) soyulma mukavemeti %80 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.43 : 4.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.4.3 4.Set akıl

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değeriendirme amacıyla üzerlerine 3 cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.44).



Şekil 6.44 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içirisine konulan 4.set çakıl numuneleri.

Yapılan görsel değeriendirmeler sonucu 4.set çakıl numunesinin (Şekil 6.45) soyulma mukavemeti %75 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.45 : 4.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.4.4 4.Set Dolomit

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.46).



Şekil 6.46 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set dolomit numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 4.set dolomit numunesinin (Şekil 6.47) soyulma mukavemeti %70 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.47 : 4.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.4.5 4.Set Kalker

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.48).



Şekil 6.48 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 4.set kalker numunesinin (Şekil 6.49) soyulma mukavemeti %86 olarak tespit edilmiştir



Şekil 6.49 : 4.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

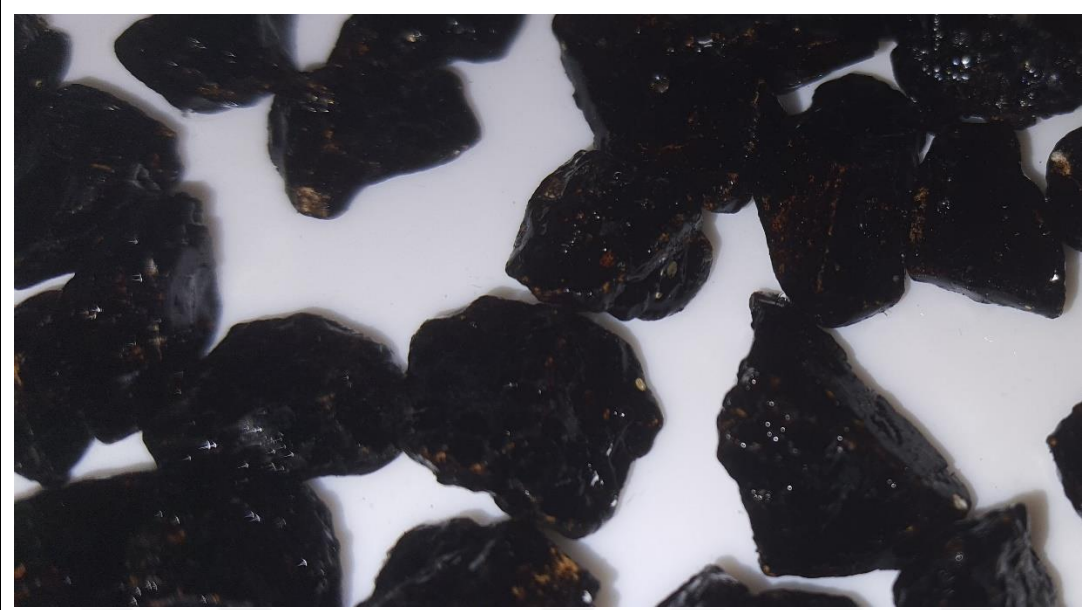
6.4.6 4.Set Kumtaşı

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.50).

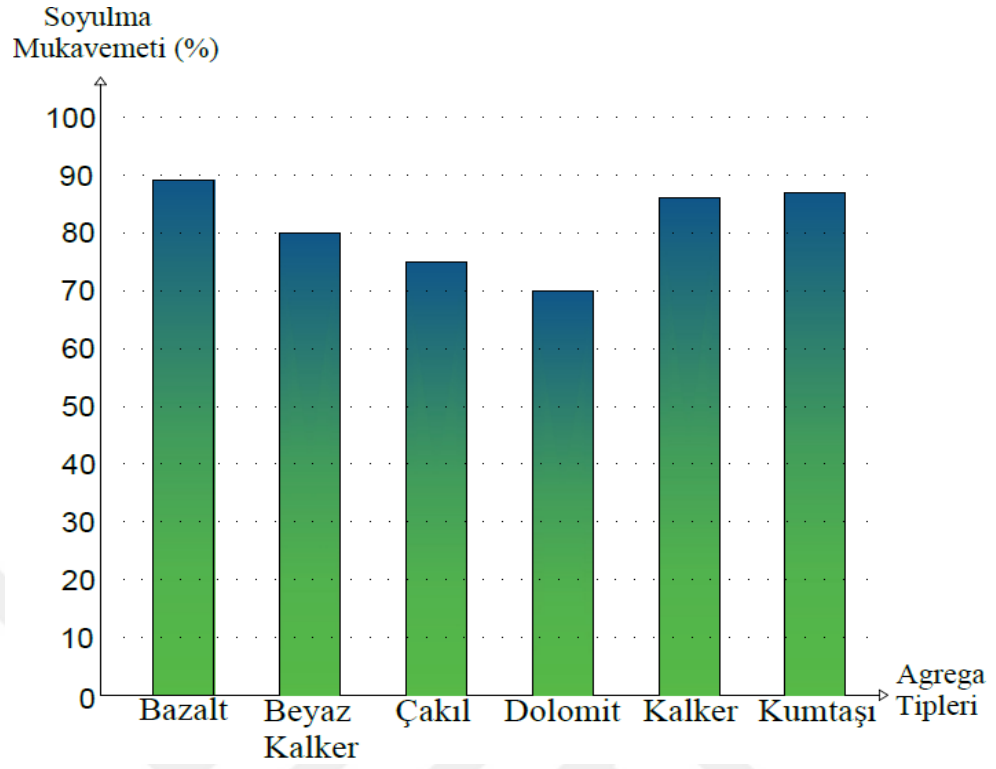


Şekil 6.50 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 4.set kumtaşı numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 4.set kumtaşı numunesinin (Şekil 6.51) soyulma mukavemeti %87 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.51 : 4.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.



Şekil 6.52 : 4.Set sonuçlarına ilişkin grafik.

4.Set kapsamında üretilen tüm numuneler görsel olarak değerlendirilmiş ve 4.set soyulma mukavemetleri tespit edilerek sonuçlara ilişkin grafik Şekil 6.52’da gösterilmiştir.

6.5 5.Set Sonuçları

5.set üretiminde karıştırma sıcaklığı 135°C seçilmiş tüm ısıtma ve karıştırma işlemleri 135°C 'de yapılmıştır. Su içerisinde bekletme (water conditioning) işlemi içinse EN 12697-11 standartının ışığında 48 saat 19°C prosedürleri uygulandı. Bunun neticesinde oluşan sonuçlar ve sonuçlara ilişkin fotoğraflar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

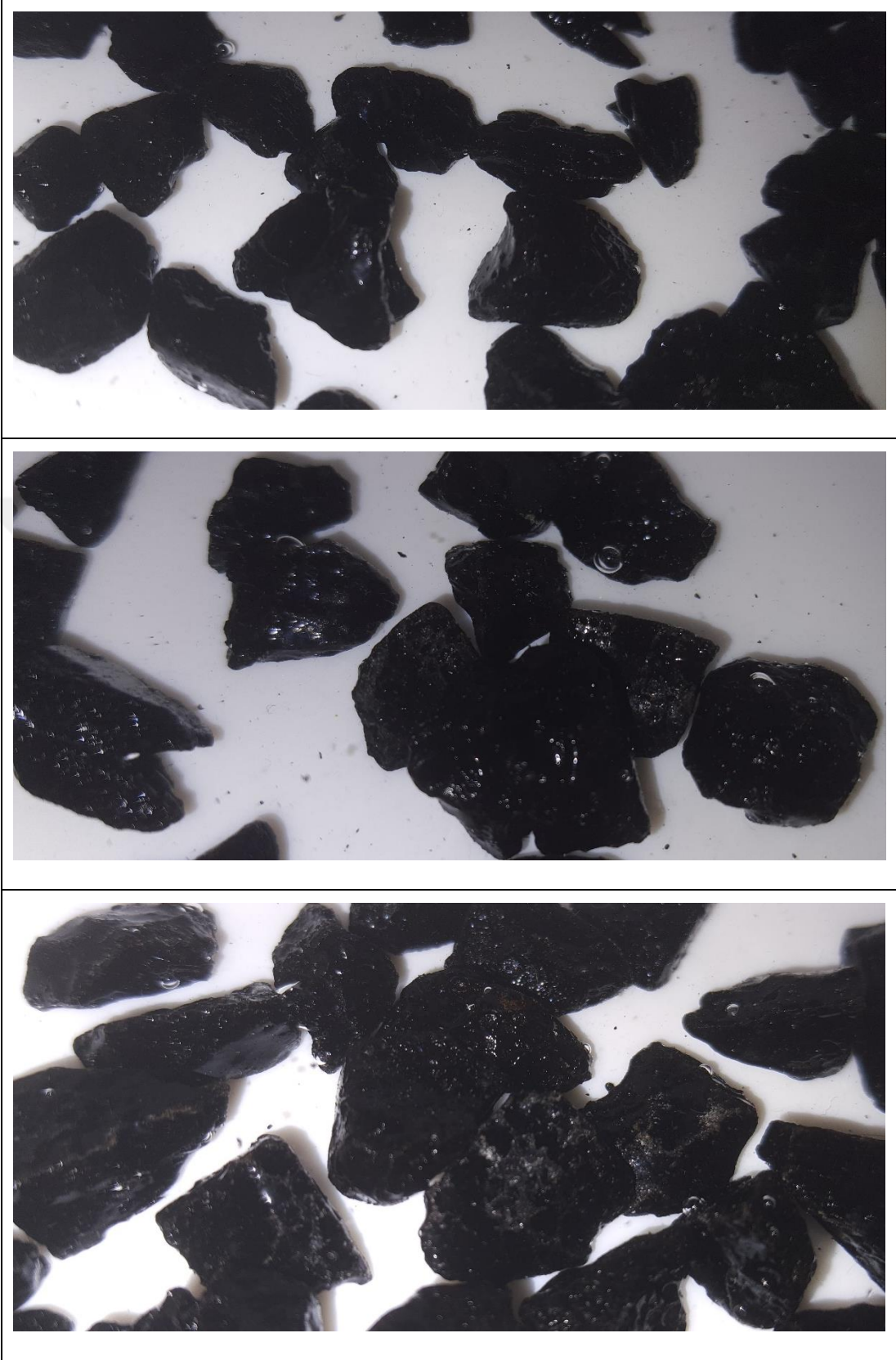
6.5.1 5.Set Bazalt

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.53).



Şekil 6.53 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set bazalt numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 5.set bazalt numunesinin (Şekil 6.54) soyulma mukavemeti %93 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.54 : 5.Set bazalt numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

6.5.2 5.Set Beyaz Kalker

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.55).



Şekil 6.55 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set beyaz kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 5.set beyaz kalker numunesinin (Şekil 6.56) soyulma mukavemeti %81 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.56 : 5.Set beyaz kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

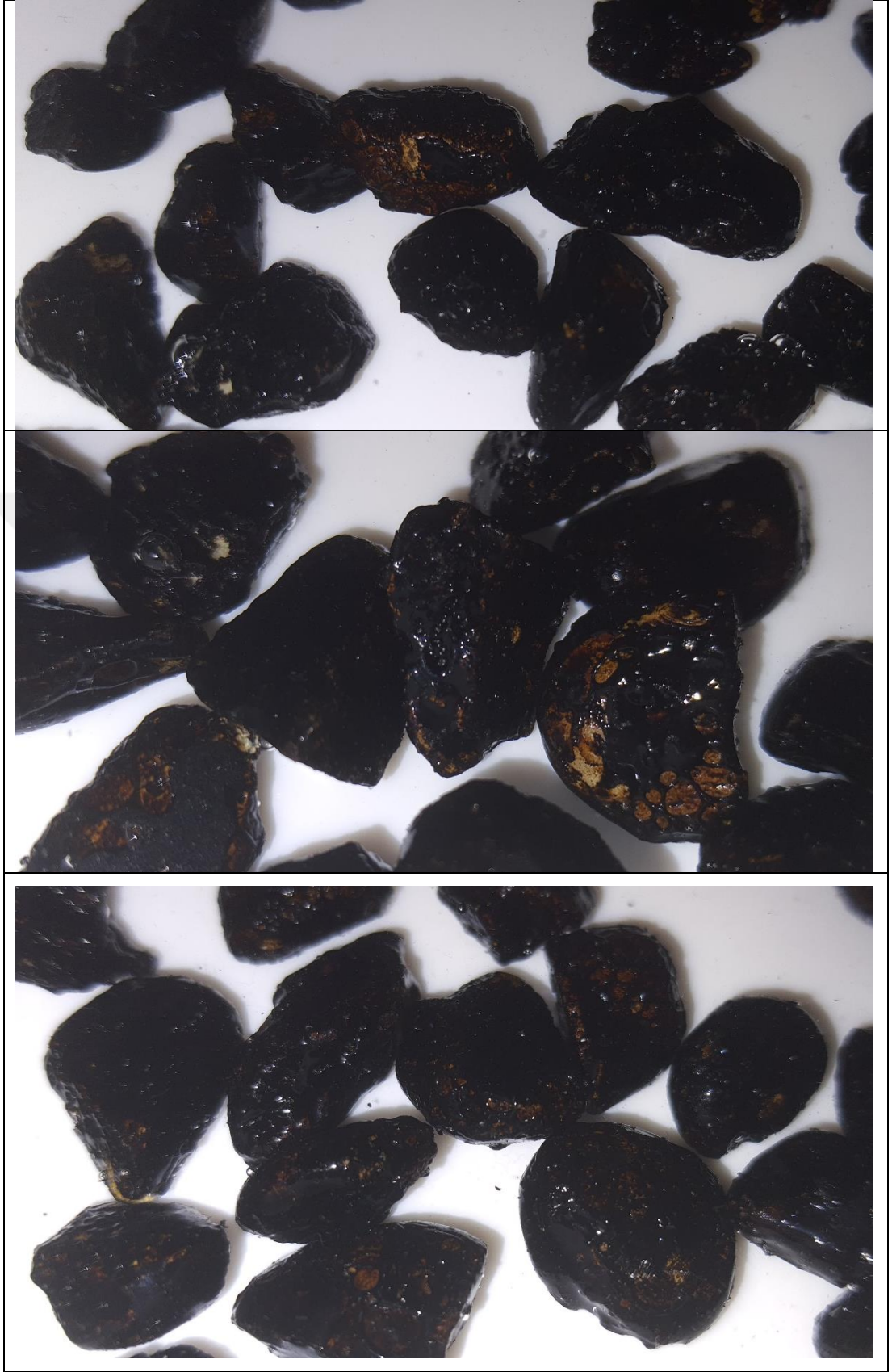
6.5.3 5.Set akıl

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değeriendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.57).



Şekil 6.57 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içine konulan 5.set çakıl numuneleri.

Yapılan görsel değeriendirmeler sonucu 5.set çakıl numunesinin (Şekil 6.58) soyulma mukavemeti %77 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.58 : 5.Set çakıl numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

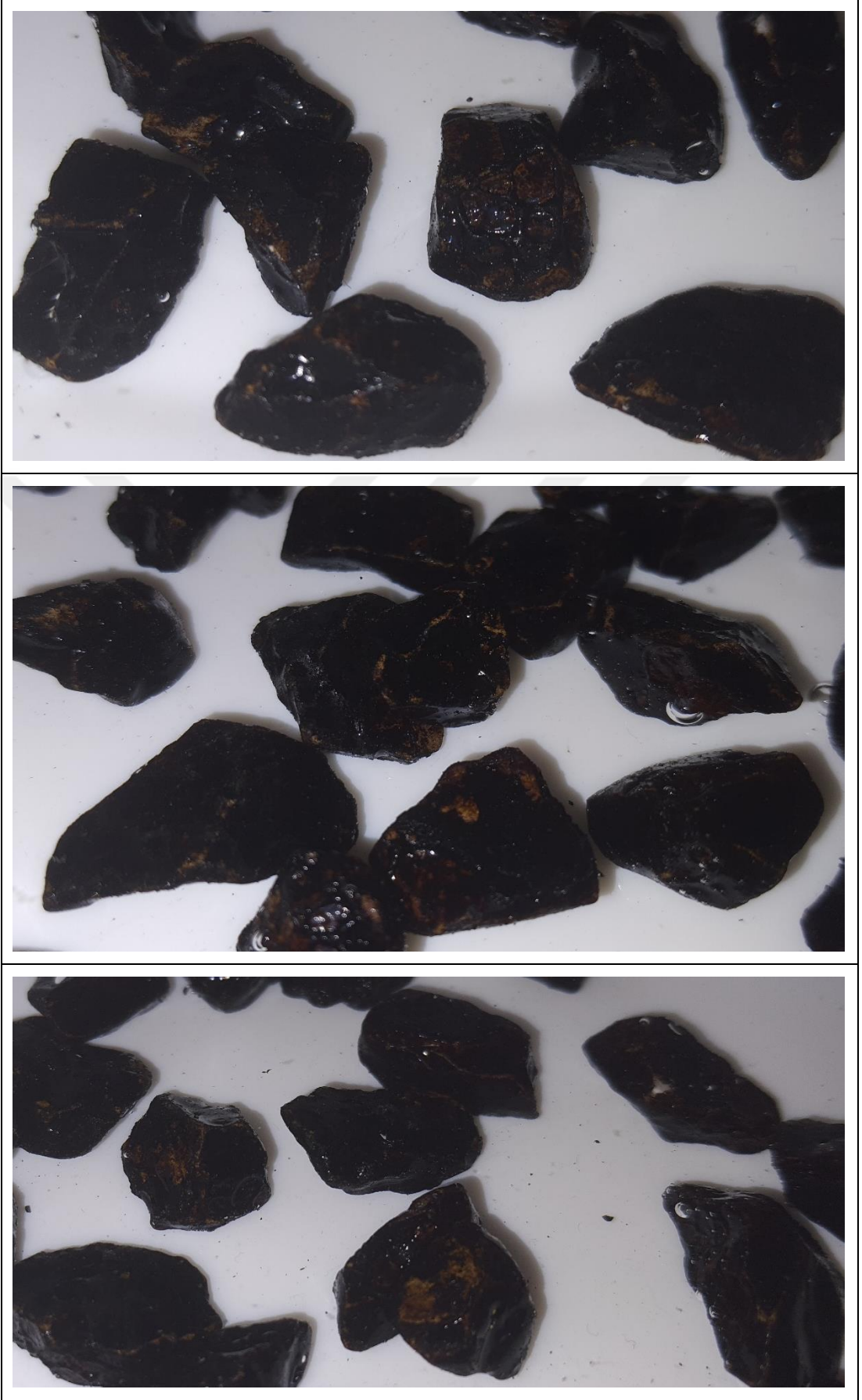
6.5.4 5.Set Dolomit

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.59).



Şekil 6.59 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set dolomit numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 5.set dolomit numunesinin (Şekil 6.60) soyulma mukavemeti %76 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.60 : 5.Set dolomit numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

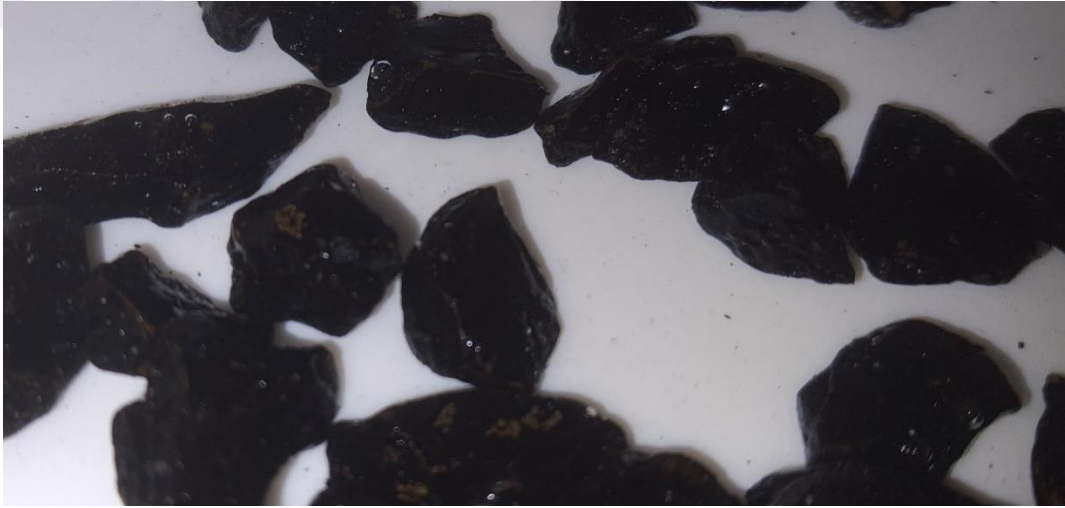
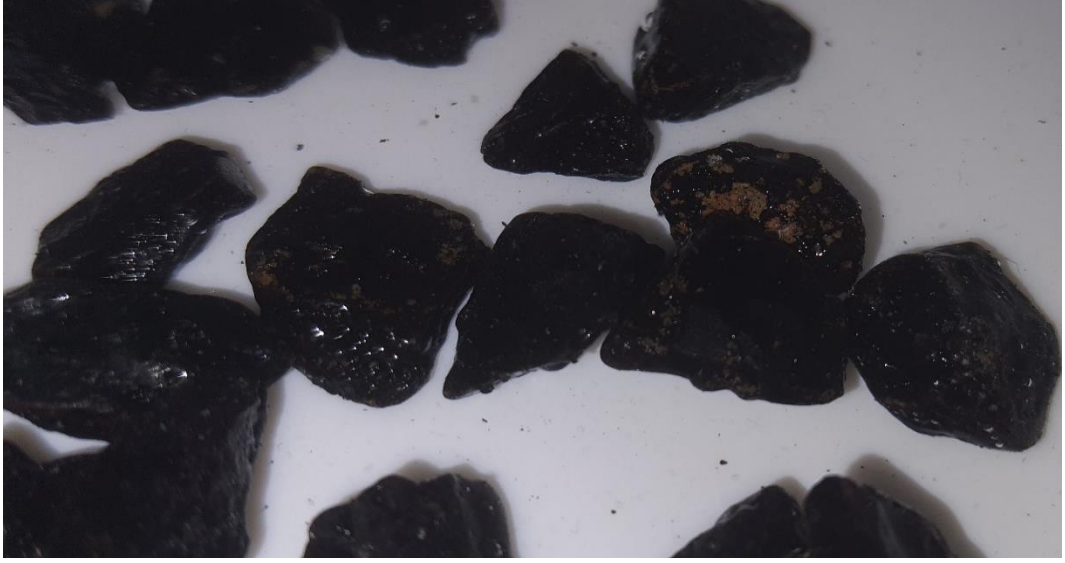
6.5.5 5.Set Kalker

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.61).



Şekil 6.61 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set kalker numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 5.set kalker numunesinin (Şekil 6.62) soyulma mukavemeti %87 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.62 : 5.Set kalker numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.

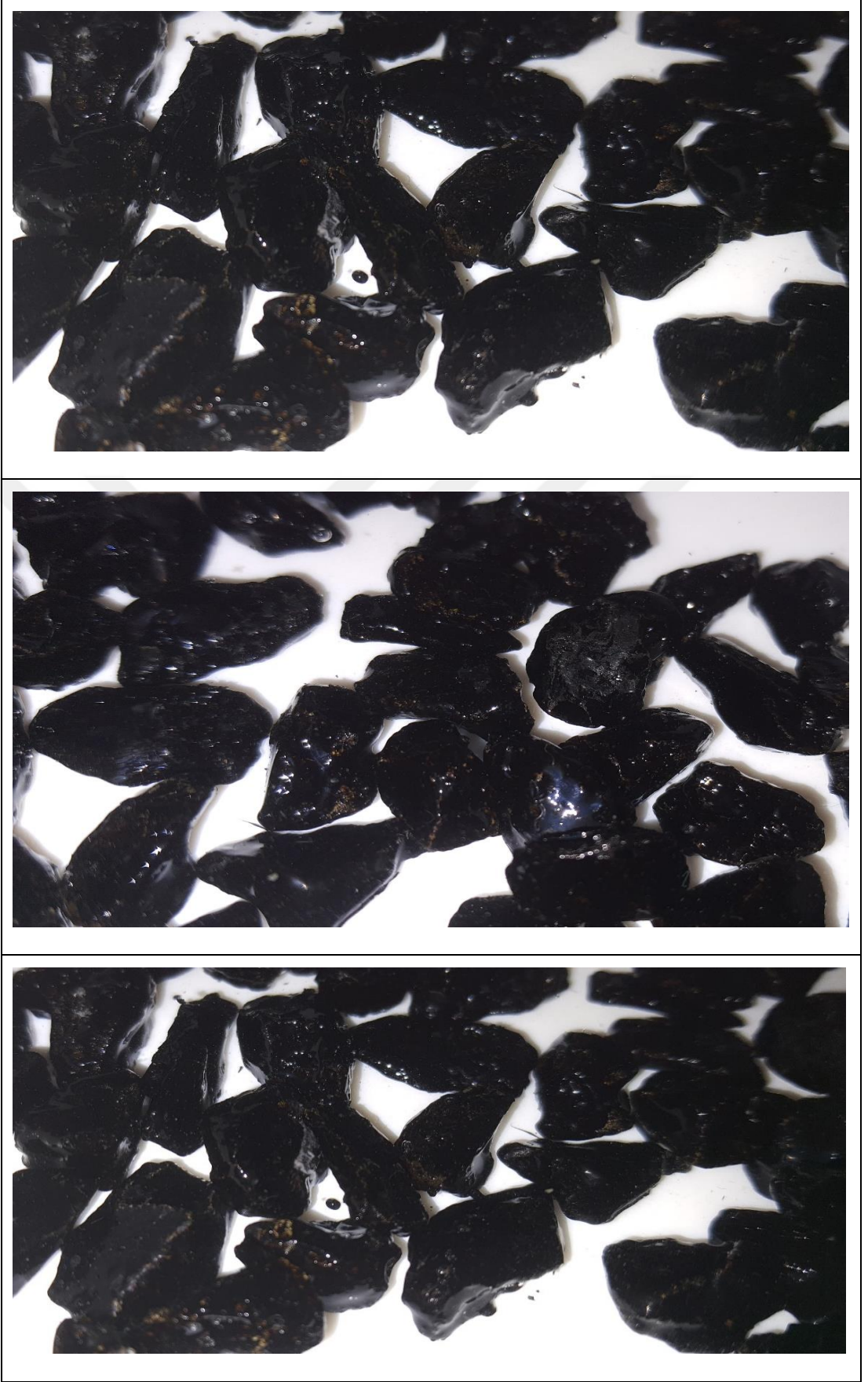
6.5.6 5.Set Kumtaşı

Üretimi tamamlanan numuneler görsel değerlendirme amacıyla üzerlerine 3cm su dolu olacak şekilde beyaz tepsi içine alınmıştır (Şekil 6.63).

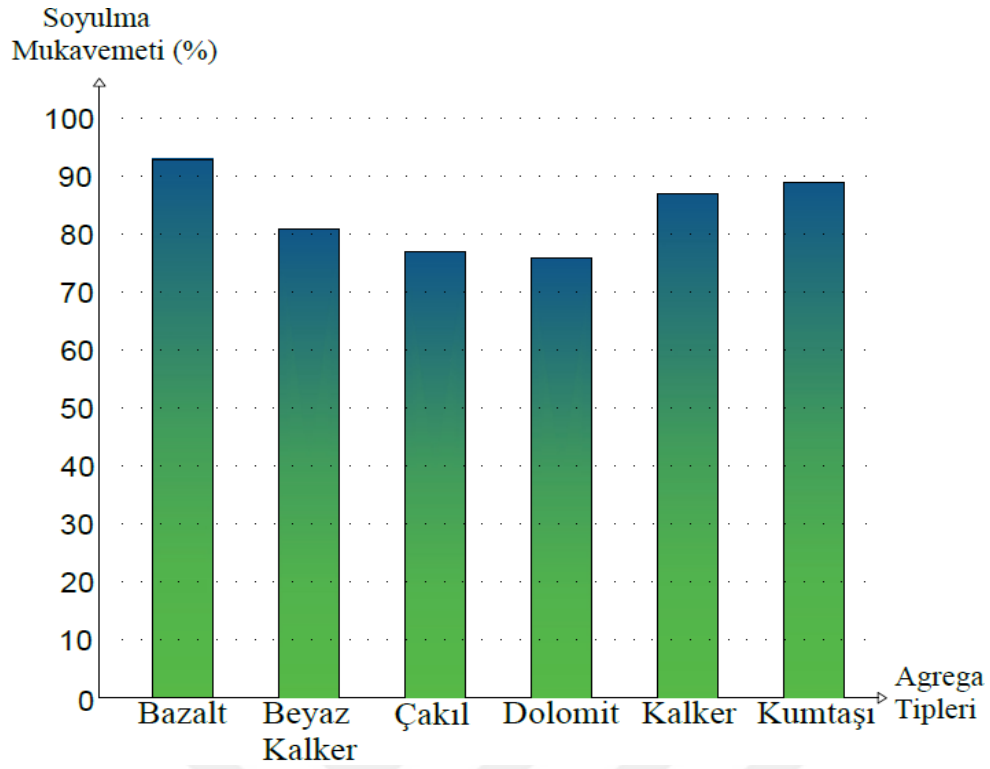


Şekil 6.63 : Görüntülemek üzere saf su dolu derin beyaz tepsi içerisine konulan 5.set kumtaşı numuneleri.

Yapılan görsel değerlendirmeler sonucu 5.set kalker numunesinin (Şekil 6.64) soyulma mukavemeti %89 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.64 : 5.Set kumtaşı numunelerinin deney sonrası görüntülemeleri.



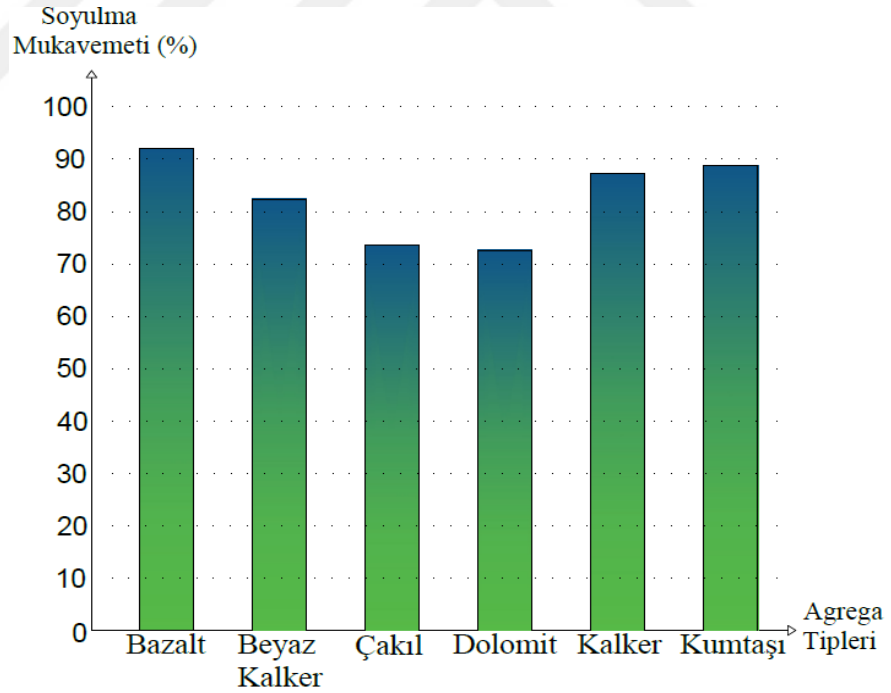
Şekil 6.65 : 5.Set sonuçlarına ilişkin grafik.

5.Set kapsamında üretilen tüm numuneler görsel olarak değerlendirilmiş ve 5.set soyulma mukavemetleri tespit edilerek sonuçlara ilişkin grafik Şekil 6.65’da gösterilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneylerden elde sonuçlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Deneylerin yapılması aşamasında temel değişken agregat kökenleri olarak kullanılmıştır.
- Literatür taraması ışığında karıştırma sıcaklığı ve su içerisinde bekletme işlemi (water conditioning) tezin diğer değişkenleri olarak kullanılmıştır.
- Agregaların kökenlerinin soyulma mukavemeti açısından en yüksekten düşüğe doğru sıralaması sırasıyla; bazalt, kumtaşı, kalker, beyaz kalker, çakıl, dolomit şeklindedir. Soyulma mukavemeti ortalamaları Şekil 7.1'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : Agregat kökenlerine göre 5 farklı setin ortalama soyulma mukavemeti sonuçları gösteren grafik.

- Bazalt volkanik kökenli, çakıl iri kristal kuvarslı, kumtaşı düşük matriksli kuvars-feldspat, beyaz kalker ve kalker yarı mikritik ve yarı

sparitik dokulu bir sedimanter, dolomit sparitik ve kısmen mozaik dokulu kayaçlardır.

- Agregas özgül ağırlıkları açısından bakıldığında özgül ağırlıklar ile soyulma mukavemeti arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.
- Su emme özelliklerine ve soyulma mukavemeti değerlerine bakıldığında bu iki veri arasında bir korelasyon ya da ilişki tespit edilememiştir. Örneğin kalker ve kumtaşının soyulma oranları tüm seriler için birbirine çok yakinken kumtaşının su emmesi %1,05, kalkerin ise %0,53 bulunmuştur. Kalkerin su emmesi ortalama %0,53, dolomitin su emmesi ortalama %0,63 iken ortalama soyulma mukavemetleri sırasıyla %87,2 ve %72,6'dır.
- Yukarıdaki veriler ışığında agregaların fiziksel özelliği olan su emme açısından bakıldığında ise soyulma mukavemeti üzerinde anlamlı bir ilişki tespit edilemedi.
- Agregaların los angeles parçalanma değerleri ve soyulma mukavemeti açısından bakıldığında ise yüksek parçalanma değeri gösteren agregaların kısmen daha düşük soyulma mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Beyaz kalker ve kalkerin kimyasal özellikleri birbirine çok benzer olmakla beraber soyulma davranışı açısından farklılıklar göstermektedirler. Bu sebebin fiziksel özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Su emme özellikleri arasındaki fark çok büyük olmakla beraber bu parametrenin soyulmaya bir etkisinin olmadığı diğer agrega tipleriyle de kıyaslanarak doğrulanmıştır. Fakat iki agrega arasında los angeles parçalanma değerinin yüksek olanında yani beyaz kalkerde daha yüksek soyulma miktarları ortaya çıkmıştır.
- Mohs agrega sertlik sınıfı ve soyulma mukavemeti ilişkisi incelendiğinde düşük sertlik sınıfı agregaların daha yüksek soyulmalara eğilimli olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun tez kapsamında tek istisnası çakıl agregasıdır. Yüksek sertlik sınıfında bulunmasına rağmen en düşük soyulma mukavemetine sahip agregalardan olan çakılın yassı ve düz yüzeyli olması sebebi ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Bitüm agrega arayüzeyinin yassı ve pürüzsüz yüzey olması sebebiyle

çakıl agregası özelinde agrega bitüm adezyonunun tam olarak sağlanamadığı düşünülmektedir.

- Agregalarda oluşan soyulma tipleri incelendiğinde dolomit ve çakılın daha çok bölgesel (parça parça), diğer agregaların çizgisel hatlar (harita şeklinde) şeklinde soyulmaya eğilimli olduğu görülmüştür.
- Agregalara ait petrografik-polarizan mikroskop görüntüleri incelendiğinde kimyasal bileşenleri homojen dağılım gösteren agregaların daha yüksek soyulma mukavemeti sergiledikleri gözlemlenmiştir.
- Dolomit agregasının fiziksel özellikler bakımından diğer agregalardan (çakıl gibi) büyük bir farkı olmamasına rağmen en düşük soyulma mukavemeti değerine sahiptir. Dolomitteki soyulma mukavemeti farkının kimyasal özelliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Dolomiti kimyasal olarak diğer agregalardan ayıran özellikler ise görece yüksek MgO içermesi ve makroskopik olarak alterasyon fissürleri boyunca demir oksit getiriminin gözlemlenmesidir.
- Agregaların kimyasal özellikleri/bileşenleri ve soyulma mukavemeti açısından sonuçlar incelendiğinde görece yüksek Fe_2O_3 muhtevası içeren agregaların daha yüksek soyulma mukavemetine sahip olduğu bulunmuştur.
- Agregaların SiO_2 içeriğinin soyulma mukavemeti üzerine etkisi olduğu düşünülmektedir. Fakat SiO_2 'nin bir noktada soyulma mukavemeti açısından optimum değere ulaştığı düşünülmekte (yani belirli bir SiO_2 muhtevasının soyulma mukavemetine pozitif etki yaptığı düşünülmektedir) ve SiO_2 'nin miktarı optimum noktayı geçtikten sonra soyulma mukavemeti açısından agregayı olumsuz etkilediği düşünülmektedir.
- Deneysel metodda kullanılan karıştırma sıcaklığının soyulma mukavemeti üzerine doğrudan ve önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yüksek karıştırma sıcaklıklarının daha yüksek bitüm agrega adezyonu sağladığı gözlemlenmiştir. Yüksek karıştırma sıcaklıklarında bitümün agregaların mikro-boşluklarına girdiği düşünülmekte ve bu

sebeple artan karıştırma sıcaklıklarında daha yüksek soyulma mukavemetleri gözlemlenmektedir.

- Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda karıştırma sıcaklıkları azaldıkça ortaya çıkan soyulma miktarları artmıştır.
- Tez çalışmasında başka bir değişken olarak kullanılan üretimi tamamlanan numunelerin su içerisinde bekletme işleminin de (water conditioning) soyulma mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.
- Deneysel çalışmalarda karıştırma sıcaklığı sabit tutularak 3 farklı water conditioning işlemi uygulanmıştır:
 1. 48 saat 19°C (TS EN 12697-11)
 2. 24 saat 60°C (Karayolları Teknik Şartnamesi)
 3. 24 saat 19°C + 12 saat 60°C (TS EN 12697-11+ Karayolları Teknik Şartnamesi)
- Uygulanan water conditioning işlemlerinin sonucunda en yüksek soyulmaların 24 saat 60°C’de daha sonra 24 saat 19°C + 12 saat 60°C ve son olarak 48 saat 19°C’de olduğu tespit edilmiştir. Yani su içerisine konulan numunelerin daha yüksek sıcaklıkta daha düşük sürelerde kalsa dahi soyulma miktarının arttığı tespit edilmiştir.
- 50/70 bitüm sınıfı için yumuşama noktası 46-54°C olduğu bilinmektedir. 60°C’de bir işlem uygulandığı zaman agregaya yapışmış olan bitümün yumuşama noktası derecesine ulaşarak(hatta geçerek) suyun da etkisiyle beraber agregadan sıyrılmasının kolaylaşması olarak yorumlayabiliriz. Kısacası bitümün yumuşama noktası derecelerine yakın bir water conditioning işlemi uygulanırsa soyulma miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara ilişkin öneriler de maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

- Özellikle soyulma tipi bozulmaların yüksek olduğu yerlerde sert kayalardan kırmataş agregalar kullanmak gerekmektedir.
- BSK içersinde düz yüzeyli ve yassı tipte agregalardan çok kırmataş tipinde agregalar tercih edilmelidir.
- BSK’nın temel prensibi olarak agrega bitüm yapışmasını artırmak amacıyla agregalar yıkanmış olmalıdır.

- Hem nemli hem yüksek sıcaklık yaşıyan iklimler için bağlayıcı olarak görece daha yüksek yumuşama noktasına sahip bitümler seçilmelidir. Çünkü hem nem hem de sıcaklığın etkisiyle bitümün agrega yüzeyinden soyulması kolaylaşarak üstyapı bozulmaları artmaktadır.
- Soyulma mukavemetinin önüne geçmek amacıyla bitüm içerisine adezyon artırıcı katkıları eklenerek karışımların soyulma mukavemetleri artırılabilir.
- Soyulma mukavemetinin yüksek olması istenilen yerlerde karıştırma sıcaklığı yüksek seçilerek agrega-bitüm adezyonu artırılmalıdır.
- Tezde kullanılan standart ve şartnamelerde değerlendirme/raporlar kısmının yeterli olmadığı düşünülmektedir, bu sebeple ilgili kısımlar üzerine detaylandırmalar eklenerek geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Adnan K.** (2021). Türkiye’de Karayolu Taşımacılığı, *Dışişleri Bakanlığı Yayınları Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi*, Sayı XX.
- [2] **Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şube Müdürlüğü.** (2022). *2021 Trafik ve Ulaşım Bilgileri Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [3] **Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Ulaşım Maliyetleri ve Verimlilik Şube Müdürlüğü.** (2022). *2021 Yılı Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [4] **Esra G.** (2019). *Farklı Agregata ve Bitümlerle Hazırlanan Sıcak Karışım Asfalt Numunelerinin Kuru ve Islak Kayma Dirençlerinin Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [5] **Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü.** (2008) *Üstyapı Projelendirme Rehberi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [6] **Onur D.** (2006). *Esnek Üstyapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık ile Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **İ. Sönmez, Y. Taştan, K. Yıldız, & Y. Bayraklı.** (2018). *İki Asfalt Tabakası Arasında Geogrid Kullanımının Asfalt Performansına Olan Etkisi*. İstanbul: İSFALT A.Ş.
- [8] **Öztürk T. & Komut M.** (2021). *Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalar Çatlak Kapama Rehberi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- [9] **Kutluhan, S. & Açar, E.** (2009). Factors effecting rutting in bituminous hot mixtures and suggestions to reduce rutting. *İtü Dergisi*, 8 (6), 179-191.
- [10] **Url-1** <<https://pavementinteractive.org>>, erişim tarihi 29.12.2022.
- [11] **Saltan, M., Karadağ, Ö., Kaçaroğlu, G., Gokalp, İ. & Uz, E.** (2022). Sıcak Karışım Asfaltın Optimum Bitüm Oranı Üzerine Agregata Özgül Ağırlığının İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2), 453–465. doi: 10.21923/jesd.1023895.
- [12] **Cui, S., Blackman, B. R. K., Kinloch, A. J. & Taylor, A. C.** (2014). Durability of asphalt mixtures: Effect of aggregate type and adhesion promoters. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 54, 100–111. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2014.05.009.
- [13] **A. E. A. E. M. Behiry.** (2012). Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(3), 351–363. doi: 10.1016/j.asej.2012.10.009.

- [14] **Nejad, F. M., Arabani, M., Hamedi, G. H. & A. R. Azarhoosh.** (2013). Influence of using polymeric aggregate treatment on moisture damage in hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 47, 1523–1527. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.060.
- [15] **European Standard** (2020). *EN 12697-11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen.*
- [16] **Hugener, M., Beltzung, F. & Angst, C.** (2012). Affinity Between Bitumen and Aggregates: Improvement of the EN Static Method. *5th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Türkiye: İstanbul, 13-15 Haziran.
- [17] **European Standard** (2016). *EN 12697-35: Bituminous mixtures - Test methods - Part 35: Laboratory mixing.*
- [18] **Blażejowski, K., Olszacki, J., Peciakowski, H. & Wójcik-Wisniewska, M.** (2017). Testing of bitumen-aggregate affinity by various methods. *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Prague, Czech Republic: Czech Technical University, June 1-3.
- [19] **Karayolu Teknik Şartnamesi.** (2013). Karayolları Genel Müdürlüğü: Ankara.
- [20] **Karacasu, M., Akalin, B., K.** (2020). Çevresel Atıklarla Modifiye Edilmiş Sathi Kaplamaların Performansının Agrega-Bitüm İlişkisi Bağlamında Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 32 (1), 127-136.
- [21] **Canestrari, F., Cardone, F., Graziani, A., Santagata, F. A. & Bahia, H. U.** (2010). Adhesive and cohesive properties of asphalt-aggregate systems subjected to moisture damage. *Road Materials and Pavement Design*, 11, 11–32. doi: 10.1080/14680629.2010.9690325.
- [22] **Kassem, E., Garcia Cucalon, L., Masad, E. & Little, D.** (2018). Effect of warm mix additives on the interfacial bonding characteristics of asphalt binders. *International Journal of Pavement Engineering*, 19(12), 1111-1124. doi: 10.1080/10298436.2016.1240563.
- [23] **Siddiqui, M. N., Baig, M. G. & Ali, M. F.** (2009). Effect of chemical additives on the binding strength of Arabian Asphalts. *Petroleum Science and Technology*, 27 (6), 575–587, doi: 10.1080/10916460701857698.
- [24] **Zhang, J., Apeagyei, A. K., Airey, G. D. & Grenfell, J. R. A.** (2015). Influence of aggregate mineralogical composition on water resistance of aggregate-bitumen adhesion. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 62, 45–54. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2015.06.012.
- [25] **Liu, Y., Apeagyei, A., Ahmad, N., Grenfell, J. & Airey, G.** (2014). Examination of moisture sensitivity of aggregate-bitumen bonding strength using loose asphalt mixture and physico-chemical surface energy property tests. *International Journal of Pavement Engineering*, 15 (7), 657–670. doi: 10.1080/10298436.2013.855312.
- [26] **Maia, M. M. A. S., Dinis-Almeida, M. & Martinho, F. C. G.** (2021). The influence of the affinity between aggregate and bitumen on the mechanical performance properties of asphalt mixtures. *Materials*, 14 (21). doi: 10.3390/ma14216452.

- [27] **European Standard** (2012). *EN 58: Bitumen and bituminous binders - Sampling bituminous binders.*
- [28] **European Standard** (2021). *EN 12697-2+A1: Bituminous mixtures - Test methods - Part 2: Determination of particle size distribution.*
- [29] **Türkiye Petrol Rafineleri A.Ş.** (t.y.). *50/70 Bitüm Özellikleri.*





EKLER

EK A: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'nden alınmış onay yazısı ve karıştırma sıcaklığı seçimi esnasında kullanılan TS EN 12697-35 standardına ait sıcaklık tablosu.

Not: Karıştırma sıcaklığı seçilirken tablodaki (Şekil EK A.2) sıkıştırma sıcaklığının en fazla 20 °C üzerinde olacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca seçilen karıştırma sıcaklığı öyle bir seçilmeli ki referans sıkıştırma sıcaklığının $\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıkıştırmaya olanak sağlamalıdır.



T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Mühendislik Fakültesi Dekanlığı
İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı

Sayı : E-17361571-300-244090
Konu : Bitüm Laboratuvarı

22.12.2022

Sayın Bilal Faruk KOÇ

İlgi : 21.12.2022 tarihli dilekçeniz.

İlgi yazınız gereği, Bölümümüz Ulaştırma Ana Bilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Murat BOSTANCIOĞLU sorumluluğunda bulunan Bitüm Laboratuvarını tez çalışması kapsamındaki deneyler için kullanılması uygundur.
Bilgilerini rica ederim.

Doç. Dr. Murat BOSTANCIOĞLU
Bölüm Başkanı

Belge Doğrulama Kodu :BSP6SPNZ0V Pin Kodu :12892

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/cumhuriyet-universitesi-ebys>

Adres : Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı

Sivas

Telefon:0 346 219 1170 Faks:0 346 219 1170

e-Posta:muhsaat@cumhuriyet.edu.tr Web:www.cumhuriyet.edu.tr

Kep Adresi:cumhuriyetuniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için: Emel TERZİ

Unvanı: Bilgisayar İşletmeni

Dahili No: 2921



Şekil A.1 : Sivas Cumhuriyet Üniversitesinden deneylerin yapılmasına ilişkin alınan onay yazısı.

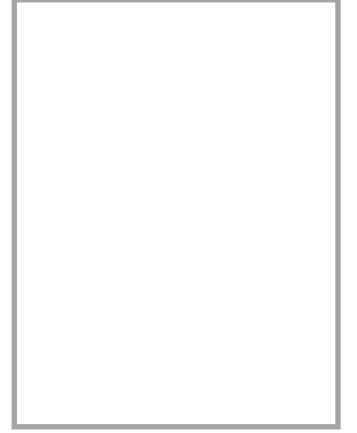
Paving grade of bitumen	Reference compaction temperature for: °C		Paving grade of bitumen	Reference compaction temperature for mixtures of types other than mastic asphalt °C
	Mixtures of types other than mastic asphalt	Mastic asphalt mixtures		
10/20 to 20/30	180	230	250/330	130
30/45	175	220	330/430	125
35/50	165	210	500/650	120
40/60	155	200	650/900	115
50/70	150	-	V12000	115
70/100	145	-	V6000	110
100/150	140	-	V3000	100
160/220	135	-	V1500	90

Şekil A.2 : EN 12697-35'e göre referans sıkıştırma sıcaklıkları (karıştırma sıcaklığı için).



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Bilal Faruk KOÇ



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği (100% İngilizce)
- **Yüksek Lisans** : 2023, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı.
- 2021 yılının sonundan beri İller Bankası A.Ş.'de İnşaat Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR

- **Koç B.F., Yıldırım, Hasan.** 2023. Agregat Kökeninin ve Karıştırma Sıcaklığının Bitümlü Sıcak Karışımlarda Soyulma Mukavemetine Etkisi, *11th International Congress On Engineering, Architecture and Design*, 11, 1041-1046.