



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI KAYAÇLARDAN ÜRETİLEN AGREGALARIN
SICAK ASFALT KARIŞIMLARINDA BİRLİKTE
KULLANILABİLİRLİĞİ**

**Jeoloji Yük.Müh. İbrahim SÖNMEZ
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof.Dr. Atiye TUĞRUL**

Haziran, 2010

İSTANBUL

ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; Marmara Bölgesi'nde farklı kökenli agregaların bir araya getirilmesi ile yapılan asfalt karışımlarının özellikleri araştırılmıştır.

Tez çalışmam süresince yaptığı değerli katkı ve eleştirilerinden dolayı Tez Danışmanım Prof. Dr. Atiye TUĞRUL' a,

Petrografik incelemeleri yapan İ.Ü. Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN' e,

Tez izleme çalışmaları esnasında yapıcı eleştirilerde bulunan İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. M. Namık YALÇIN, İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL ve Prof. Dr. Mustafa ERDOĞAN' a,

Yine tezin asfalt kısmındaki yorumlara yapıcı eleştirilerde bulunan SDÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN' e, BÜ Uygulama Araştırma Merkezi'nden Prof. Dr. Mustafa ILICALI' ya, AKÜ Meslek Yüksek Okulu'ndan Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT' a,

Tüm çalışmalarda desteğini esirgemeyen Jeo. Yük. Müh. Murat YILMAZ' a ve İSFALT Genel Müdürü Çağatay KALKANCI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarının bir bölümünü oluşturan arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında İSFALT' ın laboratuvarlarından yararlanılmıştır. Bu bağlamda imkanları sağlayan Kalite Yönetim ve Arge Müdürü Bekir Kadri EREN'e, Laboratuvar Şefi Seyit Ali YILDIRIM'a, Üretim Şefi Zafer SOLA' ya ve Habipler Asfalt Fabrikası şefi Hakan AKBULUT'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. İNCELENEN ALANLARIN TANITIMI.....	1
1.1.1. Coğrafya.....	1
1.1.2. İklim.....	2
1.1.3. Yerleşim ve Ulaşım.....	3
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
1.3.1. Ocakların Bulunduğu Bölgelerin Jeolojisi İle İlgili Çalışmalar...5	
1.3.1.1. İstanbul Cebeci Bölgesi.....	5
1.3.1.2. Kocaeli Gebze Bölgesi.....	7
1.3.1.3. Tekirdağ Çorlu Bölgesi.....	8
1.3.1.4. Balıkesir Erdek Bölgesi.....	10
1.3.2. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar.....12	
1.3.2.1. Agregada Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	12
1.3.2.2. Yol Yapımları Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	16
1.3.2.3. Agregada-Asfalt Karışımları Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	17
1.3.2.4. Asfalt Karışımları Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	21
1.3.2.5. Bitüm-Agregada Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	25
1.3.2.6. Bitüm Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	26
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	29
2.1. BÜRO ÇALIŞMALARI.....	29
2.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI.....	29
2.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	29
3. BULGULAR.....	31
3.1. OCAK YERLERİNİN JEOLojİK VE PETROGRAfİK	
ÖZELLİKLERİ.....	31
3.1.1. Trakya –Çorlu Bölgesi.....	31
3.1.2. İstanbul – Cebeci Bölgesi.....	33
3.1.3. Kocaeli – Gebze Bölgesi.....	35
3.1.4. Balıkesir – Erdek Bölgesi.....	38
3.2. ASFALT ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER.....	40
3.2.1. Deneme Asfalt Üretiminde Kullanılan Agregalara Ait	
Özellikler.....	41
3.2.1.1. Agregaların Petrografik Özellikleri.....	43
3.2.1.2. Tane Büyüklüğü Dağılımı.....	46
3.2.1.3. Yassılık Endeksi.....	49

3.2.1.4. Los Angeles Katsayısı.....	52
3.2.1.5. Agregada Tane Yoğunluğu.....	53
3.2.1.6. Su Emme Oranı.....	54
3.2.1.7. Soyulma Mukavemeti.....	55
3.2.1.8. Plastisite İndeksi.....	56
3.2.1.9. Metilen Mavisini.....	56
3.2.1.10. Magnezyum Sülfat Değeri.....	57
3.2.2. Deneme Asfalt Üretiminde Kullanılan Bitüme Ait Özellikler...	58
3.2.2.1. İğne Batma Derinliği.....	59
3.2.2.2. Yumuşama Noktası.....	59
3.2.2.3. Düktilite.....	60
3.2.2.4. Isı ve Hava Etkisi Altında Sertleşme.....	60
3.2.2.5. Parlama ve Yanma Noktası Tayini.....	61
3.2.2.6. Çözünürlük.....	61
3.3. FARKLI KAYAÇLARDAN ÜRETİLEN AGREGALARIN BİTÜMLE KULLANILDIĞI DENEME ASFALT KARIŞIMLARI VE ÖZELLİKLERİ.....	61
3.3.1. Hazırlanan Deneme Asfalt Karışımları.....	61
3.3.2. Sıcak Asfalt Karışımlarının Marshall Metoduyla Dizayını.....	62
3.3.3. Marshall Yönteminde Uygulanan Deney Verilerinin Değerlendirilmesi.....	67
3.3.4. Asfalt Karışım Oranları.....	69
3.4. DENEME ASFALT KARIŞIMLARINA AİT ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ.....	70
3.4.1. Karışım Elek Analizi.....	70
3.4.2. Optimum Bitüm Yüzdesi.....	73
3.4.3. Karışım Birim Ağırlığı.....	74
3.4.4. Boşluk Yüzdesi.....	78
3.4.5. Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi.....	81
3.4.6. Stabilite.....	85
3.4.7. Akma.....	89
3.4.8. Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi.....	93
3.4.9. Filler/Bitüm Oranı.....	96
3.4.10. Tekerlek İzi Testi.....	97
3.4.11. Stabilite ve Akma Açısından Karşılaştırma.....	104
3.4.12. Asfalt Performans Testleri.....	105
4. DENEME ASFALT KARIŞIMLARINA AİT ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	113
4.1. AYNI TÜR AGREGALAR İLE YAPILAN REFERANS KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	123
4.2. FARKLI TÜR AGREGALAR İLE YAPILAN DENEME KARIŞIMLARININ REFERANS KARIŞIMLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	127
4.2.1. İnce agregası bazalt olan karışımların sadece bazalt agregalı referans karışımları ile karşılaştırılması.....	127
4.2.2. İnce agregası kireçtaşı olan karışımların sadece kireçtaşı agregalı referans karışımları ile karşılaştırılması.....	129
4.2.3. İnce agregası kumtaşı olan karışımların sadece kumtaşı agregalı referans karışımları ile karşılaştırılması.....	131

4.2.4. İnce agregası granit olan karışımların sadece granit agregalı referans karışımları ile karşılaştırılması.....	133
4.3. DENEME KARIŞIMLARINA AİT MARSHALL VE STABİLİTE ORANLARI.....	136
4.4. TÜM KARIŞIMLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	139
5. SONUÇLAR.....	142
6. KAYNAKLAR.....	145
7. ÖZGEÇMİŞ.....	160

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Numune alınan ocak yerlerini gösterir yer bulduru haritası.....	1
Şekil 3.1	: Bazalt örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası.....	32
Şekil 3.2	: Karatepe bazaltlarından genel görünüm.....	33
Şekil 3.3	: Kumtaşı örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası.....	34
Şekil 3.4	: Kumtaşlarından genel görünüm.....	35
Şekil 3.5	: Kireçtaşı örneklerinin alındığı bölgenin joloji haritası.....	37
Şekil 3.6	: Kireçtaşlarından genel görünüm.....	38
Şekil 3.7	: Granit örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası.....	39
Şekil 3.8	: Granit örneklerinin alındığı taş ocağı.....	40
Şekil 3.9	: Bazaltların polarizan mikroskobundaki görünümü.....	44
Şekil 3.10	: Kumtaşlarının polarizan mikroskobundaki görünümü.....	45
Şekil 3.11	: Kireçtaşlarının polarizan mikroskobundaki görünümü.....	45
Şekil 3.12	: Granitlerin polarizan mikroskobundaki görünümü.....	46
Şekil 3.13	: İnceleme alanından alınan örneklerle uygulanan tane boyu dağılımı grafikleri.....	48
Şekil 3.14	: Agregaların yassılık endekslerinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 3.15	: Agregaların Los Angeles katsayılarının karşılaştırılması.....	53
Şekil 3.16	: Agregaların tane yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 3.17	: Agregaların su emme oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 3.18	: Agregaların soyulma mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 3.19	: Agregaların magnezyum sülfat değerlerinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 3.20	: Karışım numunelerinin hazırlanması.....	64
Şekil 3.21	: Agregalı numunesi ve bitümlü bağlayıcının karıştırılması.....	64
Şekil 3.22	: Marshall tokmağında briketlerin hazırlanması.....	65
Şekil 3.23	: Briket numunelerinin kalıptan çıkartılarak laboratuvar ortamında bekletilmesi.....	65
Şekil 3.24	: Marshall stabilite cihazı.....	66
Şekil 3.25	: Dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri.....	68
Şekil 3.26	: Karışımların elek analizi grafikleri.....	72
Şekil 3.27	: Bitüm yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.....	73
Şekil 3.28	: Karışımların birim ağırlık grafikleri.....	76
Şekil 3.29	: Birim ağırlık açısından karışımların karşılaştırılması.....	77
Şekil 3.30	: Karışımların boşluk yüzdesi grafikleri.....	80
Şekil 3.31	: Boşluk yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.....	81
Şekil 3.32	: Karışımların asfaltla dolu boşluk yüzdesi grafikleri.....	84
Şekil 3.33	: Asfaltla dolu boşluk yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.....	85
Şekil 3.34	: Karışımların stabilite grafikleri.....	88
Şekil 3.35	: Stabilite açısından karışımların karşılaştırılması.....	89
Şekil 3.36	: Karışımların akma grafikleri.....	92
Şekil 3.37	: Akma değerleri açısından karışımların karşılaştırılması.....	92
Şekil 3.38	: Karışımların agregalar arası boşluk yüzdeleri grafikleri.....	95
Şekil 3.39	: Agregalar arası boşluk yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.....	96

Şekil 3.40	: Filler/bitüm oranı açısından karışımların karşılaştırılması.....	97
Şekil 3.41	: Tekerlek izi test cihazı.....	98
Şekil 3.42	: KCB karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	99
Şekil 3.43	: KCKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	100
Şekil 3.44	: BKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	100
Şekil 3.45	: KMKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	101
Şekil 3.46	: GKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	101
Şekil 3.47	: KCKM karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	102
Şekil 3.48	: KCG karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.....	102
Şekil 3.49	: Tekerlek izi açısından karışımların karşılaştırılması.....	103
Şekil 3.50	: Stabilite-akma karşılaştırılması.....	104
Şekil 3.51	: 5 C de tekrarlı sünme deneyi grafiği.....	106
Şekil 3.52	: 25 C de tekrarlı sünme deneyi grafiği.....	106
Şekil 3.53	: 40 C de tekrarlı sünme deneyi grafiği.....	107
Şekil 3.54	: 5 C de statik sünme deneyi grafiği.....	107
Şekil 3.55	: 25 C de statik sünme deneyi grafiği.....	108
Şekil 3.56	: 40 C de statik sünme deneyi grafiği.....	108
Şekil 3.57	: 5 C de dolaylı çekme deney, grafiği.....	109
Şekil 3.58	: 25 C de dolaylı çekme deneyi grafiği.....	109
Şekil 3.59	: 40 C de dolaylı çekme deneyi grafiği.....	110
Şekil 4.1	: Deneme asfalt karışımlarında kullanılan agregaların yassılık indeksi, Los Angeles katsayısı ve Magnezyum Sülfat değerlerinin gösterilmesi.....	116
Şekil 4.2	: Agregaların Los Angeles katsayısı ile stabilite arasındaki ilişki.....	116
Şekil 4.3	: Asfalt karışımlarına ait stabilite değerlerinin ortalaması.....	118
Şekil 4.4	: Asfalt karışımlarının bitüm içeriği, stabilite ve tekerlek izi değerlerinin kıyaslanması.....	119
Şekil 4.5	: Agregatane yoğunluğu ile tek tip agregatane üretilen asfalt birim ağırlığı arasındaki ilişki.....	120
Şekil 4.6	: Agregatane yoğunluğu ile asfalt birim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	121
Şekil 4.7	: Agregatane yoğunlukları ile asfalt birim ağırlıkları arasındaki doğrusal ilişki.....	121
Şekil 4.8	: Su emme değeri ile bitüm içeriği arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi.....	123
Şekil 4.9	: Referans karışımların özellikleri.....	126
Şekil 4.10	: İnce agregası bazalt olan karışımların özellikleri.....	129
Şekil 4.11	: İnce agregası kireçtaşı olan karışımların özellikleri.....	131
Şekil 4.12	: İnce agregası kumtaşı olan karışımların özellikleri.....	133
Şekil 4.13	: İnce agregası kumtaşı olan karışımların özellikleri.....	135
Şekil 4.14	: Bitüm içeriğinin stabilite, akma, marshall oranı, stabilite oranı ve tekerlek izi arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi.....	136
Şekil 4.15	: Marshall değeri ile tekerlek izi arası bağlantı grafiği.....	137
Şekil 4.16	: Stabilite oranı ile tekerlek izi arasındaki bağlantı.....	138
Şekil 4.17	: Bitüm içeriğinin boşluk ve agregalar arası boşluk yüzdelерinin karşılaştırılması.....	141

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	: Agregalar üzerinde yapılan deneylerle ilgili KGM Teknik Şartnamesi.....	42
Tablo 3.2	: Agregada gradasyon şartnamesi.....	43
Tablo 3.3	: İncelenen havzalardaki kayaçların petrografik özellikleri.....	43
Tablo 3.4	: Agregaların tane büyüklüğü dağılımı çizelgesi.....	47
Tablo 3.5	: İnceleme alanından agrega örneklerine uygulanan fiziksel test sonuçları.....	50
Tablo 3.6	: Agregalar üzerine yapılan metilen mavisi değerleri.....	57
Tablo 3.7	: KGM bitüm teknik şartnamesine göre bitümün sahip olması gereken özellikler.....	59
Tablo 3.8	: Araştırmada kullanılan bitüm üzerinde yapılan deney sonuçları ve şartnameye uygunluğu.....	60
Tablo 3.9	: Karışımı Oluşturan Malzemeler ve Karışım Simgeleri.....	62
Tablo 3.10	: Ağır trafik şartları için Marshall Dizayn Kriterleri.....	68
Tablo 3.11	: Çalışmada kullanılan karışımlara ait oranlar.....	69
Tablo 3.12	: Hazırlanan deneme asfalt karışımlarına ait özellikler.....	70
Tablo 3.13	: Stabilite ve akma karşılaştırmaları.....	104
Tablo 3.14	: 5 C de dolaylı çekme deneyi grafiği.....	108
Tablo 3.15	: 25 C de dolaylı çekme deneyi grafiği.....	109
Tablo 3.16	: 40 C de dolaylı çekme deneyi grafiği.....	110
Tablo 4.1	: Agregada tane büyüklüğü karşılaştırmalı tablosu.....	114
Tablo 4.2	: Deneme asfalt karışımlarının elek analizi tablosu.....	115
Tablo 4.3	: Asfalt karışımların stabilite değerleri ve stabilite ortalamaları.....	117
Tablo 4.4	: Karışım türlerine göre agrega tane yoğunluğu ve asfalt birim ağırlıkları.....	120
Tablo 4.5	: Asfalt karışımında kullanılan su emme değerleri.....	122
Tablo 4.6	: Referans karışımların özellikleri.....	123
Tablo 4.7	: İnce agregaları bazalt olan karışımların özellikleri.....	127
Tablo 4.8	: İnce agregaları kireçtaşı olan karışımların özellikleri.....	129
Tablo 4.9	: İnce agregaları kumtaşı olan karışımların özellikleri.....	132
Tablo 4.10	: İnce agregaları granit olan karışımların özellikleri.....	134
Tablo 4.11	: Bitüm içeriğinin stabilite,akma, Marshall değeri, stabilite oranı ve tekerlek izi değerlerinin kıyaslanması.....	137
Tablo 4.12	: Bitüm içeriği değerinin boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi değerlerinin kıyaslanması.....	141

ÖZET

FARKLI KAYAÇLARDAN ÜRETİLEN AGREGALARIN SICAK ASFALT KARIŞIMLARINDA BİRLİKTE KULLANILABİLİRLİĞİ

Nüfusun hızla geliştiği İstanbul'da alt yapı ve dolayısıyla asfalt ihtiyacı da sürekli artmaktadır. İstanbul'da 2004 öncesinde 1.750 km ana arter cadde bulunurken, son yıllardaki düzenlemeler ile bu miktar 4.500 kilometreye kadar çıkmıştır. Bunun da dışında Marmara Bölgesi sınırları içinde mevcut yolların uzunluğu yaklaşık olarak 20.000 kilometre civarındadır. Bu bağlamda alt yapı kalitesi ve üretim ekonomisi de önem kazanmaktadır.

Nitelikli ve dayanıklı ulaşım sistemleri için asfalt ve dolayısıyla agregaya çok önemli rol oynamaktadır. Bilindiği gibi; agregalar asfaltın içinde % 95 oranında bulunmaktadır. İstanbul'un agregaya ihtiyacı genel olarak şehrin Avrupa ve Anadolu yakasındaki kireçtaşı ve kumtaşı ocakları başta olmak üzere, Çorlu Bazalt ocakları, Gebze kireçtaşı ocakları, Yalova diyabaz ve granit ocakları ile Erdek granit ocaklarından sağlanmaktadır. Ancak asfalt çalışmalarında, oldukça yaygın yüzeylenmeleri ve bitüm ile yapışmalarının diğer kayaç türlerine göre daha iyi olması nedeniyle ağırlıklı olarak kireçtaşları kullanılmaktadır. Kumtaşları ise heterojen olmaları nedeniyle nadiren kullanılmaktadır. Bazaltlar daha sert olmaları nedeniyle özel projelerde, trafik yükünün daha fazla olduğu yol çalışmalarında ve Taş Mastik Asfalt gibi özel çalışmalarında kullanılmaktadır. Granitler ise özellikle asfaltta oluşturdukları soyulma problemi nedeniyle nadiren kullanılmaktadır.

Asfalt üretiminde genellikle tek tip agregalar olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar agregaya özelliklerinin asfalt özelliklerine etkisi çok araştırılmışsa da farklı tipteki agregaların bir arada kullanılması ile oluşturulmuş asfalt karışımları yeterince çalışılmamıştır. Bu amaçla yapılan araştırmada, Marmara bölgesinde yaygınca üretilen ve henüz asfalt üretimlerinde sıkça kullanılmayan bazı kayaç türlerinin bir araya

getirilmesi ile laboratuvar ortamında asfalt karışımları hazırlanmış, bitüm ile olan ilişkilerinin yanı sıra asfalt karışım özelliklerinin uygunluğu belirlenmiştir.

Tez kapsamında; İstanbul dolayındaki asfalt yapımına uygun agregaya üretilen Gebze kireçtaşı, Çorlu bazalt, Cebeci kumtaşı ve Erdek granit ocaklarından numuneler alınarak, bunlar üzerinde öncelikle agregaya kalitesini etkileyen önemli faktörlerden petrografik özellikler belirlenmiştir. Örnekler üzerinde daha sonra agregaya deneyleri yapılmıştır. Özellikleri belirlenen farklı agregalar ile asfalt dizaynları yapılarak, bitüm ile olan etkileşimleri ve bitüm miktarları tespit edilmiştir. Hazırlanan karışımlar üzerinde fiziksel testler yapılarak, agregaların asfalt karışım özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Fiziksel test sonuçlarına göre bitüm içerikleri en uygun görülen asfalt karışımları üzerinde tekerlek izi testi yapılmış ve bu teste göre en az oturma derinliği veren karışıma da performans testleri uygulanmıştır. Tüm bu testlerden sonra, bitüm içeriği en az olan ve en iyi sonuçları veren karışımda kullanılan agregaya türleri ortaya konulmuştur.

Buna göre, kireçtaşı, kumtaşı, bazalt ve granit'ten üretilen agregalar ile hazırlanan asfalt karışımları gerekli olan tüm özellikleri sağlamıştır. Tüm karışımlar incelendiğinde, farklı agregaları bir arada kullanarak üretilen asfalt karışım özelliklerinin olumsuz olarak değişmediği, aksine bitüm içeriği, asfalt birim ağırlığı, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesi ve stabilite gibi özelliklerin bir veya birkaçında daha uygun değerlerin elde edildiği tespit edilmiştir.

SUMMARY

COMBINED USAGE OF AGGREGATES FROM DIFFERENT LITHOLOGIES IN HOT MIX ASPHALT

With its rapidly developing population, infrastructural needs, hence the need for hot mix asphalt, of Istanbul is increasing steadily. While there were 1.750 kms of main road arteries existing before 2004 in Istanbul, this number has risen to 4.500 kms with new arrangements in recent years. It is also a known fact that currently existing roads within the boundaries of Marmara Region adds up to nearly 20.000 kms in total. In this context, quality of infrastructure and production economics are gaining importance.

The quality of hot mix, consequently the aggregate quality, plays a very important role for sufficient and durable transportation systems. It is a known fact that 95% of hot mix asphalt consist of aggregates. The aggregate needs of Istanbul city are primarily met by the limestone and sandstone rock quarries located on both Anatolian and European sides; and additionally by Basalt quarries of Çorlu, limestone quarries of Gebze and diabase and granite quarries of Yalova and granite quarries of Erdek. Limestone, though, is the first choice of aggregate used in hot mixes because of its high strength bitumen adhesion and widespread surfacing properties compared to other types.

Sandstone, though, is rarely used in hot mix asphalt constructions because of its heterogeneity. Because of its hardness properties basalt is used in special road projects where the traffic load is higher and in projects where stone mastic asphalt required. Granite, is also rarely used in asphalt projects because of stripping problems it causes.

One type of aggregate is generally used in hot mix asphalt production. Although the impact of the properties of aggregates on the properties of hot mix asphalt have been widely investigated, asphalt mixes produced with aggregates from different lithologies have not been extensively studied.

With this aim in mind, in this study; asphalt mixes have been prepared in lab environment by bringing together some rock types, which are not frequently used as yet in asphalt production however widely excavated in Marmara region, and the relationship of these aggregates with the bitumen as well as the appropriateness of the asphalt mix properties have been determined.

Within the scope of this thesis, the samples have been gathered from Gebze limestone, Çorlu basalt, Cebeci sandstone, Erdek granite rock quarries, where aggregates suitable for hot mix production are produced, and petrographic and mineralogic properties, which are among the major determinants of the aggregate quality, of these samples have been established.

Aggregate testing on the samples conducted later. Asphalt mix designs were prepared using different aggregates with established properties and their interaction with bitumen and bitumen quantities were also determined. Physical tests were conducted on mixes prepared in order to establish the impact of aggregate on the properties of asphalt mix design.

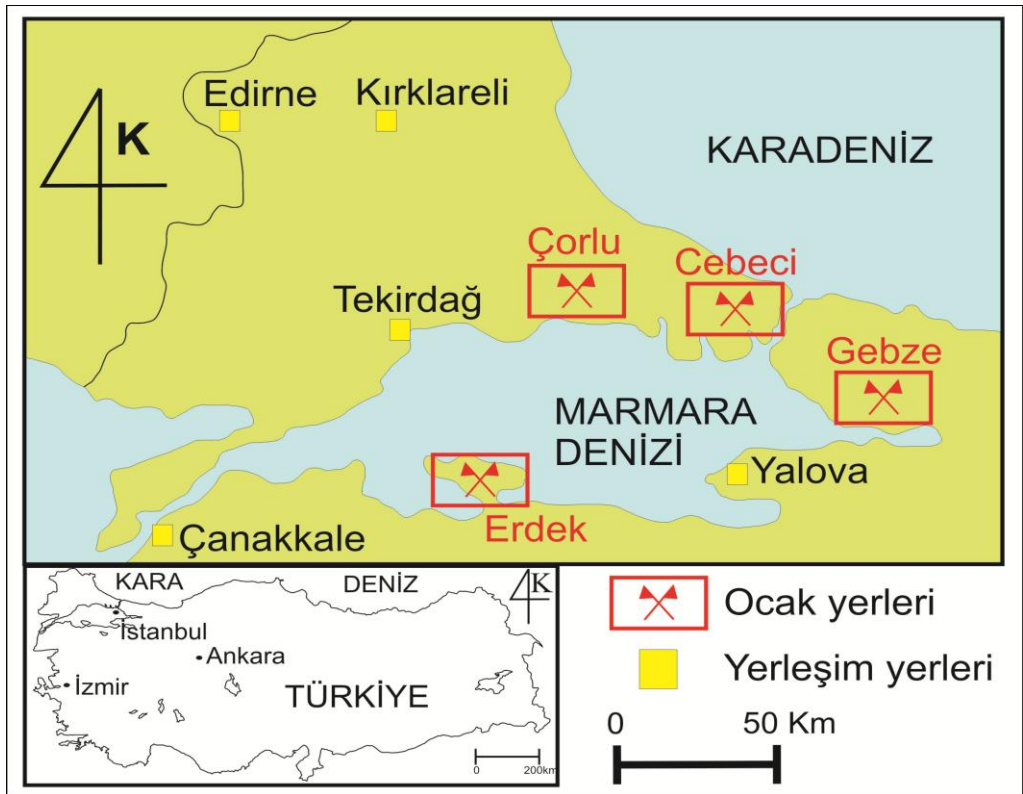
Asphalt mixes with most suitable bitumen content, according to the results of these physical tests, were tested with wheel tracking device and the mixes shown lowest rutting depth were also subjected to performance testing. After all these testing, aggregate types within mixes that yielded best performance results and least bitumen content have been identified and presented.

Accordingly, asphalt mixtures prepared with limestone, sandstone, basalt and granite aggregates provided all necessary features. When all preparations examined, it was determined that properties of the mixtures produced by using different aggregate combinations was not adversely affected, on the contrary, for one more features such as bitumen content, asphalt unit weight, void percentage, asphalt filled void percentage, space volume between aggregate units and stability, better values were obtained.

1. GİRİŞ

1.1. İNCELENEN ALANLARIN TANITIMI

Araştırmaların üzerinde gerçekleştirildiği numunelerin alındığı alanlar, Marmara Bölgesinin dört farklı bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgeler, Kocaeli İli sınırları içinde bulunan Gebze taş ocakları bölgesi, İstanbul İli sınırları içinde Cebeci taş ocakları bölgesi, Tekirdağ İli sınırları içinde Çorlu taş ocakları bölgesi, Balıkesir İli sınırları içinde Erdek taş ocakları bölgesidir.



Şekil 1.1: Numune alınan ocak yerlerini gösterir yer bulduru haritası

1.1.1. Coğrafya

Araştırma konusunu oluşturan agrega ocaklarının bulunduğu alanların tümü Marmara Bölgesi'ndedir (Şekil 1.1). Kocaeli-Gebze Bölgesi Marmara Bölgesinin doğusunda, İstanbul-Cebeci Bölgesi Marmara Bölgesinin kuzeydoğusunda, Tekirdağ-Çorlu Bölgesi

Marmara Bölgesinin kuzey batısında, Balıkesir-Erdek Bölgesi ise Marmara Bölgesinin güneybatısında yer almaktadır.

İstanbul Boğazı'nın batısında yer almakta olan Cebeci Bölgesi'nin kuzeybatısında Yayla Köyü, batısında Habipler köyü, güneybatısında Sultançiftliği mahallesi, güneydoğusunda ise Alibeyköy Barajı, kuzeydoğusunda ise Kemerburgaz bulunmaktadır.

İstanbul'un güneydoğusunda yer alan Gebze bölgesi'nin batısında Pendik ve Kartal, kuzeyinde Ömerli Barajı ve Mollaferari, doğusunda ise Değirmendere bulunmaktadır. Bu saha güneyden İzmit Körfezi ile çevrelenmiştir.

İstanbul'un kuzeybatısında bulunan Çorlu'daki taş ocakları bölgesi Karatepe mevkiindedir. Bu alanın doğusunda Çorlu, güneyinde Tekirdağ, kuzeyinde Kırklareli, batısında ise Lüleburgaz bulunmaktadır.

İstanbul'un güneybatısında bulunan Erdek bölgesinin kuzeyinde Marmara Denizi, güneyinde Balıkesir, doğusunda Bursa, batısında Çanakkale bulunmaktadır.

1.1.2. İklim

Cebeci Bölgesinde genel anlamda karasal iklim hakimdir. Bölgede, yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve soğuktur. En çok yağış Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında görülür.

Gebze Bölgesi'nde ise, İstanbul'a özgü şekliyle kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçer. Kar yağışı çok kısa sürmektedir. Yağış en çok Ekim ve Nisan ayları arasında görülmekte olup, genel anlamda Marmara iklimi etkindir.

Çorlu Bölgesi'nde Marmara ve Batı Karadeniz iklimi etkindir. Yazları sıcak ve az yağışlı, kışlar ise soğuk ve yağışlıdır.

Erdek Bölgesi alan coğrafi olarak Marmara ve Ege Bölgesinde bulunmasına rağmen, Akdeniz iklimine sahip olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ılımandır. Sonbaharda

Kasım-Aralık, ilkbaharda Nisan-Mayıs yağışlı aylardır. En soğuk aylar Ocak-Şubat ayları olmaklar beraber, Simav çayı vadisinde kar örtülü günler sınırlıdır.

1.1.3. Yerleşim ve Ulaşım

İstanbul'un Cebeci Bölgesi'nde, yerleşim yerlerinin büyük bir bölümünün kaçak ve ruhsatsız oluşu ve beraberinde artan nüfus oranı, alt yapı eksikliğini ortaya çıkarmaktadır. Cebeci bölgesi taş ocaklarına ulaşım hem TEM otoyolundan hem de Eski Edirne Asfalt'ından sağlanmaktadır. TEM otoyolu bölgeye ulaşımı kolaylaştırmaktadır. Taş ocaklarının çevresindeki yollar stabilize olup, günün her saati kamyon trafiği vardır.

Gebze Bölgesi'nde ise, taşocaklarına ulaşım son derece kolaydır. İstanbul-Ankara otoyolu bölgeyi katetmektedir. Yerleşim de bu karayoluna ve sanayi bölgelerine yakın kesimlerde yoğunlaşmıştır. Bölgeden ayrıca E5 karayolu, Kınalı-Sakarya otoyolu ve İstanbul-Ankara demiryolu geçmektedir. Çalışma alanındaki en önemli yerleşim birimleri Gebze, Hereke, Tavşanlı ve Yarımcı'dır. Gebze bölgesindeki taş ocaklarına E5 Karayolu kenarındaki yan yoldan ulaşım sağlanmaktadır.

Trakya-Çorlu bölgesindeki ocaklara yakın yerleşim birimleri Muratlı, Çorlu, Çerkezköy ve Banarlı Köyü'dür. Bölgedeki en önemli ulaşım E5 ve İstanbul-Edirne arasındaki otoyolu (TEM) ve bunlara bağlı ara yollardır. Çorlu bölgesindeki taşocaklarına ulaşım ise Çorlu içinden geçen karayolu vasıtasıyla yapılmaktadır.

Erdek Bölgesi'ne ulaşım deniz ve karayoluyla yapılmaktadır. Karayolu ulaşımı, Balıkesir-İzmir yolundan ayrılarak Bandırmadan taş ocakları bölgesine giden asfalt yoldan yapılmaktadır.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

İstanbul gibi büyük metropoliten şehirlerde hızla artan ve kalabalıklaşan nüfus nedeniyle inşaat yatırımları da hızla artmaktadır. 2009 yılı Kırmataş Sempozyumunda açıklanan bilgilere göre İstanbul'un yıllık agrega ihtiyacı 100.000.000 ton rakamını bulmaktadır. Yıllık bu tüketim içinde İstanbul'da yıllık olarak yaklaşık 6.000.000 ton asfalt üretimi gerçekleşmektedir. İstanbul'da kayaçların jeolojik oluşumu gereği

kireçtaşları ve kumtaşları daha yoğun olarak bulunmaktadır. Buna karşılık, bazalt ve granit gibi kayalara da az oranda rastlanmaktadır. İstanbul'da yapılan asfalt üretimlerinde % 95 oranında kireçtaşı, % 3 oranında bazalt, % 2 oranında da kumtaşı kullanılmaktadır. Granit ise İstanbul'daki asfalt çalışmalarında henüz kullanılmamıştır.

Asfalt üretiminde, karışım içinde kullanılan ve farklı boyutlarda bulunan agregaların mümkün olduğu kadar aynı tür olması istenmektedir. Ancak, İstanbul gibi çok fazla asfalt ve beton üretiminin yapıldığı yerlerde yıllık olarak önemli miktarlarda agrega ihtiyacı bulunmakta ve çalışmalar esnasında istenilen miktarda tek tip agreganın bulunması sorun yaratmaktadır. Bu nedenle, çok fazla üretimin yapıldığı alanlarda farklı agregaların bir araya getirilerek asfalt karışımların hazırlanmasına ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada; asfalt üretimlerinde sık olarak kullanılan dört agrega grubu üzerinde çalışılmıştır. Özellikle İstanbul'da yapılan üretimlerde %95 oranında kireçtaşı kullanılırken, bazalt %3, kumtaşı ise %2 oranında kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, kireçtaşı, kumtaşı, bazalt ve granit'ten oluşan agregalar asfalt karışımlarında bir arada kullanılmışlardır.

Ülke genelinde olduğu gibi İstanbul'da da insan ve yük taşımacılığı karayolu ile yapılmaktadır. Bu durum da, her geçen gün yeni asfalt yolların yapılmasını ve mevcut asfalt yolların da yenilenmesini gerektirmektedir. İstanbul'da yılda ortalama 6.000.000 ton asfalt üretimi yapılmakta, asfalt içinde ağırlıkça % 95 oranında bulunan agregadan dolayı da yaklaşık 5.700.000 ton agrega kullanılmaktadır.

Doktora tezi olarak gerçekleştirilen bu araştırmanın amacı; Marmara Bölgesi'nde üretilen farklı agregaların bir araya getirilerek asfalt karışımı hazırlanması ve hazırlanan bu karışımlara ait fiziksel ve performans özelliklerinin değerlendirilmesidir. Genellikle asfalt karışımlarının hazırlanmasında tek tür agrega yani iri ve ince agregaların tamamı aynı tür olarak kullanılmaktadır. Farklı agregaların bir araya getirilmesi suretiyle asfalt karışımlarının yapılması pek yaygın değildir. Bu durum, aynı zamanda çalışılan bölgenin durumu ve bölgedeki agrega potansiyeli ile ilgilidir.

Bu araştırmada; İstanbul Bölgesinde yaygın olarak kullanılan kireçtaşı, ocak alanlarında heterojen olarak bulunan kumtaşı, bölgede çok az yayılım gösteren bazalt ile bölgedeki asfalt üretiminde henüz kullanılmayan granit agregaları kullanılmıştır. Örneklerin öncelikle agrega kalitesini etkileyen önemli faktörlerden petrografik özellikleri belirlenmiştir. Örnekler üzerinde daha sonra agrega deneyleri yapılmış, özellikleri belirlenen farklı agregalar ile asfalt dizaynları yapılarak, bitüm ile olan etkileşimleri ve bitüm miktarları tespit edilmiştir.

Hazırlanan karışımlar üzerinde fiziksel testler yapılarak, agregaların asfalt karışım özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Fiziksel test sonuçlarına göre bitüm içerikleri en uygun görülen asfalt karışımları üzerinde Tekerlek İzi Testi yapılmış ve bu teste göre en az oturma derinliği veren karışıma da Performans Testleri uygulanmıştır. Tüm bu testlerden sonra, bitüm içeriği en az olan ve en iyi sonuçları veren karışımda kullanılan agrega türleri ortaya konulmuştur.

1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Örneklemelemin yapıldığı ocakların bulunduğu alanlar birçok yerli ve yabancı araştırımcı tarafından araştırılmıştır. Özellikle İstanbul Cebeciköy ve Kocaeli Gebze taş ocakları üzerinde birçok araştırma ve tez çalışması yapılmış, Tekirdağ Çorlu bazaltı ve Erdek graniti üzerinde daha az çalışma yapılmıştır. Bu bölgelerde yapılan araştırmalar kronolojik sıralanım dahilinde aşağıda sunulmuştur.

1.3.1. Ocakların Bulunduğu Bölgelerin Jeolojisi İle İlgili Çalışmalar

1.3.1.1. İstanbul Cebeci Bölgesi

Tchihatcheff (1864); İstanbul ve çevresinde ilk kapsamlı jeolojik çalışmayı yapmıştır. Trakya formasyonunun yaşını Devoniyen olarak belirlemiş, Bakırköy civarında gölssel kökenli Mactralı kireçtaşlarının varlığından söz etmiştir.

Penck (1919); İstanbul civarında Paleozoyik arazinin sınırlarını çizmiştir. Trakya serisi adını verdiği bu birimin Alt-Üst Devoniyen döneminde karasal fasiyeste çökeldiğini kabul etmiştir.

Chaput (1931); İstanbul ve civarının jeolojisini inceleyerek 1/25.000 ölçekli haritasını hazırlamıştır. Cebeciköy'deki kireçtaşlarının varlığını ve stratigrafik ilişkileri dolayısıyla da Trakya serisinin Karbonifer yaşta olduğunu belirtmiştir.

Pamir ve Sayar (1933); Küçükçekmece fosilleri başlıklı çalışmalarında Trakya formasyonunun yaşını Devoniyen olarak kabul etmişlerdir.

Paeckelman (1938); Trakya serisinin Primer derecelenme gösterdiğini denizel kökenli olduğunu, Trakya formasyonu üyesi olan Çamurluhan şeyl ve konglomeralarının da Orta Devoniyen yaşlı olduğunu belirtmiştir.

Yalçınlar (1951); Cebeciköy kireçtaşının Vizeen yaşında olduğunu belirterek Trakya Serisinin Karbonifer yaşında olabileceğini önermiş ve daha sonraki çalışmasında birimin karasal birikme sonucu oluştuğunu öne sürmüştür.

Akartuna (1953); Çatalca ve Karacaköy bölgesinde yaptığı çalışmalarda, kristalen şist ve Kuvarsitlere Üst Silüriyen-Orta Devoniyen yaşını vermiştir. Eosen'i Lütisiyen-Oversiyen, Oversiyen-Priaboniyen olarak iki bölümde incelemiş, Noejenin Üst Miyosen ve Pliyosen tabakaları ile temsil edildiğini ileri sürmüştür.

Yalçınlar (1954); Trakya formasyonunun ilk defa Karbonifer yaşlı olabileceğini belirtmiş, Cebeciköy'deki Vizeen yaşlı kireçtaşının varlığını ortaya çıkarmıştır. Cebeciköy kireçtaşı üzerine gelen silisli şeylerin florasına dayanarak Trakya serisini Üst Devoniyen-Vestfaliyen yaşında bir istif olarak kabul etmiştir.

Baykal ve Kaya (1963); Trakya formasyonu içerisinde bulunan fosillere dayanarak bu formasyonun Vizeen yaşında olduğunu belirtmiştir.

Kaya (1971); İstanbul Bölgesi'nin genel Karbonifer stratigrafisini çalışmıştır. Trakya formasyonunun Vizeen ortası sonuna kadar olan bir zaman aralığını kapsadığını belirtmiştir.

1.3.1.2. Kocaeli - Gebze Bölgesi

Tchihatcheff (1867); Bölgedeki ilk çalışmaları yapan isim olmuştur. Araştırmacı; Gebze'nin doğusundaki doğuya eğimli beyaz, Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarına değinmiş ve bu kireçtaşının Ereğli'deki üst Kretase'yi andırdığını söylemiştir. Devoniyen ile Triyas dokanağının da Gebze doğusunda görülebildiğini belirtmiştir.

Toula (1896); 1890 yılında Anadolu demiryolu güzergah etüdü için Gebze ve civarında jeolojik incelemelerde bulunmuş ve Triyas'a ait ilk fosil adlarını yayınlamıştır.

Penck (1919); İzmit Körfezi kuzeyi ve güneyinin jeomorfolojik evrimini araştırmış ve bölgedeki yüksek kesimleri oluşturan kuvarsarenitlerin, bir diskordansla fosil kapsayan Devoniyen yaşlı grovak ve şistlerin üzerinde durduğunu öne sürmüştür. Araştırmacı, “ Kieselschiefer Horizonta” adı altında “ Thrazische Serie” diye isimlendirdiği Trakya formasyonunun, Pendik ve Boğaziçi'nde görülebilen fosilli seviyelerin karasal karşılığı olduğunu ifade etmiştir.

Paeckelmann (1938); Bölgenin jeoloji haritasını ve diğer jeolojik özelliklerini kapsayan detaylı bir çalışma yürütmüştür. Araştırmacı, bölgedeki arkoz ve kuvarsarenitlerin stratigrafik olarak fosil kapsayan Devoniyen yaşlı grovak şistinin altında olduğunu, grovak horizonu diye isimlendirdiği birimin de Alt Devoniyen yaşında olduğunu söylemiştir. Ayrıca Üst Devoniyen yaşını verdiği yumrulu kireçtaşları ve radiolarialı çörtlerin, stratigrafik olarak şeyl, grovak ve kireçtaşları ile yanal geçişli olduğunu öne sürmüştür.

Erguvanlı (1949); İncelediği birimleri stratigrafi adlamasına göre ayırmamıştır. Bu birimler içinden derlediği fosillerin tanımlamasını yapmış ve diğer bölgelerle korele etmiştir. Konglomera ve greler olarak incelediği birime daha sonra Taban konglomeraları adını vermiş ve birimin yaşını Verfeniyen olarak tesbit etmiştir. Değirmenköy kireçtaşı adını verdiği birimi; marnlı, plaketli, dolomitik kalker olarak tanımlamış, Muallimköy kireçtaşı alt ve üst üyelere ayırmış, Kazmalı kireçtaşının yaşının Ladiniyen olduğunu belirtmiştir.

Sayar (1962 ve 1979); İstanbul ve Kocaeli Yarımadası'nın birçok yerinde gözlemlenen Alt Paleozoyik yaşlı birimlerde ayrıntılı paleontolojik çalışmalar yapmıştır. Ordovisiyen-Silüriyen sınırının Gözdağ formasyonundan geçtiğini ifade etmiştir.

Altınlı (1968); İzmit – Hereke – Kurucadağ alanının jeolojisini incelediği çalışmasında, kaya stratigrafi birimleri olarak Alt Ordovisiyen yaşlı Sopalı formasyonu, Alt Triyas yaşlı Kapaklı formasyonu, Orta Triyas yaşlı Hereke formasyonu, Üst Kretase yaşlı Kutluca kireçtaşı ve üst Kretase yaşlı Şemsettin kireçtaşı'nı ayırtlamıştır.

Altınlı (1968); Kocaeli yarımadasında incelemelerde bulunmuş, çalıştığı yörelerdeki bütün litolojiyi sınırlamış, stratigrafi adlaması kurallarına uyarak formasyonları ve üyeleri tespit etmiştir.

Haas (1968); İstanbul'un doğu kesimlerindeki Gebze ve Tuzla taraflarında detaylı paleontolojik ve stratigrafik çalışmalar yürütmüştür. Kırıntılı birimleri Kurtköy tabakaları olarak isimlendirilmiş ve Alt Ordovisiyen yaş konağına dahil etmiştir. Akviran serisi adı altında incelediği ve stratigrafik olarak alttan üste doğru; Tavşantepe, Bağlarbaşı, Cumaköy, Çakılıdere, Pelitli ve Kireçhane tabakaları olarak ayırdığı çökellere içlerinde bulduğu fosiller yardımıyla Venlokiyen yaşını uygun görmüştür.

Önalın (1982); Şile, Pendik ve Adalar'da ayrıntılı çalışmalar yapmıştır. Paleozoyik yaşlı birimler arasında herhangi bir uyumsuzluğun olmadığını, bütün bu birimlerin birbiriyle uyumlu olduğunu söyleyen ilk çalışmacıdır. Birimlerin transgresif bir seri oluşturduğunu belirtmiştir.

Önalın (1982); İstanbul Paleozoyik istifinde, Devoniyen çökellerinin sedimenter özellikleri ile çökelleme ortamlarını ortaya koymuştur.

1.3.1.3. Tekirdağ – Çorlu Bölgesi

Boer (1954); Trakya'nın Türkiye'de kalan kısmının jeolojisi hakkında çalışmalar yapmıştır.

Ünal (1967); Trakya Havzası'nın jeolojisini saptamaya yönelik çalışmalar yapmıştır.

Doust – Arıkan (1974); Trakya Havzası'nın jeolojik ve ortamsal yorumunu yaparak havzanın oluşumunu açıklamışlardır.

Keskin (1974); Ergene Havzası'nı oluşturan birimlerin stratigrafik özelliklerini ortaya çıkarmak için havza içerisindeki birimlerin birbirleri ile olan ilişkilerini incelemiştir.

Turgut vd. (1983); Trakya Havzası'nın doğu kısımlarının stratigrafisi ve çökelme istiflerinin araştırılması çalışmasını yapmıştır.

Kasar (1987); Edirne-Kırklareli-Saray arasındaki bölgede yaptığı çalışmalarda temelin üstündeki birimleri incelemiş ve petrol potansiyeli açısından değerlendirme yapmıştır. Fosil içeriğine ve litolojisine bakarak birimlerin çökelme ortamlarını saptamaya çalışmıştır.

Ercan (1992); Trakya genelindeki bazaltlarda yaptığı incelemede, bölgedeki bazaltik volkanizmayı manto kökenli ve alkali özellikli olarak belirlemiş ve bu bazaltların muhtemelen eski kırık hatları boyunca geliştiğini vurgulamıştır.

Görür ve Okay (1996); Trakya Havzasının tektonik orjini belirlemeyi amaçlayan araştırmalar yapmışlardır.

Sakıncı ve Yaltırak (1997); Trakya'nın güney sahillerinin Pleyistosen paleocoğrafyası ve evrimi'ni açıklamaya yönelik çalışma yapmışlardır.

Tapırdamaz ve Yaltırak (1997); Yaptıkları çalışmada Trakya'da Senozoyik volkaniklerinin paleomanyetik özellikleri ve bölgenin tektonik evrimini aydınlatmaya çalışmışlardır. Elde ettikleri verilere göre Pliyo-Kuvaterner yaşlı bazaltlarda bulunan kayıtların temsil ettiği en son dönem günümüzde de devam etmektedir.

Esenli (1999); Tekirdağ'ın çevresindeki bazaltik volkanitlerin ve onların bazı yüzeylemelerinde saptanan peridotit ksenolitlerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal verilerini incelemiştir.

Duman vd. (2004); Hazırladıkları MTA raporunda Küçükçekmece-Silivri-Çatalca bölgesinde jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik özellikler, doğal afet kaynakları ve yer şekli fiziki yapısı hakkında ayrıntılı çalışmalar yapmışlardır.

1.3.1.4. Balıkesir - Erdek Bölgesi

Ardel ve İnandık (1957); Marmara Denizi'nin Teşekkülü ve Tekamülü adlı makalelerinde, Marmara Denizi'nin güneyinde kalan dağlık ve tepelik sahaların defalarca kıvrılıp kırıldığını ve aşınmaya maruz kalarak tesviye edildiğini ifade etmiş, bu aşınım yüzeylerinin sonra yeni depolarla örtülerek fosilleştiğini, daha sonra yeni aşınma devrelerinde örtü depolarının ortadan kalkmasıyla yeniden ortaya çıktığını, bölgenin tesviye sahasını müteakip önemli epirojenik hareketlere maruz kaldığını ifade etmiştir.

Akyürek (1968); Balıkesir Balya Kuzeyinin jeolojisi adlı raporunda sahada, Permian yaşlı kumtaşı ve kuvaristleri, üst Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarını, Neojen yaşlı killi kireçtaşlarını ve Kuvaterner yaşlı alüvyonları incelemiştir. Bunların çoğu yerde bunların andezitik ve dasitik lavlarla örtüldüğünü ifade etmiştir.

Yalçınlar (1970); “Batı Anadolu’nun Strüktür ve Röliyef Şekilleri Üzerine Müşahadeler” isimli raporunun ekindeki haritada, inceleme sahasını, Neojen volkanik formasyonlar (andezit, riyolit, trakit, bazalt lavları, tuf ve cürufaları) ve genellikle Miyosen’e ait monoklinal yapılar; yayla, yapı düzlüğü ve kuesta alanlarında göstermiştir.

Bingöl (1976); Batı Anadolu’nun Jeotektonik Evrimi adlı makalesinde, jeotektonik evrimi plaka tektoniğine göre açıklamış, Menderes Masifi ile Kazdağı Masifleri arasında tortullaşmanın meydana geldiğini ve bu masiflerin Alt Triyas sonundan itibaren birbirlerine yaklaşmış olabileceğini, Alt Kretase’de kıvrımlanmış tabakaların Alt Triyas tabakaları üzerine transgresif olarak yerleştiğini, Eosen-Oligosen’de ise Kuzeybatı Anadolu’nun bütünüyle yükseldiğini, Miyosende ise volkanizmanın meydana geldiğini ve bunun da asit karakterli olduğunu ifade etmiştir.

Ergül vd (1986); Balıkesir F6 Paftası ve 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Bandırma E6 Paftası adlı raporlarda sahada geniş alan kaplayan granit ve granodiyortilerin Üst Kretase yaşlı yayla melanjını kestiği için muhtemelen Paleosen yaşında olabileceğini açıklamıştır.

Ercan vd (1990); Balıkesir-Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı adlı makale ve hazırlanan 1/100.000 ölçekli harita, inceleme alanının büyük bir kısmını içine almaktadır. Tersiyer’de Paleosen yaşlı granitlerin geliştiği, Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal ortamda çökel kayaların ve volkanizma sonucu kayaların meydana geldiği, Kuvaterner’in yüzlek birikintilerle temsil edildiği ifade edilmektedir.

Efe (1994); Biga Yarımadası’nda Neotektoniğin Jeomorfolojik İzleri adlı makalesinde genç tektonik hareketlerin Biga Yarımadası’nda çok önemli yer şekilleri oluşturduğunu, bu tektonik olaylar sonucu Miyosen öncesi yüzeylerin bazı yerlerde yükseldiğini (Kaz Dağ ve Armutçuk dağları), çarpıldığını (Kaz Dağ Kuzeyi) veya çökerek ovalar (Ezine, Kalkım, Etili, Ayvacık, Gönen ve Biga) oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Tellioğlu (2001); Manyas (Kuş Gölü) ve Yakın Çevresi’nin Jeomorfolojisi ve Uygulamalı Jeomorfolojisi adlı doktora çalışmasında bölge jeomorfolojisinin Miyosen, Geç Miyosen-Pliyosen ve Pliyosen sonu Kuvaterner olarak üç ana dönemde geliştiğini ortaya koymuştur. İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Manyas Ovası’nın Kızık Köyü’nün batısında boğazdan çıkarak ovaya doğru açılan Kocaçay tarafından getirilen alüvyal malzemenin bir birikinti yelpazesi veya delta oluşum karakterinde göle doğru biriktirilmesiyle oluştuğunu ifade etmiştir.

Uzun (2003); Balıkesir Ovası-Kocaçay-Manyas Ovası ve Susurluk Çayı Arasında Kalan Sahanın Jeomorfolojisi adlı çalışmasında özellikle tektonik hareketlerle taban seviyelerindeki değişikliklerin akarsuların gençleşmesine ve bunun delilini oluşturan eski vadi tabanlarının taraça seviyelerinin oluşturmalarına neden olduğunu ifade ederek akarsuların fasıllı olarak gömüldüğünü, Susurluk Çayı ve Kocaçay’ın genç vadi tabanlarında yer alan farklı seviyelerdeki taraçalar ve Susurluk Çayı boyunca izlenen yüksekte kalmış menderes izlerinin görüldüğünü ifade etmiştir.

1.3.2. Araştırma Konusu İle İlgili Çalışmalar

Beton agregaları üzerinde farklı amaçlara yönelik yapılan ülkemizde ve dünyada çok sayıda araştırma bulunmakla birlikte asfalt-agrega arasındaki ilişkileri konu alan çalışma hem ülkemizde hem de dünyada çok azdır. Bulunan çalışmalar ile özet bilgiler aşağıda, tematik olarak kronolojik sıra dahilinde sunulmuştur.

1.3.2.1. Agregada Konusunda Yapılan Çalışmalar

Fookes (1980); Bağlayıcılar ve agregalar üzerinde yaptığı çalışmada, çimento türlerini, betonda kullanılacak agregaların oranlarını ve betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinin önemine değinmiştir. Agregaların fiziko-mekanik özelliklerinin betonun dayanımına ve durabilitesine olan etkilerini tartışmıştır. Agregalar üzerinde yapılan inceleme ve deneyleri tanıtarak, betondaki önemine ayrıntılı olarak değinmiştir. Ayrıca yazar, betonda kullanılması düşünülen agregalar için, agregada özelliklerine ait limit değerlerin hangi sınırlar arasında olması yönünde değerlendirmelere yer vermiştir.

Fookes (1991); Ayrışmanın kayaların agregada olarak kullanılma özelliklerini önemli oranda etkilediğini belirterek kayaların mühendislik özellikleri ile agregada darbe dayanımlarının, agregada olma niteliklerini belirleyici önemli parametreler olduğunu ifade etmiştir.

Edet (1992); Kayaların agregada olarak kullanılma özelliklerini, fiziksel özellikleri ile bünyesindeki mikroçatlakların kontrol ettiğini vurgulayarak, özellikle patlatma ile üretilen agregalarda da bu duruma dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Williams ve McNamara (1992); Farklı bileşimdeki kireçtaşları üzerinde çalışan araştırmacılar, bileşim değişimlerinin bunların dirençlerini önemli oranda etkilediğini belirtmişlerdir.

Akpokodje ve Hudec (1994); Granit, gnays ve kumtaşları üzerinde yaptıkları araştırmalarda bu kayaçların mineralojik ve fabrik özelliklerinin yanı sıra ayrışma ürünlerinin mühendislik özellikleri ile agregada olma özelliklerine etkisini ortaya koymuşlardır.

İrfan (1994); Granitik kayalardan elde edilen kırmataşlar üzerinde yaptığı araştırmalarda, granitlerin petrografik özellikleri ile fiziko-mekanik özelliklerinin agrega özelliklerini önemli oranda etkilediğini söylemiştir.

Eren vd. (1996); Kocaeli-Gebze ilçesi, Tavşanlı Köyü civarındaki kireçtaşı sahalarının jeolojisini inceledikleri ve rezerv analizini yaptıkları bu çalışmada, alandaki kireçtaşlarının İstanbul için önemini vurgulamışlardır. Ayrıca bölgedeki kireçtaşlarından maksimum verimin elde edilebilmesi, ocakların düşük maliyetlerle nitelikli üretim yapabilmesi için organizasyona ve planlamaya daha çok önem verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Hereke formasyonunun petrografik özelliklerini incelemişler ve formasyonun genel karakterinin kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı olduğunu ifade etmişlerdir.

Tasong vd. (1998); Bazalt, kireçtaşı, silis kumlu ve kuvarsit gibi değişik malzemelerin beton agregası olarak kullanımlarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda; seçilen örneklerin çimento pastasıyla kimyasal etkileşimlerinin birbirinden farklı olduğunu saptamışlardır.

Halili vd. (1999); Hereke formasyonunun (Gebze kireçtaşı) kırmataş özelliği ve kırma eleme tesislerindeki davranışı başlıklı çalışmalarında sözü edilen kireçtaşlarının agrega özelliklerini belirlemek amacıyla tektonik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, formasyonda, tektonizmadan dolayı çatlak, kırık, fay gibi yapısal unsurların geliştiğini, bu durumun etkisiyle ve formasyonunun teknolojik ve kimsayasal özelliklerinin limit değerlerle uygunluk göstermesi nedeniyle blok taş olarak değil de kırmataş olarak değerlendirilmesinin daha doğru olacağını vurgulamışlardır. Ayrıca ocaklardan maksimum verim elde edilebilmesi için üretim şekline ve kırma eleme tesislerinin dizaynına yönelik önerilerde bulunmuşlardır.

Halili ve Gözübol (1999); yaptıkları çalışmada Kocaeli – Gebze ilçesi, Tavşanlı Köyü, Taşkaldıran mevkiinde geniş yüzlekler veren Triyas yaşlı Hereke formasyonu (Gebze kireçtaşı), üzerinde Gebze taşocakları işletmecilerinin yaptığı üretim ele alınmıştır. Çalışmada genelde kırmataş ocağı olarak faaliyet gösteren ocaklarda ve kırma-eleme tesislerinde ekonomi ve verimlilik açısından en uygun şartların sağlanabilmesi için kırma-eleme tesislerinin üretim ve dizaynında Hereke formasyonu’nun jeolojik,

hidrojeolojik, litolojik, yapısal, teknolojik, jeomekanik ve kimyasal parametrelerinin dikkate alınması gerektiği ele alınmış, ayrıca bu gibi açık işletmelerde aşırı pasa ve hafriyattan kaçmak ve çalışma esnasında tehlike riskini en aza indirmek için 20-30 m.lik aynalar yerine 10-12 m.lik basamaklı aynalar oluşturulması gerektiğinden bahsedilmiştir.

Uz (1999); Trakya–Tekirdağ bölgesi bazaltlarının kırmataş malzemesi olarak değerlendirilmesi amaçlı incelemede, yapılan jeolojik, petrografik, kimyasal ve teknolojik araştırmalar yapılmış, inceleme alanı civarında yer alan ocaklardan üretilen bazalt agregalarının betonda kullanımının çok uygun olduğu görülmüştür.

Smith ve Collis (2001); Agregalar üzerine hazırladıkları kitapta, yapılan araştırma ve deneylere yer vermişlerdir. Agregalar kullanım alanlarına göre ayrılmış ve kaya çeşitlerine göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Doğan, Karadoğan, Kahrıman ve Durdu (2003); İstanbul ili ve çevresinde bulunan kırmataş ocaklarına genel bir bakış konulu çalışması kapsamında , İstanbul ve çevresi beş bölgeye ayrılarak (Cendere, Cebeci, Çatalca, Gebze, Ömerli), her bölgede bulunan kırmataş ocaklarının kapsamlı bir envanteri çıkarılmıştır. Bu araştırmalarda, inceleme alanı dahilinde bulunan 25 adet kırmataş ocağının ruhsat bilgileri, personel bilgileri, rezerv, üretim yöntemleri, çevresel sorunları, yıllık üretim kapasiteleri, yıllık satış miktarları ile birlikte ocakta çalışan iş makinaları sayı ve kapasite bakımından incelenmiştir. Ayrıca her bölgedeki kayaç türü, mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından değerlendirilerek ocaklarda üretilen ürünlerin kullanım alanları araştırılmıştır. Elde edilen istatistiksel veriler ışığında bölgeler arasında kıyaslama yapılmış olup, kırmataş madenciliğinde karşılaşılan sorunların (üretim, çevre, ürün standartları, satış) çözümüne yönelik öneriler getirilmiştir.

Halili (2003); yaptığı çalışmada agrega üretiminde kırma eleme ve taşın fiziko mekanik özelliklerinin önemini araştırmış, kırma eleme tesislerinde verimlilik ve kalitenin en uygun şartlarda sağlanabilmesi için kırma-eleme tesislerinin dizaynı, kırıcı, elek ve konveyör bant seçimi, kırılacak malzemenin jeolojik, teknolojik, jeomekanik ve yapısal özellikleri dikkate alınması gerektiğini bahsetmiştir. Ayrıca malzemenin homojenliği,

kırıklı ve çatlaklı yapıya sahip olmasının kırmataş üretimini, kalitesini, çalışma düzenini ve kapasitesini olumsuz etkilediğini belirterek kaliteli ve kübik malzeme üretimi için taşın yapısal özellikleri ile birlikte taşın kırılma şeklinin de önemli olduğunu vurgulamıştır.

Uz, Bacak ve Yılmaz (2003); İstanbul ve civarı agregalarının petrografik özellikleri ve beton dayanımına olan etkileri konulu çalışmalarında İstanbul civarındaki agrega alanları incelenmiş ve agrega üretiminin doğuda Karatepe’de (Çorlu), Batıda Hereke (Gebze)’ye kadar geniş bir aralıkta, kuzeyde Karadeniz’den güneyde Marmara ile sınırlanmış alanlarda gerçekleştirildiği belirtilmiştir.

Zarif, Tuğrul ve Dursun (2003); İstanbul’daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesini yaptıkları çalışmalarında, kireçtaşlarının bileşim ve dokusal olarak farklılıkları üzerinde durmuşlar ve bu değişik özellikteki kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliklerini araştırmışlar ve incelenen kireçtaşlarının petrografik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, kaliteleri ve agrega özellikleri bakımından da standartlarda belirtilen limitler içinde veya bu limit değerlere çok yakın sonuçlar verdiğini ifade ederek İstanbul’un kireçtaşlarının agrega olarak birçok alanda kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Aral (2004); Bu çalışmada, Çorlu’da bulunan ve yapı taşı olarak üretilen Karatepe bazaltlarının mühendislik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Topal ve Şengöz (2004); Yaptıkları çalışmada bitümlü karışımlarda kullanılan ince taneli agregaların köşeliliğinin belirlenmesi ve kullanılabilirliğini saptamışlardır. 1980’li yıllarda ABD’nde “Superpave” ve Fransa’da “Gyratory Shear Press” dizayn yöntemlerinin ve oluklanma deneyinin geliştirilmesi sırasında yapılan çalışmalar, yoğun gradasyonun tekerlek izi oluşumu ve kayma ile ilgili deformasyonlar açısından uygun olmadığını ortaya koymuşlardır.

Tutumluer, Pan, ve Carpenter (2005); Bir agrega görüntü analiz sisteminin öngörülen kullanımını değerlendirmek amacıyla, uygun görüntü temelli morfolojik endeksler tanımlamak için şekil, boyut, açısallık ve doku özellikleri değerlendirilmiş, detaylı

agrega şekil özelliği endeksleri ile asfalt karışımlarının saha teker izi performansları arasında bir korelasyon oluşturulmuştur.

Koruç (2006); Çalışmada İstanbul ve civarının agrega ihtiyacının karşılandığı Gebze, Ömerli, Cendere, Cebeci, Çatalca ve doğu Trakya bölgesinde bulunan agrega kaynakları incelenmiş ve her bir bölgedeki firma sayısı, üretilen hammadde, kurulu tesis kapasitesi ve yaklaşık rezerv durumları hakkında bilgiler derlenmiştir. Ayrıca bölgelerde 2005 yılında kullanılan çimento ve hazır beton miktarları tespit edilerek gelecek 5 yıllık süreçte bölgelerdeki agrega arz talep ilişkisi ortaya konulmuştur.

Uz, Bacak, Özdamar, Sarıcaoğlu ve Halezaroğlu (2006); yaptıkları çalışmada İstanbul İlinde mevcut beş kırmataş üretim bölgelerinin birini ve en önemlisi olan Ömerli Bölgesi jeolojik olarak İstanbul'un en yaşlı temel kayaç birimlerini oluşturan Alt Silüriyen–Alt Devoniyen yaşlı Dolayoba Formasyonu esasen koyu mavi-gri renkli karbonat formasyonları ile temsil edilen kayaçların kırmataş açısından değerlendirilmeleri yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada sadece Ömerli bölgesi kırmataş ocaklarının jeolojik-yapısal özellikleri, ve buna bağlı alınan sistematik örneklerin, mineralojik-petrografik, kimyasal özellikleri ortaya konmuştur.

1.3.2.2. Yol Yapımları Konusunda Yapılan Çalışmalar

Aksoy (1991); Yaptığı tez çalışmasında, karayolu yapımının maliyet ve üretim kontrolüne imkan verecek etkinliği ve verimliliği artırmada yardımcı olacak bir standart maliyet sistemi oluşturulmasını amaçlamıştır. Bu nedenle üretim maliyetleri çeşitli açılardan sınıflandırılarak, standart maliyet sistemi için gerekli olacak maliyet hususlarına açıklık getirmiş, karayolu hakkında bilgi vermiş, yol yapımı için gerekli olan giderleri örneklerle açıklamış, karayolu kaplamasında maliyet kontrolünün önemi, standart maliyet sisteminin amaçları ve bütçe hazırlanmasını anlatmış, karayolu kaplamasında maliyet kontrolüne ilişkin örnek vermiş ve sapmaları değerlendirmiştir.

Deveci (2001); Klasik üstyapı deneylerinin öncelikli olarak verilmesindeki amacı tartışmış, bir yol yapımı sırasında bu deneylerden gerekenlerin doğru bir biçimde yapılarak özünsenmesi gerekliliği üzerinde durmuştur. Ayrıca üstyapı dizaynına farklı bir boyut kazandırma üzerinde de çalışmalar yapmıştır. Yapılan bu çalışma ile mevcut

geleneksel karayolu üstyapısı testleriyle son 25-30 yıl içinde geliştirilen son teknolojinin de kullanıldığı (bilgisayar destekli) yeni test yöntemlerini değişik yönleriyle ele alarak incelemiştir.

Koçak (2002); Yaptığı çalışma ile, asfalt yüzeylerinde gerek lastik temasından gerekse araçlardan çıkan gürültülerin tanımı, kaynağı, ölçüm yöntemleri ve gürültünün azaltılması yöntemleri ile ilgili mevcut kaynakları incelemiş ve literatür bilgileri vermiştir.

İbrahim (2005); Bu çalışma, yol yüzeylerindeki farklı karışımların kayma direncini karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Yol yüzeyi ömrünün tüm aşamalarında, otoyol yüzeyi, araç tekerlekleri ile yol yüzeyi arasında sürtünme meydana getirecek şekilde pürüzlülüğe sahip olmalıdır. %30 oranında cürufa sahip olan karışımın, sırasıyla Superpave prosedürü ile hazırlanmış olan karışımdan, SMA ve Marshall karışımlarından sonra en yüksek kayganlık seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak, asfalt içeriğinin, optimal asfalt içeriğinin üzerine çıkartılmasının, bu karışımların kayma direncini de azalttığı görülmüştür.

1.3.2.3.Agrega – Asfalt Karışımları Konusunda Yapılan Çalışmalar

Kandhal ve Khatri (1992); Sıcak asfalt karışımları (SKA) içinde kullanılan mineral agregaların, gözeneklere sahip olduğunu ve bu sebeple asfalt çimentosunun bir kısmını emme eğilimine neden olduklarını belirtmişlerdir.

Öncel ve Eren (1996); İstanbul çevresindeki taş ocaklarının sınıflaması ve asfalt betonu agregası olarak kullanımı konulu çalışmalarında, İstanbul Bölgesinde yer alan taş ocakları, başlıca litolojik ve bölgesel özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre çalışmada, bahsedilen taş ocaklarının litolojik ve jeolojik özellikleri üzerinde durulmuştur. Bu veriler ışığı altında, İstanbul çevresindeki asfalt betonu agregası olarak kullanılan ve kullanılabilir malzemeler başlıca sekiz bölgeye ayrılmış ve bu taş ocaklarının asfalt betonu agregası olarak kullanılabilirliği aşınma mukavemeti, soyulmaya karşı direnci, dona karşı mukavemeti açısından incelenip, taşocaklarındaki üretim sırasında ve sonrasında teknik şartnamelere uygunluğu irdelenmiştir. Ayrıca

İstanbul çevresindeki magmatik kökenli agregaların sedimanter kökenli agregaların metamorfik kökenli agregaların dizayn değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Kandhal, Parker ve Mallick (1997); Agregaların özelliklerinin, sıcak karışım asfalt (SKA) yol yüzeylerinin performansları açısından büyük önem taşıdığını ifade ederek tekerlek izi, şeritlenme, yüzeyde parçalanma ve yeterli yüzey sürtünme direnci olmaması gibi yol yüzeylerinde baskıya sebep olan faktörlerin, doğrudan, uygun olmayan agrega seçimi ve kullanımı ile ilişkilendirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Wu, Parker ve Kandhal (1998); Yaptıkları çalışmada asfalt betonlarında kullanılan agregayı karakterize etmek için kullanılacak olan sertlik/aşınma direnci ve dayanıklılık/sağlamlık testlerini belirlemek ve değerlendirmek ve saha performansı ile ilişkili olan test yöntemlerini belirlemişlerdir. Seçilen testler ile değerlendirilmek üzere, zayıf ila iyi performans geçmişlerine sahip olan on altı agrega kaynağı incelenmek üzere tespit edilmiş, asfalt beton zeminlerde bu agregaları içeren yol yüzeylerinin performans geçmişleri, devlet ulaştırma birimleri ile birebir temas ve performans değerlendirme anketleri ile belirlenmiştir.

Kandhal ve Fraizer (1998); yaptıkları çalışmada agregaların, ağırlıklarının yüzde 94'ü oranında sıcak asfalt karışım (SKA) içerdikleri için, SKA içinde kullanılan kaba ve ince agregaların özellikleri, bu karışımların kullanıldığı yol yüzeyi sistemlerinin performansı açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymuşlardır. Şu anda kullanılmakta olan testlerin büyük kısmı, agregaları, SKA'nın yol yüzeyi sistemi üzerindeki performansı ile bir ilişki kurmadan, bilimsel olarak karakterize etmek için geliştirildiği bu sebeple, mevcut ve potansiyel agrega testlerinin, yol yüzeyi performansını ne kadar iyi değerlendirdiğini anlamak için ilave araştırmalar yapılması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Kaynarken, Uz, ve Dural (1999); İstanbul Cendere Havzasındaki kırmataş-beton ve asfalt üretim havzasını incelemiş ve bu havzanın bugün için Cendere Vadisi içinde 10 km uzunlukta, 0,5 - 3 km genişlikte sınırlı olup, taş malzeme potansiyeli çok büyük olmasına karşın, amaca yönelik bilimsel bir araştırmanın yapılmamış olması büyük bir eksiklik olduğuna dikkat çekerek, havzayı genişletecek ve sınırlayacak rezerv, kalite,

beton ve asfalt üretimlerine yönelik yapılacak bir araştırmanın "Cendere Havzası" ve potansiyeli için gerekli olduğunu ifade etmiştir.

Tayfur ve diğerleri (2003); Sıcak asfalt karışımı üretimi açısından İstanbul Taşocaklarının genel değerlendirilmesi adlı çalışmasında sıcak asfalt karışımları için gerekli olan agrega özelliklerinin tanımı yapılmış, asfaltta kullanılan agregaların gradasyon olarak karşılaştırılması yapılarak aralarındaki farklar ortaya konulmakta ve temin edilen agregalar ile ilgili karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Yılmaz, Kesimal, Erçikdi ve Kaya (2003); yaptıkları çalışmalarında dere malzemelerinin üstyapı malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda araştırma yapılmış, bu amaçla Seslidere taşocağından üretilen ocak malzemesinin kullanılması hedeflenmiştir. Yöredeki taşocağı malzemesinin üstyapı malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılarak taşocağı malzemesinin standartlara uygun bir malzeme olduğu saptanmıştır.

Özen, Birliker, Tayfur ve Sönmez (2004); Bu çalışmada, sıcak asfalt karışımlarında kullanılmakta olan agregalarda aranan özellikler hakkında genel bilgi verilmiş, agreganın ve asfaltın üretimi aşamalarında karışım içerisinde yer alan yabancı maddelerin (kil toprakları) karışımın performansı üzerinde olan etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, karışım içerisindeki kil toprakları veya yabancı madde miktarının artmasıyla karışım performansının doğru orantılı azaldığı görülmüştür.

Özen, Tayfur, Aksoy ve Eren (2004); Bu çalışmada, BSK'lar da kullanılmakta olan agregalarda aranan özellikler hakkında genel bilgi verilmekte, agreganın ve BSK'nın üretimi aşamalarında karışım içerisinde yer alan yassı tanelerin karışımın performansı üzerinde olan etkisi değerlendirilmiştir. Karışım içerisinde yassı tane miktarının artmasıyla karışım performansı doğru orantılı olarak azaldığı görülmüş, yassı tane miktarı karışım performansı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Akbulut, Gürer ve Yıldız (2005); Çalışmalarında iki farklı kayaktan elde edilen agregaları ilk önce fiziksel testlere tabi tutmuşlar, daha sonra mineraloji ve jeoloji yönünden tetkikleri yapmışlardır. Sıcak karışım asfalt yorulma ömürleri ve kristal

boyutları arasında basit regrasyon analizi yapılarak, agrega ve kompozit malzemenin fiziksel özellikleriyle kompozit malzemeyi oluşturan kayaçların kristal boyutları arasında doğrusal-ters orantılı bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

Çelik, Yonar ve Ceylan (2005); Bitümlü Sıcak Karışımların performansına fillerin etkisi konulu çalışmalarında, değişik filler cinslerinin Sıcak asfalt karışımlarının Marshall Stabilitesi ve Dolaylı Çekme Modülüne etkisi incelenmiştir.

Quadis ve Shweily (2005); Bu çalışma, kireçtaşı ve bazalt agregalarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, sıcak karışım asfaltın akma ve şeritlenme davranışı üzerindeki etkilerinin farklı yönlerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Kullanılan agrega türünün etkileri, üç farklı agrega gradasyonu ve SKA'nın hazırlanmasında kullanılmış olan iki farklı asfalt türü üzerinde incelenmiştir. Şeritlenme etkisini incelemek üzere, bu çalışmada, asfaltın statik akma geriliminde, işleme tabii tutulma sebebi ile oluşan yüzde artış kullanılmıştır.

Alataş, Ahmedzade ve Doğan (2006); Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agrega cinsinin kaplamanın fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Elazığ ili Hanpınar ve Karayazı yöresinden temin edilen kireçtaşı, bazalt, incesi kalker-irisi bazalt ve incesi bazalt-irisi kalker karışımlarından meydana gelen dört farklı agrega grubu kullanılmıştır. Çalışmada Marshall stabilite ve indirekt çekme deneyleri yapılmış, agrega cinsinin kaplamanın optimum bitüm oranına ve diğer fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir.

İbrahim, Faisal ve Jamil (2007); Bu araştırmada, normalde kullanılan kireçtaşı agreganın farklı boyutlarının, bazalt ile değiştirilmesi sureti ile bölgede kullanılan asfalt beton karışımlarının özelliklerinin iyileştirilme olasılığı araştırılmıştır. Bu değiştirme işlemi, kireçtaşının tamamen bazalt ile değiştirilmesini, kaba agreganın değiştirilmesini ve ince agreganın değiştirilmesini içermektedir. Elde edilen sonuçlar, optimal karışımın kaba bazalt taşı agregası ve ince kireçtaşı agregası içeren karışım olduğunu ortaya koymuştur.

Akbulut, Çetin, Gürer ve Yıldız (2009); Bu çalışma kapsamında andezitlerin sıcak karışım asfalt kaplamalarda agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla araştırmada andezit ile kireçtaşı agregaları kullanılmıştır. Agrega örnekleri üzerinde elek analizi, özgül ağırlık, birim ağırlık, su emme, Los Angeles aşınma, darbelenme kaybı ve MgSO₄ donma-çözünme dayanıklılık deneyleri, sıcak karışım asfalt deneyi olarak da Marshall Stabilite ve Akma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Andezit kökenli agrega örneğine ait sonuçlar kireçtaşı kökenli agrega örneğiyle karşılaştırılmış ve elde edilen bulgulara göre andezit kökenli agregaların alternatif agrega kaynağı olarak sıcak karışım asfalt kaplamalarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

1.3.2.4. Asfalt Karışımları Konusunda Yapılan Çalışmalar

Ergün, Sütaş ve Öztaş (1996); Çalışmalarında asfalt kaplama bileşenlerinin ve türlerinin yol yüzey özelliklerine etkileri incelenerek yorumlanmıştır. Agrega pürüzlülüğü ve agrega boyutunun asfalt kaplamalar üzerine etkileri detaylı bir şekilde anlatılmış, ince boyuttaki agregaların yol yüzeyinde daha az pürüzlülüğe neden olduğunu anlatmışlardır.

Özen (1999); hazırladığı doktora tezinde, asfalt tabakalarının performanslarının değerlendirilmesinde bazı ülkelerde kullanılan bozulma parametreleri olan; yorulma çatlakları, tekerlek izi veya kalıcı deformasyonlar ayrı ayrı değerlendirilerek, geleneksel ve katkılı karışımlara Marshall dizaynı, dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme, statik sünme, tekrarlı sünme gibi deneyler uygulanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar yardımıyla bitümlü karışım değişkenlerinin karışım performansı üzerine olan etkisi değerlendirilmiş ve hizmet ömrü tahminine yönelik olarak bir model kurulmuştur.

Ergün ve İyınam (2000); Kentiçi yollarda uygun kaplama tipi seçiminde göz önüne alınması gerekli olan parametreleri incelemişlerdir.

Şengöz, Topal ve Tanyel (2000); Bu çalışmada kirecin asfalt karışımları üzerinde etkisini incelemek üzere bazalt kullanılarak soyulma ve Marshall stabilite deneyleri uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Hislop ve Coree (2000); Sıcak karışım asfalt (SKA)'ların stabilden stabil olmayan konfigürasyonlara geçiş yaparken gösterdiği volümetrik durumlar ortaya konmuştur. Çalışmada, karışımın tasarımı aşamasında, tamamen nominal maksimum agrega büyüklüğüne bağlı olarak, minimum boşluk miktarı gerekliliği ile karşılandığı ifade edilmiştir.

Tayfur (2001); hazırladığı doktora tezinde Stone Mastik Asfalt (SMA) kaplamaların, Türkiye'de uygulanabilirliği amacıyla uygun bir karışım araştırması yapılmıştır. Çalışmada uygun bir gradasyon seçilmiş, daha sonra 5 adet farklı özellikte katkı malzemesi kullanılarak hazırlanan karışımlar üzerinde performansa dayalı deneyler yapılmıştır. Çalışmada dünyada yaygın olarak kullanılan stiren-butadiyen-stiren (SBS) elastomer polimeri, poliolefin, polialfaolefin, bitümlü selülozik elyaf ve selülozik elyaf olmak üzere 5 çeşit katkı ile ayrıca bir de katkısız karışım kullanılmıştır. Tüm bu karışımların her birinin önce optimum bitüm miktarı bulunmuştur. Marshall tasarımı için kullanılan deneyler yanında, karışımlar üzerinde dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme, statik sünme, tekrarlı sünme, bitüm süzülme deneti ve tekerlek izinde oturma deneyleri yapılmıştır.

Kuloğlu (2001); Yaptığı bu çalışmada, bitüm ve bitümlü karışımların elastik ve plastik rijitliklerine etki eden parametreler matematik modeller kullanılarak incelemiştir. Bu çalışma ile, bitüm ve bitümlü karışımların gerek elastik, gerekse plastik rijitlikleri üzerinde en önemli parametrenin yumuşama noktası ile sıcaklık arasındaki fark olduğu görülmüş bu nedenle, bitümlü karışımlarda kullanılacak bitüm sınıfının kaplamanın yapıldığı bölgenin en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri dikkate alınarak seçilmesinin kaplamalarda zamanla oluşabilecek bir takım bozulmaların önlenmesi bakımından çok önemli olduğu ortaya konmuştur.

Tanış (2002); Yaptığı çalışma ile standart yükseklikte olmayan asfalt numunelerinin Marshall enerjisine bağlı olarak boşluk oranı ve gradasyon değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, sıkıştırma enerjisi arttığında karışımın boşluk oranı değişiminin büyük ölçüde etkilendiği görülmüştür.

Airey, Collop, Zoorob ve Elliot (2004); Asfalt karışımlar üzerinde eskimenin ve nem hasarının birleşik etkisini değerlendirmek amacıyla agrega ve asfalt karışımları üzerinde SATS testleri yapmışlar, elde edilen sonuçları da, AASHTO T283 prosedürü kullanılarak, aynı karışımlar üzerinde elde edilmiş olan sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Aksoy, Şamlıoğlu, Tayfur ve Özen (2004); Bu araştırmada dört katkı maddesinin (Wetfix I, Lilamin VP 75P, Chemcrete ve kauçuk) asfalt karışımlarının soyulması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Asfalt ve agrega kombinasyonlarına ek maddeler eklemek suretiyle, bu ek maddelerin asfalt döşemenin performansını artırıp arttırmadığı saptanmıştır. Katkı maddesi içermeyen asfalt, bir referans testi olarak kullanılmak üzere aynı prosedürle “karıştırılmıştır”. Her biri 30 numune içeren on bir asfalt grubu hazırlanmış ve test edilmiştir. Böylelikle, ek maddeler içeren 330 numune üzerinde, Marshall Stabilesi ve akış, Marshall Stabilesi oranı, Marshall Stabilesi-akış oranı, dolaylı gerilme gücü ve vakum doygunluğu ve Lottman muameleleri tarafından yöneltilen nem etkileri bakımından mühendislik özelliklerini değerlendiren testler uygulanmıştır.

Pellinen, Song ve Xiaos (2004); Yaptıkları çalışmada, yüksek hava boşluğu içeriğinin (%12-13), karışımların agrega iç kenetlenmesi oluşturmalarını önlediğini ve bu sebeple yarma dirençlerini azalttığını ortaya koymuşlardır.

Öztürk ve Çubuk (2004); Yaptıkları çalışmada Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama karışım tasarım yöntemi incelenmiş ve sistemin Marshall tasarım yöntemi ile karşılaştırması yapılmıştır.

Zheng ve Cong (2004); Bu çalışmada, yol yüzeyi performans testleri yapılmak amacıyla Çin Spesifikasyonlarına göre sırasıyla; BRZ, CRZ, HRZ, ARZ ve AC-16 gradasyonlarına sahip olan altı adet sıcak karışım asfalt karışımı analiz edilmiştir ve gradasyon, sınırlı alan içinden olduğu zaman sıcak asfaltın yol yüzeyi performansının optimal olduğu belirtilmiştir.

Acioğlu (2005); Bu çalışma ile, beton asfalt karışımlarında cam kırığının kullanılabilirliğinin incelenmesi ve asfalt karışımlarında yol güvenliği açısından büyük

önem taşıyan yol yüzeyi görünebilirliği ile sürtünme katsayısı üzerindeki etkisinin araştırılması yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre cam ilavesinin, karışımın mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkilediği, ancak kireç ilavesiyle mekanik özelliklerde bir iyileşme olduğu gözlenmiştir.

Kuloğlu ve Namlı (2005); yaptıkları çalışmada, bitümlü sıcak karışımların tasarımı Superpave Metodu ile gerçekleştirilmiştir. Superpave Metodunun öngördüğü şekilde bitümlü karışım numuneleri hazırlanarak sıkıştırılmış, katkı malzemesinin bu numuneler üzerindeki etkisini görmek için katkılı numuneler de hazırlanarak birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Namlı (2005); Yaptığı bu çalışma ile Marshall ve Superpave Tasarım Metodları'na göre hazırlanmış asfalt beton numunelerinin ekstraksiyonu yani ayırıştırma deneyini ele almış ve asfalt betonu tasarımında eski ve yeni metodların hangisinin daha iyi olduğu konusunda bir tartışma açmıştır. Özellikle Marshall ve Superpave Metodları ile hazırlanan numuneler çeşitli testlerle karşılaştırarak, ekstraksiyonun yani asfalt betonunun ayırıştırılması testinin her iki metoda göre avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur.

Öcal (2005); Yaptığı bu çalışma ile, beton asfalt karışımlarında polyester esaslı, düğme üretiminde atık malzeme olarak ortaya çıkan termosetting atıkların kullanılabilirliğinin incelenmesi ve asfalt karışımlarının Marshall stabilitesi ile Dolaylı Çekme Mukavemeti üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu konuda yapılan farklı bir çalışma sonuçlarına göre termosetting malzemenin, karışımın mekanik özelliklerini düşük sıcaklıklarda katkı oranının artmasıyla asfalt stabilitesinin arttığı, yüksek sıcaklıklarda ise asfalt stabilitesinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Namlı ve Kuloğlu (2006); Bu çalışmada farklı tasarım yöntemleri ile hazırlanmış sıcak karışım asfalt numunelerinin rijitliği deneysel olarak incelenmiştir. Numuneler hem Marshall hem de Superpave yöntemlerine uygun olarak sıkıştırılmıştır. Daha sonra numunelerin rijitliğini bulmak için “Üniversal Test Makinası” kullanılmış ve “ardışık 5 yüklemeli rijitlik testi” uygulanmıştır. Elde edilen rijitlik değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlardan, Marshall Yöntemi ile hazırlanan

numunelerin, Superpave Yöntemi ile hazırlanan numunelerden daha rijit olduğu görülmüştür.

Yıldız ve Gökdemir (2008); Bu çalışmada asfalt betonu aşınma tabakası karışım dizaynını optimize etmek amacıyla yapılan Marshall dizayn metodunu inceleyerek, bu metotla daha önce yapılmış çalışmaların verileri ve laboratuarda yapılmış olunan Marshall dizaynı deney verilerine, SPSS 11.0 paket programı kullanılarak regrasyon analizi yapılmıştır. Optimum bitüm muhtevasının belirlenmesi için model denklemleri oluşturulmuş ve elde edilen model denklemleri üzerinden optimum bitüm muhtevası belirlenmeye çalışılmıştır. Model denklemleri üzerinden elde edilen sonuçlar Marshall deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda optimum bitüm yüzdelerinde değişik oranlarda artma ve azalmalar görülmüştür. Bu değişiklikler her ne kadar küçük değerlerde de olsa asfalt betonu aşınma tabakasının fiziksel özelliklerini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir.

1.3.2.5. Bitüm - Agrega Konusunda Yapılan Çalışmalar

Curtis (2002); yaptığı çalışmada, asfalt yol yüzeyleri içindeki asfalt agregası etkileşimlerinin, asfaltın agregaya yapışmasını doğrudan etkilediğini ve bunların arasındaki bağın kuvvetini belirlediğini ifade ederek, asfalt-agrega ara yüzünde ortaya çıkan fizyokimyasal olguyu ve aradaki asfalt katmanının, asfalt-agrega bağı üzerindeki etkisini de incelemiştir. Ayrıca farklı asfalt-agrega çiftlerinin ve bunların suya olan duyarlılığını değerlendiren bir test geliştirmiştir.

Icar (2002); yaptığı çalışmada agregaların mikro seviyede fiziksel ve kimyasal özellikleri, bitüm ve agregası arasındaki yapıştırıcı bağı (güç ve dayanıklılık) ciddi oranda etkilediğini belirterek, bitüm ve agregalar için çeşitli yöntemlere elde edilen yüzey enerjisi komponentleri kullanılarak hesaplanan bitüm ile bu agregaların arasındaki teorik yapışma çalışmasının karşılaştırmasını sunmuştur.

Kuloğlu (2002); Bu çalışmada, asfaltlı karışımlar içerisindeki asfalt muhtevasını etkileyen önemli bir faktörün karışımdaki agregası gradasyonu olduğu ortaya koymuştur.

Özgan ve Yıldız (2003); yaptığı çalışma ile trafik yükleri altında minimum deformasyon yapacak, içerisinde rutubet ve fazla hava boşluğu bulundurmayacak, rahatça işlenebilir ve ekonomik bir sıcak karışım oluşturmak için optimum bitümün belirlenmesinin ilk amaç olduğunu ortaya koymuş ve asfalt betonunda bitüm yüzdesi arttıkça stabilitenin optimum bitüm yüzdesi seviyesine kadar arttığı ancak bu değerden sonra stabilitenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Orhan ve Yalçın (2004); yaptıkları çalışmalarında Agregat ve Bitüm cinsi değişiminin bitümlü sıcak karışımların performansına etkisi ele alınmış, bazalt ve kireçtaşı olmak üzere iki farklı cins agregat ile, normal bitüm ve polimer modifiye bitüm kullanılarak, aşınma tabakası karışımlarından, optimum bitümün üzerinde ve optimum bitümün altında değişik bitüm yüzdelerinde, hazırlanan numunelerin Marshall Stabiliteleri ile İndirekt Çekme Mukavemetleri ve Trafik Simulatör cihazı ile belirlenen Tekerlek İzinde Oturma miktarları bulunmuştur.

Sayın ve Yıldırım (2005); Asfalt betonu kaplamaların farklı sıcaklıklarda dayanımı konulu çalışmasında asfalt çimentosu olarak AC 75 – 100, agregat olarak ise bazalt kullanılarak Marshall numuneleri hazırlanmış ve optimum bitüm oranı tespit edilmiştir. Bu işlemlerden sonra numuneler farklı sıcaklıklarda (-10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C) 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda basınç dayanımı deneyine tabi tutularak asfalt betonunun farklı sıcaklıklardaki gerilme ve birim şekil değiştirme ilişkisini incelenmiştir.

Bagampadde, Isacsson ve Kigundu (2006); Bu çalışmada, bitüm ve agregat karışımının, tekerlek izi üzerindeki etkisi, dört bitüm ve dört agregat kullanılarak araştırılmıştır.

1.3.2.6. Bitüm Konusunda Yapılan Çalışmalar

Aksoy (2004); Bitümün yaşlanması konusunda yaptığı bu çalışma ile bitümlü karışımlarda bağlayıcının sertleşmesine bağlı olarak ortaya çıkan kırılma mekanizmasını, konuyla ilgili güncel test tekniklerini, kullanılan katkıların yaşlanmaya etkilerini incelemiştir.

Özgan ve Kap (2005); Bu çalışmada, asfalt çimentosunun duktulite değerleri bekleme süresi ve ortam sıcaklığı değişkenlerine göre incelenmiştir. Bu amaçla, farklı bekleme süreleri ve farklı sıcaklıklarda elde edilen duktulite değerleri ile referans duktulite değerleri karşılaştırılarak aralarındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Şengöz ve Ağar (2005); Bu çalışma ile, bitümlü karışımlarda yaşlanma üzerinde asfalt film kalınlığının etkisini incelemek üzere kısa (135°C, 4 saat) ve uzun dönem (85°C, 120 saat) yaşlandırılmış numuneler üzerine esneklik modülü deneyi uygulanmıştır. Çalışmada yaşlanma, asfalt film kalınlığı ile birlikte hava boşluk oranına bağlı olarak esneklik modülünün değişimi açısından incelenmiştir.

Şengöz ve Ağar (2006); yaptıkları çalışmada, modifiye Lottman Testini (AASHTO T 283) Sıcak Uygulamalı Asfalt Superpave Döner Sıkıştırma yöntemiyle sıkıştırılmış ve farklı asfalt film kalınlıkları içeren numuneler üzerinde, optimum asfalt film kalınlığını elde etmek amacıyla uygulamış, bu yöntemle, asfalt film kalınlığı ve sıcak uygulamalı asfaltın nem duyarlılığı arasındaki ilişki belirlenmiştir.

Kök ve Kuloğlu (2007); Çalışmalarında, dört farklı test ile farklı penetrasyon derecesine sahip olan bağlayıcıların, sıcak karışım asfaltın özellikleri üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Test örnekleri AC-5, AC-10, AC-20 ve SBS ile modifiye edilmiş AC-10 kullanılarak hazırlanmıştır. Eğilmezlik katsayısı, sürünme eğilmezliği, muhafaza edilen gerilme kuvveti ve Marshall stabilite testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, farklı penetrasyon derecesine sahip asfalt ile hazırlanmış olan türleri tetkik etmek ve farklı penetrasyon derecesine sahip olan bağlayıcının farklı testlerde aynı etkiye sahip olup olmadığını belirlemektir. Tüm testlerde, modifiye edilmiş AC-10 bağlayıcı ile hazırlanmış olan karışımlar, diğerlerine kıyasla en iyi performansı sergilemiştir. Farklı penetrasyon derecesine sahip asfalt ile hazırlanmış olan türler, diğer testler arasında farklı performans sergilemiştir.

Kuloğlu, Yılmaz ve Kök (2008); yaptıkları çalışmada, TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen dört farklı penetrasyon sınıfında asfalt çimentolarının (B 50/70, B 70/100, B 100/150 ve B 160/220) Superpave sistemine göre tekerlek izi dayanımları ve yüksek sıcaklık performans seviyesi değerleri dinamik kayma reometresi (DSR) ile

belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca işlenebilirliklerini tespit etmek amacıyla dönel viskozimetre (RV) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bağlayıcıların penetrasyonları arttıkça viskozitelerinin ve tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, geleneksel yöntemde olduğu gibi bağlayıcıları sabit sıcaklıkta belirlenen penetrasyon değerlerine göre sınıflandırma ile Superpave sisteminde olduğu gibi uygulama bölgesi iklim şartlarındaki performanslarına göre sınıflandırma arasında fark olduğu tespit edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Araştırma kapsamında arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları yapılmıştır. Yapılan araştırmalar ile ilgili detay bilgiler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

2.1. BÜRO ÇALIŞMALARI

2008 yılından itibaren agrega ocaklarının bulunduğu bölgeler ve araştırma konusu ile ilgili literatür araştırmalarına başlanmıştır. Büro çalışmalarına daha sonra arazi, laboratuvar ve önceki çalışmalarından elde edilen verilerin ilgili standartlara ve sınıflamalara uygun olarak değerlendirilmesiyle devam edilmiştir. Yapılan tüm değerlendirmelere göre, farklı agregaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan asfalt karışımlarının özellikleri karşılaştırılmıştır.

2.2. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmalarına öncelikle agrega ocaklarının araştırılması ile başlanmıştır. 2008 yılı Ekim ayı başından 2009 yılı Temmuz ayına kadar Tekirdağ (Çorlu), İstanbul (Cebeci), Kocaeli (Gebze) ve Balıkesir (Erdek) illerindeki agrega ocaklarında saha çalışmaları sürdürülmüştür. Öncelikle, her bir ocak için örnekleme yerlerini kapsayan jeolojik haritalar hazırlanmıştır. Bu çalışmalar sırasında, üretimin yapıldığı aynalardan ve kırma-eleme tesislerinden olmak üzere başlıca iki grup örnekleme yapılmıştır. Örnekleme TS EN 932-1 (1997) standardı esas alınarak yapılmıştır.

2.3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Alınan agrega numuneleri üzerinde ince kesitler hazırlanmış ve bunlar polarizan mikroskopu ile incelenmiştir. Mineral bileşimi, dokusu, matriksi, mineral boyutu, opak minerallerin varlığı, boşluk miktarı ve özellikleri ile ayrışmaya uğramış minerallerin varlığı ve oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Petrografi laboratuvarında yapılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında standartlara uygun olarak alınan temsili örnekler üzerinde yapılacak ayrıntılı agrega araştırmaları için laboratuvarında standartlara uygun numuneler hazırlanmıştır. Kırma eleme tesisi bulunan ocaklardan kırılmış ve elenmiş agrega numuneleri alınmıştır. Ancak kırma eleme tesisi bulunmayan ocaklardan ise büyük ebatlarda numuneler alınmış, bu numuneler laboratuvar tipi kırıcılarda kırılarak agrega elde edilmiştir.

Daha sonra laboratuvar ortamına getirilen agregaların öncelikle KGM Teknik Şartnamesinde (KGM, 2006) bitümlü temel tabakası, binder tabakası ve aşınma tabakası için verilen gradasyon limitlerine uygunluğu araştırılmıştır.

İri agregalara ait, parçalanma direnci, yassılık endeksi, tane yoğunluğu, su emme oranı, soyulma mukavemeti ve magnezyum sülfat değeri belirlenmiştir. İnce agregalara ait ise, tane yoğunluğu, su emme oranı ve plastisite endeksi belirlenmiştir. Bunların dışında asfalt karışımları için kullanılması şartlara bağlı olan mineral filler için ise, 0.425 mm ve 0.075 mm.den geçen miktarlar belirlenmiştir.

Yapılan agrega deneylerinden sonra, agrega gruplarından asfalt karışım dizaynları hazırlanmış olup, bu dizaynların da uygunluğunun tespiti için, KGM Şartnamesi (KGM, 2006) Tablo 407-6 'da belirtilen, 75 adet darbe sayısına göre, Marshall stabilitesi, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesi, akma miktarı, filler/bitüm oranı ve ağırlıkça bitüm yüzdesi tespit edilmiştir.

Bunların da dışında asfalt karışımının performansını tespit etmek amacıyla da tekerlek izi testinde en düşük oturma değerini veren asfalt karışımına dolaylı çekme mukavemeti, statik sünme mukavemeti, tekrarlı sünme mukavemeti ve tekerlek izinde oturma testleri yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen tüm deneyler, İSFALT A.Ş. laboratuvarlarında yapılmıştır.

3. BULGULAR

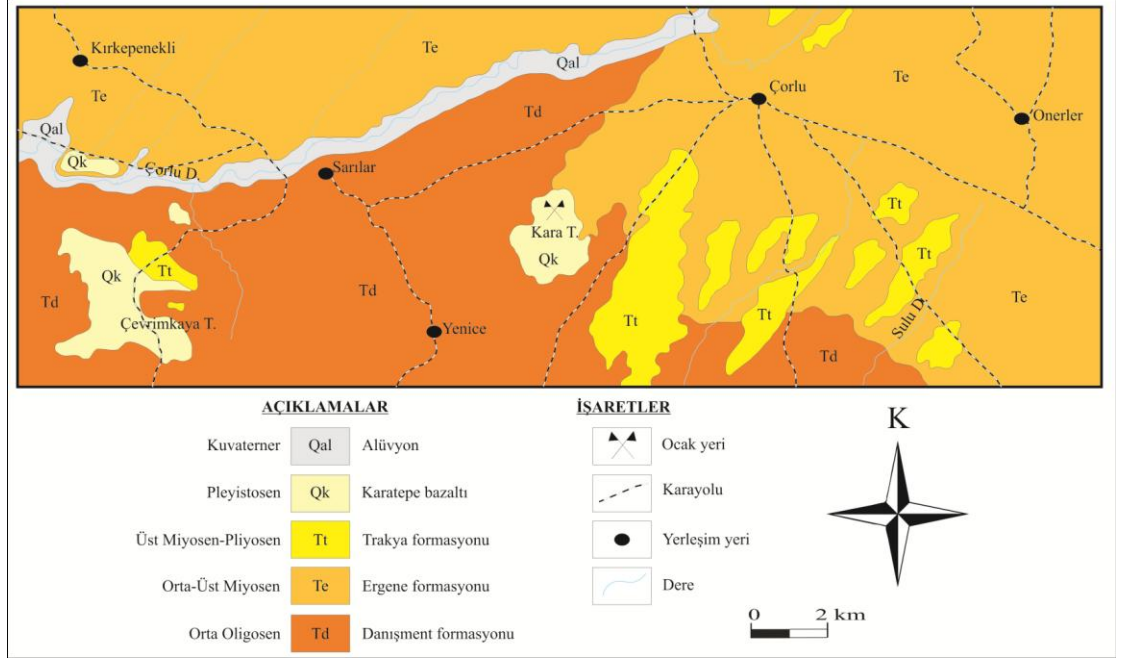
3.1. OCAK YERLERİNİN JEOLojİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma Marmara Bölgesi'nin dört farklı yerinden derlenen örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.1). Tekirdağ-Çorlu Bölgesi, İstanbul-Cebeci Bölgesi, Kocaeli-Gebze Bölgesi ve Balıkesir-Erdek Bölgesinden oluşan inceleme alanlarında bölgesel anlamda farklı jeolojik kökenlere sahip kayalar bulunmaktadır. Bundan dolayı, bu bölümde çalışma alanlarının jeolojilerine ayrı ayrı değinilecektir.

3.1.1. Trakya – Çorlu Bölgesi

Araştırmalarda kullanılan bazalt örneklerinin alındığı ocak Tekirdağ ile İstanbul arasında, Çorlu'nun güneybatısındaki Karatepe bölgesinde bulunmaktadır. Bölgedeki en yaşlı birim Danişment formasyonudur. Formasyon ilk olarak De Boer (1954) tarafından adlandırılmış olup; sarı, kahve, gri renkli, orta-kalın ve belirgin tabakalanmalı, kumtaşı, silttaşı ve kiltası ardalanmasından oluşmaktadır. Birim, linyit seviyelerinin yanında yer yer de tuf seviyeleri içermektedir. Formasyon, delta ve delta düzlüğü çökellerinden oluşmakta (De Boer, 1954; Umut, 1988; Duman, 2004) ve Orta Oligosen yaşındadır (Umut, vd.,1983). Danişment Formasyonu'nun üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı beyaz sarımsı renkli, çapraz katmanlı, kil ve çakıl mercekli, gevşek tutturulmuş kumtaşı, kiltası ve silttaşından oluşan Ergene Formasyonu uyumsuz olarak çökelmiştir (Umut, 1988). Formasyonu oluşturan çakıltaşları örgülü akarsu ortamını, kumtaşları menderesli akarsu ortamını, silttaşları ise taşkın ovası çökellerinden oluşan ortamı karakterize etmektedir (Umut vd., 1983; Duman ve diğ., 2004). Kırmızı, sarı, kahve, beyaz renkli çakıl, kum, kil ve çamurtaşından oluşan Trakya formasyonu, Hochstetter (1870) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon içerisinde bol miktarda ağaç kalıntıları bulunmaktadır. Çakıllar genellikle kuvars, kuvarsit ve gnaystir. Yer yer volkanik çakılları da içeren birim, Istranca masifinden beslenmiş genç alüvyon yelpazesi görünümündedir. Ergene formasyonu ile geçişli olan birimin yaşının Üst Miyosen-Pliyosen olduğu düşünülmektedir. (Umut vd., 1983). Karatepe bazaltı; koyu gri, siyah ve kahve renkli olup, Umut vd. (1983) tarafından adlandırılmıştır. Sütun ve akma yapısı gösteren bazaltlar yer yer gözeneklidir. Birimin Trakya formasyonunu kesmesi nedeni ile Pleyistosen yaşlı olduğu kabul edilmektedir (Umut vd., 1983). Çalışma alanında

bulunan alüvyonlar akarsu vadilerinde ve düzlüklerde oluşan çakıl, kum, kil ve siltten oluşmaktadır ve daha yaşlı birimleri örter niteliktedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Bazalt örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası (Umut, 1988 ‘den basitleştirilerek).

Çalışma kapsamında kullanılan bazalt örnekleri Karatepe bazaltlarından alınmıştır. Bölgedeki bazaltlar dağınık küçük volkan bacaları şeklinde olup, olivin-ojit-bazalt olarak adlandırılmıştır (Umut, 1988). Genelde taze kesimleri koyu gri, siyah ve kahverenkli renkli, ayrılmış kesimleri çok yumuşak kolay parçalanabilen kahverengimsi sarı ve açık renklidir. Bazaltlar ince beyaz kılcal damarlar içeren, masif, kompakt ve yoğun, yer yer gözenekli (gaz boşluklu) bir yapıya sahiptir ve üst seviyelerde ayrışma ürünleri yaygın, derinlerden alınan örneklerde ise azalmaktadır (Şekil 3.2).

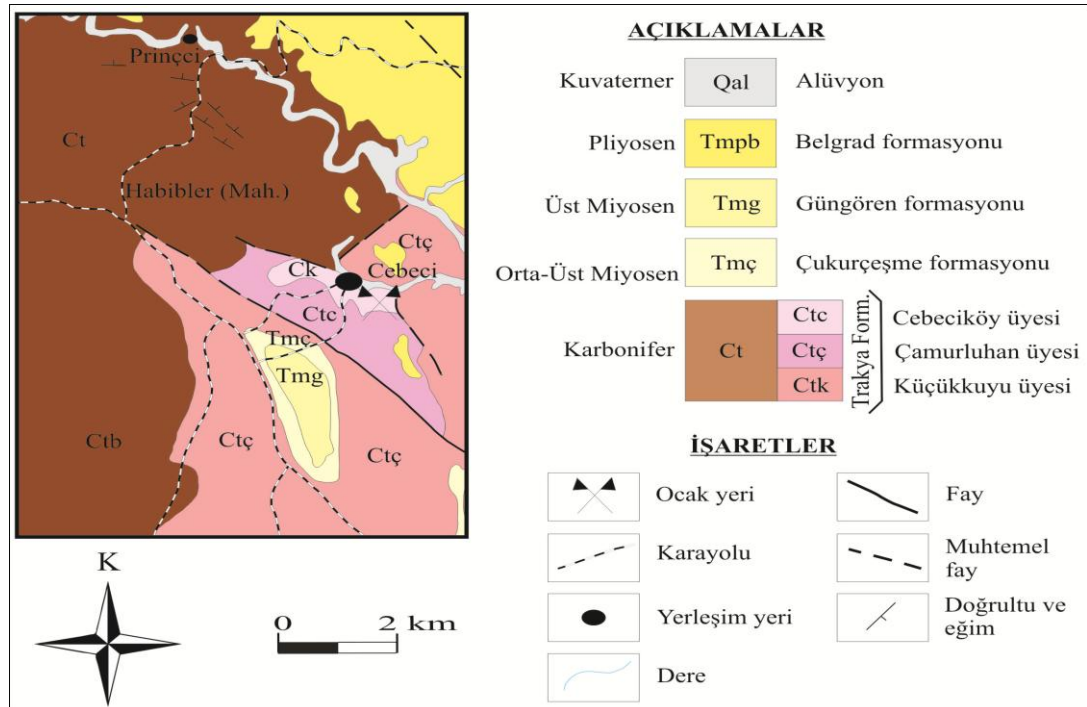


Şekil 3.2: Bazalt örneklerinin alındığı taş ocağının genel görünümü.

3.1.2. İstanbul – Cebeci Bölgesi

Araştırmalarda kullanılan kumtaşı örneklerinin alındığı ocak İstanbul Avrupa yakasında, Cebeciköy ve Habipler dolayında yer almaktadır. Bu bölgenin en yaşlı birimi Trakya formasyonu olup, ilk olarak Tchihatchef (1864) tarafından özellikle İstanbul Boğazı'nın batısında ayırt edilmiştir. Trakya formasyonu, gri-koyu gri renkli, ince tabakalı, sert, bol eklemli ve bitki izli silisli şeyl; üzerinde, taze yüzey sarımsı gri, mavimsi gri, ayrışma yüzeyi kirli sarı renkli, orta-kalın tabakalı, oldukça ayrışmış mikali kumtaşları ve en üstte de birimin ana istifini oluşturan, taze yüzeyi mavimsi gri, ayrışma yüzeyi kirli sarı renkli; laminalı ve ince tabakalı, ince taneli, sert, yer yer kireçli ve kireçtaşı mercekli miltaşı ve ince taneli kumtaşı ara seviyeli şeylerden oluşmaktadır (Yurtsever ve Çağlayan, 2002). Trakya formasyonu altı üyeden oluşmaktadır (Kaya, 1971; Pehlivan, 1990). Bunlar alttan üste doğru, a) şeyl, silisli şeyl, kilitaşı, litik grovak ile mercekli kireçtaşlarından oluşan Acıbadem Üyesi; b) beyaz, gri, sarı ve açık kahve renkli çakıltaşlarından oluşan Balıklıhavuz Çakıltaşı Üyesi; c) şeyl ve grovak araldanmasından oluşan ve Trakya formasyonunun önemli bir bölümünü oluşturan Küçükkuşu Kumtaşı Üyesi; d) konglomera ve kumtaşı ara katkılı, kireçtaşı mercekli şeyl, çakıllı şeyl ve grovak-şeyl araldanmasından oluşan Çamurluhan Şeyl Üyesi; e) başlıca kireçtaşı ile az miktarda killi kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve ikincil dolomit ile çörtlerden oluşan Cebeciköy Kireçtaşı Üyesi; f) başlıca grovak ve silisli şeylden oluşan

Gümüşdere Silisli Şeyl-Grovak Üyesidir (Yurtsever ve Çağlayan, 2002). Altta kısmen transgressif, üstte ise, regressif karakterdeki birim, neritik kuşağa bağlı batiyal ortamda çökelmiştir (Kaya, 1971). Trakya formasyonu üzerinde daha önce yapılan çalışmalara göre, birimin yaşı Karbonifer olarak belirlenmiştir (Abdüsselamoğlu, 1963; Kaya, 1971; Baykal ve Kaya, 1963; Haas, 1968). Trakya formasyonu üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı sarı, gri ve kirli beyaz renkli, tutturulmamış veya az tutturulmuş, yer yer çapraz tabakalı, ince-orta taneli, orta-iyi boylanmalı, yer yer siltli ve kil bantlı kum ve çakıllardan oluşan Çukurçeşme Formasyonu aşılal diskordans olarak gelmektedir (Yurtsever ve Çağlayan, 2002). Formasyon, göl ortamına gelen akarsu ve delta ortamı ürünlerden oluşmakta ve dereceli olarak göl ortamına geçmektedir (Yurtsever ve Çağlayan, 2002). Çukurçeşme formasyonu üzerine Üst Miyosen yaşlı Güngören formasyonu dereceli geçişli olarak gelmektedir (Arıç, 1955). Güngören formasyonu genellikle yeşil renkli, üst seviyelerinde kirli beyaz renkli maktralı kireçtaşı ara seviyeli, kil ve marnlardan oluşmaktadır (Arıç, 1955; Sayar, 1976). Birim, karadan kaba malzemenin kıt olarak geldiği göl ortamında çökelmiştir (Yurtsever ve Çağlayan, 2002), (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Kumtaşı örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası (Yurtsever ve Çağlayan, 2002).

Çalışma kapsamında kullanılan kumtaşı örnekleri Trakya formasyonuna bağlı Küçükkuşu kumtaşı üyesinden alınmıştır. Küçükkuşu kumtaşları Kaya (1971) tarafından adlandırılmıştır. Trakya formasyonu içerisinde yüksek kumtaşı oranıyla ayırt edilen birimin taban kesimlerinde kireçtaşı bantları ve değişik oranlarda bitki kalıntıları bulunmaktadır. Grimsi siyah renkli, ince taneli, kalın tabakalanma gösteren, tabaka kalınlığı (5-6 cm) ve kırılma yüzeyleri düzgün olan kayalardan oluşan kumtaşlarının daha iri taneli olanları (1-2 mm), yeşilimsi-gri renkli ve bileşenleri gözle ayırt edilebilmektedir. Kalsit, mika minerallerinin kristalleri parlak ve düzgün yüzeyli gözlenmektedir. Kayaca yeşil rengini veren klorit mineralidir. Kırık ve çatlaklar iri taneli kalsit mineralleriyle dolmuş olarak görünmektedir (Şekil 3.4).



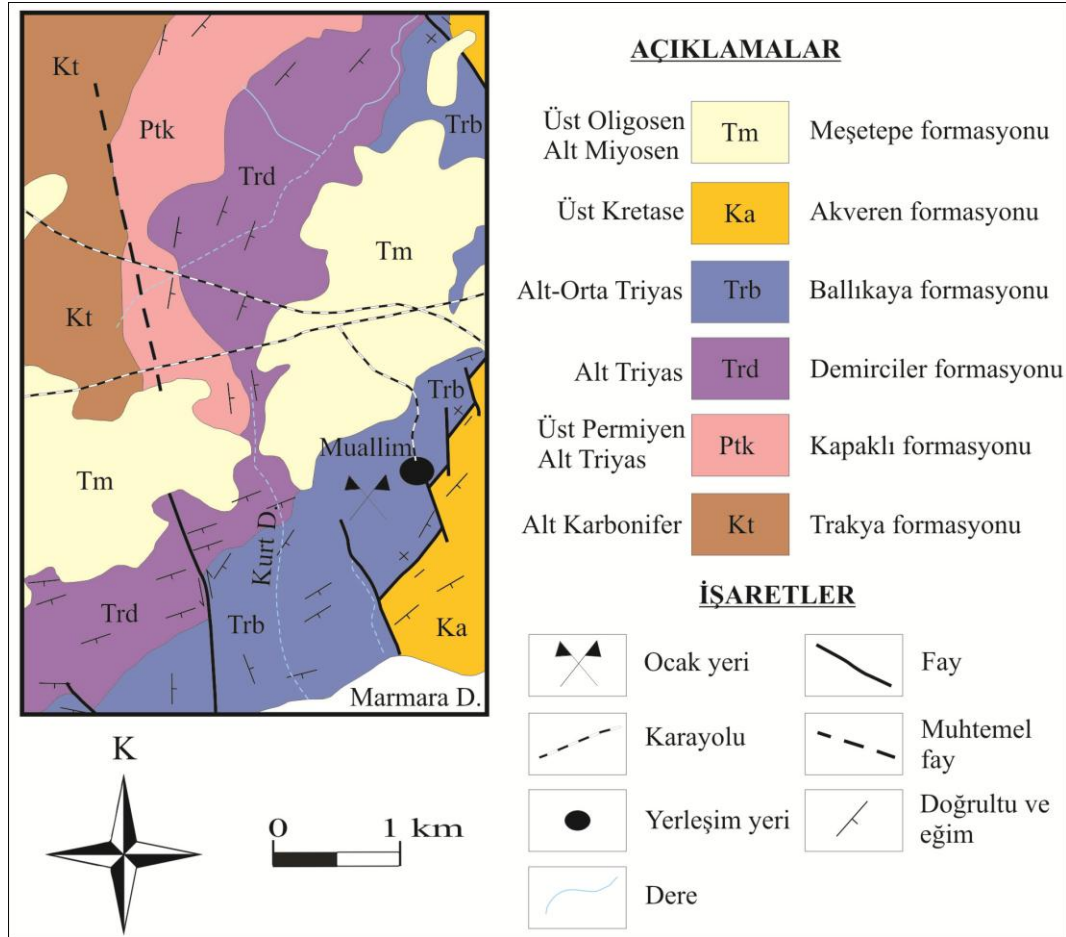
Şekil 3.4: Kumtaşı örneklerinin alındığı taşocağının genel görünümü.

3.1.3. Kocaeli – Gebze Bölgesi

Araştırmalarda kullanılan kireçtaşı örneklerinin alındığı ocak İstanbul Anadolu yakasında, Gebze dolayında yer almaktadır. Bu bölgenin en yaşlı birimi Trakya formasyonu olup, ilk olarak Penck (1919) tarafından “Trakya Serisi” olarak adlanmıştır. Formasyon genelde kumtaşı şeyl-ardalanmasından oluşmaktadır. Kumtaşları çoğunlukla orta-kalın tabakalı olup, grimsi ve yeşilimsi kahverenkli. Birimin alt düzeylerinde gri

renkli ince tabakalı, çört bantlı kireçtaşı-şeyl ardalanması biçimindedir (Gedik vd., 2005). Trakya formasyonunun alt kesimleri türbiditlerin geliştiği derince bir denizde, üst kesimleri ise, daha sığ çökel alanlarda oluşmuştur (Önal, 1982). Daha önce yapılan çalışmalarda formasyonun yaşı Alt Karbonifer olarak kabul edilmiştir (Baykal, 1963; Kaya, 1971; Gedik vd., 2005). Trakya formasyonunun üzerine Üst Permiyen-Alt Triyas yaşlı Kapaklı Formasyonu aşıl uyumsuz olarak gelmektedir (Dağ, 1978; Yergök vd., 1989; Gedik ve Aksay, 2002a-b, Timur ve Aksay, 2002; Akbaş vd., 2002). Birim, genelde koyu kırmızı, kahverengi ve gri renkli, kötü boylanmalı, ince-kalın ve çapraz tabakalı çakıltası, çakıllı kaba kumtaşı, kırmızı-pembe renkli, kaya kırıntılı, mikali kumtaşı ve mikali çamurtaşı-şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Çakıllar genellikle iyi yuvarlaklaşmış, silisli şeyl, gri renkli kireçtaşı, radyolarit ve kuvarsitler ile temsil edilmektedir (Gedik vd., 2005). Kapaklı formasyonu daha önceki çalışmalara göre akarsularla taşınmış ve sahile yakın alanlarda çökelmiştir (Soytürk, 1968; Önal, 1982). Kapaklı formasyonu üzerine Alt Triyas yaşlı Demirciler formasyonu dereceli geçişli olarak bulunmaktadır (Özdemir vd., 1973; Dağ, 1978; Gedik vd., 2005). Gri, koyu gri ve siyah renkli, ince-orta tabakalı, killi, mikritik kireçtaşı ile yeşilimsi gri, boz renkli, ince tabakalı silttaşı, şeyl ve az oranda kumtaşı ardalanmasından oluşan birim sığ-derin deniz ortamını karakterize etmektedir (Altın, 1968; Özdemir vd., 1973; Yurtsever, 1982; Gedik vd., 2005). Demirciler formasyonu üzerine Alt-Orta Triyas yaşlı Ballıkaya formasyonu dereceli geçişli olarak bulunmaktadır (Özdemir vd., 1973; Dağ, 1978; Gedik vd., 2005). Formasyon genelde gri, koyu gri ve siyah renkli, ince-kalın tabakalı dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Özdemir vd., 1973; Yurtsever, 1982; Gedik vd., 2005). Ballıkaya formasyonu üzerine Üst Kretase yaşlı Akveren formasyonu uyumsuz olarak bulunmaktadır (Dizer, 1971; Dizer ve Meriç, 1972; Gedik ve Korkmaz, 1984; Özer vd., 1990). Formasyon beyaz, bej, boz ve mavimsi renkli, ince-orta tabakalı, mikritik ve killi kireçtaşı, kalkarenit, marn ve yeşilimsi gri-yeşil renkli şeyllerden oluşmaktadır (Gedik vd., 2005). Ballıkaya formasyonu üzerine Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Meşetepe formasyonu aşıl uyumsuz olarak çökelmiştir (Gedik, 2005). Birim, yeşil, yeşilimsi gri ve kirli beyaz renkli, ince tabakalı, kömürlü şeyl, marn, silttaşı ve kiltası ile mercekler halinde bulunan beyaz, kızılımsı kahverengi ve yer yer kırmızı-pembe renkli çapraz tabakalı, az tutturulmuş kuvars kumtaşı ve kötü boylanmalı, yuvarlak-yarı yuvarlak çakıllar içeren

çakıltaşından oluşmaktadır. Karasal ve gölsel ortamların değişik fasiyeslerinden oluşmuş bir çökel topluluğu olarak nitelenmiştir (Önalın, 1982), (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Kireçtaşı örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası.

Çalışma kapsamında kullanılan kireçtaşı örnekleri Ballıkaya formasyonundan alınmıştır. Ballıkaya formasyonu Yurtsever (1982) tarafından adlandırılmıştır. Birim gri, koyu gri, mavimsi ve siyahımsı renkli kireçtaşı, yer yer dolomitik kireçtaşı ve az oranda kumtaşı araldanmasından oluşmaktadır. Çok sert ve dayanımlı olup, kırılma yüzeyi parlaktır. İnceleme alanında kireçtaşları içerisinde yüzeysel suların oluşturduğu erime yapıları bulunmaktadır. Oluşan çatlaklarda kalsit damarları ve yer yer kil dolguları gelişmiştir. Tabakalanmalar tabanda ince-orta kalınlıkta olup, üstlere doğru kalın-çok kalındır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Kireçtaşı örneklerinin alındığı taşocağının genel görünümü.

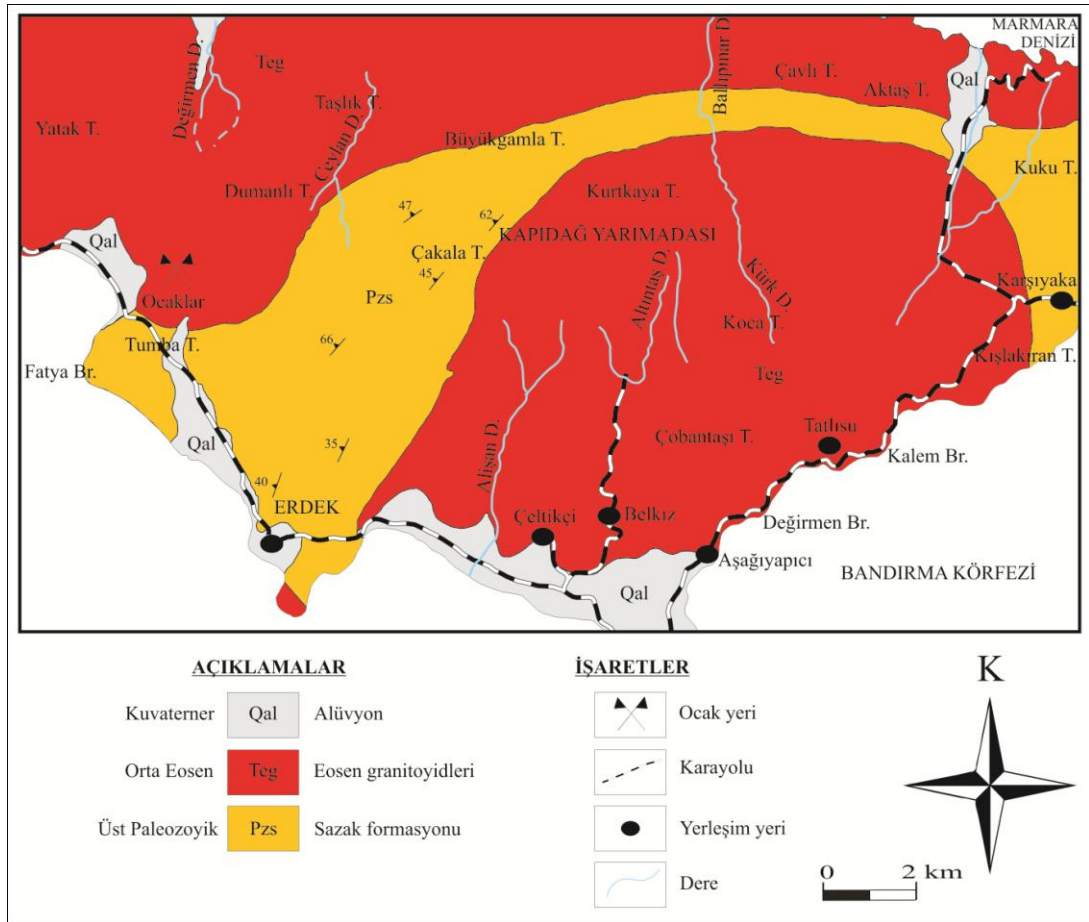
3.1.4. Balıkesir – Erdek Bölgesi

Araştırmalarda kullanılan granit örneklerinin alındığı ocak Balıkesir'in kuzeyinde Kapıdağ Yarımadasında bulunmaktadır. Bu alanın en yaşlı birimi Sazak formasyonu olup, ilk kez Okay (1988) tarafından üye olarak adlandırmış, daha sonraki çalışmalarda ise, Duru vd. (2007) tarafından formasyon olarak adlandırılmıştır.

Sazak formasyonu yeşil renkli, ince taneli, iyi foliasyonlu, düşük dereceli yeşilşist metamorfizmasından etkilenmiş bazik metatüf, fillat, şist ve mermer ar dalanmasından oluşmaktadır. Birimin içerisinde bulunan mermerler beyaz renkli ve ince taneli olup istif içerisinde bantlar şeklinde veya mercek ve bloklardan oluşmaktadır. Birimin yaşı yapılan çalışmalarda Üst Paleozoyik olarak belirlenmiştir (Akçay vd., 2008).

Kapıdağ Yarımadası'nın büyük bölümünde Orta Eosen yaşlı granitoyitler Sazak formasyonunu keserek geniş bir yayılım göstermişlerdir (Gözler vd., 1984; Delaloye ve Bingöl, 2000), (Şekil 3.7). Eosen granitoyitleri adı altında toplanan bu kayaçlar granit, granodiyorit, tonalit, kuvarsdiyorit ve monzonitlerden oluşmaktadır (Akçay vd., 2008, Gözler vd. (1984),

Akçay vd., 2008' e göre Kapıdağ Yarımadası'nın doğu kısmındaki kayaçların ince-orta taneli amfibollü, biyotitli granodiyorit, diyorit ve kuvars diyorit karakterinde olduklarını, batı kısmındaki kayaçların ise, orta-iri taneli hipersten, amfibol ve biyotitli granodiyorit, kuvars diyorit, tonalit karakterinde olduklarını belirtmişlerdir. Kapıdağ Yarımadası'nın tüm birimlerini örter nitelikte bulunan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar nehir yataklarında ve deltalar boyunca depolanan kırmızımsı renkte çakıl, kum, kil ve silt karışımından oluşmaktadır (Akçay vd., 2008).



Şekil 3.7: Granit örneklerinin alındığı bölgenin jeoloji haritası.

Çalışma kapsamında kullanılan granit örnekleri Eosen granitoidlerinden alınmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Granit örneklerinin alındığı taş ocağı.

3.2. ASFALT ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

Sıcak asfalt karışımlarının yaklaşık olarak ağırlıkça % 95'lik, hacimce ise % 85'lik bölümünü agregalar, kalan kısmını ise bitüm oluşturmaktadır (Tunç, 2004). Son yıllarda asfalt karışımları içine bu iki hammadde dışında kimyasal katkıları da eklenmektedir. Bu araştırmada katkı kullanılmamış, sadece agrega ve bitümden oluşan asfalt karışımları çalışılmıştır. Deneme karışımlarında kullanılan agregaların etkilerini saptamak amacıyla karışımların tümünde tek tip bitüm (50/70 penetrasyon) kullanılmıştır.

Agregalar, taş ocaklarında bulunan kırma-eleme tesislerinde elde edilmektedir. Asfalt kaplama karışımlarının içerisindeki agregaların ana görevi, bir iskelet oluşturarak yol üzerindeki trafik yükünü taşımaktır (Umar ve Ağar, 1991).

Bitümlü karışımlarda kullanılacak agreganın, kökeni ne olursa olsun, her kaplama tipi için KGM Teknik Şartnamesi (2006)' da verilen Tablo 3.1' de bulunan tablodaki fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Aranılan bütün koşulları sağlayan bir agrega karayolu üst yapısında kullanılabilir. Agregalar; temiz, pürüzlü, sağlam ve dayanıklı

danelerden oluşmalıdır. İçerisinde yumuşak - dayanıksız parçalar, kil, organik ve diğer zararlı maddeler serbest veya agrega danelerini sarmış halde bulunmamalıdır.

BS 3690: Bölüm 1 (1989) 'a göre bitüm, “Temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloroetilen içerisinde çözünebilen, uçucu olmayan ve ısıtıldığında gittikçe yumuşayan , vizkoz bir sıvı veya katı bir maddedir. Rengi siyah veya kahverengi olup su geçirmez ve yapışkandır (adezyon özelliği). Petrolün rafinaj işlemi sırasında elde edildiği gibi doğal bir birikinti olarak veya içerisinde mineral maddelerle birlikte doğal bir şekilde ortaya çıkmış asfaltın bir bileşiği olarak ta bulunabilmektedir” şeklinde tanımlamaktadır. Sıcak asfalt karışımlarında kullanılan diğer hammadde olan bitüm, kullanım yüzdesi, asfalt betonunun fiziksel karakteristikleri ve kaplamanın uzun ömürlü olması açısından önemlidir. Gereğinden fazla bitüm sıcak asfalt karışımlarında stabilite problemlerine neden olurken, gereğinden az bitüm de asfalt betonunun durabilitesini düşürmektedir (Al, 1996).

3.2.1. Deneme Asfalt Üretiminde Kullanılan Agregalara Ait Özellikler

Sıcak asfalt karışımlarında kullanılacak agregaların, kalitelerini belirleyen özellikler; aşınma dayanımı, soyulma mukavemeti (bitümün agregaya yapışma özelliği), donma direnci ve yassılık endeksidir. Bu değerler KGM Teknik Şartnamesi 2006' ya uygunluk gösteriyorsa bu taş asfaltta agrega olarak kullanılabilir. Absorbsiyon ve Filler miktarı ise daha çok asfaltın ekonomikliği ile ilgilidir (Ilıcalı vd., 2001). Bu yüzden agreganın cinsi, su emme özelliği, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, tane boyu dağılımı, aşınması ve cilalanma direnci gibi özellikleri sıcak asfalt karışımlarının yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir (Woodside, 1998; Brown vd., 2001; Tunç, 2004).

Çalışma kapsamında Marmara Bölgesinde bulunan ve agrega üreten Gebze Kireçtaşı Ocağı, İstanbul Cebeci Kumtaşı Ocağı, Tekirdağ Çorlu Bazalt Ocağı ve Balıkesir Erdek Granit Ocağı'ndan agrega numuneleri alınmıştır (Şekil 1.1). Alınan numuneler üzerinde asfalt karışımları için agregalarda gerekli olan fiziksel özellikleri tespit etmek amacıyla, Tane Büyüklüğü Dağılımı, Yassılık Endeksi, Los Angeles Aşınma Kaybı, Agregada Tane Yoğunluğu, Su Emme Oranı, Soyulma Mukavemeti, Plastisite İndeksi, Metilen Mavisi ve Don Kaybı testleri yapılmıştır. Şartnamelerde isteğe bağlı olarak bırakılan kırılmışlık

yüzdesi ve dizayn aşamasında gerekmeyen cilalanma değeri bu aşamada test edilmemiştir.

Agrega ocaklarındaki kırma-eleme tesislerinden alınan agreg a numuneleri TS EN ve ASTM standartlarında tarif edilen metodlara göre yıkanıp kurutulduktan sonra “sıcak asfalt karışımları” için test edilmişlerdir (Tablo 3.1). Deneysel çalışmalar İSFALT ARGE laboratuvarlarında yapılmıştır.

Tablo 3.1: Agregalar üzerinde yapılan deneyler, ilgili standartlar ve KGM Teknik Şartnamesi (2006)’ ya göre aşınma tabakası için sınır değerler.

Agrega özelliği	Deney standardı	Şartname sınırları* (Aşınma tabakası)	
		En küçük	En büyük
Tane büyüklüğü dağılımı	ASTM C 136, C 117	-	-
Tane şekli tayini yassılık indeksi	TS 9582 EN 933-3	-	% 30
Los Angeles aşınma kaybı	TS EN 1097-2	-	% 30
Tane yoğunluğu tayini	TS EN 1097-6, 7,	-	-
Su emme oranı tayini	TS EN 1097-6	-	% 1.5
Soyulma mukavemeti değeri	İS H 03	% 50	-
Plastisite indeksi değeri	TS 1900-1	NP	NP
Magnezyum sülfat deneyi değeri	TS EN 1367-2	-	% 10

*KGM Teknik Şartnamesi (2006).

Çalışma kapsamında kullanılan agreg a boyutlarını tespit etmek için ASTM C 136, C117 (2006) standardı kullanılmış olup, bu standarta ait elek boyutları ve sınırları Tablo 3.2 ‘ de verilmiştir.

Tablo 3.2: Agregada gradasyon şartnamesi (KGM Teknik Şartnamesi 2006).

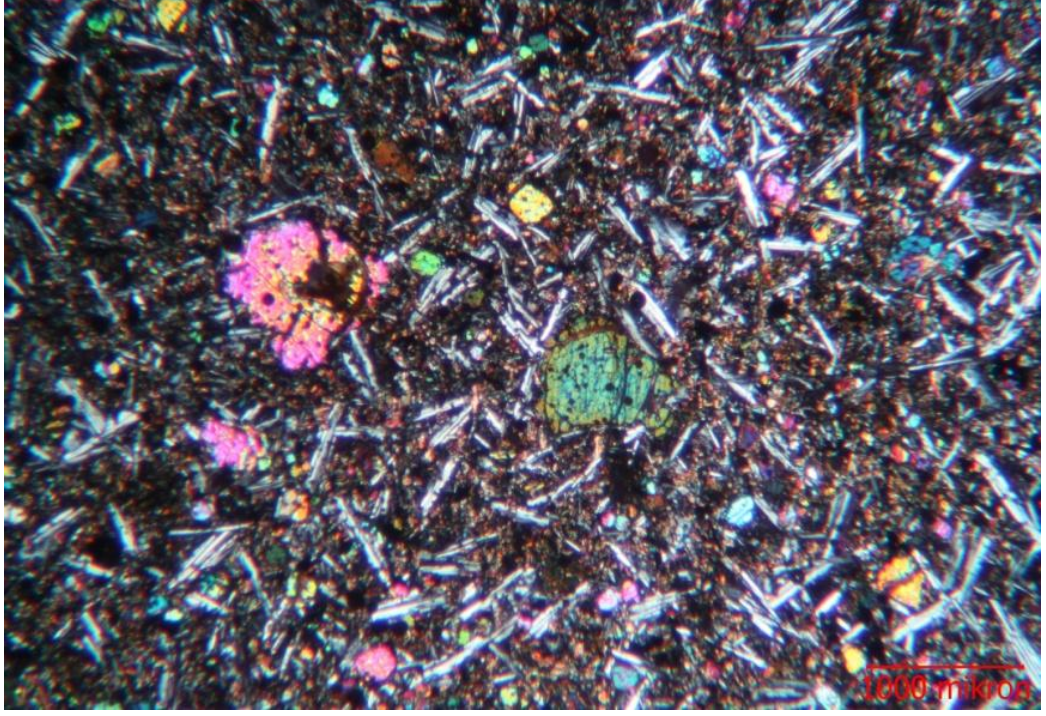
Elek boyutları		Agregada boyutu ve Yüzde geçen				
İnch	mm	38,1-25,4 mm	25,4-19,1 mm	19,1-12,7 mm	12,7 - 4,76 mm	0 – 4,76 mm
1 1/2"	38,1	100				
1"	25,4	45-75	100	100		
3/4"	19,1	20-55	50-85	95-100	100	
1/2"	12,7	0-20	0-25	10-50	95-100	
3/8"	9,52	0-5	0-15	0-10	50-90	100
No: 4	4,76		0-5	0-5	0-20	90-100
No:10	2,00				0-5	50-90
No:40	0,425					20-50
No:80	0,180					10-30
No:200	0,075					8-15

3.2.1.1. Agregaların Petrografik Özellikleri

Araştırma çalışmalarında kullanılan örneklerden alınan ince kesitler polarizan mikroskopta incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir (Tablo 3.3). Bazaltlar, petrografik incelemelere göre; plajiolklas, olivin ve piroksen içermektedir. Tüm kristalli porfirik bir dokuya sahip olan bazaltların hamuru küçük piroksen kristallerinden ve plajiolklas mikrolitlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.9).

Tablo 3.3: İncelenen havzalardaki kayaların petrografik özellikleri.

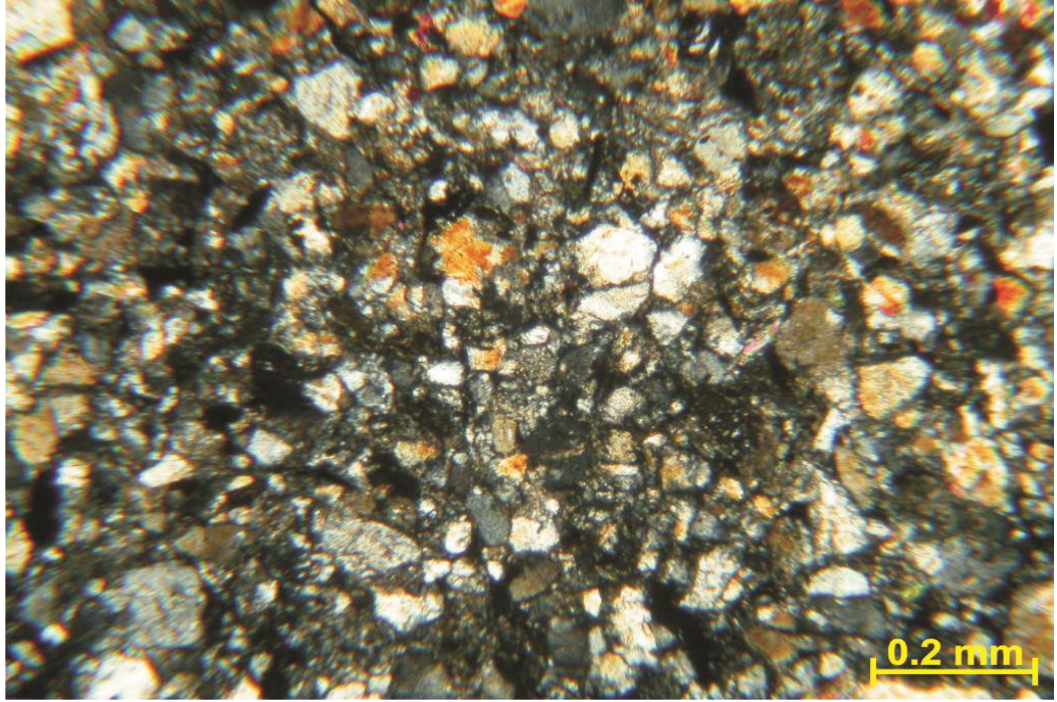
Birim	Formasyon	Yaş	Genel özellik
Bazalt	Karatepe	Holosen	Koyu gri, siyah kahverenkli, masif, yer yer gözenekli bir yapıya sahip olivince zengin bazalt
Kumtaşı	Trakya	Karbonifer	Yeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı, mikali kumtaşı-şeyl ardalanması
Gebze	Hereke	Alt Triyas	Gri, koyu gri, mavimsi renkli, orta-kalın tabakalı, çatlakları kalsit ve kil dolgulu kireçtaşı
Granit	Eosen Granitoyitleri	Orta Eosen	Grimsi-beyaz, ince-orta taneli, amfibollü ve biyotitli granitoid



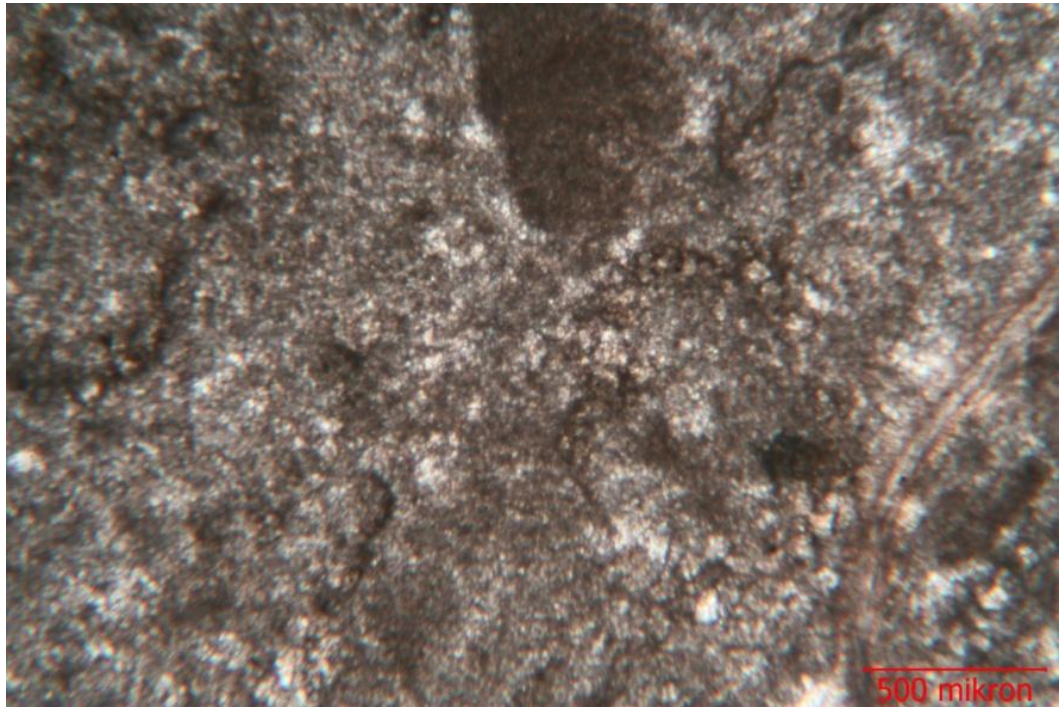
Şekil 3.9: Bazaltın polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X).

Kumtaşlarının, mikroskop altında petrografik incelenmesi sonucu, bu kayaçların, ince taneli, mikroçatlaklı, iyi boylanmalı olduğu gözlenmiştir. Bileşim olarak kuvars, plajiolklas, feldispat, mika mineralleri, kuvarsit ve şist parçacıkları ile çimento olarak da çok az karbonat bağlayıcıdan oluşmaktadır. Tane destekli bir kayaç olduğundan, bağlayıcısı ağırlıklı olarak çamurumsu karbonat ve çok az kil, sparit ve mikritik bağlayıcıdan oluşmaktadır. Kumtaşları bileşenlerinin yaklaşık yüzde oranlarına göre “subarkoz” olarak adlandırılabilir (Folk, 1962). Ancak dokusal özellikleri ile tane boyu dikkate alındığında ise bazı örnekler “ince taneli kumtaşı” veya “meta-silttaşı” olarak da tanımlanabilir (Folk, 1962) (Şekil 3.10).

Kireçtaşlarının, mikroskop altında petrografik incelenmesi sonucu, içerisinde bol miktarda kalsit, az miktarda biyoklast (fossil) ve % 5-10 arasında fosil kavkısı belirlenmiştir. Tane destekli olmayan kayaçta, taneler arasında sparit, yer yer mikrosparit çimentolu bir bağlayıcı bulunmaktadır. Petrografik inceleme sonucunda kayacın sparitik kireçtaşı olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.11).



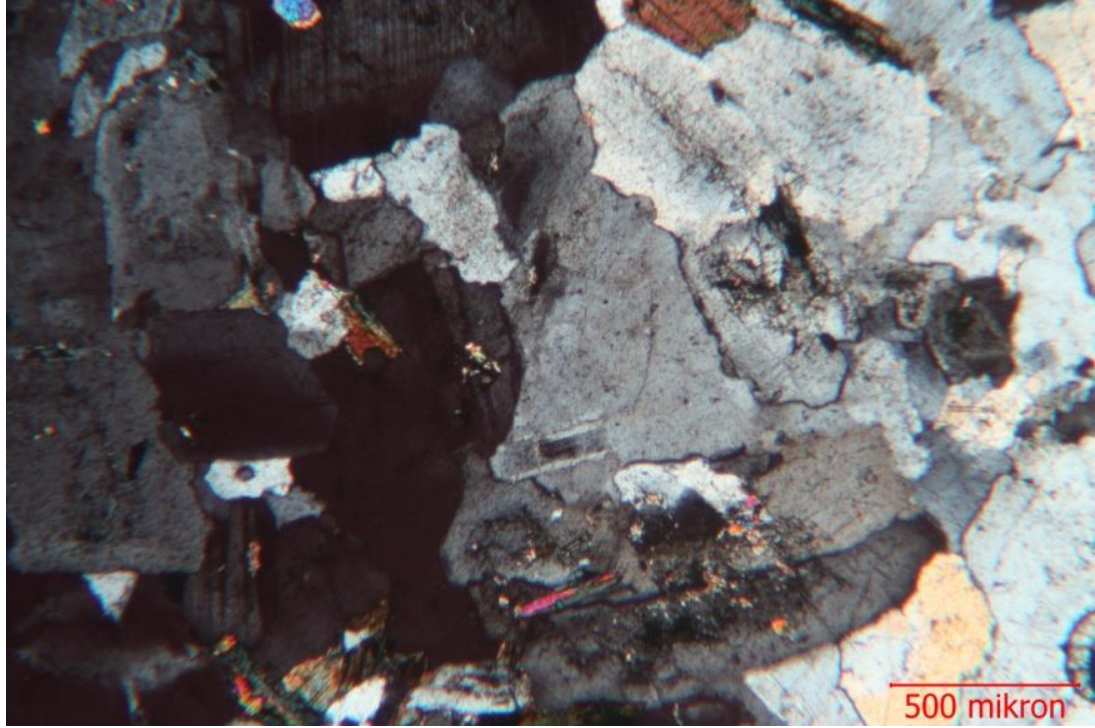
Şekil 3.10: Kumtaşının polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X).



Şekil 3.11: Kireçtaşının polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X).

Granitler, birimin mikroskop altında petrografik incelemeleri sonucunda, içerisinde plajiolklas, kuvars, ortaklas, biyotit, amfibol, klorit ve muskovit mineralleri tespit edilmiştir. İri taneli ve holokristalin taneseli bir dokuya sahip olan granit içerisindeki

plajioklaslar özşekilli-yarı özşekillidir. Petrografik incelemelerin sonucuna göre granodiyorit olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Granitin polarizan mikroskobundaki görünümü (Çift Nikol, 25X).

3.2.1.2. Tane Büyüklüğü Dağılımı

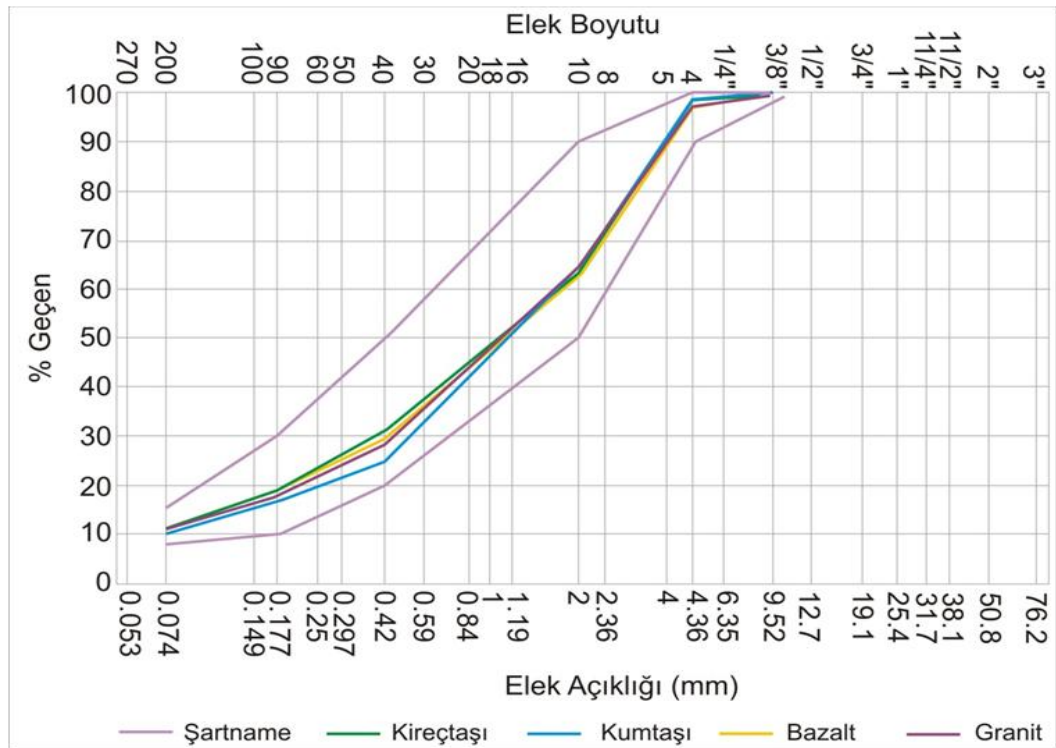
Agrega, sıcak asphalt karışımların iskeletini oluşturmakta ve tane büyüklüğü dağılımı da bu iskeletin sağlamlık ve dayanıklılığı üzerinde etkili olmaktadır. Asphalt karışımları, karışım içinde kullanılan agregaların tane büyüklüğü dağılımı, maksimum dane boyut ve dane şekli gibi özellikleri sayesinde stabilite kazanmaktadır (White vd., 2006).

Bu deney yöntemi standartlarda nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın tane büyüklüğü dağılımının saptanmasını amaçlamaktadır. Malzeme hakkında yeterli bilgiyi verecek sayıda elek kullanılarak ve yaklaşık 2 dakika elenerek yapılan bu test sonucunda elek serisi içindeki her bir elekten geçen miktarın, toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanır.

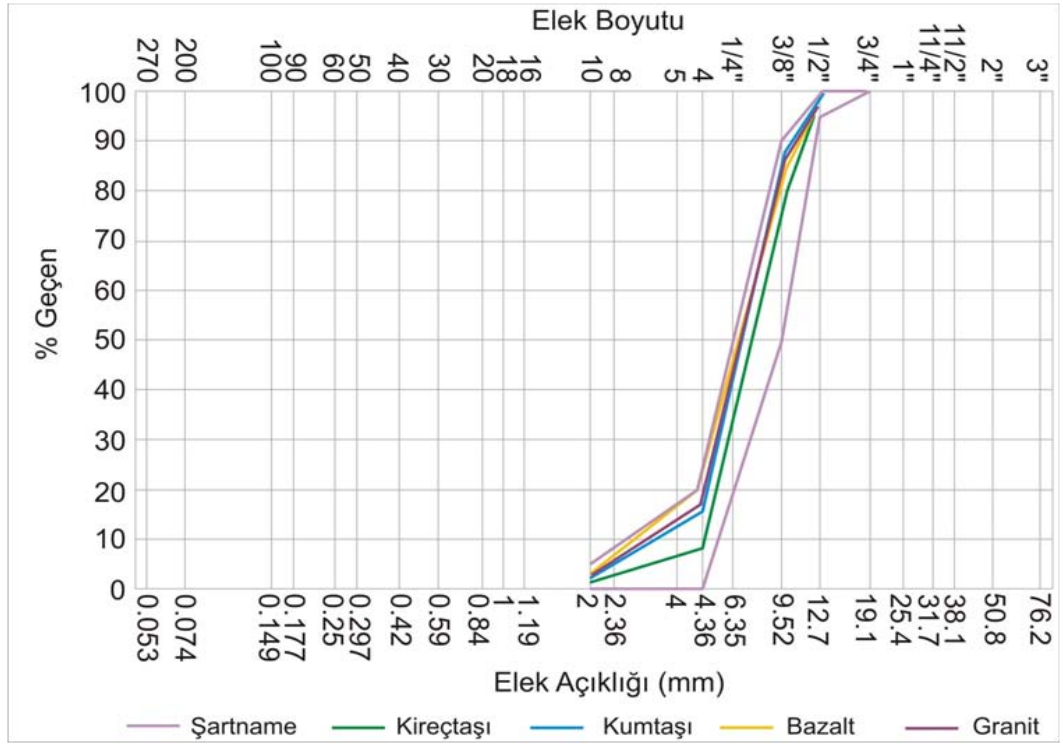
Asfalt karışımlarına girecek olan agregaların tane büyüklüğü dağılımı ASTM C 136, C117 (2006) standartına göre yapılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo 3.4' te ve Şekil 3.13' te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 : 0-4.76 mm, 4.76-12.7 mm ve 12.7-19.1 mm boyutundaki agregaların tane büyüklüğü dağılımı (KGM Teknik Şartnamesi 2004).

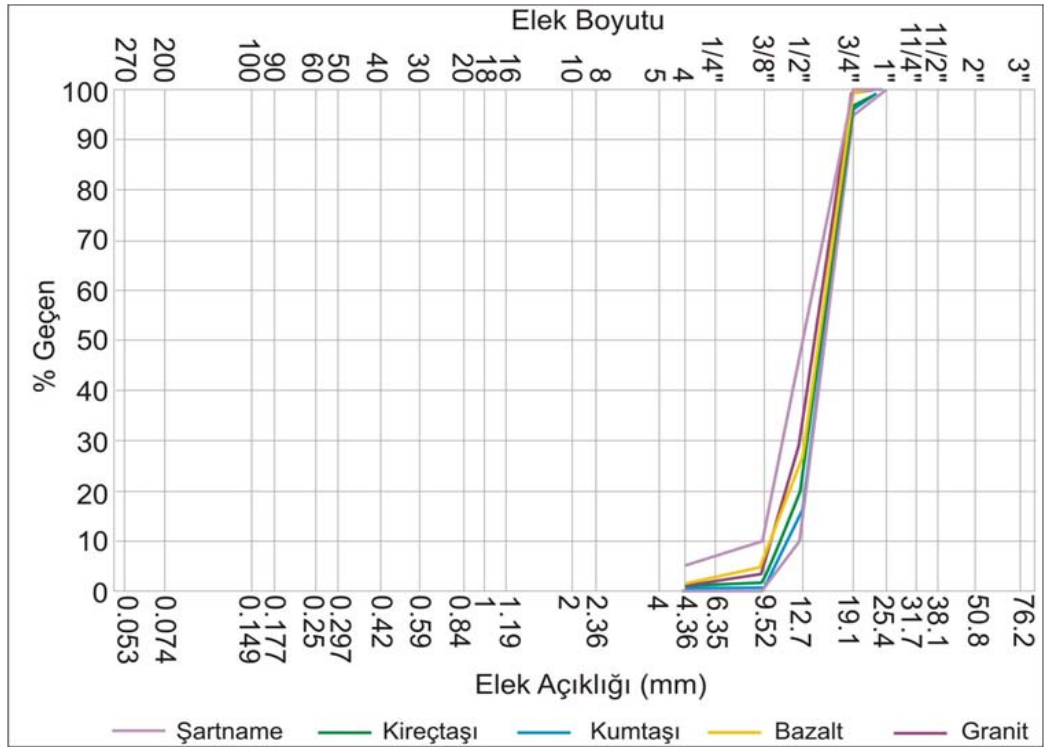
Boyut Aralığı	Elek Göz Açıklığı mm	% Geçen				
		Şartname	Kireçtaşı	Kumtaşı	Bazalt	Granit
0 - 4.76 mm	9.52	100	100	100	100	100
	4.76	90-100	97.9	99.5	99.2	98.4
	2.00	50-90	63.4	64.0	62.1	65.0
	0.425	20-50	30.4	25.6	29.1	29.3
	0.180	10-30	19.0	16.5	19.7	17.9
	0.075	8-15	10.5	10.5	10.0	11.0
4.76 - 12.7 mm	19.1	100	100	100	100	100
	12.7	95-100	100	100	100	100
	9.52	50-90	79.1	88.6	84.5	86.7
	4.76	0-20	9.1	16.4	18.8	17.7
	2.00	0-5	1.0	2.0	2.3	2.1
12.7 - 19.1 mm	25.4	100	100	100	100	100
	19.1	95-100	96.4	95.6	100	100
	12.7	10-50	20.8	14.4	27.1	19.5
	9.52	0-10	1.5	1.6	4.2	3.8
	4.76	0-5	1.0	1.1	0.4	0.9



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.13: İnceleme alanından alınan örneklere uygulanan tane boyu dağılımı grafikleri (KGM Teknik Şartnamesi, 2006), (a) 0 - 4.76 mm (b) 4.76 - 12.7 mm (c) 12.7 - 19.1 mm agrega boyutuna ait.

Genel bir değerlendirme yapıldığında; tüm tane boyutlarında agregaların şartname sınırları içinde kaldığı görülmekle birlikte, ince agrega boyutundaki (0 - 4.76 mm) agregaların birbirine daha yakın boyutlarda olduğu, sadece 0,425 mm elekte kumtaşı ve granit agregalarının diğerlerine göre daha iri olduğu gözlemlenmiştir. İri agrega boyutunda ise (4.76 - 12.7 mm ve 12.7 - 19.1 mm) agregaların farklı ebatlar gösterdiği, özellikle kumtaşı ve kireçtaşı agregalarının diğer agregalara göre daha iri boyutta olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.13 a,b,c). Bu durum, agregaların jeolojik ve jeomekanik özellikleri ile ilgili olduğu gibi kırma şekli, kırıcı türü ve agregayı oluşturan kayaların çatlaklı olup olmaması ile de ilgilidir. Tüm boyutlarda agregalar şartname sınırları içindedir. Ancak ideal hat olan ve şartname sınırları ortasına yakın yerlerden geçmiş olmaları daha sonra yapılacak deneme asfalt karışımları için daha stabil bir durum gerçekleştireceği düşünülmektedir.

3.2.1.3. Yassılık Endeksi

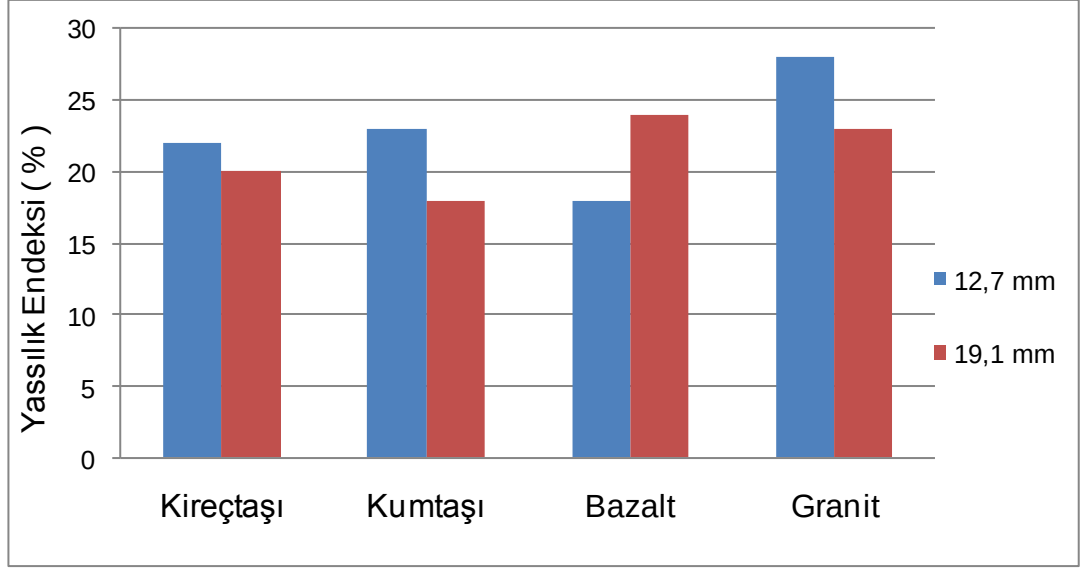
Bir boyutu diğer iki boyutundan önemli derecede küçük olan tanelerin bir çubuklu elek vasıtasıyla yüzdelerinin belirlenmesidir. Agregaya yığnında yassı tane miktarı arttıkça kaplamanın yük taşıma kapasitesi azalmakta ve karışım performansı da düşmektedir. Başka bir deyişle karışım içindeki agregaların yassı tane miktarının artmasıyla karışım performansı da doğru orantılı olarak azalmaktadır. Dolayısıyla asfalt karışımlarından kullanılacak agregaların yassı olmaması istenmektedir (Barksdale, 1991).

Agregalarda yassılık endeksi yassı tanelerin ağırlığının toplam deney numunesinin ağırlığına oranının yüzde cinsinden ifadesi şeklinde tanımlanır. Asfalt karışımlarına girecek olan agregaların yassılık endeksi TS 9582 EN 933-3 standartına göre yapılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo 3.5'te ve Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

İncelenen agregaların yassılık endeksi değerlerine bakıldığında; bölgedeki kayalar arasında bazı farklar belirgin olarak ortaya çıkmasına rağmen tüm kayalar yassılık endeksi açısından şartname limitleri içindedir. 4.76 - 12.7 mm boyutundaki agregalarda kireçtaşı ve kumtaşı birbirine çok yakın değerleri verirken, bazalt daha düşük bir değer vermiştir. Granit ise, 4.76 - 12.7 mm agrega kategorisinde en yüksek yassılık endeksi değerini vermiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: Deneme karışımlarında kullanılan agregâ örneklerine uygulanmış fiziksel deney sonuçları

Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		4.76-12.7 mm Agrega	12.7-19.1 mm Agrega	
Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi %	Kireçtaşı	22	20	
	Kumtaşı	23	18	
	Bazalt	18	24	
	Granit	28	23	
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		4.76-12.7 mm Agrega	12.7-19.1 mm Agrega	
Los Angeles Katsayısı %	Kireçtaşı	19		
	Kumtaşı	17		
	Bazalt	10		
	Granit	26		
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		4.76-19.1 mm Agrega	0-4.76 mm Agrega	< 0.063 mm Taşunu (Filler)
Agrega Tane Yoğunluğu gr/cm3	Kireçtaşı	2.765	2.747	2.706
	Kumtaşı	2.776	2.798	2.699
	Bazalt	2.961	2.956	2.839
	Granit	2.661	2.671	2.726
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		4.76-19.1 mm Agrega	0-4.76 mm Agrega	
Su Emme Oranı %	Kireçtaşı	0.38	1.15	
	Kumtaşı	0.62	2.42	
	Bazalt	0.78	2.14	
	Granit	1.45	0.59	
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		12.7-4.76 mm Agrega	19.1-12.7 mm Agrega	
Soyulma Mukavemeti %	Kireçtaşı	65-75	65-75	
	Kumtaşı	55-65	55-65	
	Bazalt	55-65	55-65	
	Granit	15-25	15-25	
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		0-4.76 mm Agrega		
Plastisite İndeksi %	Kireçtaşı	Non Plastik		
	Kumtaşı	Non Plastik		
	Bazalt	Non Plastik		
	Granit	Non Plastik		
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		0-4.76 mm Agrega		
Metilen Mavisi %	Kireçtaşı	1.0		
	Kumtaşı	2.0		
	Bazalt	0.5		
	Granit	0.6		
Özellik	Agrega Türü	Agrega Boyutu		
		4.76 - 19.1 mm Agrega		
Magnezyum Sülfat Deneyi %	Kireçtaşı	0.22		
	Kumtaşı	0.24		
	Bazalt	0.37		
	Granit	0.40		



Şekil 3.14: Agregaların yassılık endekslerinin karşılaştırılması.

Yassı taneler, çekme dayanımları düşük oldukları için asfalt içerisinde zayıf bölgeler oluşturarak, üst yapının dayanımını düşürmekte ve hasarların oluşmasına neden olmaktadır (McNally, 1998; Woodside, 1998). KGM (2006)' ya göre aşınma tabakasında kullanılacak agregaların yassılık indeksi % 30' un altında olması gerekmektedir.

İncelenen agregaların yassılık indeksi değerleri % 30'un altındadır. 12.7-19.1 mm boyutlarında kireçtaşı ile kumtaşlarından üretilen agregalar farklı değerler verirken, bazalt ve granit ise birbirine yakın değerler vermiştir. Sert kayaçların (bazalt ve granit) yapraksı şekilde kırılmaları nedeniyle kireçtaşlarına göre daha yassı taneler vermeleri doğaldır. Öte yandan diğer kayaçlara oranla daha yüksek yassılık endeksine sahip olmaları sadece granit agregalarının laboratuvarında çeneli kırıcıda kırılmalarından dolayıdır. 4.76-12.7 mm boyutlu agregalarda bazalt'ın yassılık indeksi değerinin düşük olmasının nedeni ise, istenilen agrega boyutunun ve şeklinin sağlanabilmesi için ikinci kez kırılmasıdır (Şekil 3.14).

Özen, Tayfur, Aksoy ve Eren (2004)' e göre yassı tanelerin karışım içinde olmaları hem stabilitenin düşmesi hem de hem de bitüm yüzdesini arttırması nedeniyle istenmeyen bir durumdur. Agregalarda yassı tane çıkmasının nedeni kayaçların yapısından kaynaklanma birlikte kırılma türü ile de ilgilidir. Bu nedenle genellikle yassı tane elde

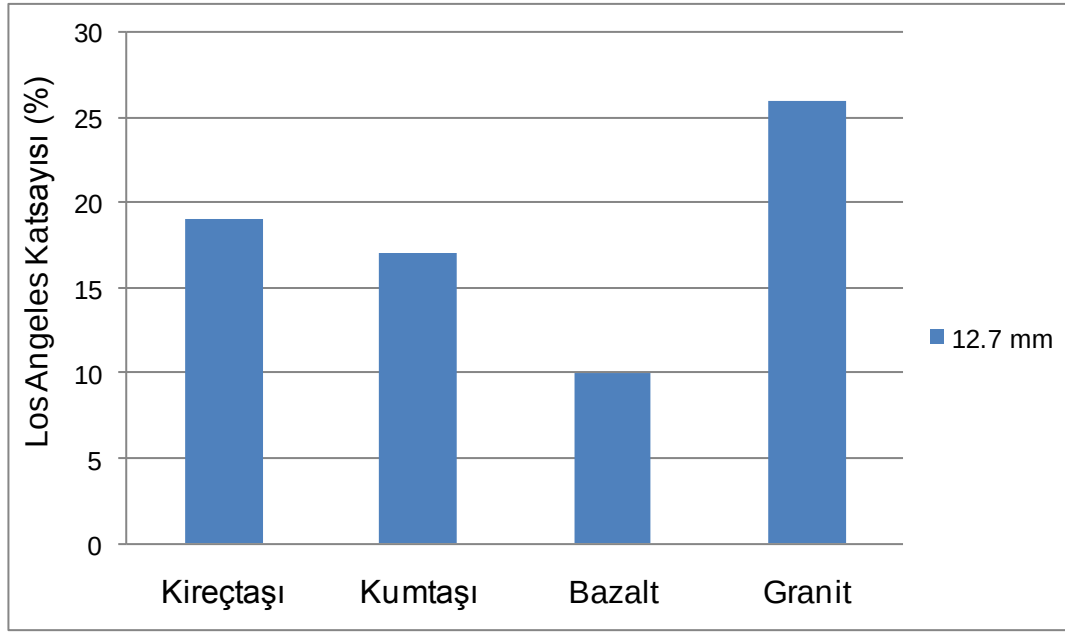
etmemek için agregaların birkaç kez kırılması son yıllarda uygulanan yöntem olmuştur (Sönmez vd., 2009).

3.2.1.4. Los Angeles Katsayısı

Agregalar, asfalt kaplama karışımlarının imalat, serme ve sıkıştırma işlemleri sırasında ilave kırılma ve aşındırıcı etkiler altında kalırlar. Aynı zamanda trafik yükleri altında da aşınmaya maruz kalmaktadırlar. Asfalt kaplamalarının bu etkilere dayanıklı olabilmesi için, asfalt malzemesi olarak kullanılacak malzemelerin çarpma ve aşınma etkilerine dayanıklı, dolayısıyla yeterli mukavemete sahip olması gerekmektedir (Bell, 1998; Huber, 2000; İbrahim vd., 2007).

Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dayanımını gösterir. Bu işlem Los Angeles aşınma cihazı ile gerçekleştirilir. Şartnamelere göre aşınma kaybı maksimum % 30 olmalıdır. Çalışma kapsamında kullanılacak olan agregaların iri agrega olarak tanımlanan ve 4.76 mm-19.1 mm arasında olan tüm agrega bu teste tabi tutulmuştur. Agregaların parçalanma direnci değeri TS EN 1097-2 standartına göre yapılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo 3.5’de ve Şekil 3.15’de gösterilmiştir.

Deneyssel çalışmalarda kullanılan agregaların Los Angeles katsayılarına bakıldığında ise, bazalt en dayanımlı değeri verirken granit ise en yüksek değeri vermiştir. Kireçtaşı ve kumtaşına ait değerler ise birbirine yakındır. Genel anlamda sert taşların Los Angeles katsayılarının daha az olması beklenir. Bazalt bu anlamda düşük değer vermiştir, ancak granit, yapraksı kırından dolayı yüksek değerler vermiştir (Tablo 3.5 ve Şekil 3.15).



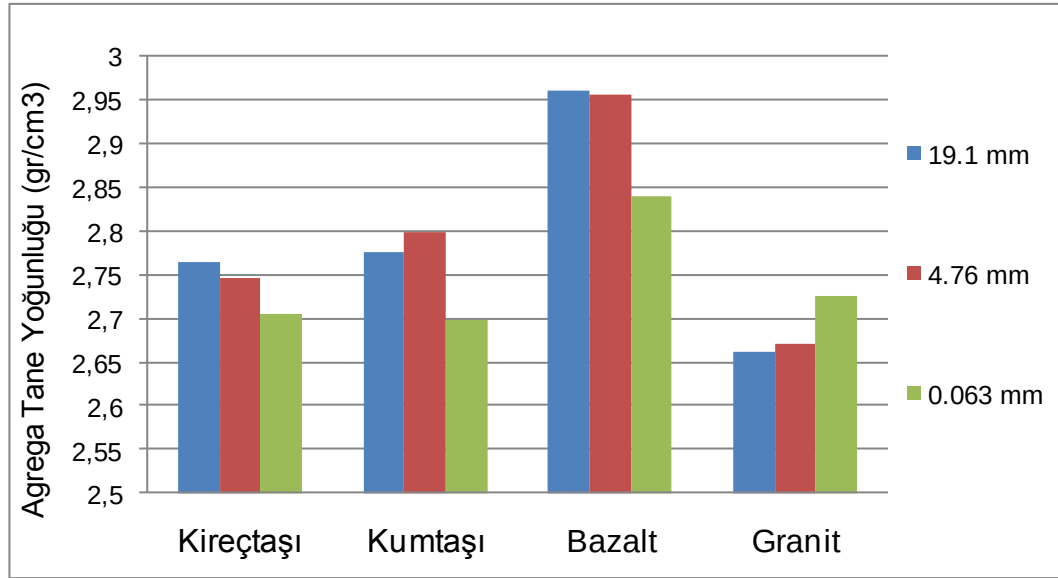
Şekil 3.15: Agregaların Los Angeles katsayılarının karşılaştırılması.

3.2.1.5. Agregaların Tane Yoğunluğu

Bu deneyin amacı agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini saptamaktır. İncelenen agregaların tane yoğunlukları iri agregalar (4.76-19.1 mm), ince agregalar (0-4.76 mm) ile filler (0.063 mm altı) için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Asfalt karışımlarına girecek olan agregaların tane yoğunluk değerleri 4.76 mm-19.1 mm agregalar TS EN 1097-6, 0.063 mm den daha küçük agregalar için (filler) TS EN 1097-7 standartına göre yapılmış ve sonuçları Tablo 3.5 ve Şekil 3.16'da sunulmuştur. Bu tabloda görüldüğü gibi; kaba agregalar tane yoğunlukları içinde kireçtaşı en düşük değeri verirken, bazalt ise en yüksek değeri vermiştir. Kireçtaşı ile kumtaşı birbirine yakın değerler verirken, granit ise ikisinin arasında bir değer vermiştir.

İnce agregalar (0-4.76 mm) ve taşunu (<0.063 mm) (filler) kategorisinde ise aynı iri agregadaki gibi, en düşük değerleri kireçtaşı verirken, kumtaşı da kireçtaşına yakın değer vermiştir. Bazalt en yüksek değerleri verirken, granit ise her kategoride ara değerler vermiştir (Tablo 3.5 ve Şekil 3.16).



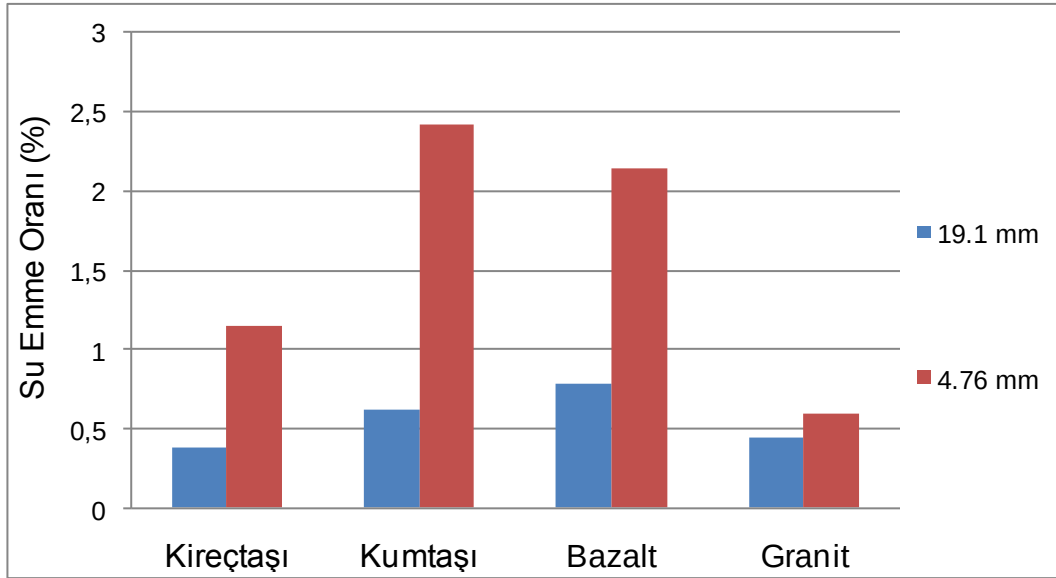
Şekil 3.16: Agregaların tane yoğunluklarının karşılaştırılması.

3.2.1.6. Su Emme Oranı

Agregaların bünyesine emdiği suyun miktarını belirlemede kullanılır. Agreganın bünyesine emdiği suyun artması ile agrega karışımının bitüm ihtiyacı da artmaktadır. Deneme asfalt karışımlarına girecek olan agregaların su emme değerleri TS EN 1097-6 ve TS EN 1097-7 standartına göre yapılmış ve sonuçları Tablo 3.5'te ve Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

Agregaların su emme değerlerine bakıldığında; iri agrega (4.76-19.1 mm) kategorisinde en düşük değeri kireçtaşı verirken, en yüksek değeri bazalt vermiştir. Kumtaşı ve granit ise ara değerler sunmuştur (Tablo 3.5 ve Şekil 3.17). Bu durum, agreganın suya karşı hassasiyeti ile ilgili olup, aynı zamanda agrega porozitesi ile de ilgilidir. Porozite, agrega asfalt adezyonu için son derece önemlidir. Porozitenin artmasıyla agrega asfalt adezyonu da artmaktadır. Ancak porozitenin yüksek olması durumunda adezyon artmadığı gibi karışım içindeki bitüm miktarında artışa neden olmaktadır. Bu da terleme-kusma riskini ortaya çıkaracaktır (İsfalt, 2002). Ündül ve Tuğrul (2006) ve Uz (1999)'a göre bazaltlar, kumtaşları kireçtaşlarına oranla daha düşük, kumtaşları ise kireçtaşlarına oranla daha yüksek porozitelidir.

İnce agrega (0-4.76 mm) kategorisinde ise, en düşük değerleri granit verirken, en yüksek değeri ise kumtaşı vermiştir.



Şekil 3.17: Agregaların su emme oranlarının karşılaştırılması.

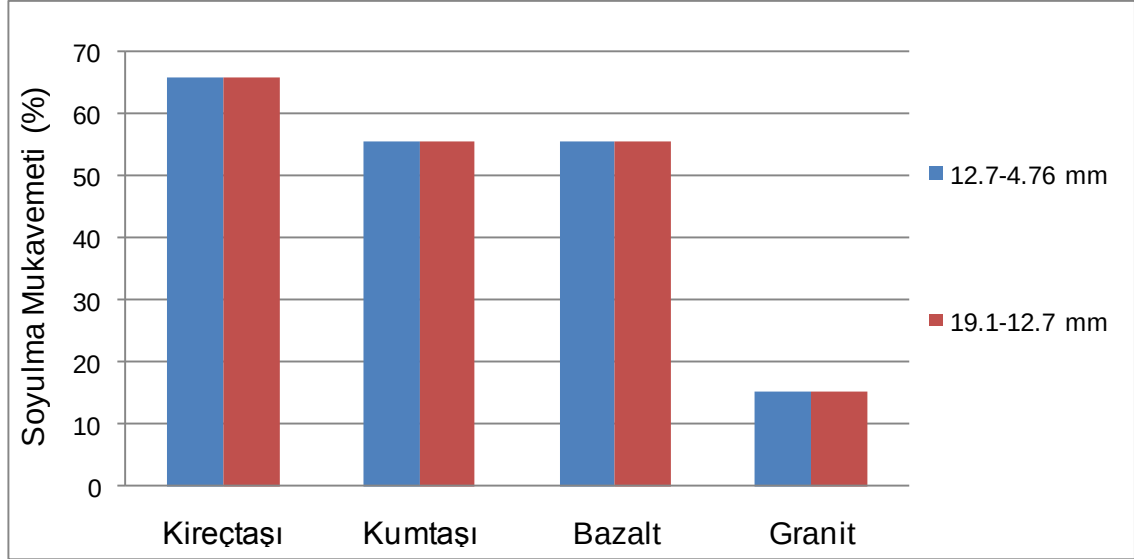
3.2.1.7. Soyulma Mukavemeti

Bir asfalt kaplamanın ömrü, geniş ölçüde bitümün suyun etkisine karşı agregaya yapışma kabiliyetine bağlıdır. Soyulma, suyun ve trafiğin bir arada etkimesiyle bağlayıcı maddenin agrega üzerinden ayrılması demektir (Quadis ve Shweily, 2005). Soyulma mukavemetinin belirlenmesi için, kırılmış agrega numunesinden 9.5- 4.75 mm veya 4.75- 3.35 mm arasındaki numune kullanılır. Özellikle, su emme yüzdesi yüksek olan agregalar ve sıvı asfaltlarla yapılan karışımlarda bu durum kendini gösterir. Bu şartlar altında asfaltın agregaya daha iyi yapışması, soyulmayı önleyen birtakım maddelerin ilavesi ile sağlanabilir (Hunter vd., 2004).

Soyulmaya birçok faktör etki etmekle birlikte en önemlileri, yüzey dokusu ve porozitedir. Cilalı yüzeyli agregaların asfaltla kaplanması kolay olmakla beraber adezyonu zayıf olduğundan dolayı kolaylıkla soyulmaktadır. Farklı kayalardan üretilen agregaların yüzey pürüzlülüklerini karşılaştıran Tasong vd. (1998), bazaltların kireçtaşlarına göre daha fazla yüzey pürüzlülüğüne sahip olduklarını ifade etmiştir.

Asfalt karışımlarına girecek olan agregaların soyulma mukavemeti değerleri İS H 03 (KGM Teknik Şartnamesi, 2006) standartına göre yapılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo 3.5' te ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

Soyulma Mukavemeti açısından 4.76-12.7 mm ve 12.7-19.1 mm agrega boyutlarında kumtaşı ve bazalt aynı değerleri vermiştir. Kireçtaşı daha yüksek bir değer verirken, granit ise oldukça düşük bir değer vermiştir. Granitin soyulmaya uygun olduğu ortaya konulmuştur (Tablo 3.5 ve Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Agregaların soyulma mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması.

3.2.1.8. Plastisite İndeksi

Likit limit ile plastik limit arasındaki farktan elde edilir. Likit limit, malzemenin likit halden plastik hale geçtiği andaki su içeriğidir ve “Cassagrande” aleti ile bulunur. Plastik limit ise malzemenin plastik halden yarı katı hale geçtiği andaki su içeriğidir ve malzemenin 3 mm çapındaki silindir halinde yuvarlandığında parçalanmaya başladığı andaki su içeriği miktarıdır (Tayfur vd., 2003).

Asfalt karışımlarına girecek olan agregaların plastisite değeri TS 1900-1 standartına göre yapılmış ve plastisite indeksi açısından ise tüm havzalardaki ince agregalar (0-4.76 mm) “plastik değildir” değerleri vermiştir (Tablo 3.5).

3.2.1.9. Metilen Mavisi Değeri

Metilen mavisi deneyi ince agrega içindeki kil, demir oksit ve organik madde miktarını sınırlandırmak için ilk olarak ISSA (International Slurry Seal Association, 1989) tarafından önerilen, basit ve pratik bir deney metodudur. Deney sonucu, ince agrega içinde potansiyel olarak bulunan zararlı malzemenin miktarını gösterir (Kandall vd.,

1998). Deney sırasında ince agrega tarafından fazla miktarda metilen mavisi absorpsiyonu ince agrega içerisinde zararlı kilin varlığına işaret eder (Verhoef, 1992). Düşük absorpsiyon değerleri düşük oranda zararlı kil varlığını gösterir (Stapel ve Verhoef, 1989).

Numuneler üzerine TS EN 933-9 (2001)'e göre metilen mavisi değeri tayin deneyi yapılmış olup sonuçlar Tablo 3.6 'da gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi bazaltlar en düşük metilen mavisi değeri vermiştir. Granitlerin daha yüksek değer vermesi az ayrılmış olmaları nedeniyledir. Kireçtaşı ve kumtaşlarının metilen mavisi değerlerinin diğer kayaçlara oranla daha yüksek olması bileşimleri nedeniyledir. Kumtaşlarının metilen mavisi değerlerinin yüksek olması su emme oranlarının daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Tablo 3.6: Agregalar üzerine yapılan metilen mavisi değerleri.

Agrega türü	Metilen mavisi değeri (g/kg)
Granit	0.6
Kireçtaşı	1.0
Kumtaşı	2.0
Bazalt	0.5

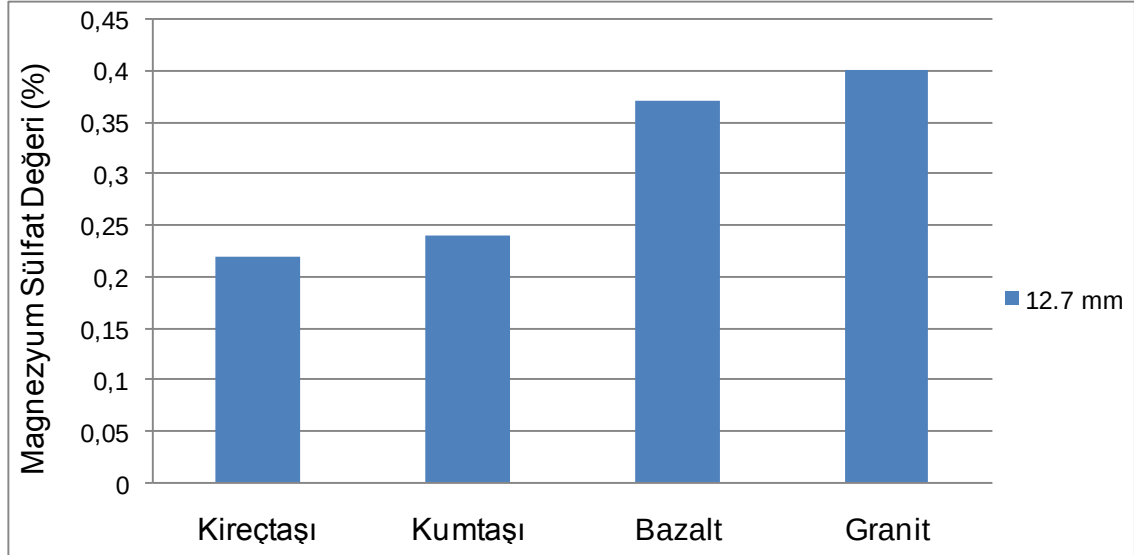
3.2.1.8. Magnezyum Sülfat Değeri

Agregaların magnezyum sülfat çözeltileri ile ufalanma miktarının ölçülmesi ile bulunur. Zemindeki suyun donma ve çözülmesinin yola olan tesirinin (kaplamanın çatlayıp dağılması, taban taşıma gücünün azalması gibi) belirlenmesinde kullanılır (Uluçaylı, 1975).

Asfalt kaplamalar devamlı olarak atmosferik etkilere, dolayısı ile donma ve çözünmeye maruz kaldığı için agrega tanecikleri zamanla parçalanarak üzerine gelen yükü alt katmanlara taşıma özelliğini kaybeder ve devamlı kırılmalar nedeni ile agrega bitüm arasındaki ilişkiyi zayıflatır (Akbulut ve Gürer, 2007).

Dona dayanım testi, agregaların hava etkileriyle donarak ufalanmaya karşı dayanıklı olup olmadığını belirleyebilmek için uygulanan deney yöntemlerini kapsar. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, kısa süre içinde sonuç alabilmek için, doygun magnezyum sülfat çözeltisi kullanılır. Asfalt karışımlarına girecek olan agregaların

donma kaybı değerleri TS EN 1367-2 standartına göre yapılmış ve sonuçları aşağıdaki Tablo 3.5’te ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir. KGM (2006)’ya göre aşınma tabakasında kullanılacak olan agregaların don kaybı değeri % 10 ‘ un altında olması gerekmektedir.



Şekil 3.19: Agregaların magnezyum sülfat değerlerinin karşılaştırılması.

Magnezyum sülfat değeri açısından sonuçlar incelendiğinde; tüm agregaların standarttaki sınır değerlere uygun olduğu, kireçtaşı ve kumtaşının birbirine yakın değer verirken, granit ve bazaltın yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir.

3.2.2. Deneme Asfalt Üretiminde Kullanılan Bitüme Ait Özellikler

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler, bitümün teknik özelliklerini belirlemek ve bitümün Tablo 3.7’deki şartnameye (KGM, 2006) uygunluğunu araştırmak için yapılır.

Çalışma süresince tüm deneme karışımlarında 50/70 penetrasyon sınıfında tek tip bitüm kullanılmıştır. Alınan bitüm üzerinde 9 adet test yapılmış olup bu testler ilerleyen paragraflarda sırasıyla sunulmuştur (Tablo 3.8).

Tablo 3.7: Karayolları bitüm teknik şartnamesine (KGM, 2006) göre bitümün sahip olması gereken özellikler.

Deneyin adı	Deney metodu	Şartname 50/70
İğne batma derinliği tayini (25 °C), 0.1 mm	TS EN 1426, 2008	50 - 70
Yumuşama noktası (°C)	TS EN 1427, 2008	46 - 54
Frass kırılma noktası (Soğuk bölgelerde) (°C)	TS EN 12593, 2003	Max. -8
Isı ve hava etkisi altında sertleşme direnci deneyi (163 °C, 5 Saat) (%)	TS EN 12607-2, 2008	Max. 0,5
Kütle değişimi (%)	TS EN 12607-2, 2008	Max. 0,5
Duktilite	TS EN 13589, 2009	+ 100
Kalıcı iğne batma derinliği (%)	TS EN 1426, 2008	Min. 50
Yumuşama noktası (°C)	TS EN 1427, 2008	Min. 48
Yumuşama noktası yükselmesi (°C)	TS EN 1427, 2008	Max. 9
Parlama noktası (°C)	TS EN ISO 2592, 2006	Min. 230
Çözünürlük (%)	TS EN 12592, 2008	Min. 99,0
Parafin mumu içeriği (gerek duyulduğunda) (%)	TS EN 12606-1, 2002	Max. 2,2
	TS EN 12606-2, 2002	Max. 4,5

3.2.2.1. İğne Batma Derinliği

Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığı veya akıcılığı “iğne batma derinliği deneyi” ile tayin edilir. İğne batma derinliği; standart bir iğnenin belirli yük altında, belirli bir süre içinde, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğudur. Araştırmada kullanılan bitüme ait iğne batma derinliği değeri 62.3 mm’dir (Tablo 3.8). İğne batma derinliği değeri deneyi TS EN 1426 (2008) standardına göre yapılmıştır.

3.2.2.2. Yumuşama Noktası

Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık karşısındaki davranışları farklılıklar göstermektedir. 25°C sıcaklıkta aynı penetrasyona sahip 2 bitümlü bağlayıcı numunesi, farklı sıcaklıkta farklı özellikler gösterebilirler. Bu davranışları ölçmek için halka ve bilya metodu kullanılmaktadır. Yumuşama Noktası Değeri TS EN 1427 (2008) standartına göre belirlenmiş olup 48 °C olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: Araştırmada kullanılan bitüm üzerinde yapılan deney sonuçları ve şartnameye uygunluğu.

Kriter adı	Deney sonucu
İğne batma derinliği (0.1 mm)	62,3
Yumuşama noktası (°C)	48
Isı ve hava etkisi altında sertleşme direnci tayini (%)	0,2
Kütle değişimi (%)	
Kalıcı penetrasyon (°C)	63
Yumuşama noktası (°C)	53,3
Yumuşama noktası yükselmesi (°C)	4,5
Parlama noktası (°C)	315
Düktilite (mm)	+ 100
İnce film halinde ısıtma deneyi sonrası düktilite (mm)	+ 100
Çözünürlük (%)	99,9

3.2.2.3. Düktilite (İşlem Görmüş Bitümlerin Çekme Özelliklerinin Duktometre Metoduyla Tayini)

Düktilite deneyinde işlem görmüş bitümlerin çekme özellikleri duktometre metoduyla belirlenir. Bu deney, bitümlü bağlayıcıların uzama kabiliyetini göstermektedir. Bitümlü bir maddenin düktilitesi; standart bir kalıpta hazırlanmış bir bitüm numunesinin, her iki ucundan çekilerek uzatılması sonucunda koptuğu andaki mesafenin santimetre cinsinden ifadesidir. Araştırmada kullanılan bitümün düktilite değeri TS EN 13589 (2009) standartına göre belirlenmiş ve +100 mm olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.8). Bu değer şartnamede belirtilen kriterlere uygundur.

3.2.2.4. Isı ve Hava Etkisi Altında Sertleşme Direnci

Bu deney ile 3,2 mm kalınlığında bir bitüm filminin, 5 saat süre ile 163°C sıcaklıkta ısıtılması sonucu, kütleinde oluşacak kayıp tespit edilmektedir. Bitümlü malzemelerin ısı ve hava etkileriyle özellikle iğne batma derinliği, yumuşama noktası ve düktilite değerlerinde oluşacak değişimler bu yöntemle belirlenebilmektedir. Araştırmada kullanılan bitümün ısı ve hava etkisi altında sertleşme direnci değeri TS EN 12607-2

(2008) standartına göre yapılmış olup 100 mm olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.8). Deneme karışımlarında kullanılan bitümün ısı ve hava etkisi altında sertleşme direnci değeri 0,2 olarak çıkmış olup bu da şartname değerleri içindedir.

3.2.2.5. Parlama ve Yanma Noktası Tayini

Bu deney parlama noktası 79°C'nin üstünde olan petrol ürünlerine uygulanır. Parlama noktası ısıtılan deney numunesi buharına deney alevinin temas ettirilmesi sonucunda numunenin parladığı, fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bitüme ait parlama ve yanma noktası tayini değeri TS EN ISO 2592 (2006) standartına göre belirlenmiş olup 315°C olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.8). Bu değer de şartnamede belirtilen değer oldukça üzerindedir.

3.2.2.6. Çözünürlük Deneyi

Bu deney, yol katranları ve petrol asfaltları gibi bitümlü yol malzemelerinin organik çözücüler içerisindeki çözünürlüğün belirlenmesini kapsar. Çözünürlük deneyi diğer bir deyişle asfalt çimentosunun saflığının bir ölçümüdür. Asfalt çimentosunun karbon disülfür içinde çözünebilen kısmı aktif bağlayıcı bileşenleri temsil etmektedir. İncelemede kullanılan bitümün çözünürlük değeri TS EN 12592 (2008) standartına göre % 99.9 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.8). Çalışmada kullanılan bitümün çözünürlük değeri de şartnamede belirtilen değer üzerinde sonuç vermiştir.

3.3. FARKLI KAYAÇLARDAN ÜRETİLEN AGREGALARIN BİTÜMLE KULLANILDIĞI DENEME ASFALT KARIŞIMLARI VE ÖZELLİKLERİ

3.3.1. Hazırlanan Deneme Asfalt Karışımları

Çalışma konusu ile ilgili olarak 4 ayrı agrega grubundan asfalt karışımları hazırlanmıştır. Bunlar, bazalt, kireçtaşı, kumtaşı ve granit agregalarıdır. Bu agregalarla aşağıdaki tanımlanmış şekliyle 16 adet asfalt karışım dizaynı yapılmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9' da görüldüğü gibi; bu karışımlar hazırlanırken, iri agrega olarak kullanılan 4.76-12.7 mm agrega boyutu ve 12.7 – 19.1 mm agrega boyutu tek tür kayaçtan oluşmuş agrega alınmış, 0-4.76 mm agrega boyutundan ayrı bir tür kayaçtan oluşmuş

agrega alınmıştır. Bu karışımlar Tablo 3.11' deki oranlarda karıştırılmak suretiyle asfalt dizaynı hazırlanmıştır.

Tablo 3.9: Karışımı oluşturan malzemeler ve karışım simgeleri.

Karışım kodu	Karışımı Oluşturan Malzemeler	
	İri Agregat (4.76-12.7 mm)	İnce Agregat (0-4.76 mm)
BB	Bazalt	Bazalt
KMB	Kumtaşı	Bazalt
KCB	Kireçtaşı	Bazalt
GB	Granit	Bazalt
KCKC	Kireçtaşı	Kireçtaşı
BKC	Bazalt	Kireçtaşı
KMKC	Kumtaşı	Kireçtaşı
GKC	Granit	Kireçtaşı
KMKM	Kumtaşı	Kumtaşı
BKM	Bazalt	Kumtaşı
KCKM	Kireçtaşı	Kumtaşı
GKM	Granit	Kumtaşı
GG	Granit	Granit
BG	Bazalt	Granit
KMG	Kumtaşı	Granit
KCG	Kireçtaşı	Granit

3.3.2. Sıcak Asfalt Karışımlarının Marshall Metoduyla Dizaynı (TS 3720, 1983)

Diğer mühendislik malzemelerinin dizaynlarında olduğu gibi asfalt karışımlarının dizaynı da büyük oranda, şartnamelerde istenilen kalite ve özelliklerin elde edilmesi amacıyla malzeme seçimi ve oranlanmasıdır. Diğer amaç ise; ekonomik bir agregat karışımı ve şartname limitlerinde gradasyon ile aşağıdaki özelliklere sahip karışım verecek bir bitüm içeriği tayin etmektir (İsfalt, 2002; The Asphalt Handbook, 1990).

Asfalt karışımları, dayanıklı bir kaplama sağlayacak yeterli miktarda bitümle deformasyon veya yer değiştirme olmaksızın trafik taleplerini karşılayacak derecede yeterli karışım stabilitesine sahip, kuma veya stabilite kaybı göstermeksizin yaz aylarındaki sıcaklıklarda bitüm ve agreganın termal genişlemesini tolere edecek, toplam sıkıştırılmış karışım içerisinde yeterli ölçüde hava boşluğuna sahip, segregasyon olmaksızın karışımın efektif şekilde serilmesine izin verecek yeterlikte işlenebilirliğe sahip olmalıdır (Saal, 1933).

Marshall metoduyla dizayn ASTM D 6927-06 (2006)' de verilen prosedüre uygun olarak yapılmıştır. Marshall Metodu, sadece penetrasyon veya viskoziteye göre sınıflandırılmış bitüm kullanan ve maksimum ebatı 25 mm veya daha küçük agregalar içeren sıcak asfalt kaplama karışımlarına uygulanabilmektedir. Metod, sıcak asfalt karışımların laboratuarda dizaynı için öngörülmüştür (İsfalt, 2002; The Asphalt Institute, 1990).

Marshall metodunda 64mm yükseklik x 102mm çaplı standart silindirik asfalt numuneleri kullanılmaktadır. Bunlar, bitüm-agrega karışımlarının ısıtılması, karıştırılması ve sıkıştırılmasına ilişkin belirlenmiş yöntem kullanılarak hazırlanmaktadır.

Marshall karışım dizayn metodunun iki temel özelliği, sıkıştırılmış numuneler üzerinde yoğunluk-boşluk ve stabilite-akma deneylerinin gerçekleştirilmesidir (TS 3720, 1983).

Deney numunelerinin stabilitesi, standart numunenin, 60°C sıcaklıkta sağlayacağı Newton biriminde maksimum yük mukavemetidir. Akma değeri, stabilite deneyi boyunca yüksüz ve maksimum yük konumları arasında numunenin göstereceği 0,25 milimetre biriminde toplam deformasyondur (TS 3720, 1983).

Marshall metodu kullanılarak herhangi bir karışımın veya agregada gradasyonunun optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde, deney verilerine ilişkin eğrilerin net şekilde “optimum” değeri göstermeleri amacıyla farklı asfalt içerikleri aralığı için bir dizi deney numunesi hazırlanmaktadır. Deneyler “optimum” üstünde ve altında en az iki bitüm içeriği olacak şekilde, bitüm içeriğinde yüzde 0,5’lik artışlar yapılarak gerçekleştirilir.

Sıkıştırılmış numunelerin yüksekliği $63,5 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$ olacak şekilde, gerekli miktar agregada, tane sınıflarına göre ayrı ayrı tartılarak alınır (Şekil 3.20). Her numune için Şekil 3.20’de görüldüğü gibi yaklaşık 1150 gr agregada hazırlanır. Agregada numuneleri 160°C’lere kadar ısıtılır. Bu sırada bitümlü bağlayıcı da aynı şekilde karışım sıcaklığına ısıtılır. Karışım sıcaklığına kadar ısıtılmış agregada karıştırıcıya alınarak, kuru olarak karıştırılır. Homojen karışıma ulaşmış agregaya bitüm bağlayıcı ilave edilir, agregada bitümlü malzemeye iyice kaplanıncaya kadar karıştırılır (Şekil 3.21).



Şekil 3.20: Karışım numunelerinin hazırlanması



Şekil 3.21: Agregas numunesi ve bitümlü bağlayıcının karıştırılması

Hazırlanan karışımlar daha sonra sıkıştırmak amacıyla, kalıp ve sıkıştırma tokmağı etüvde 135°C 'ye kadar ısıtılır. Hazırlanmış karışım numune kalıbına aktarılır; 15 defa kenarı ve 10 defa ortası spatula yardımıyla şişlenir. Kalıp tutucusu yerine yerleştirilir (Şekil 3.22). Üstüne filtre kağıdı yerleştirilir. Sıkıştırma tokmağı 457 mm den serbest olarak düşürülerek, 75 darbelik sıkıştırma yapılır. Daha sonra numune ters çevrilir ve öbür yüzüne de aynı sıkıştırma yapılarak, asfalt karışımı briket haline getirilir. Yeterli stabiliteye erişmesi ve silindirik şeklin bozulmaması için, numuneler sıkıştırmadan hemen sonra kalıptan çıkarılmaz. Briketler, numune çıkartma cihazıyla kalıplardan çıkartılır ve 12 saat laboratuvar sıcaklığında bekletilir (Şekil 3.23).



Şekil 3.22: Marshall tokmağında briketlerin hazırlanması.



Şekil 3.23: Briket numunelerinin kalıptan çıkartılarak laboratuvar ortamında bekletilmesi.

Yükseklikleri, havadaki ve 25°C’de sudaki tartımları alınarak, birim ağırlıkları bulunur. Briketleri kırmadan önce, sıcaklığı 60°C±1°C olan su banyosuna yerleştirilir ve 30- 40 dakika tutulur. Numuneler üzerine Marshall stabilite cihazı veya yükleme düzeneği yardımıyla yükleme yapılır Yükleme 51 mm/dak’lık sabit bir deformasyon hızıyla, en büyük yük değerine erişinceye kadar devam edilir. En büyük yük değeri okunup not edilir (Şekil 3.24). En büyük yüke erişildiği anda akımmetre yerinden çıkartılır ve ölçüm saatinde okunan değer kaydedilir. Numuneyi su banyosundan çıkarma, kırma kafasına yerleştirme, kırma kafasını yükleme aygıtına koyma, flowmetreyi sıfıra ayarlama, numunenin kırılması için en büyük yüke erişme işleminin tümü 30 saniye içinde bitirilmelidir. 63,5 mm kalınlıktaki numuneler için bulunan değerler, gerçek değerlerdir. Bu kalınlıktan farklı numuneler için Marshall stabilite faktörleri kullanılır.



Şekil 3.24: Marshall stabilite cihazı.

Tüm bu çalışmaların sonucunda hesaplama ve sonuçlar aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

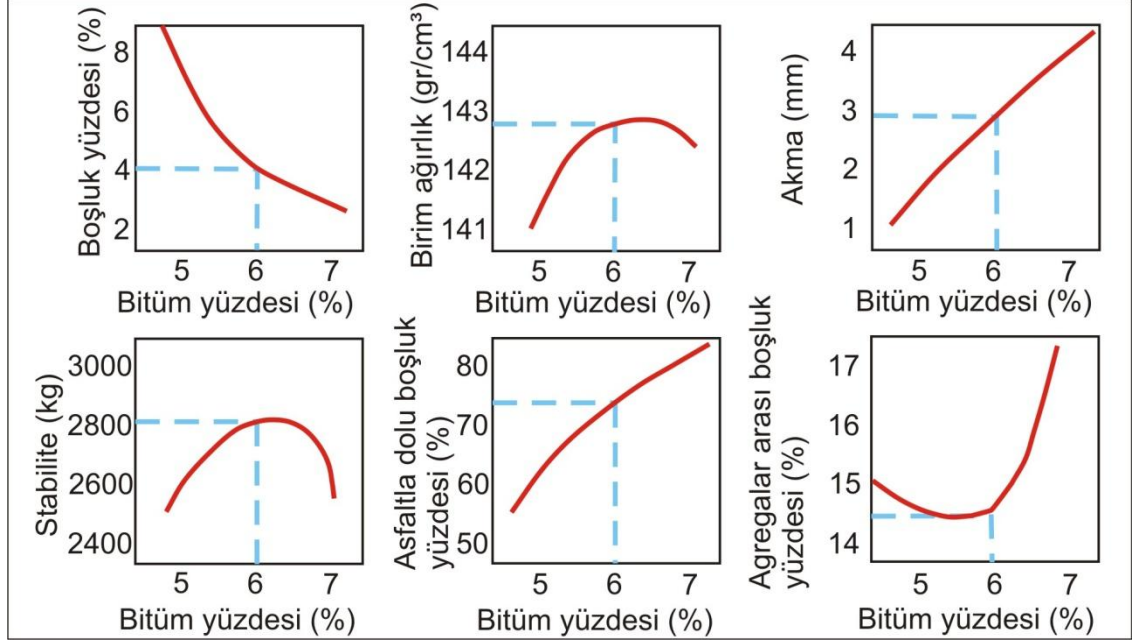
- Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin havadaki ve sudaki ağırlığı tespit edilir, hacmi bulunur. Pratik özgül ağırlığı hesaplanır.
- Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin kırılma yüklerinin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark 120 kg geçmez ise üçünün ortalaması Marshall stabilitesi olarak alınır. Eğer fark bu değerden büyük ise, aralarındaki 60 kg'dan fazla olmayan iki değer ortalaması, Marshall stabilitesi olarak kabul edilir. Bu da sağlanamadığı takdirde deney yenilenir.
- Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin akma değerinin ortalaması alınır.
- Pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk bitüm ile dolu boşluk grafikleri çizilerek; yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, boşluk, bitümle boşluk ve akma eğrileri için uygulamada kullanılması öngörülen değer ortalamasına karşı gelen bitüm yüzdeleri tespit edilir. Bulunan değer aritmetik ortalaması, optimum bitüm yüzdesi olarak alınır.
- Bulunan optimum bitüm yüzdesi uygulamada kullanılması öngörülen değeri kapsıyorsa, işyeri karışımı için esas değer olarak kabul edilir

3.3.3. Marshall Yönteminde Uygulanan Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Stabilite ve akma değerleri ile boşluk yüzdesine ilişkin veriler aşağıdaki şekilde sağlanır.

- 63,5 mm'lik standart yüksekliğe uymayan numunelere ilişkin ölçülen stabilite değerleri bir düzeltme faktörüyle eşdeğer 63,5mm değerine dönüştürülür.
- Belli bir bitüm içeriğine ait numunelere ait akma değerleri ile düzeltilmiş stabilite değerlerinin ortalaması alınır.
- Stabilite-Bitüm içeriği, Akma-Bitüm içeriği, Birim ağırlık-Bitüm içeriği, Boşluk yüzdesi- Bitüm içeriği, Agregalar arası boşluk yüzdesi-Bitüm içeriği ve Asfaltla dolu boşluk yüzdesi-Bitüm içeriği için aşağıdaki grafiksel gösterim hazırlanır.

Asfalt karışımının dizaynındaki bitüm içeriği (optimum bitüm) Şekil 3.25'te verilen diyagramlar kullanılarak belirlenir.



Şekil 3.25: Dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri.

İlk olarak, hava boşluğu yüzdesinin % 4, asfaltla dolu boşluk yüzdesinin % 70 olduğu bitüm içerikler belirlenir ve ortalaması alınarak karışımın optimum bitüm içeriği bulunur. Daha sonra bu bitüm içeriğine karşılık gelen birim ağırlık, akma, stabilite, boşluk, agregalar arası boşluk ve asfaltla dolu boşluk değerleri grafik üzerinden bulunarak Marshall dizayn Kriterlerine göre değerlendirilme yapılır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: Ağır trafik şartları için Marshall dizayn kriterleri (TS 3720, 1983). Deneme karışımlarında sadece Aşınma karışımları kullanılmıştır.

ASFALT KARIŞIM ÖZELLİKLERİ	BITÜMLÜ TEMEL		Binder		Aşınma	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı (adet)	75		75		75	
Marshall stabilitesi (kg)	600	-	750	-	900	-
Boşluk (%)	4	7	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk (%)	55	70	60	75	65	75
Akma (mm)	2	5	2	4	2	4
Filler / bitüm oranı	-	-	-	1.4	-	1.5
Bitüm (ağırlıkça %)	3,0	5,5	3,5	6,5	4,0	7,0
Agregalar arası boşluk (%)	12	-	13	-	14	-

Marshall yöntemi, agregaların ve bitümün belli sıcaklıklara kadar ısıtılarak plent denilen özel karıştırıcılar ile karıştırılmasıyla elde edilen asfalt karışımların en yaygın olarak kullanılan dizayn yöntemidir. Bu metod, belirli bir gradasyona göre hazırlanmış agrega karışımının ihtiyacı olan optimum bitüm miktarının tespiti için kullanılmaktadır. Marshall metodu, en büyük tane büyüklüğü 25 mm'ye kadar olan agrega ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu, sıvı petrol asfaltı veya katran kullanılarak hazırlanan karışımlara uygulanır. Deneyler için % 0,5'lik artışlarla en az 6 farklı bitüm yüzdesinde briketler hazırlanır, her bir bitüm yüzdesi için 3 adet briket hazırlanır. Bu metotta önce Marshall cihazı yardımıyla bitümlü karışımların stabilitesi, plastik akma direnci, boşluk ve asfaltla dolu boşlukları tayin edilmiş, daha sonra hesaplamalara geçilmiştir.

3.3.4. Asfalt Karışım Oranları

Yapılan bu araştırma çalışmasında 16 ayrı asfalt karışımı yapılmıştır. Karışımların tasarımı esnasında ince agregalar aynı tür, iri agregalar ise farklı tür olarak kullanılmıştır. Bunun sebebi, asfalt karışımlarında hem bitüm içeriği hem de tekerlek izi gibi performansı tayin eden kısmın ince agrega olarak kabul edilmiş olmasıdır.

Tablo 3.11: Çalışmada kullanılan karışımların ait oranlar.

Karışım kodu	Karışım yüzdeleri			
	0-4,76 mm taştozu	12,7-4,76 mm agrega	19,1-12,7 mm agrega	Bitüm
BB	45	40	15	6,05
KMB	43	47	10	5,40
KCB	45	45	10	4,65
GB	47	43	10	6,15
KCKC	45	45	10	4,70
BKC	44	48	8	5,03
KMKC	43	45	12	5,65
GKC	45	45	10	5,00
KMKM	43	50	7	5,60
BKM	43	51	6	5,50
KCKM	47	46	7	5,40
GKM	44	47	9	5,50
GG	43	44	13	6,00
BG	42	50	8	6,00
KMG	43	49	8	6,25
KCG	45	49	6	5,30

Bu karışımların hazırlanması esnasında kireçtaşı, kumtaşı ve bazalt örnekleri direk olarak agrega ocaklarından alındığından dolayı, karışım oranları da ayrı ayrı agrega

boyutları şeklinde hazırlanmıştır. Ancak granit örneklerinin alındığı ocakta agreganın üretimi olmadığından dolayı alınan büyük parça numuneler laboratuvarda çeneli kırıcıda kırılmıştır. Bu nedenle agreganın boyutlarına ayrılmadan toplam numune direkt olarak kullanılmıştır (Tablo 3.11).

3.4. DENEME ASFALT KARIŞIMLARINA AİT ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

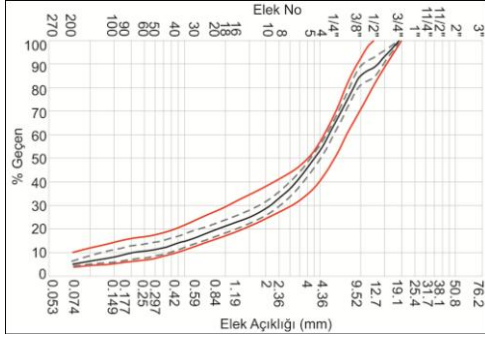
Araştırma kapsamında 16 adet asfalt karışımı hazırlanmıştır. Karışımı oluşturan agreganın türleri ve karışım oranları Tablo 3.9, 3.10 ve 3.11’ de sunulmuştur. Bu karışımlara ait özellikler de aşağıdaki Tablo 3.12’ de gösterilmiş ve maddeler halinde bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

Tablo 3.12: Hazırlanan deneme asfalt karışımlarına ait özellikler.

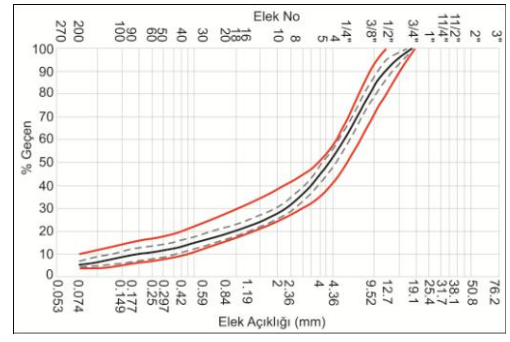
Karışım Kodu	Optimum Bitüm %	Birim Ağırlık gr/cm ³	Boşluk %	Asfaltta Dolu Boşluk %	Stabilite kg	Akma mm	Agregalar Arası Boşluk %	Maksimum Teorik Özgül Ağırlık gr/cm ³	Filler/Bitüm Oranı %	Tekerlek İzi mm
BB	6,05	2,498	4,60	72,00	1.040	4,47	16,75	2,620	0,79	
KMB	5,40	2,400	4,20	71,00	1.000	4,70	15,18	2,506	0,96	
KCB	4,65	2,428	4,00	70,00	1.246	4,17	13,50	2,532	1,07	3,31
GB	6,15	2,390	4,60	73,00	1.226	4,16	16,60	2,503	0,81	
KCKC	4,70	2,434	4,00	71,00	1.480	3,72	14,00	2,537	1,10	3,20
BKC	5,03	2,480	4,15	71,00	1.300	3,49	14,75	2,590	0,99	3,85
KMKC	5,65	2,394	4,40	72,50	1.162	4,18	16,05	2,504	0,96	3,22
GKC	5,00	2,378	4,10	71,00	1.420	3,52	14,54	2,482	1,06	3,27
KMKM	5,60	2,398	4,40	71,00	1.282	4,42	15,20	2,507	0,98	
BKM	5,50	2,468	4,00	72,00	1.376	4,25	14,83	2,573	0,87	
KCKM	5,40	2,406	4,20	72,00	1.340	4,06	14,88	2,513	1,02	2,55
GKM	5,50	2,352	4,60	70,00	1.440	3,85	15,15	2,467	0,96	
GG	6,00	2,340	4,40	73,00	2.080	3,55	15,90	2,450	1,23	
BG	6,00	2,480	4,60	73,00	1.520	3,55	17,35	2,535	1,13	
KMG	6,25	2,422	4,70	73,00	1.520	3,63	17,55	2,466	1,20	
KCG	5,30	2,392	4,40	73,00	1.840	3,28	15,60	2,498	1,40	5,24
Şrt. Gereklileri	4,0 - 7,0		3,0 - 5,0	65 - 75	min 900	2,0 - 4,0	min 14		max 1.5	1,0 - 3,0

3.4.1. Karışım Elek Analizi

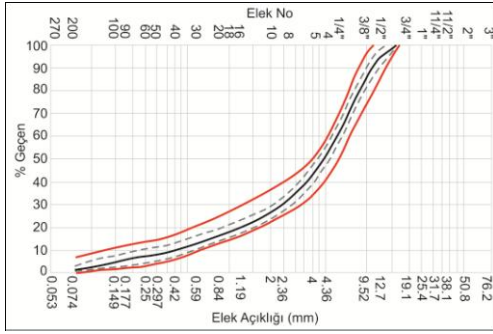
Hazırlanan 16 karışım oranları Tablo 3.11’deki oranlarda ve agreganın türünde bitümle karıştırılmıştır. Her karışım için 3 ayrı grup agreganın (0-4.76 mm, 12.7-4.76 mm ve 19.1-12.7 mm) ile çalışılmıştır. Hazırlanan asfalt karışımların elek analizleri şekil 3.26 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)’ da gösterilmiştir.



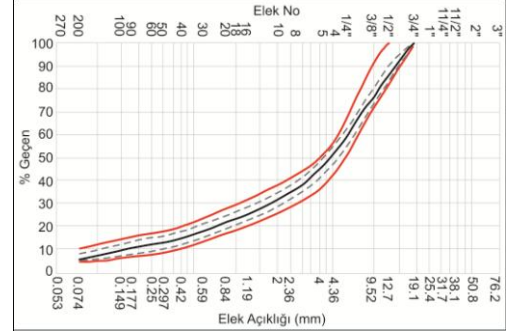
(a)



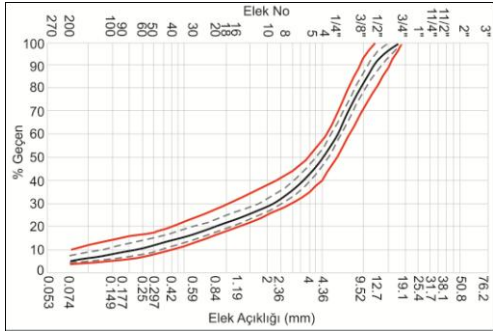
(b)



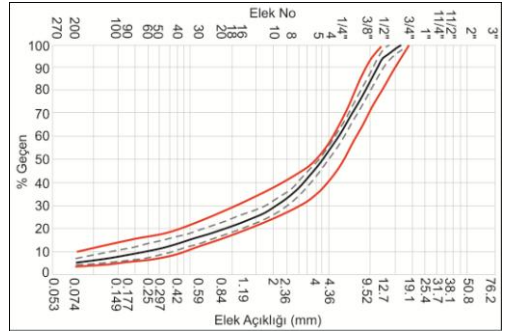
(c)



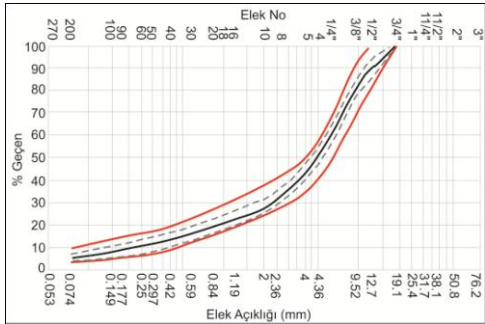
(d)



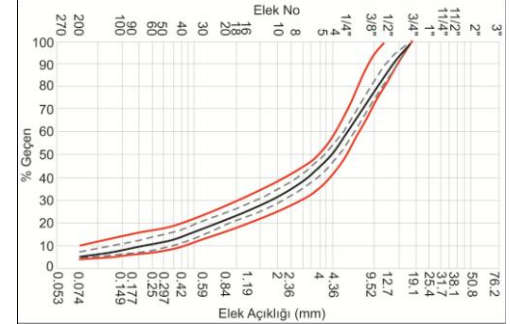
(e)



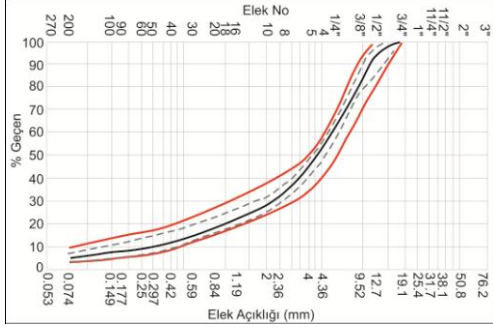
(f)



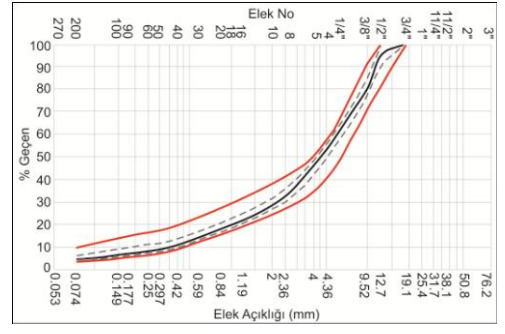
(g)



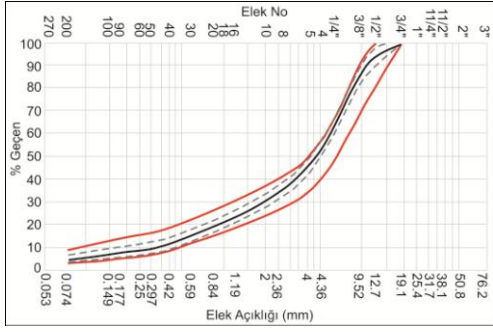
(h)



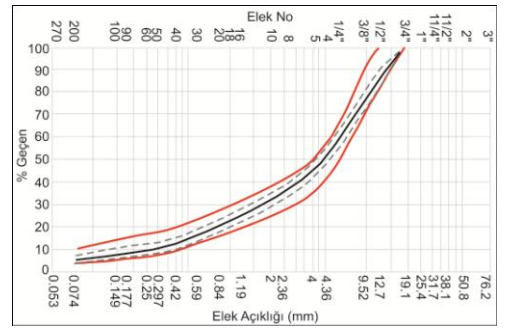
(1)



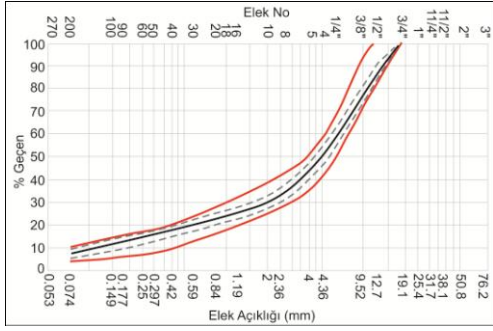
(i)



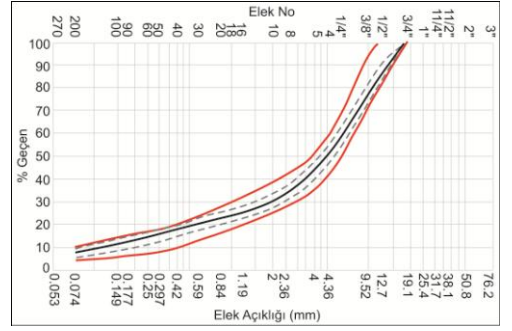
(j)



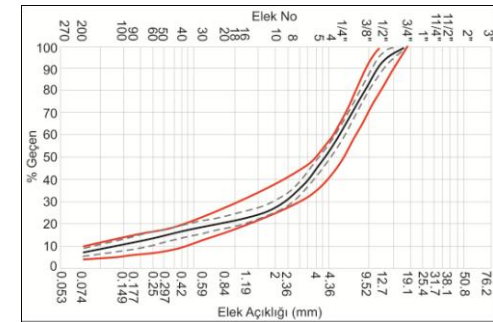
(k)



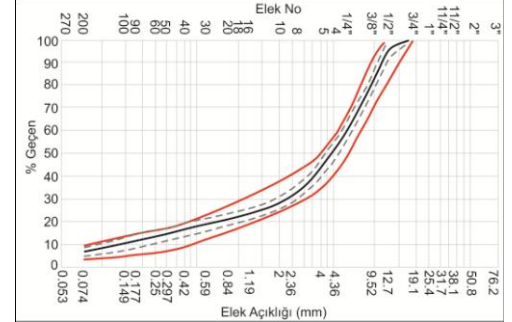
(l)



(m)



(n)



(o)

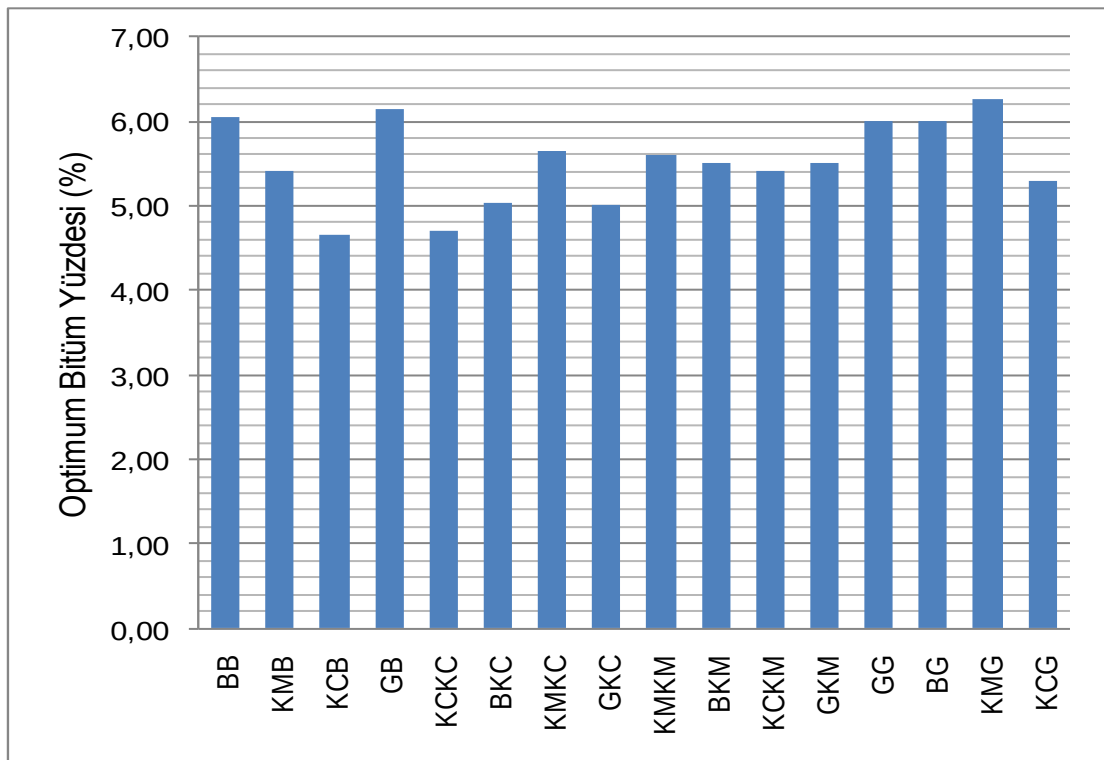
Şekil 3.26: Deneme Karışımlarına ait elek analizi grafikleri, (a) BB (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (i) BKM (j) KCKM (k) GKM (l) GG (m) BG (n) KMG (o) KCG.

Hazırlanan asfalt karışımlarına ait elek analizi eğrisinin KGM (2006) Aşınma Tip 1 şartname sınırlarının ortasına yakın bir noktadan geçebilmesi için çaba gösterilmesine rağmen sadece KCB, GB, KCKC, GKC, GKM, GG kodlu karışımlar ideal karışıma yakın bir eğri vermişlerdir. Bu durum, agreganın kırılma türü dolayısıyla agreganın boyutu, agreganın dane şekli, agreganın pürüzlülüğü gibi özelliklerle ilgilidir.

3.4.2. Optimum Bitüm Yüzdesi

Tüm karışımlar Optimum Bitüm İçeriği açısından 16 farklı değer vermişlerdir. Bitüm içeriği açısından aynı değeri veya birbirine yaklaşık değer veren karışıma rastlanmamıştır.

Optimum bitüm yüzdesi açısından en düşük değeri 4.65 % ile KCB karışımı verirken, en yüksek değeri ise 6.25% ile KMG karışımı vermiştir.



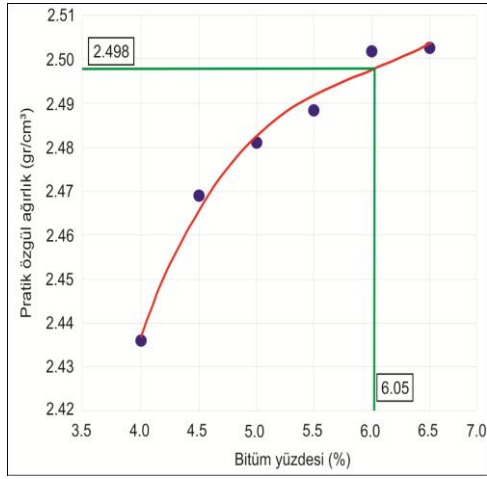
Şekil 3.27: Bitüm yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.

Kullanılan 4 ayrı agreganın da absorpsiyon değerleri farklıdır. Bu değerler içinde en yüksek olan bazalt ve kumtaşlarıdır. Kireçtaşlarının ise iri agregaları uygun değerler verirken ince agregaları yüksek değer vermiştir. Granitin ise hem iri hem de ince agreganın değerleri ortalamasının üzerinde seyretmiştir.

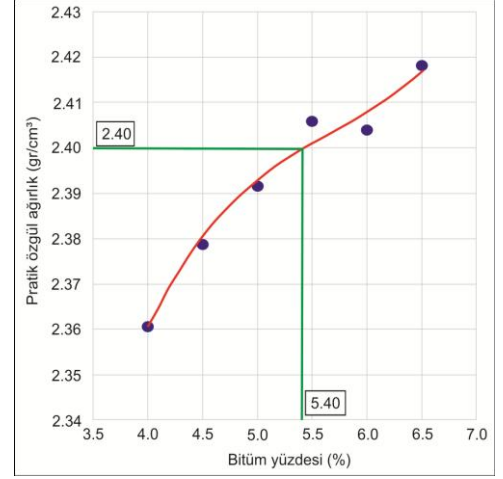
Bu nedenle, Optimum Bitüm İçeriği açısından bazalt ve kumtaşı karışımları yüksek değer vermişlerdir. Kireçtaşı karışımları ise bazalt ve kumtaşına göre daha düşük değerler vermiştir. Granitle birlikte bazalt ve kumtaşlarının biraraya geldiği durumlarda bitüm içeriği en yüksek değerleri vermiş, kireçtaşı-granit karışımında ise kireçtaşının absorpsiyon değerinin düşük olmasından dolayı bitüm içeriği de azalmıştır (Şekil 3.27).

3.4.3. Karışımların Birim Ağırlığı

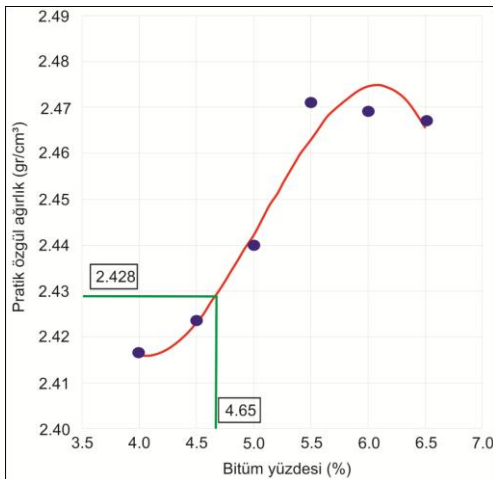
Karışımların birim ağırlık değerleri, daha önce % 4 boşluk yüzdesi ve % 70 asfaltla dolu boşluk yüzdesine göre bulunmuş olan optimum bitüm yüzdesi değerinin, dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri üzerindeki eğri ile kesiştirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 3.25).



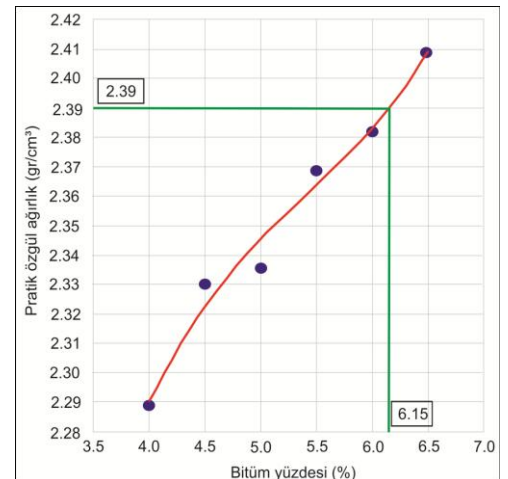
(a)



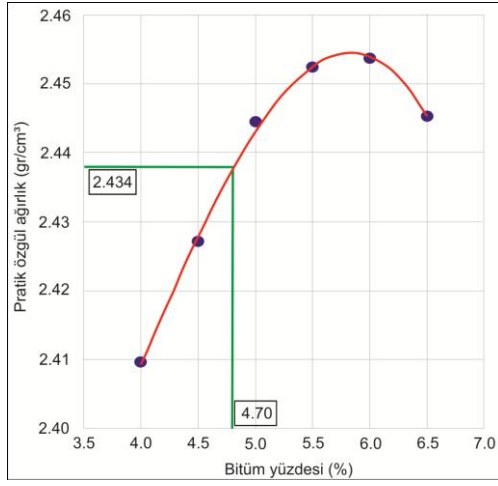
(b)



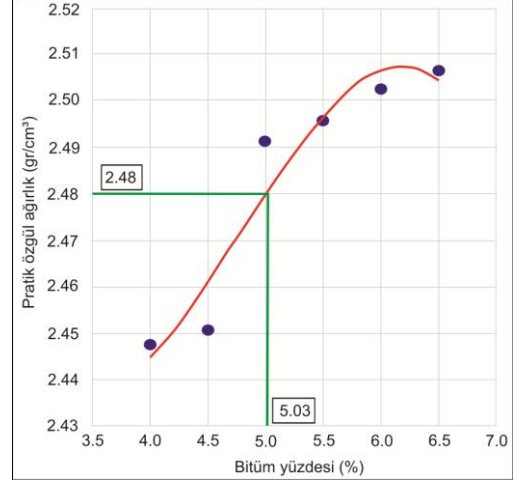
(c)



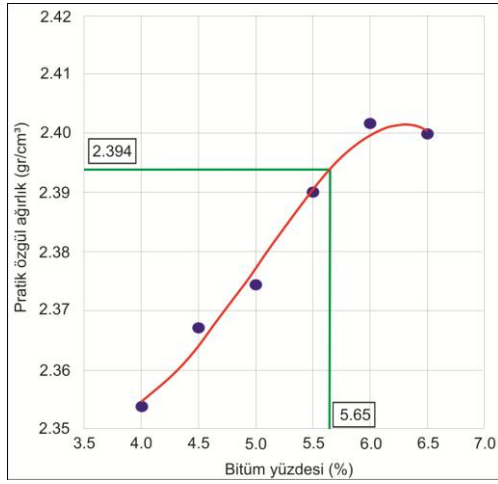
(d)



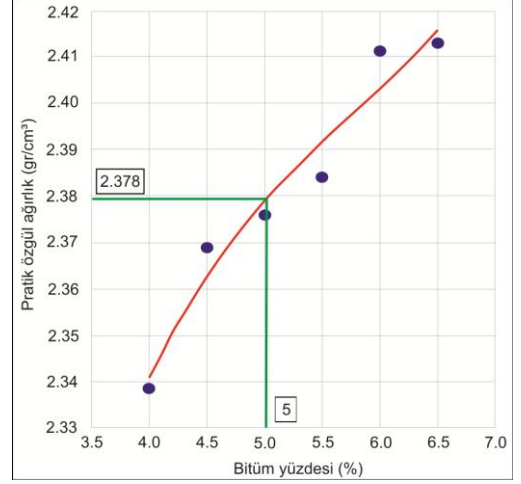
(e)



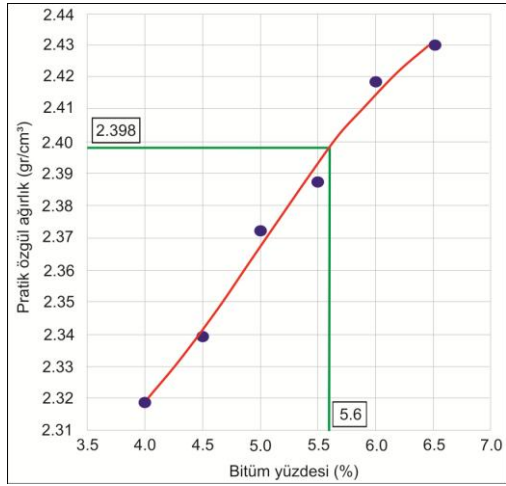
(f)



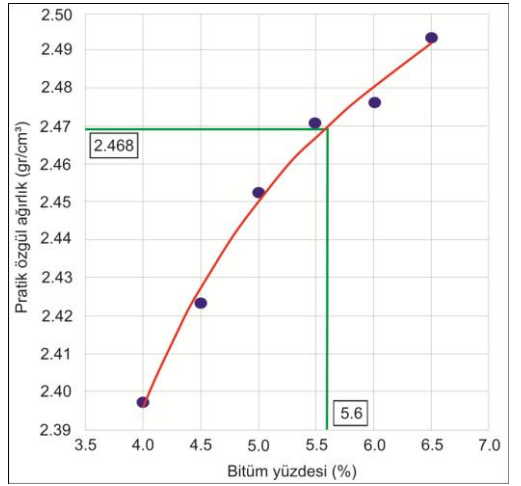
(g)



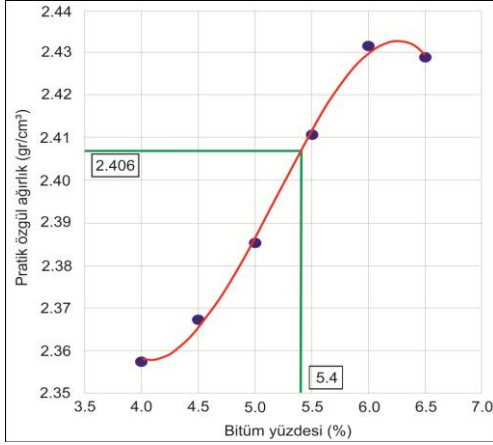
(h)



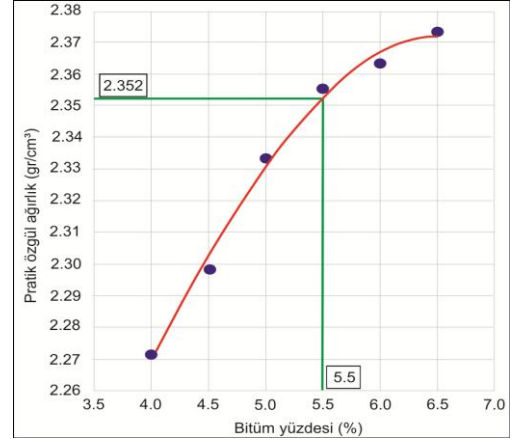
(i)



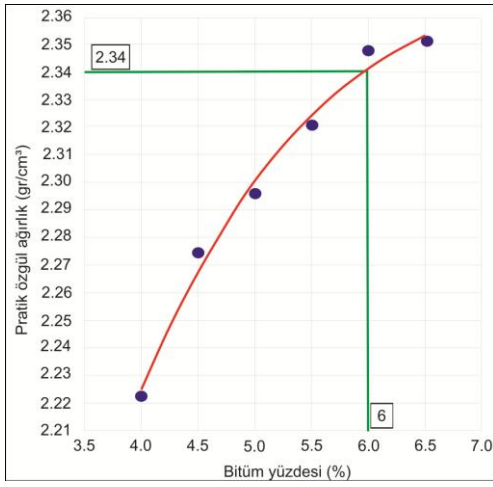
(j)



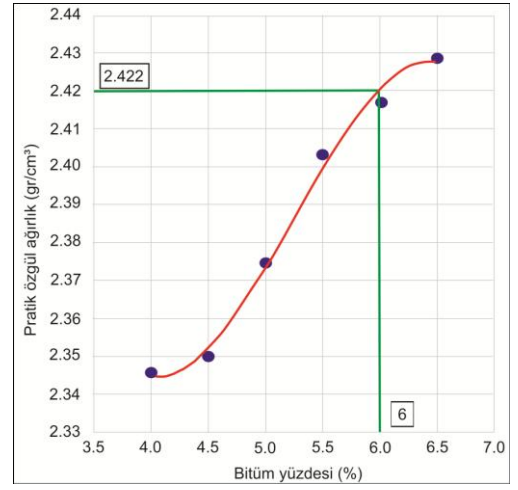
(j)



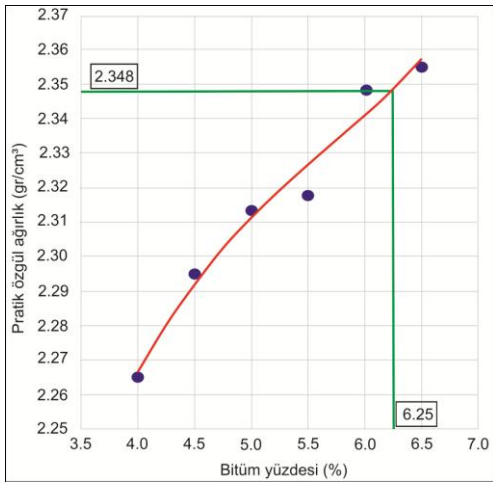
(k)



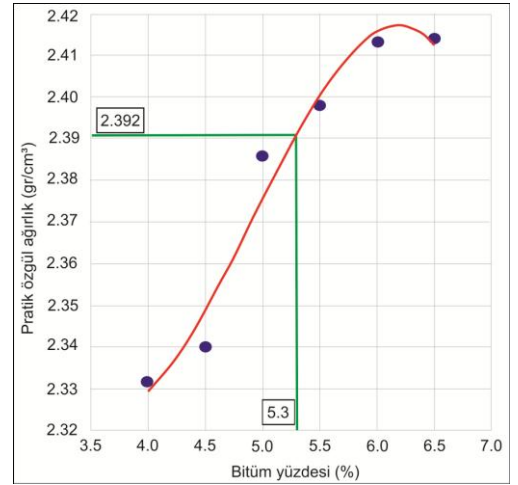
(l)



(m)



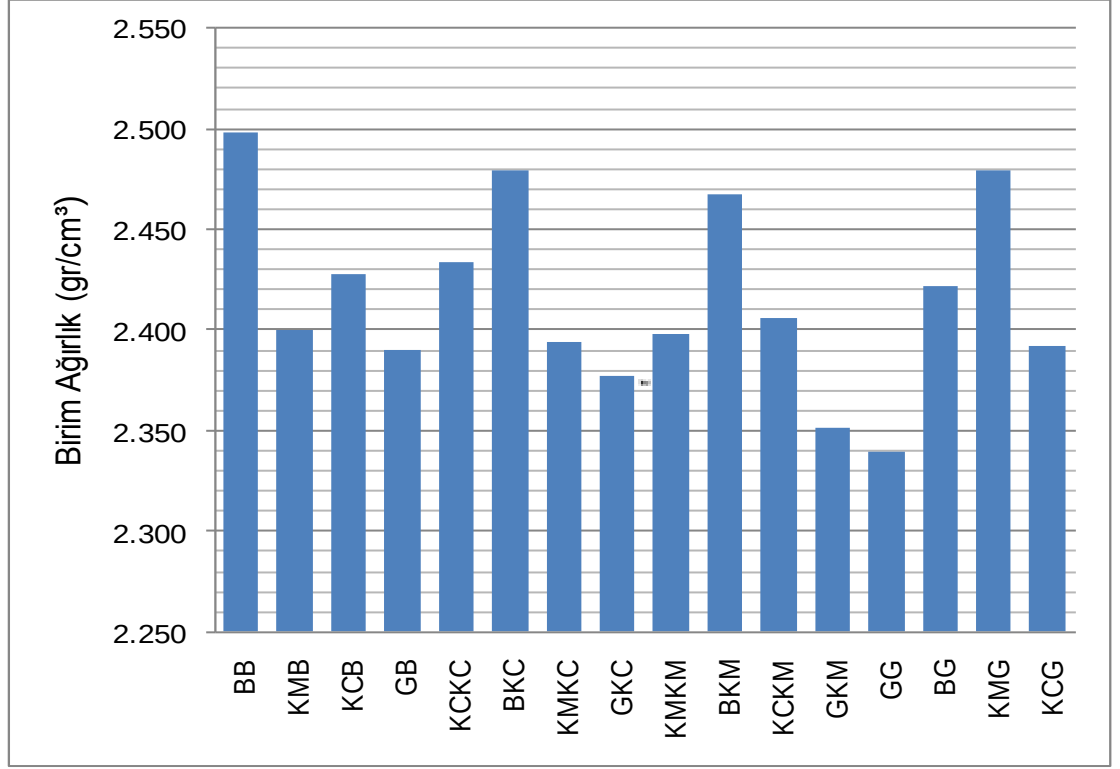
(n)



(o)

Şekil 3.28 : Deneme asfalt karışımlarına ait birim ağırlık grafikleri, (a) BB (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (i) BKM (j) KCKM (k) GKM (l) GG (m) BG (n) KMG (o) KCG.

Agrega tane yoğunlukları açısından bakıldığında, kireçtaşı ve kumtaşı birbirine yakın değerler verirken bazalt en yüksek agrega tane yoğunluk değerini, granit ise en düşük tane yoğunluk değerini vermiştir.



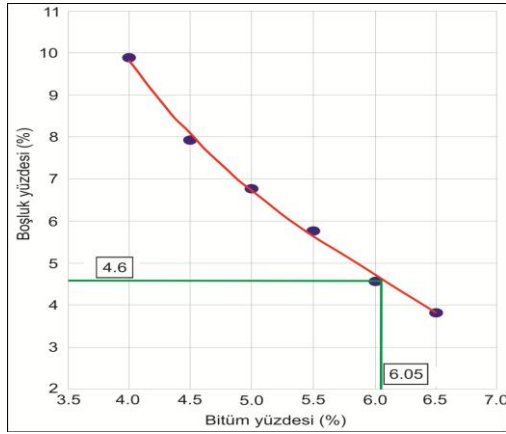
Şekil 3.29: Birim ağırlık açısından karışımların karşılaştırılması.

Asfalt birim ağırlığı açısından, en düşük değeri 2.340 gr/cm^3 ile GG karışımı verirken, en yüksek değeri ise 2.498 gr/cm^3 ile BB karışımı vermiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarına ait birim ağırlık değerleri Şekil 3.28 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)' da gösterilmiştir.

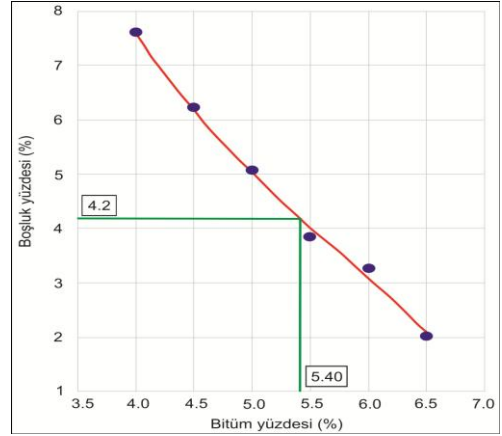
Bundan dolayı asfalt birim ağırlık değeri açısından, Bazalt karışımları kireçtaşı ve kumtaşına göre daha yüksek yoğunluk vermiştir. Granitin kendi yoğunluğunun düşük olmasından dolayı granit ile yapılan karışımlar nispeten daha düşük değerler vermiştir. Ancak bazalt-granit, kumtaşı-granit gibi beraberliklerde granitin etkisi görülmüştür (Şekil 3.29).

3.4.4. Boşluk Yüzdesi

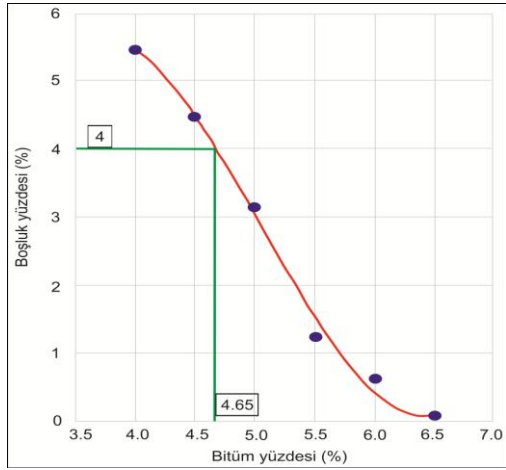
Karışımların boşluk yüzdesi değerleri, daha önce % 4 boşluk yüzdesi ve % 70 asfaltla dolu boşluk yüzdesine göre bulunmuş olan optimum bitüm yüzdesi değerinin, dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri üzerindeki eğri ile kesiştirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 3.25).



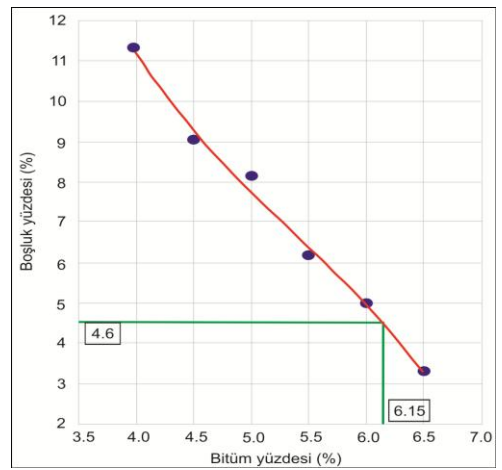
(a)



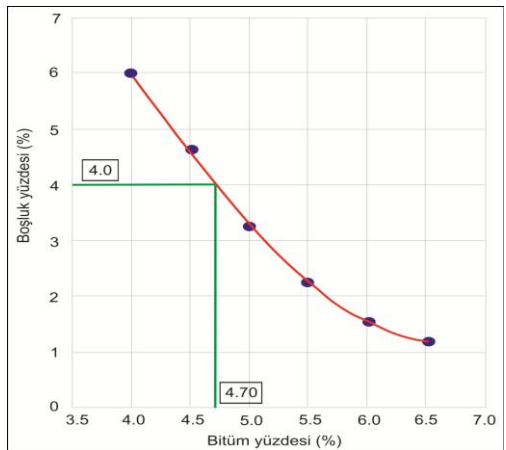
(b)



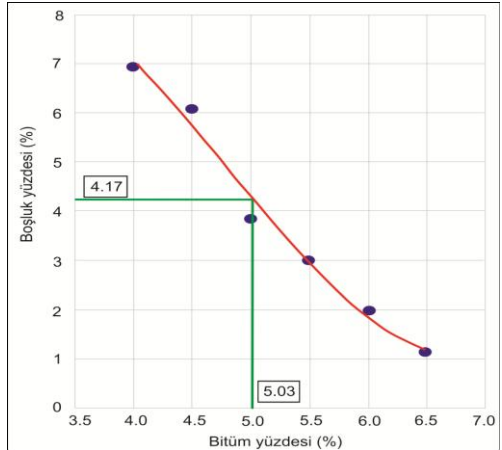
(c)



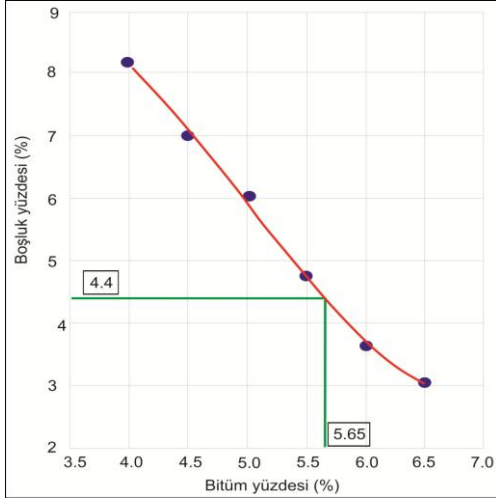
(d)



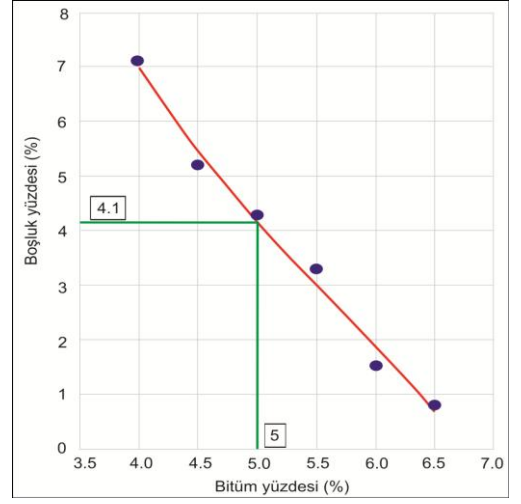
(e)



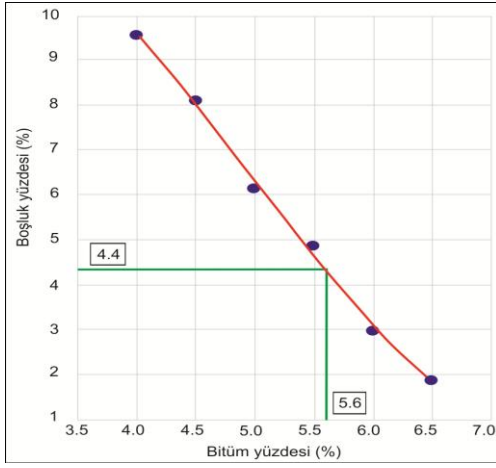
(f)



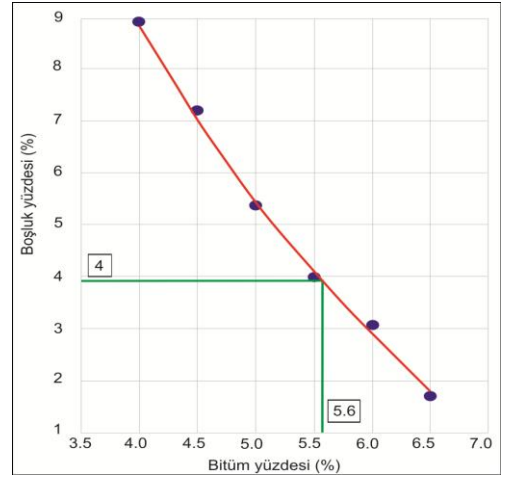
(g)



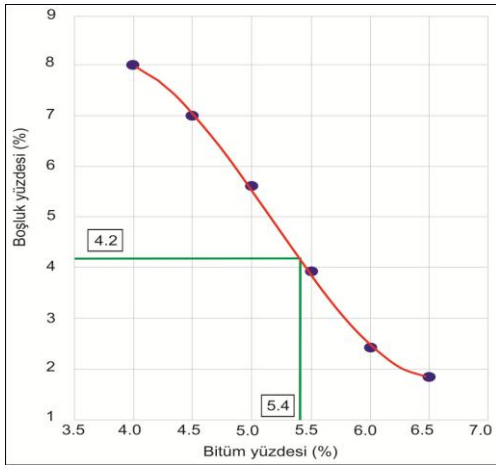
(h)



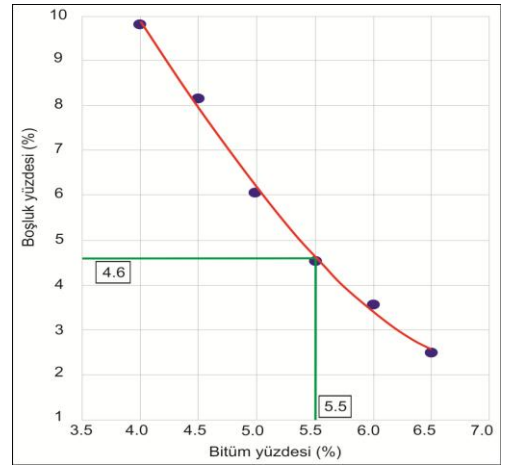
(i)



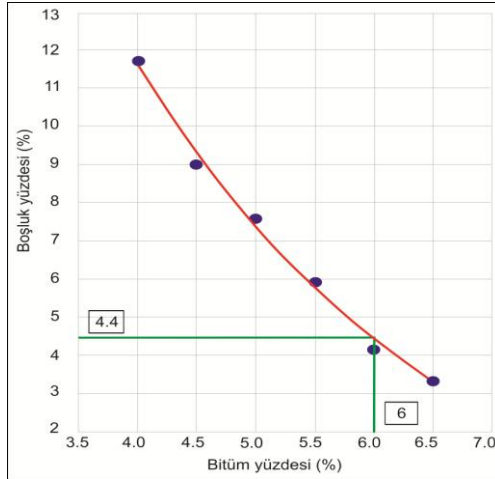
(j)



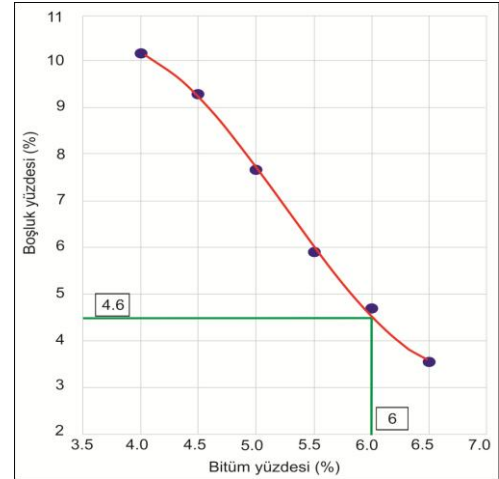
(k)



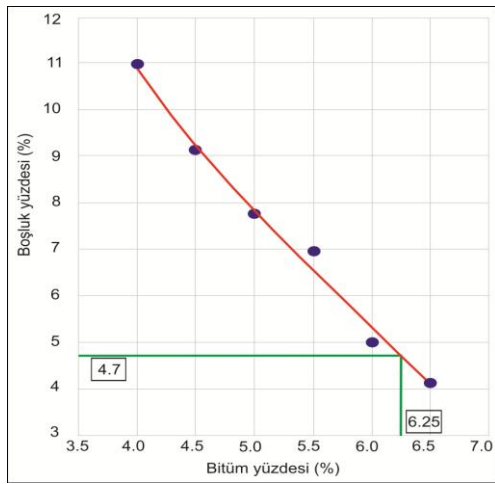
(l)



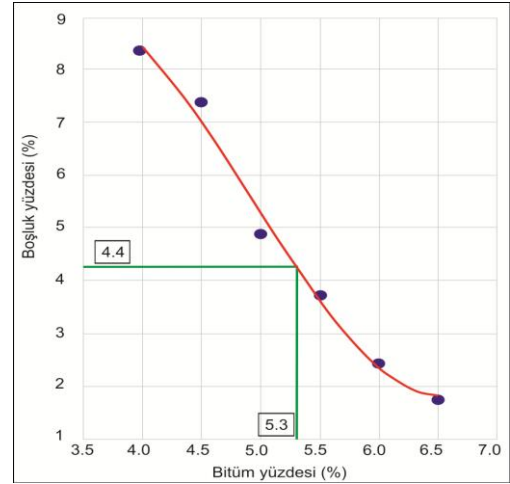
(l)



(m)



(n)



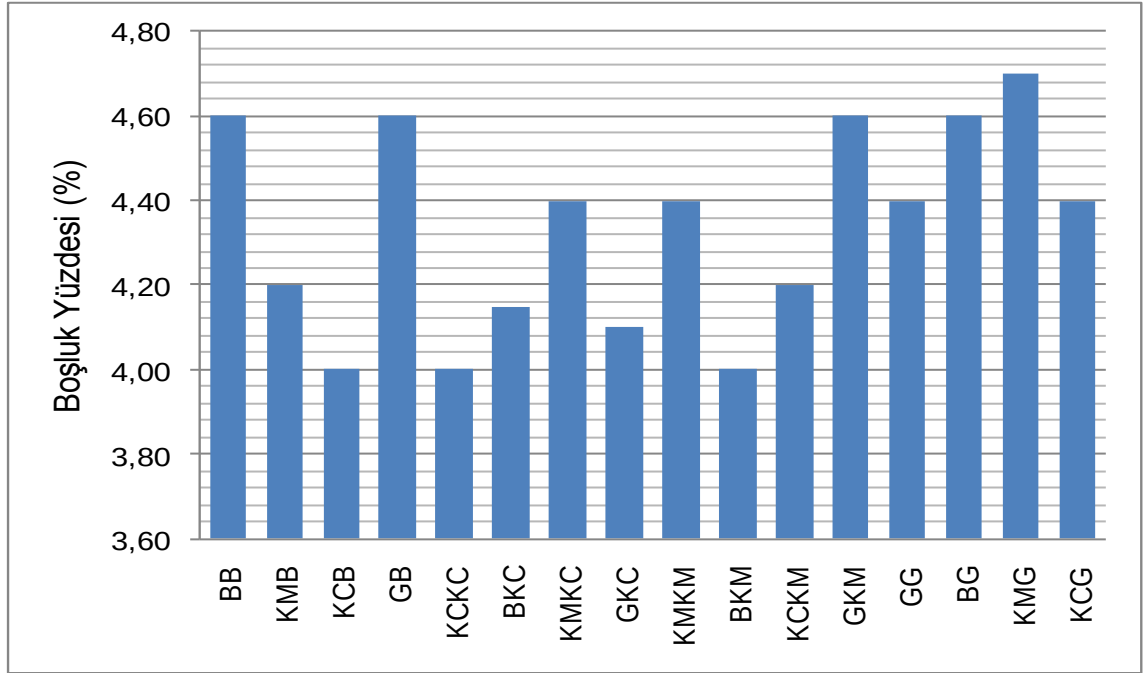
(o)

Şekil 3.30: Deneme Karışımlarının Boşluk yüzdesi grafikleri, (a) BB (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (j) BKM (k) GKM (l) GG (m) BG (n) KMG (o) KCG.

Boşluk yüzdesi açısından, en düşük değeri % 4 ile KCB, KCKC , BKM karışımları verirken, en yüksek değeri ise 4.70 % ile İri Agregası KMG olan karışım vermiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarına ait boşluk yüzdeleri Şekil 3.30 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)'da gösterilmiştir.

Boşluk yüzdeleri açısından en yüksek değerleri bazalt ve granit karışımları vermiştir. Asfalt karışımlarında ideal boşluk oranı şartnamelerde aşınma karışımları için % 3- % 5 arasında olması istenmektedir. Ama ideal beklenti bu oranın % 4 civarında olmasıdır. Çalışmadaki boşluk olaralarına bakıldığında bu ideal durumun 3 karışım için olduğu

görülmektedir. Granit ve bazalt gibi filler boyutundaki malzemesi az olan agrega gruplarından oluşan asfalt karışımları yüksek boşluk oranı değerleri vermiştir. % 4 civarında ideal boşluk oranı değeri veren karışımlar ise kireçtaşı ve kumtaşı gibi ince malzemesi uygun olan agregalardan oluşmuş karışımlardır (Şekil 3.31).

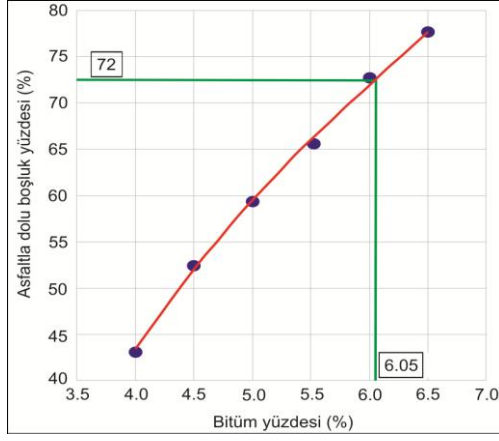


Şekil 3.31: Boşluk yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.

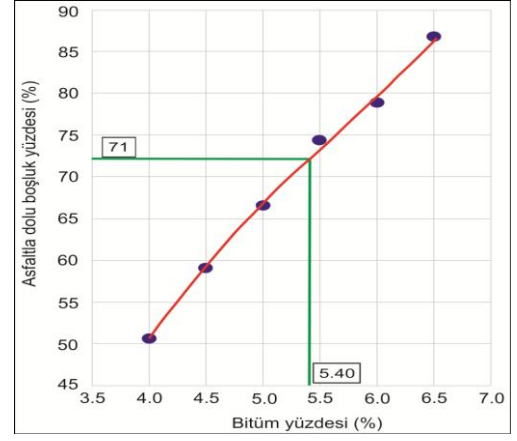
3.4.5. Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi

Karışımların asfaltla dolu boşluk yüzdesi değerleri, daha önce % 4 boşluk yüzdesi ve % 70 asfaltla dolu boşluk yüzdesine göre bulunmuş olan optimum bitüm yüzdesi değerinin, dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri üzerindeki eğri ile kesiştirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 3.25).

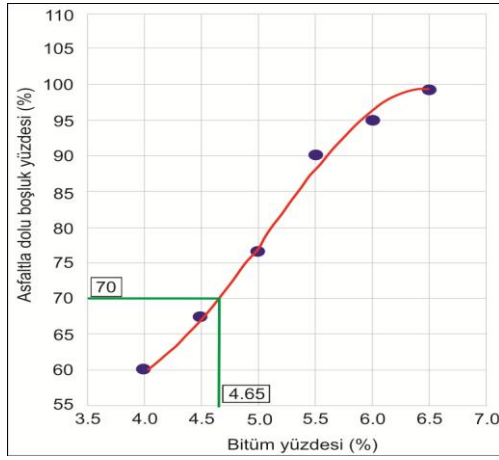
Asfaltla Dolu Boşluk yüzdesi açısından, en düşük değeri % 70 ile KCB ve GKM karışımları verirken, en yüksek değeri ise % 73 ile, GB, GG, BG, KMG, KCG karışımları vermiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarına ait asfaltla dolu boşluk yüzdeleri Şekil 3.32 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)'da gösterilmiştir.



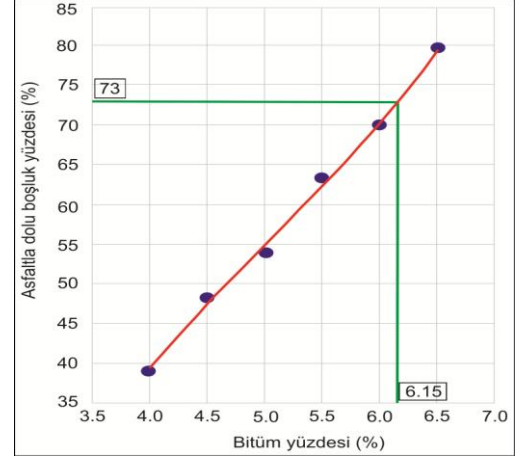
(a)



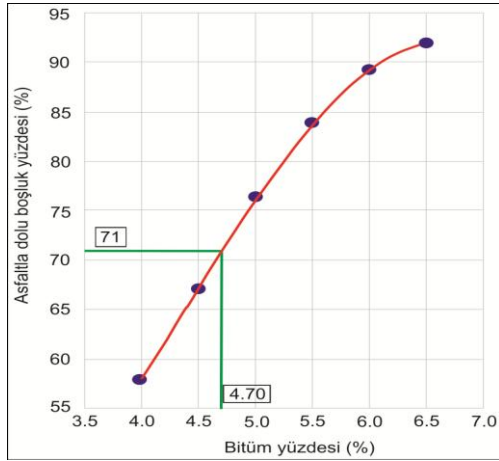
(b)



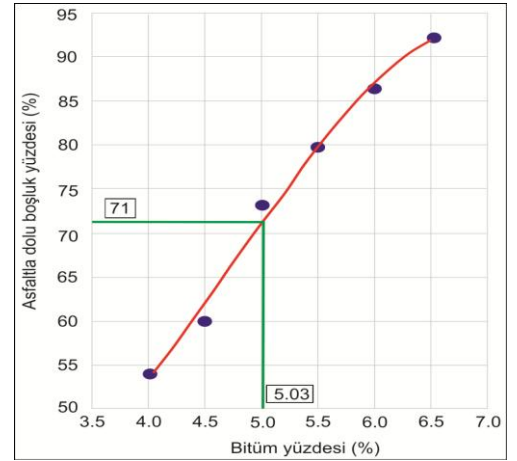
(c)



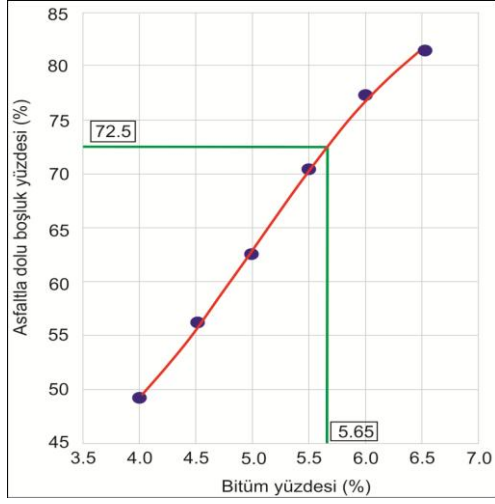
(d)



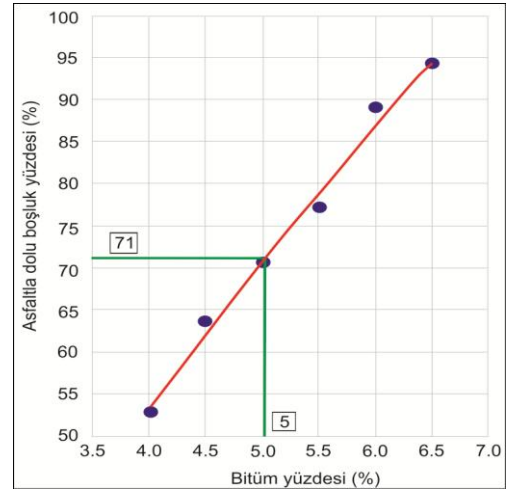
(e)



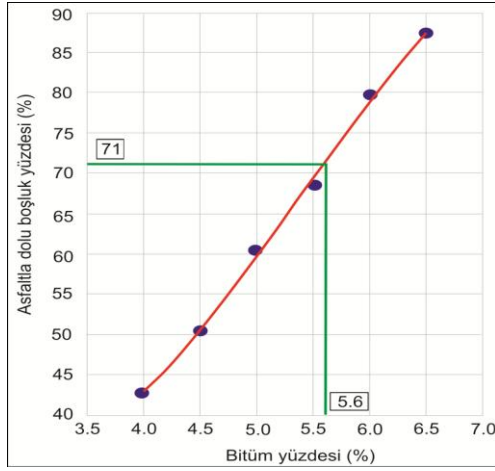
(f)



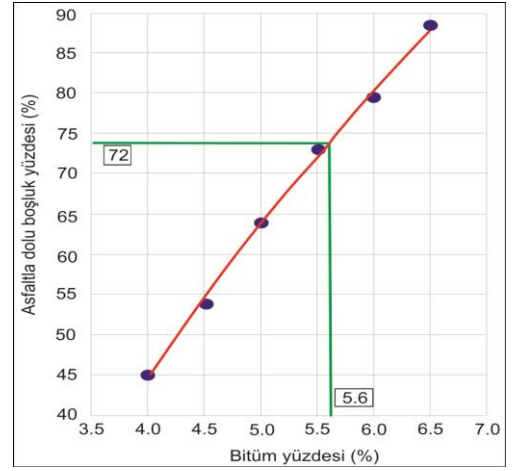
(g)



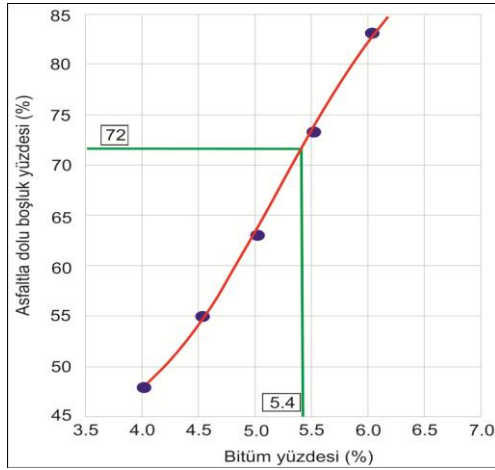
(h)



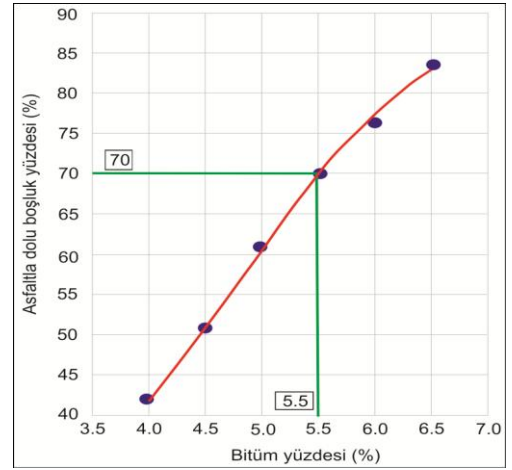
(ı)



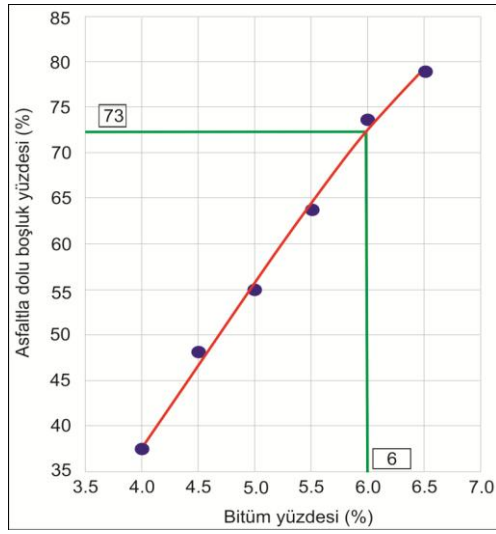
(i)



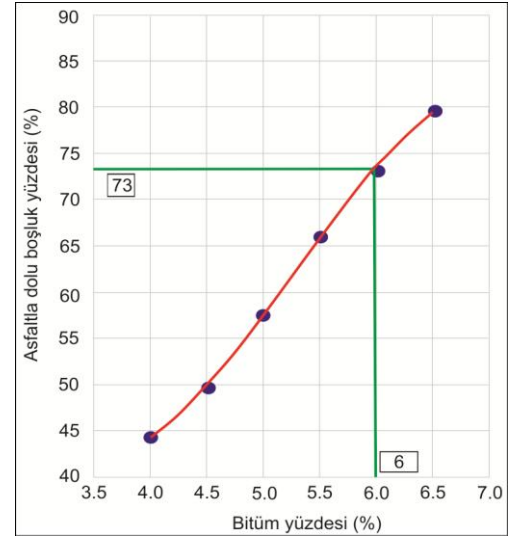
(j)



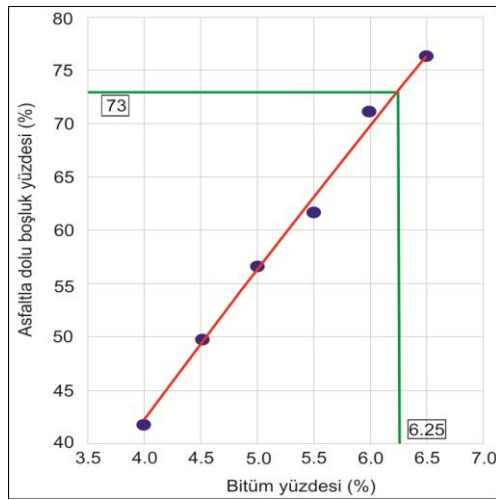
(k)



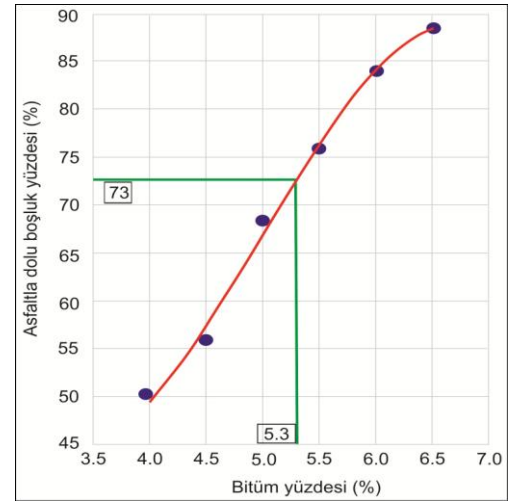
(l)



(m)



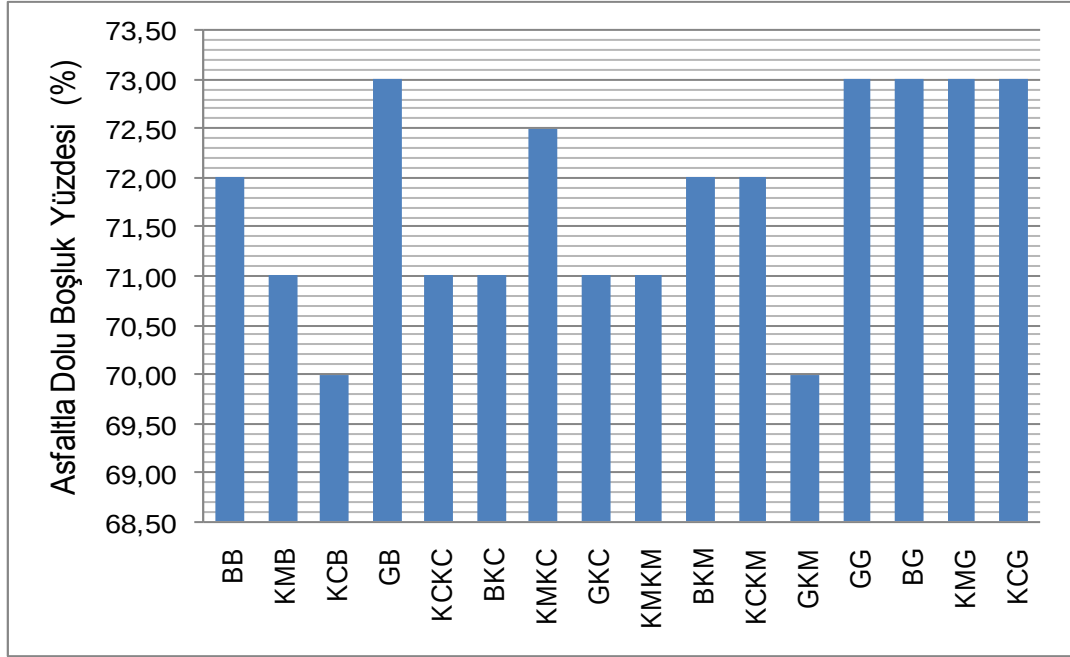
(n)



(o)

Şekil 3.32: Deneme Asfalt karışımlarının asfaltla dolu boşluk yüzdesi grafiği, (a) BB (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (j) BKM (k) KCKM (l) GKM (m) BG (n) KMG (o) KCG.

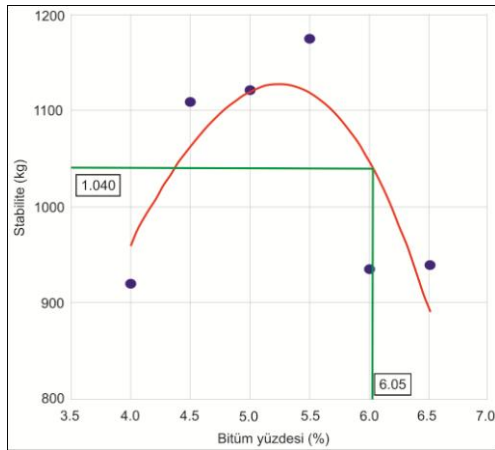
Karışımlar asfaltla dolu boşluk yüzdeleri açısından karşılaştırıldığında; boşluk yüzdesi ideal olan karışımlarının bu değerlerinin de ideal olduğu görülmektedir. Asfaltla dolu boşluk yüzdeleri de şartname limitlerine göre % 65-75 arasında olması beklenirken % 70 civarında olanlar bu değer açısından ideal kabul edilmiştir. Bu anlamda bakıldığında, % 4.00, 4.20, 4.15, 4.10 gibi boşluk yüzdeleri olan karışımların % 70, 71, gibi ideal asfaltla dolu boşluk değerleri vermiştir. Bu karışımlar incelendiğinde iri agregaların sert agregalardan oluştuğu, agreganın daha köşeli olması nedeniyle, boşluk oranlarının daha ideal olarak oluştuğu ve oluşan boşluklara da bitümün yerleşebildiği yorumu yapılabilmektedir (Şekil 3.33).



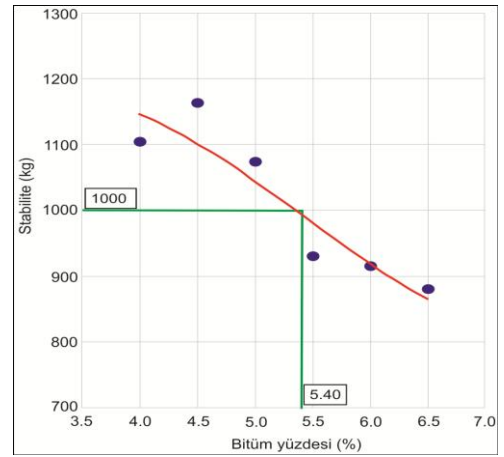
Şekil 3.33: Asfaltla dolu boşluk yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.

3.4.6. Stabilite

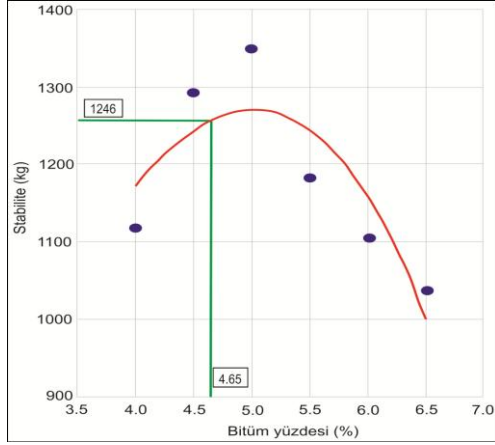
Karışımların stabilite değerleri, daha önce % 4 boşluk yüzdesi ve % 70 asfaltla dolu boşluk yüzdesine göre bulunmuş olan optimum bitüm yüzdesi değerinin, dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri üzerindeki eğri ile kesiştirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 3.25).



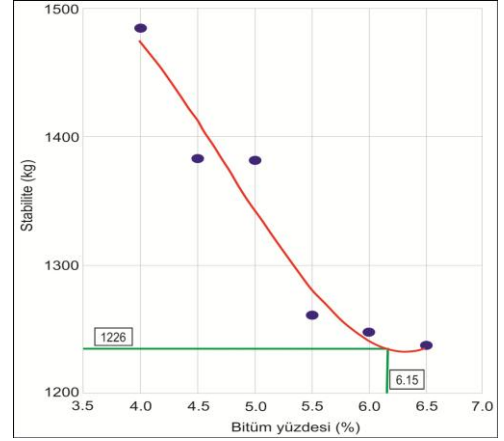
(a)



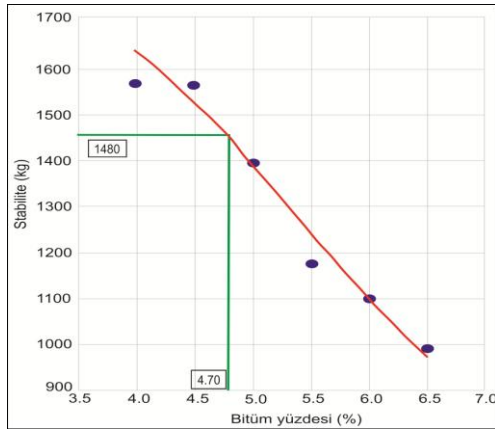
(b)



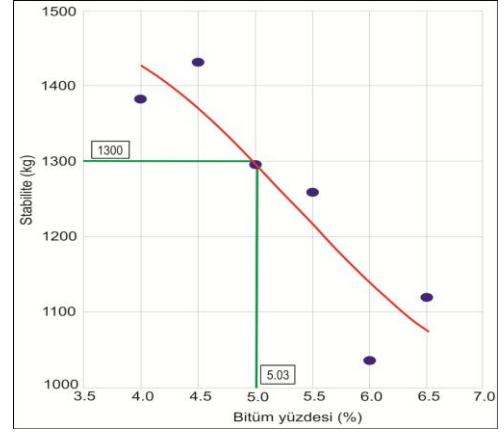
(c)



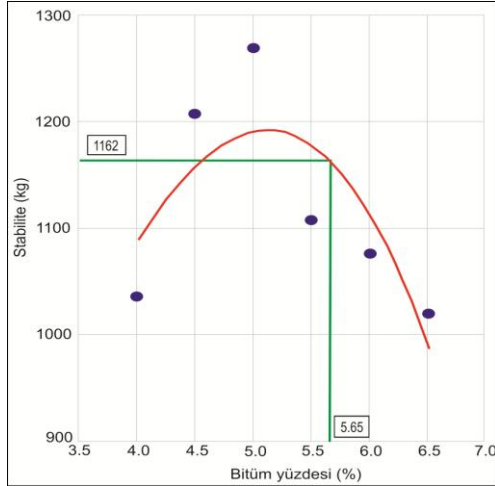
(d)



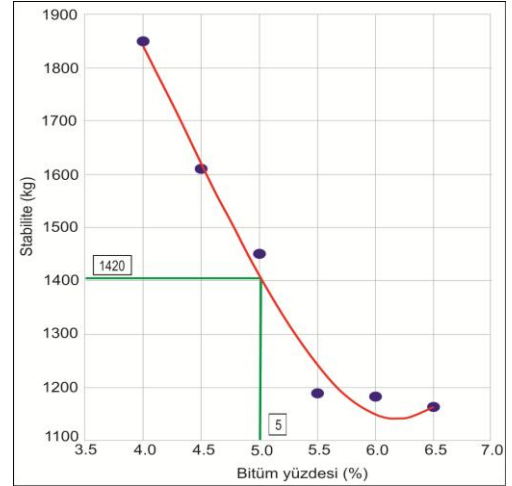
(e)



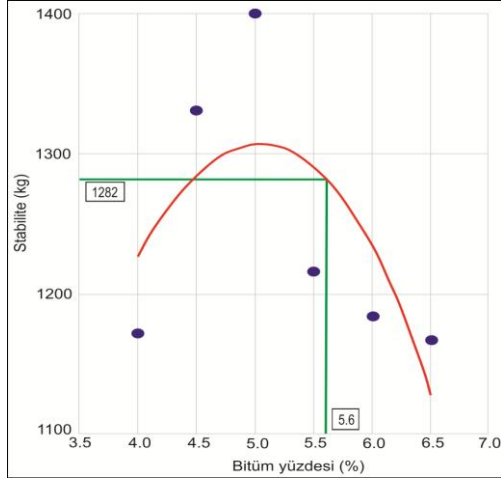
(f)



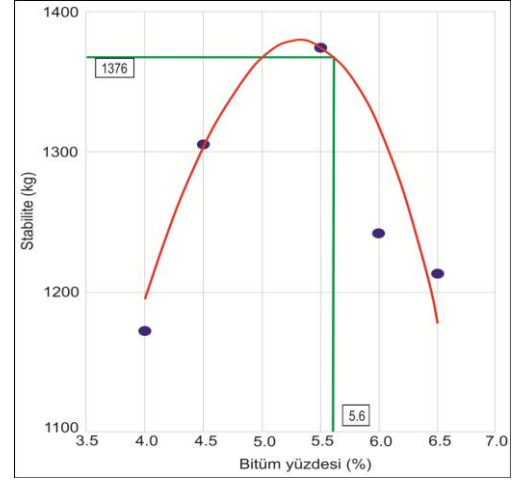
(g)



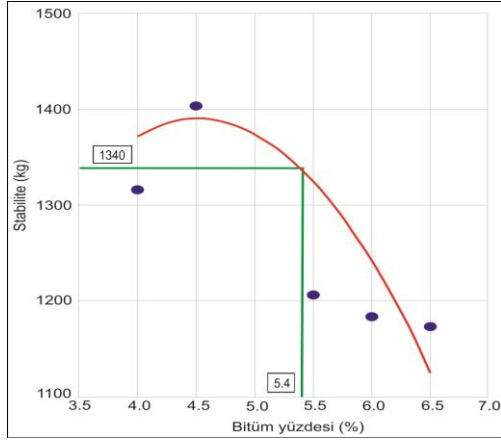
(h)



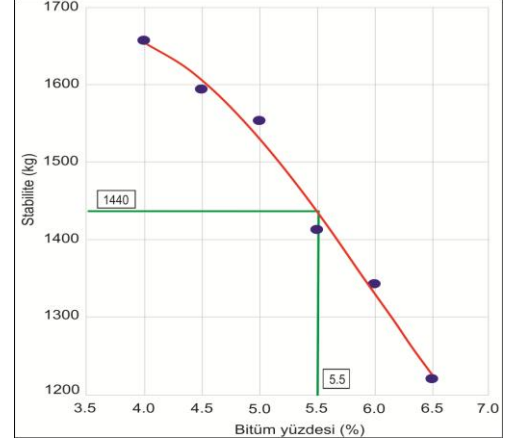
(1)



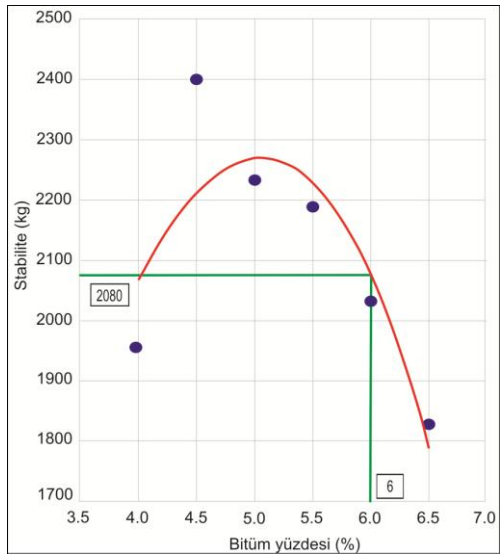
(i)



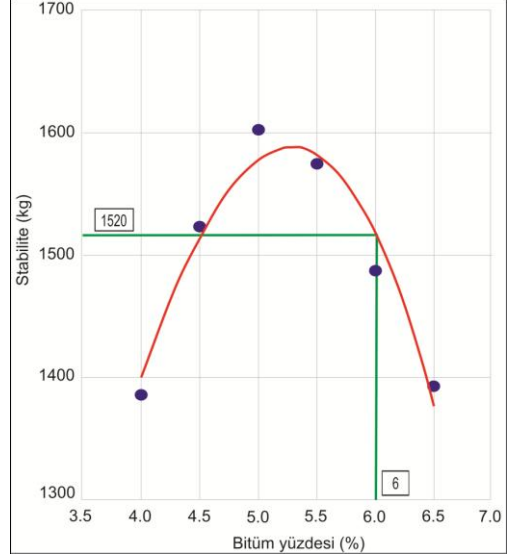
(j)



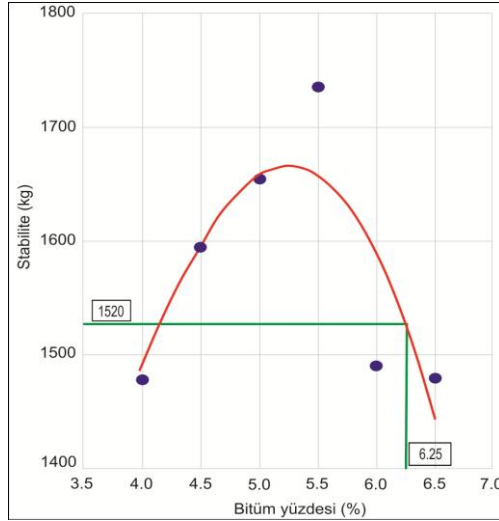
(k)



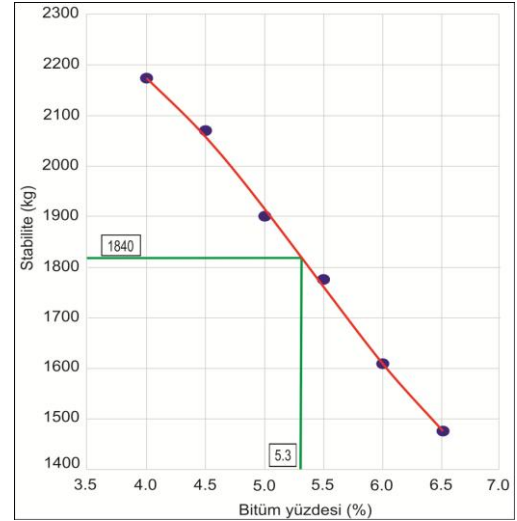
(l)



(m)



(n)



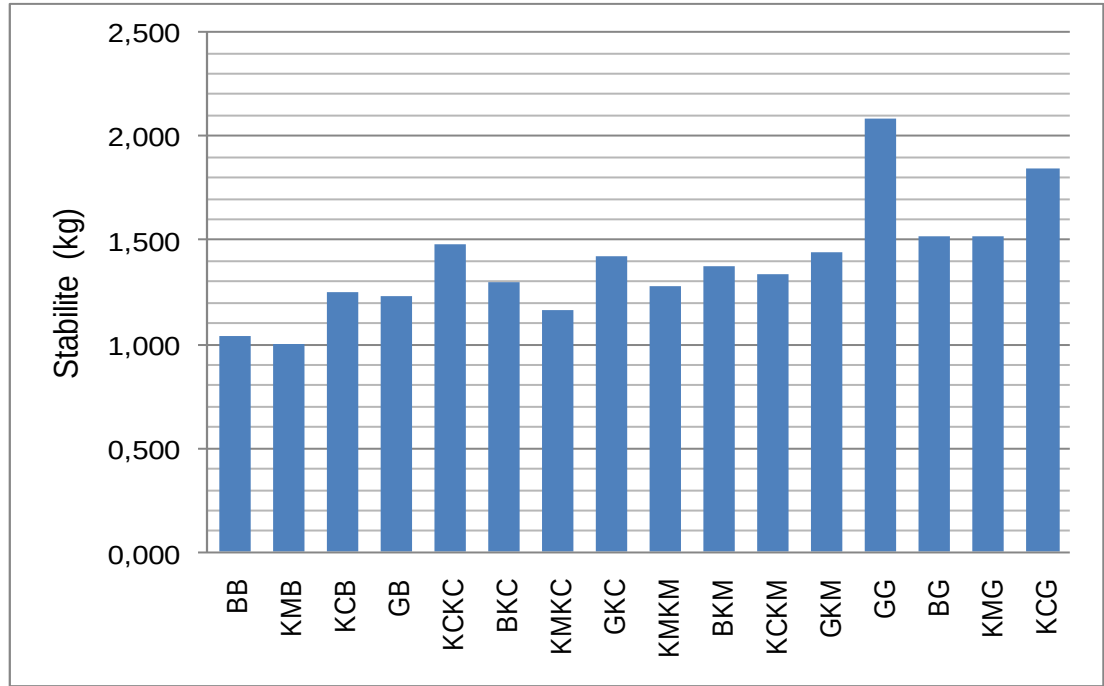
(o)

Şekil 3.34: Deneme asfalt karışımlarının stabilite grafiği, (a) BB (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (i) BKM (j) KCKM (k) GKM (l) GG (m) BG (n) KMG (o) KCG.

Stabilite açısından, en düşük değeri 1000 kg ile KMB olan karışım verirken, en yüksek değeri 2080 kg. ile GG olan karışım vermiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarına ait stabilite değerleri Şekil 3.34 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)'da gösterilmiştir.

Sıcak asfalt karışımlarının stabilitesi, içsel sürtünme ve kohezyondan kaynaklanmaktadır. İçsel sürtünme agrega tarafından, kohezyon ise bitüm tarafından sağlanmaktadır. Yüksek içsel sürtünme dirençleri pürüzlü yüzeyli kırmataş agrega ile sağlanmaktadır. Kohezyon veya bağ kuvveti yükleme hızı ve asfaltın viskosluğu ile artmakta ve buna karşılık kaplama ısısı ile azalmaktadır. Zira bitüm içeriği arttıkça bitüm film kalınlığı da artmakta ve agrega daneleri arasındaki sürtünme azalarak stabilite düşmektedir (Hislop ve Coree, 2000).

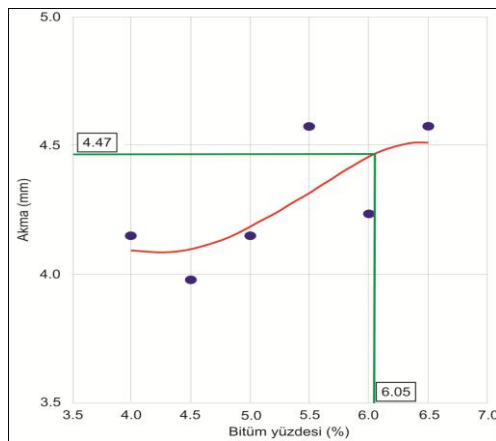
Test sonuçlarına bakıldığında; tüm karışımların olması gereken minimum stabilite değerinden daha fazla değer verdiği tespit edilmiş, iri ve ince malzemesi granit olan karışımlar kenetlenmelerinin iyi olması nedeniyle çok yüksek değer vermiştir. Bunun da dışında iri veya ince agregası granit olan tüm karışımlar stabilitede yüksek değer vermiştir (Şekil 3.35).



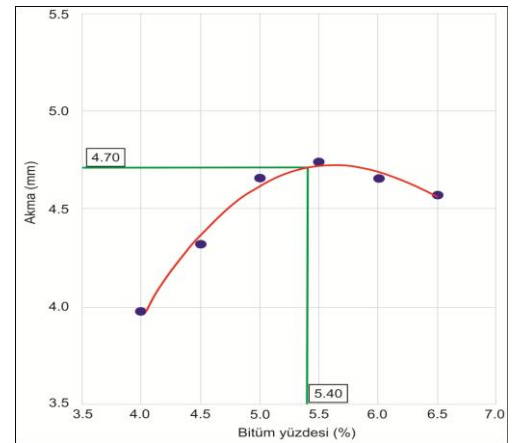
Şekil 3.35: Stabilite açısından karışımların karşılaştırılması.

3.4.7. Akma

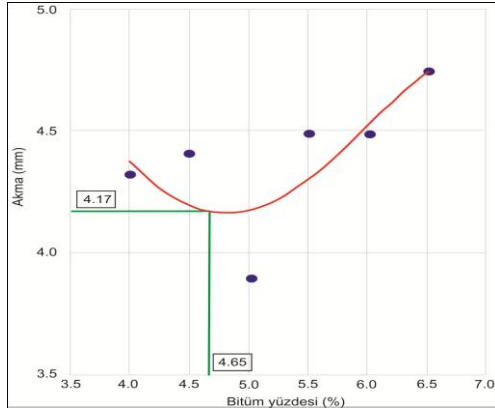
Karışımların akma değerleri, daha önce % 4 boşluk yüzdesi ve % 70 asfaltla dolu boşluk yüzdesine göre bulunmuş olan optimum bitüm yüzdesi değerinin, dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri üzerindeki eğri ile kesiştirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 3.25).



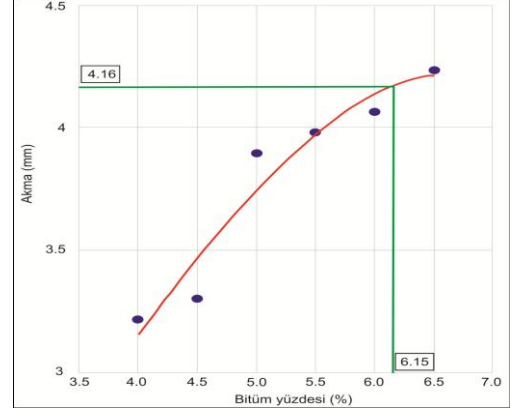
(a)



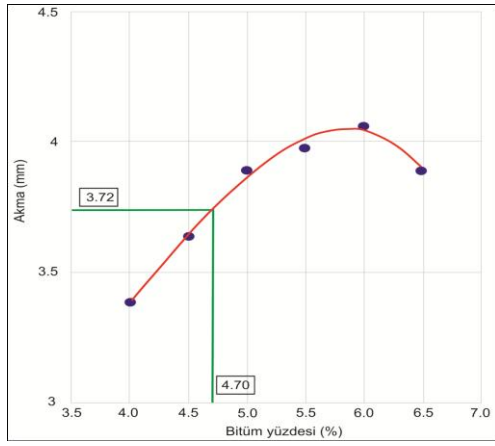
(b)



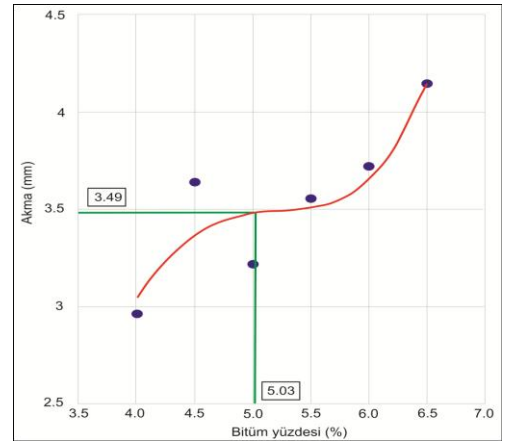
(c)



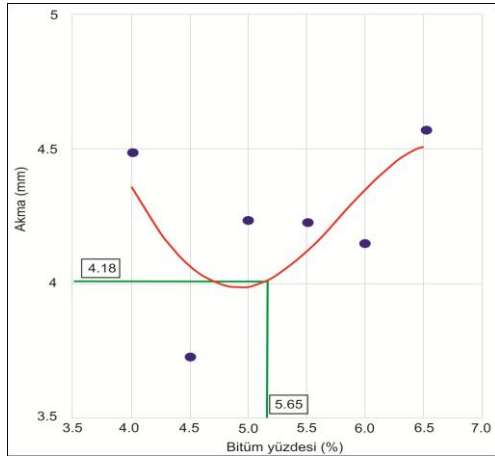
(d)



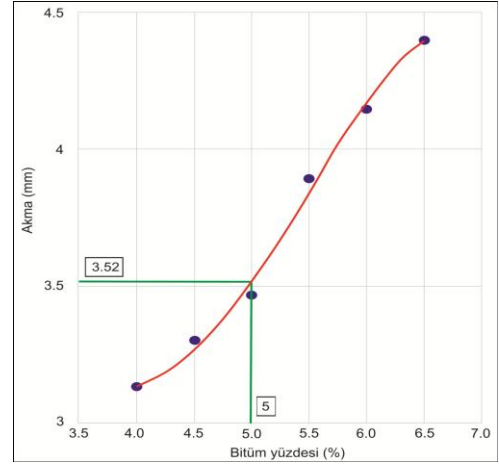
(e)



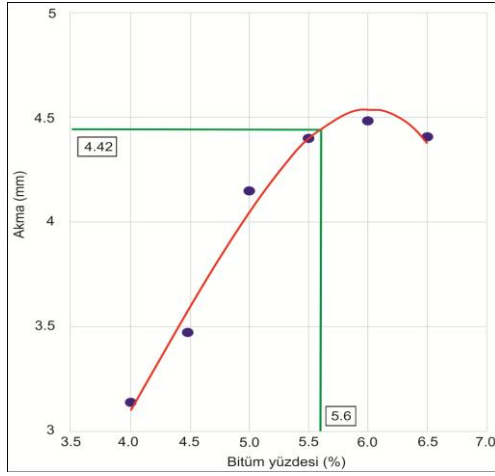
(f)



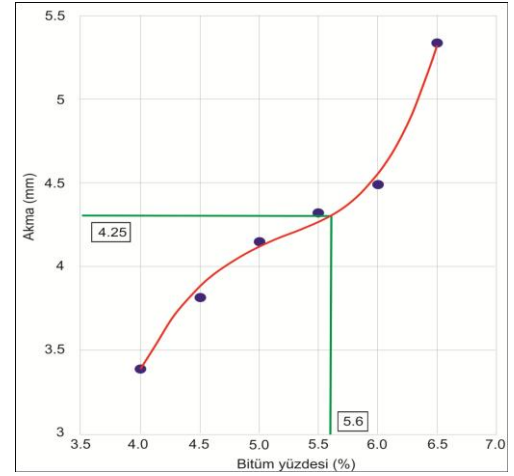
(g)



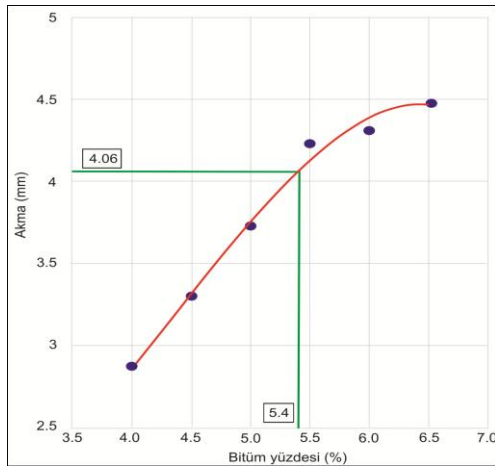
(h)



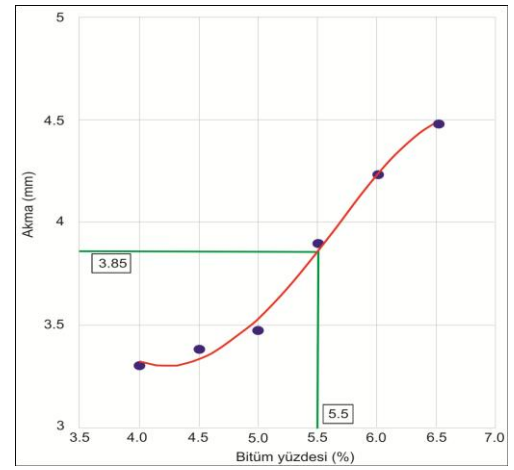
(1)



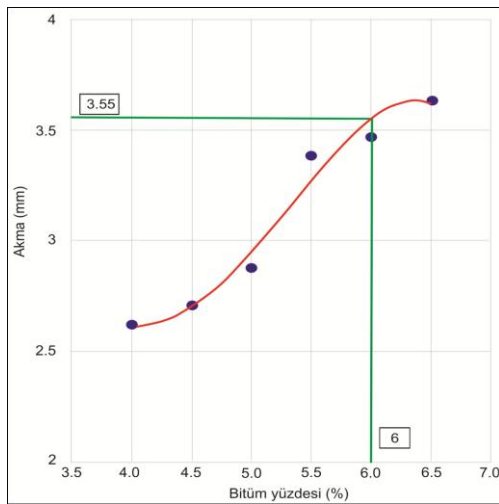
(i)



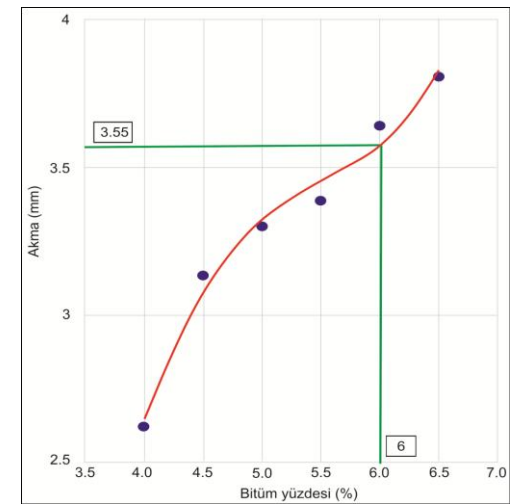
(j)



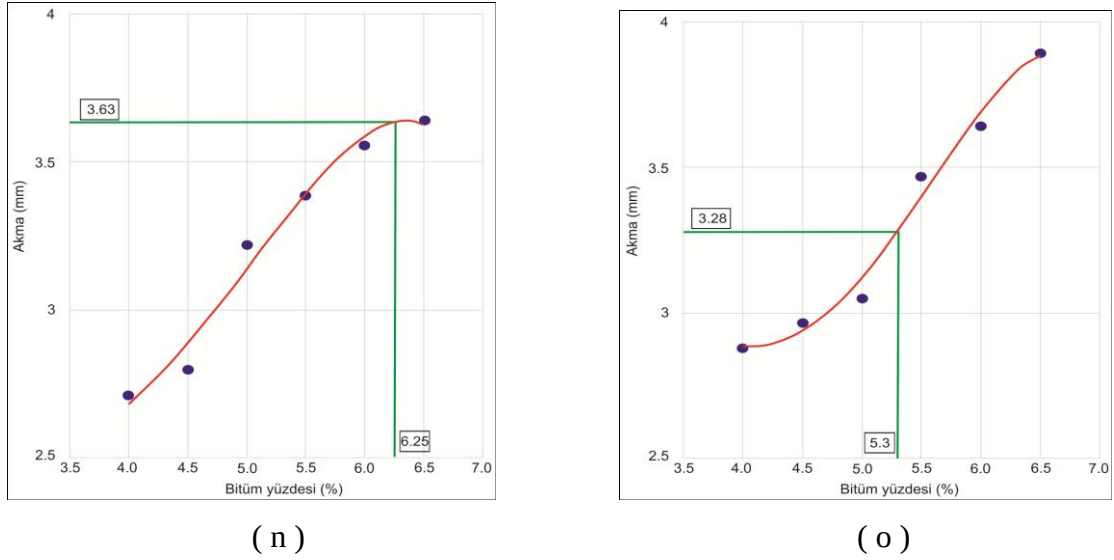
(k)



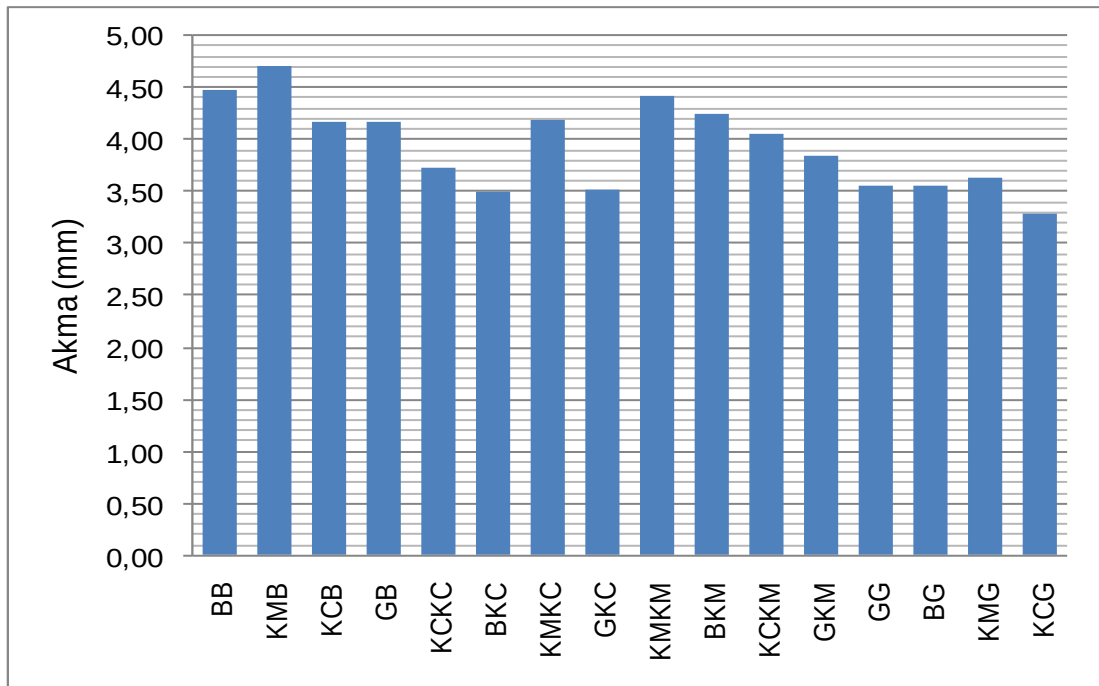
(l)



(m)



Şekil 3.36: Deneme asfalt karışımlarına ait akma grafikleri, (a) BB karışımı, (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (j) BKM (k) KCKM (l) GKM (m) BG (n) KMG (o) KCG.



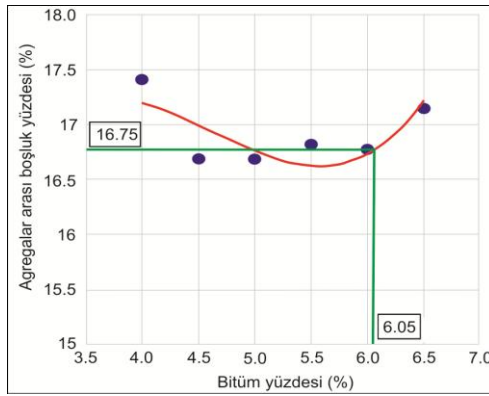
Şekil 3.37: Akma değerleri açısından karışımların karşılaştırılması.

Akma açısından, en düşük değeri 3.28 mm ile KCG olan karışım verirken, en yüksek değeri 4.70 mm ile KMB olan karışım vermiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarına ait akma değerleri Şekil 3.36 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)' da verilen grafikler ile belirlenmiştir.

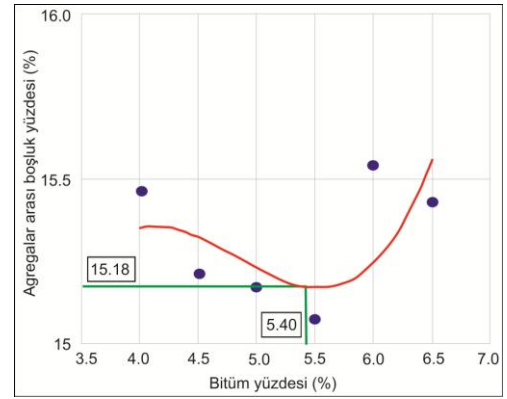
Akma değerleri değerlendirildiğinde ise, şartname limitleri 2.0 – 4.0 mm. arasında olması gerekirken, ideal olarak 3.0 mm. olması beklenmektedir. Test sonuçlarına bakıldığında, akma açısından iyi olan yani iyi kenetlenmiş agregalardan oluşan granitli karışımlar içsel sürtünme ve kohezyon açısından ideale yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 3.37). Akma değerlerinin ideal olması, asfalt karışımlarının içindeki agrega tanelerinin birbirlerinin tutunmasının artması şeklinde yorumlanmıştır.

3.4.8. Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi

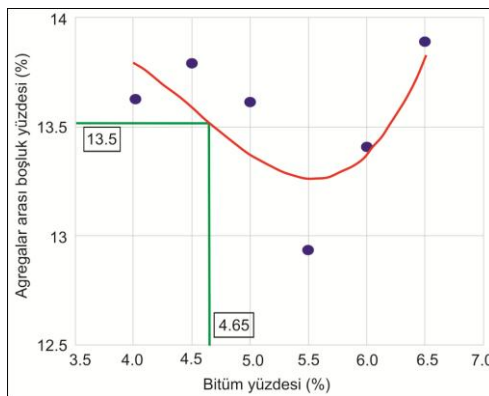
Karışımların agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri, daha önce % 4 boşluk yüzdesi ve % 70 asfaltla dolu boşluk yüzdesine göre bulunmuş olan optimum bitüm yüzdesi değerinin, dizayn kriterleri değerlendirme grafikleri üzerindeki eğri ile kesiştirilmesi sonucu elde edilmektedir (Şekil 3.25).



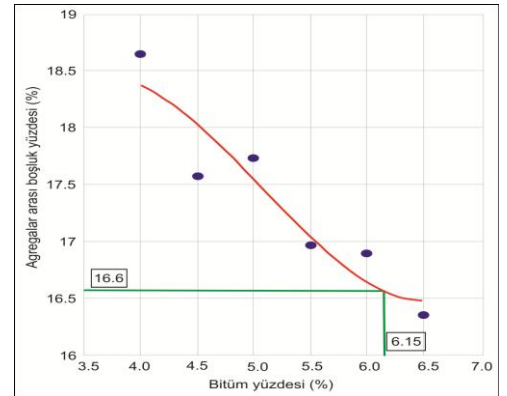
(a)



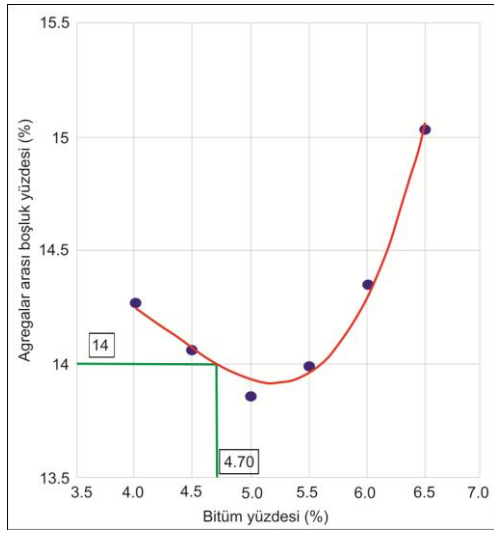
(b)



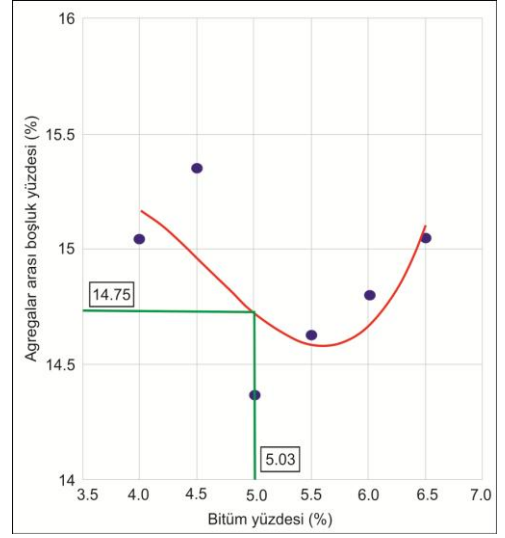
(c)



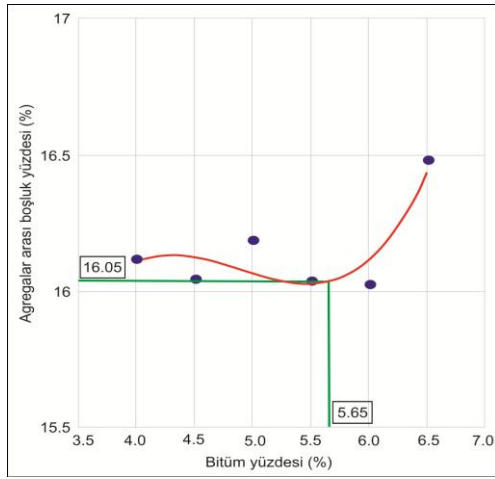
(d)



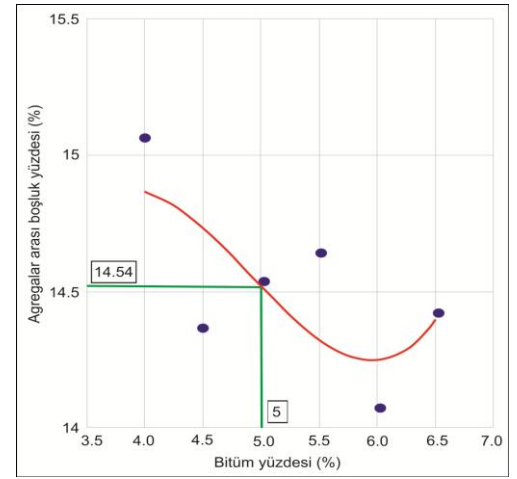
(e)



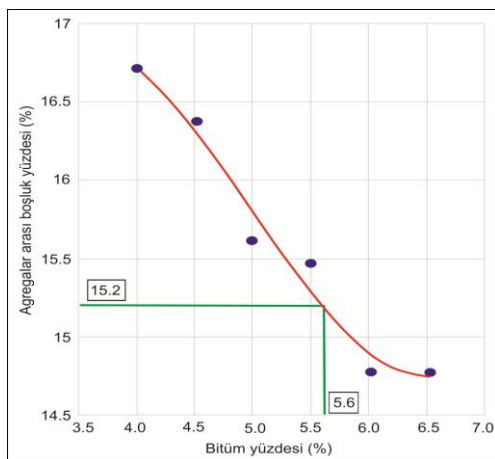
(f)



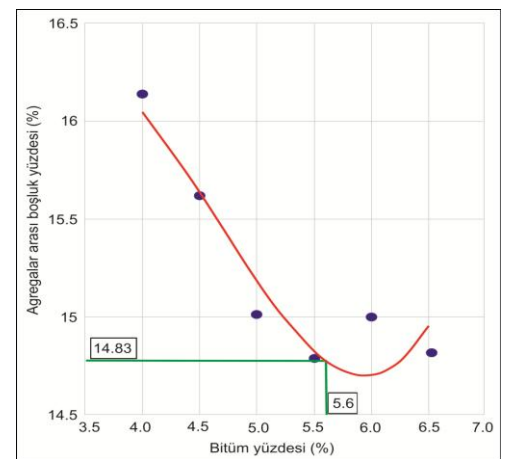
(g)



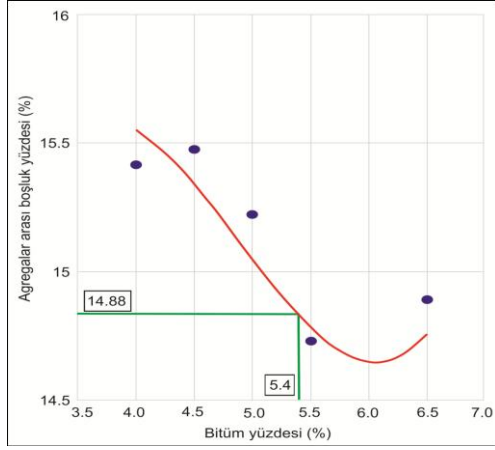
(h)



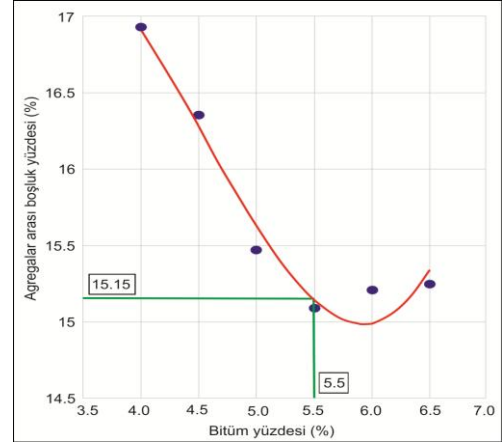
(i)



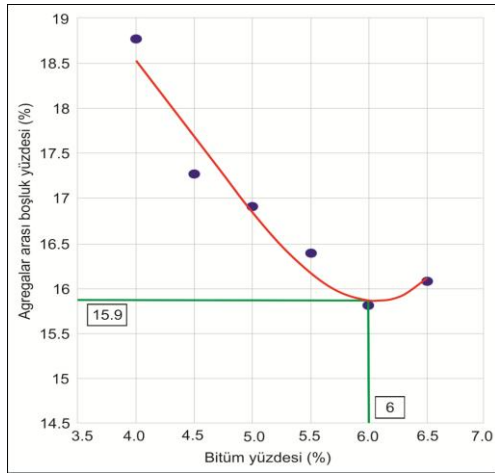
(j)



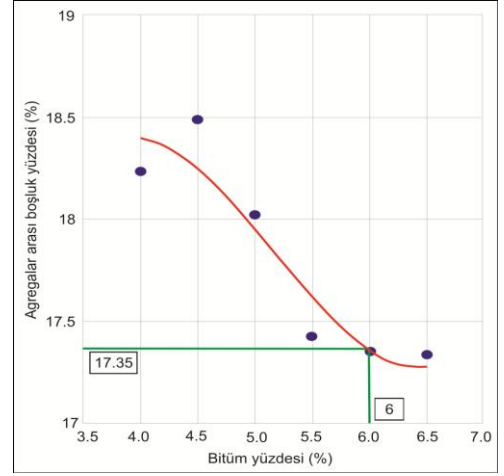
(j)



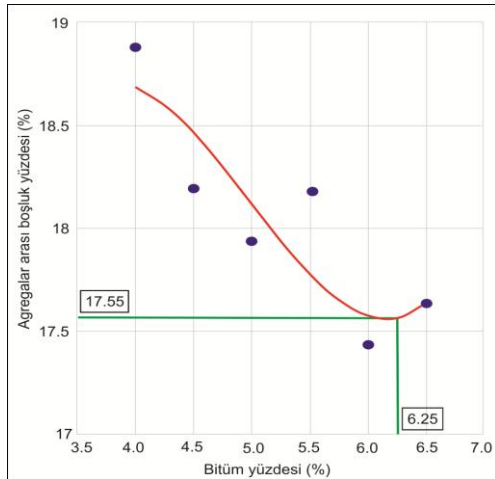
(k)



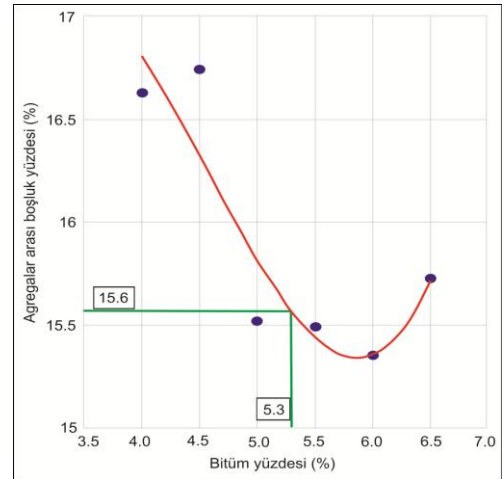
(l)



(m)



(n)

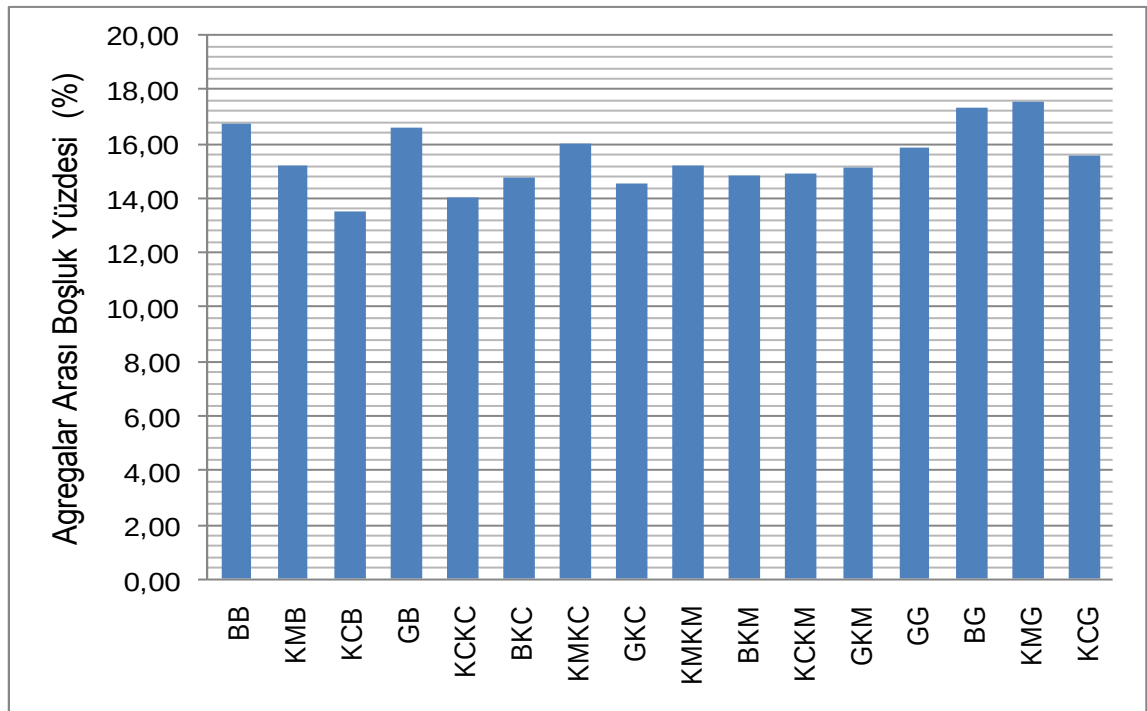


(o)

Şekil 3.38: Deneme asfalt karışımlarına ait agregalar arası boşluk % si grafikleri, (a) BB (b) KMB (c) KCB (d) GB (e) KCKC (f) BKC (g) KMKC (h) GKC (i) KMKM (j) BKM (j) KCKM (k) GKM (l) GG (m) BG (n) KMG (o) KCG.

Agregalar Arası Boşluk açısından, en düşük değeri % 13.50 ile KCB olan karışım vermiştir, ancak bu durum şartname limitleri dışında kaldığından dolayı, % 14.00 ile KCKC olan karışım dikkate alınmıştır. En yüksek değeri ise, % 17.55 ile KMG olan karışım vermiştir. Hazırlanan asfalt karışımlarına ait agregalar arası boşluk değerleri Şekil 3.38 (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o)’den hesaplanmıştır.

Agregalar arası boşluk yüzdesi, asfalt kütlesinin içindeki agrega danelerinin iyi yerleşmiş olması ile ilgilidir. Agregalar arası boşluk yüzdesinde ise, minimum olarak 14 olması gereken bir değer sözkonusudur (KGM, 2006). Test sonuçları incelendiğinde ince agregası kireçtaşı olan karışımların agregalar arası boşluk yüzdesi çok düşük, hatta alt sınıra çok yakın olduğu görülmüştür. Diğer karışımlar ise farklı değerler vermekle birlikte en yüksek değerleri ince agregaları granit olan karışımlar vermiştir (Şekil 3.39). Bu durum da agregaların köşeliliği ile açıklanmaktadır.



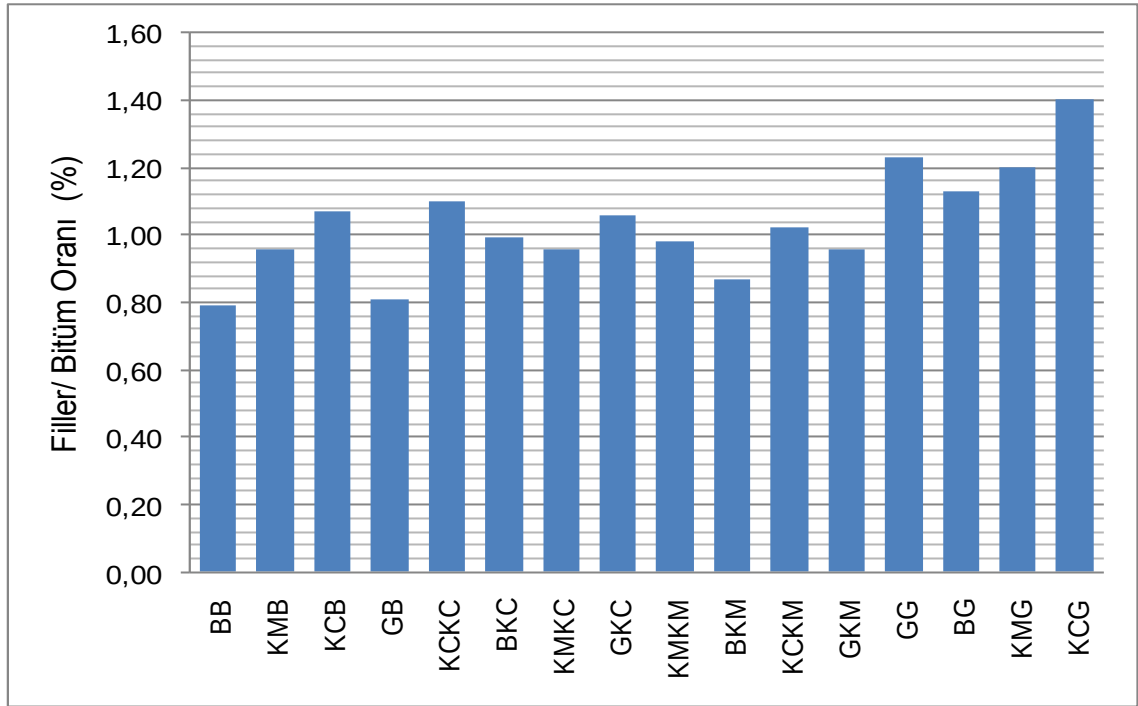
Şekil 3.39: Agregalar arası boşluk yüzdesi açısından karışımların karşılaştırılması.

3.4.9. Filler/Bitüm Oranı

Bu oran, karışım içindeki fillerin bitüm yüzdesine oranı ile bulunmaktadır. Bulunan oran hem ekonomik açıdan hem de performans açısından asfalt karışımlarını etkileyen bir durumdur.

Filler, asfalt karışımlarında en önemli kısmı oluşturur. Fillerin fazlalığı karışımlar içinde istenmezken, fillerin azlığı da karışım içinde tamamlanması gereken bir durumdur. Fillerin fazlalığında bitüm miktarı da artmış olacaktır. Şartnameler, filler/bitüm oranını maksimum 1.5 olarak ifade etmektedir. Yapılan test sonuçlarına göre ince agregası granit olan tüm karışımlar üst sınıra yakın değerler vermiştir. Bu durumun, karışım içindeki ince malzemenin bitüme karşı hassas davrandığı ve karışımların bitüm içeriklerinin fazla olması şeklinde yorumlanmaktadır (Şekil 3.40).

Filler/Bitüm oranı açısından, en düşük değeri 0.81 % ile GB karışımı verirken, en yüksek değeri ise 1.40 % ile KCG karışım vermiştir.



Şekil 3.40: Filler/Bitüm oranı açısından karışımların karşılaştırılması.

3.4.10. Tekerlek İzi Testi

Tekerlek izi oluşumuna, başlıca; aşırı yükler, uzun süreli veya durağan yükler, aşırı yük tekrarı, uygun olmayan agrega ve bitümün kullanılması, tekerlek lastiği iç basıncı, sıcaklık ve iklim koşulları ile tasarım ve yapım hataları neden olmaktadır. Tekerlek izi oluşumu, yalnızca konfor yönünden değil güvenlik açısından da büyük bir sorun oluşturmaktadır. Tekerlek izi oluşmuş bir yolda, şerit değiştirme sırasında araç kontrolü zorlaşmakta, yağışlı havalarda tekerlek izinde biriken su kızaklanmaya veya buzlanmaya yol açmakta, fren mesafesi artmaktadır.

Tekerlek İzi Deneyi, bitümlü karışımların yük altında deformasyona karşı hassasiyetini belirlemek için kullanılan test yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Test; üst elek büyüklüğü 32 mm'ye eşit veya küçük olan karışımlara uygulanır.

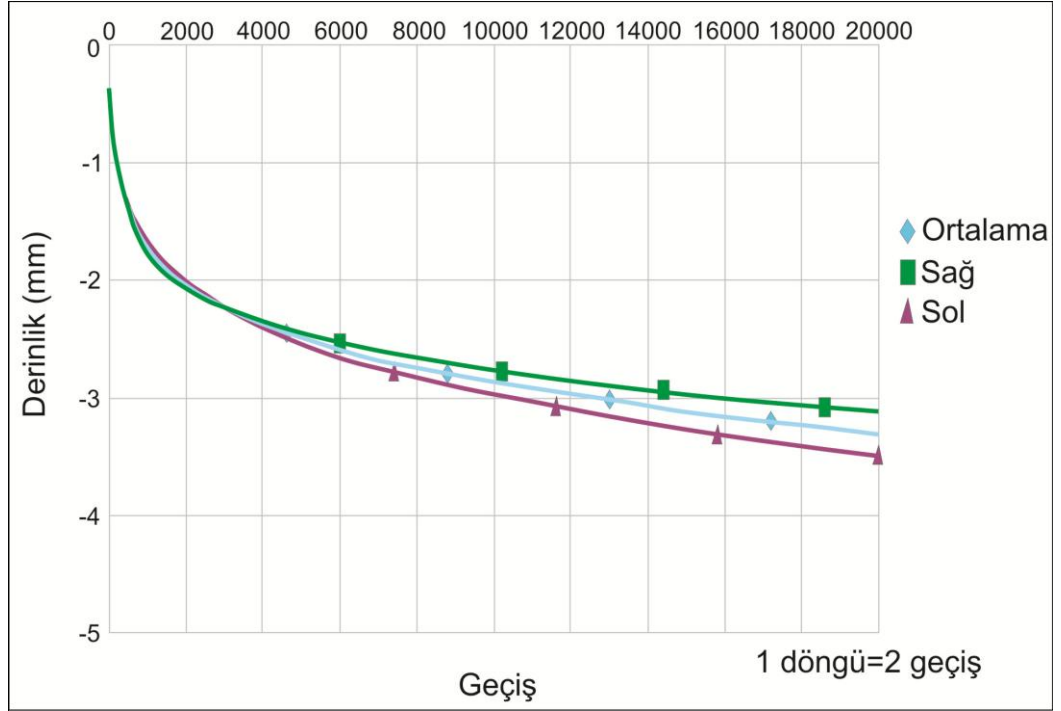
Bitümlü karışımların deformasyona karşı hassasiyeti, yüklü bir tekerleğin (70 kg) sabit sıcaklıkta (60°C) tekrarlanan geçişleriyle oluşan tekerlek izi derinliğini ölçerek değerlendirilmektedir (Şekil 3.41).



Şekil 3.41: Tekerlek izi test cihazı, (a) Karışım üretim, (b) Karışım sıkıştırma, (c, d, e) Tekerlek izi cihazı ekipmanları.

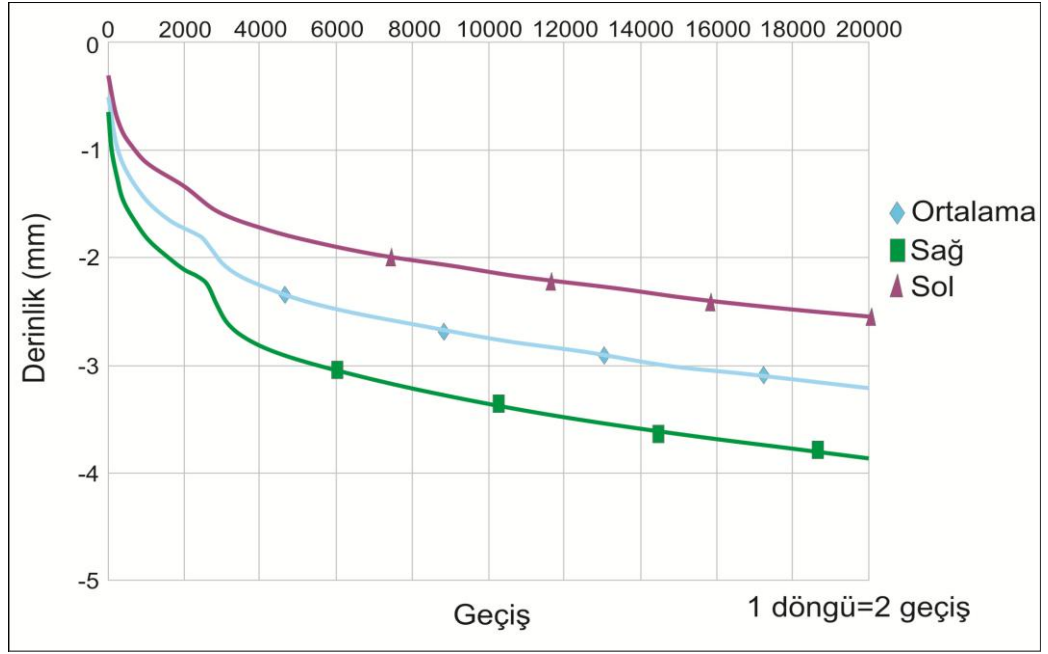
Tekerlek İzi Deneyi TS EN 12697-22 (2008) standartına göre yapılmaktadır. Karışım test sonuçlarına göre, optimum bitüm içeriği, diğerlerine göre daha az olan 7 ayrı

karışım üzerinde Tekerlek İzi Testleri yapılmıştır. Bu test sonuçlarının 6 adeti şartname gereği olan 1-5 mm arasında oturma değerleri vermiştir. Sadece tek bir adet testte oturma miktarı 5 mm. den daha fazla olmuştur.



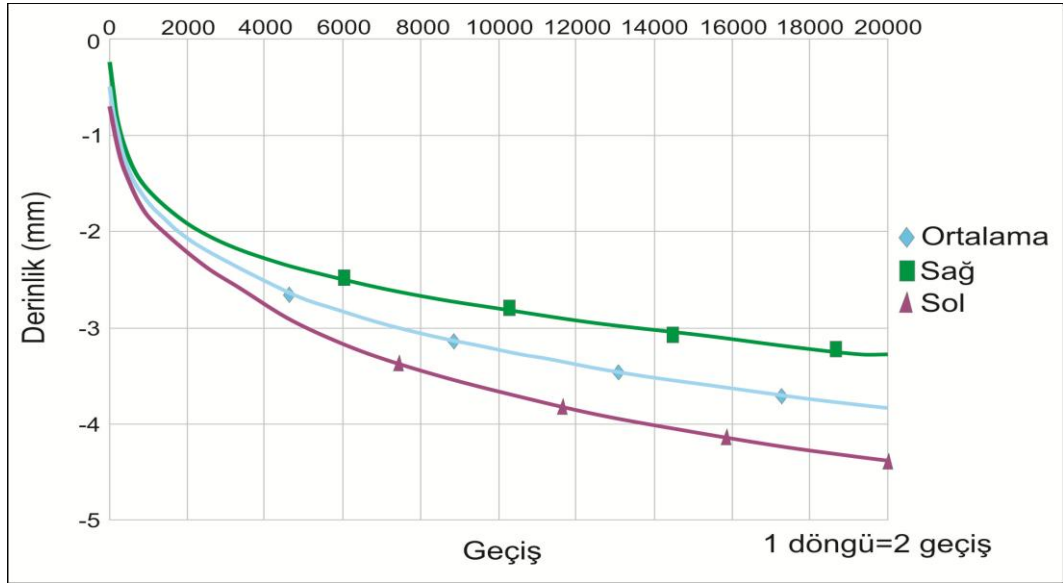
Şekil 3.42: KCB karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

KCB karışımına ait bitüm içeriği % 4.65 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 3.31 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.42).



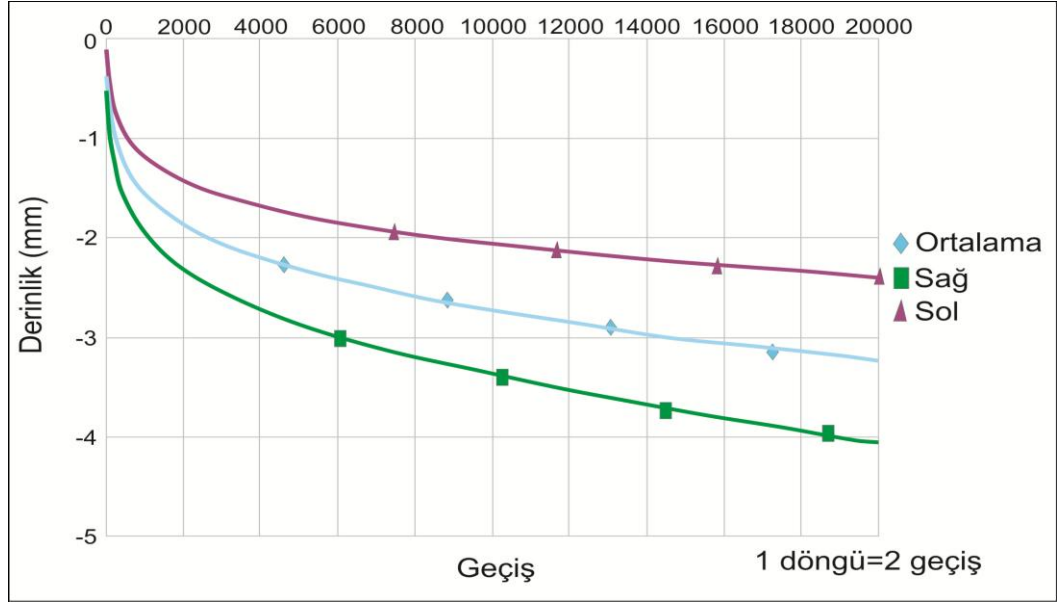
Şekil 3.43: KCKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

KCKC karışımının bitüm içeriği % 4.70 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 3.20 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.43).



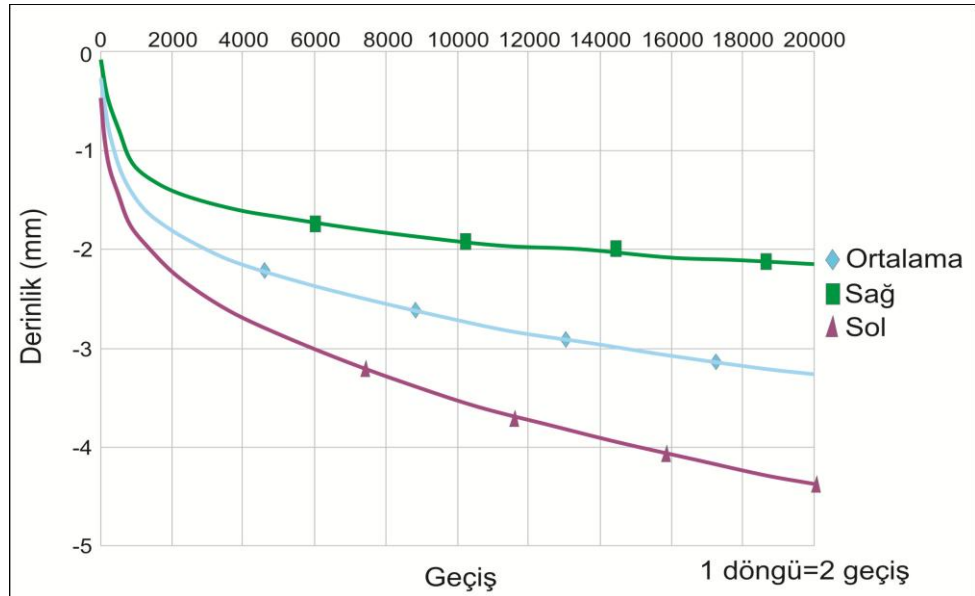
Şekil 3.44: BKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

BKC karışımının bitüm içeriği % 5.03 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 3.85 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.44).



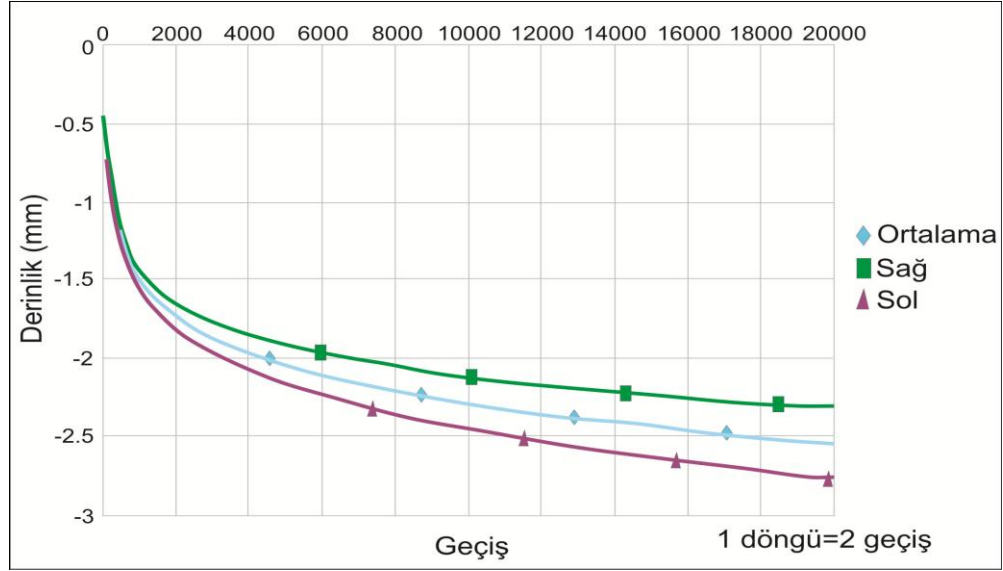
Şekil 3.45: KMKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

KMKC karışımının bitüm içeriği % 5.65 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 3.22 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.45).



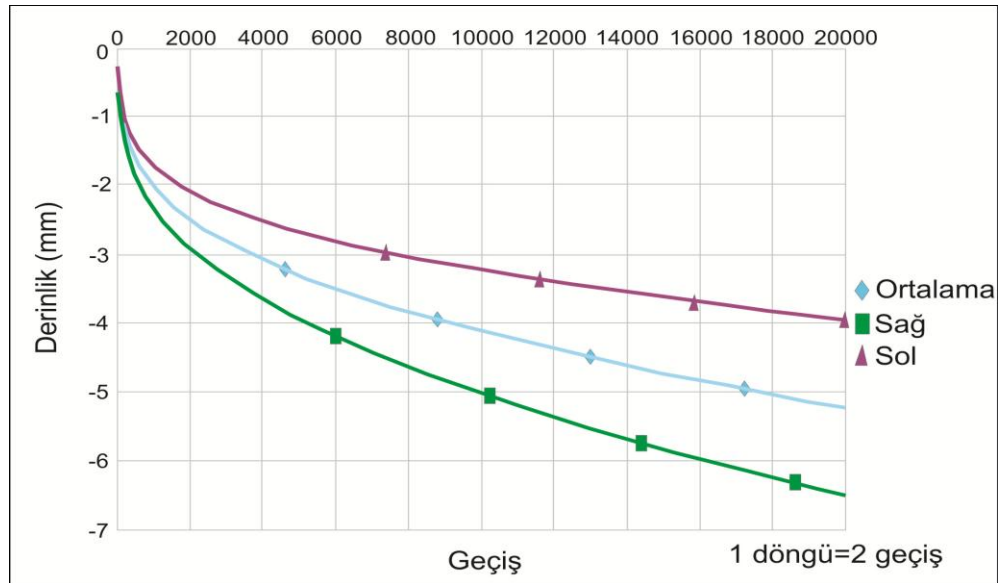
Şekil 3.46 : GKC karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

GKC karışımının bitüm içeriği % 5.00 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 3.27 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.46).



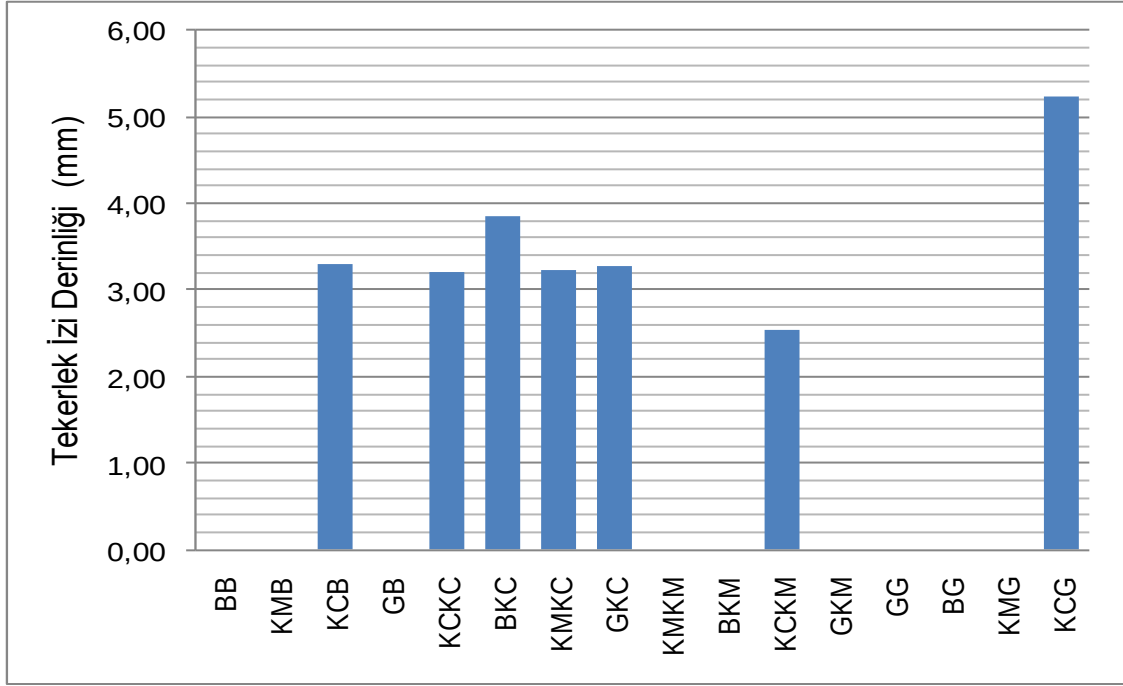
Şekil 3.47 : KCKM karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

KCKM karışımının bitüm içeriği % 5.40 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 2.55 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.47).



Şekil 3.48: KCG karışımına ait tekerlek izi testi grafiği.

KCG karışımına ait bitüm içeriği % 5.30 olarak bulunmuştur. Bu karışımın 20.000 devir'den sonraki tekerlek izi test sonucunda ise karışım üzerinde 5.24 mm'lik bir oturma tespit edilmiştir (Şekil 3.48).



Şekil 3.49: Tekerlek izi değeri açısından karışımların karşılaştırılması.

Tekerlek İzi Testleri, son dönemlerde asfalt performansının testi için yapılmaktadır. Tekerlek izi değeri, laboratuvar ortamında hazırlanan asfalt karışımlarının üzerinden, 60 C sıcaklıkta, 20.000 devir tekerleğin geçişi esnasında oluşan oturma miktarının ölçülmesiyle tespit edilmektedir.

Bitüm içerikleri diğerlerine göre daha az olan 7 karışım ele alınmış ve tekerlek izi testine tabi tutulmuştur. Tekerlek izi testleri 1 mm – 5 mm arasında sonuç vermektedir. Normal bitümle yapılan tekerlek izi çalışmalarında sonuçların 3 mm. civarında olması ideal olarak kabul edilmektedir. Yapılan test sonuçlarına bakıldığında ise, iri agregası kireçtaşı, ince agregası granit olan karışım çok yüksek değer vermiştir. Bu durum, karışımdaki taneler arasında yerleşimin tam olmadığı şeklinde yorumlanabilir. İri agregası kireçtaşı, ince agregası kumtaşı olan karışım ise çok iyi değer vermiştir. Bu durum da bitümle agreganın uyumu ve karışımdaki tanelerin kenetlenmesi şeklinde açıklanabilmektedir. İnce agregası kireçtaşı olan tüm karışımlar iyi sonuçlar vermiştir.

Bunun sebebi de, kireçtaşı'nın bitümle uyumu ve ince kireçtaşı malzemesinin asfalt karışımı içinde ideal olarak dağılmasıdır (Şekil 3.49).

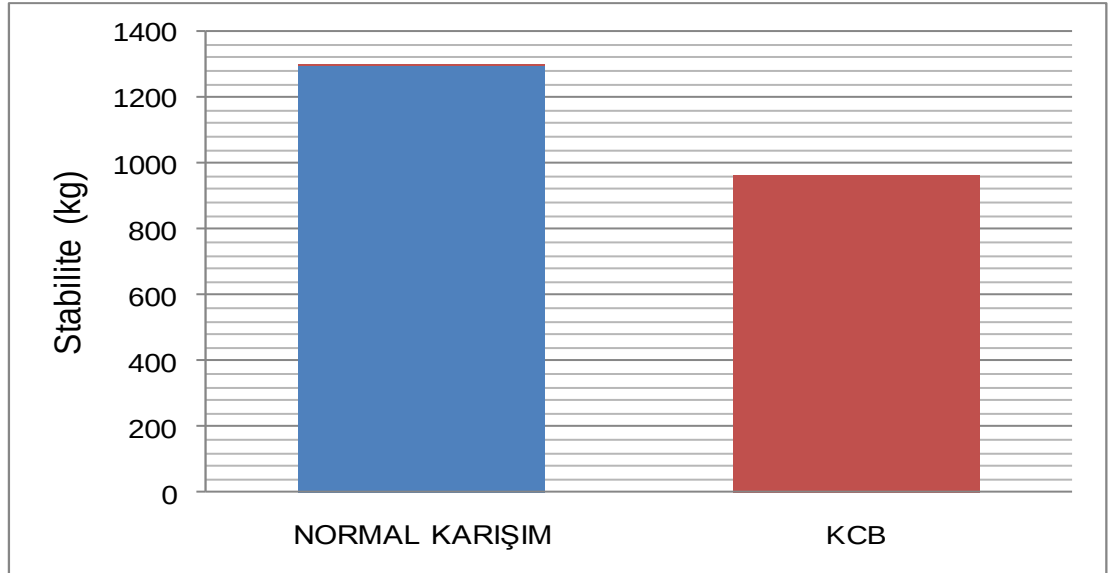
3.4.11. Stabilite ve Akma Açısından Karşılaştırma

Deneme asfalt karışımlarından en düşük optimum bitüm yüzdesine ve düşük tekerlek izi değerine sahip olan KCB karışı NR kodlu kontrol karışımı ile stabilite ve akma değerleri açısından kıyaslanmıştır.

Stabilite ve Akma değerlerindeki değişimleri görebilmek için, kontrol numunesi olarak alınan NR kodlu % 4.73 optimum bitüm içeriğinde hazırlanan tamamı kireçtaşı'ndan oluşan 3 adet asfalt briketinin (geleneksel) stabilite ve akma değerleri, 3 adet % 4.65 optimum bitüm içeriğinde hazırlanan KCB karışımında okunan değerlerle mukayese edilmiştir (Tablo 3.13, Şekil 3.50).

Tablo 3.13: Stabilite ve akma karşılaştırmaları.

Karışım cinsi	Stabilite	Akma
Geleneksel Asfalt (NR)	1296	3.39
Kireçtaşı + Bazalt (KCB)	961	3.98



Şekil 3.50: Stabilite-akma karşılaştırması.

Yapılan değerlendirmede NR kodlu asfalt karışımının hem stabilite hem de akma değerleri açısından daha uygun görülmüştür. Bunun nedeni olarak da kireçtaşı'nın bitümle olan uyumu tahmin edilmektedir.

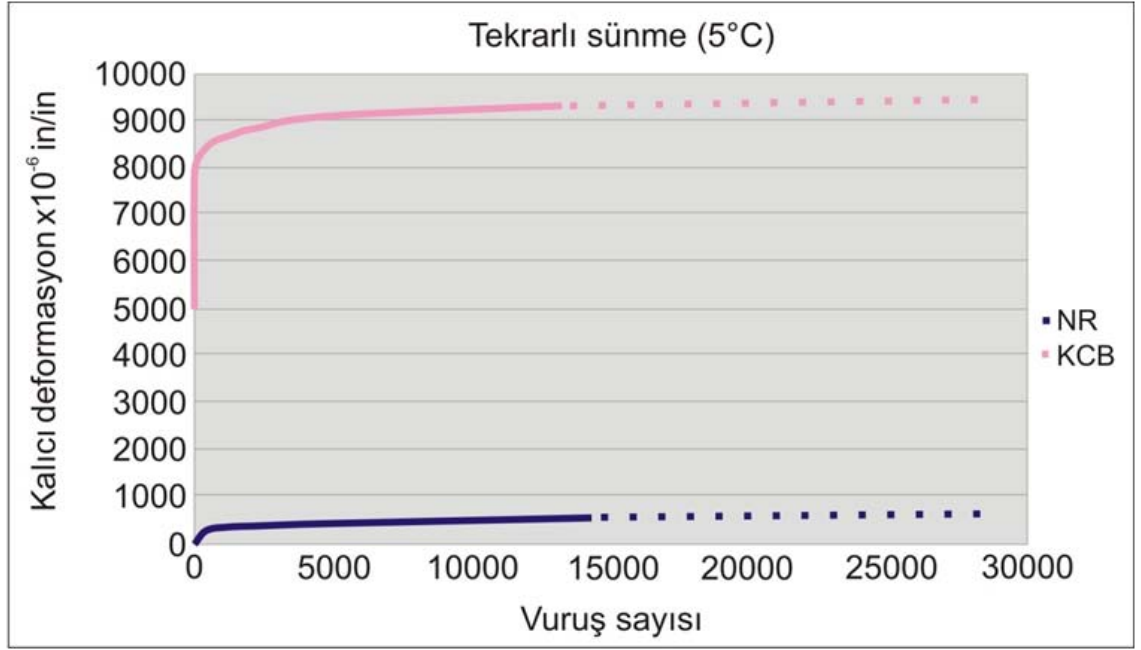
3.4.12. Asfalt Performans Testleri

İncelenen karışımlardan bitüm içeriği en az ve tekerlek izinden en az oturma ölçülen KCB karışımının tekerlek izi oluşumu (kalıcı deformasyon) özelliklerini belirlemek amacıyla, hazırlanan numunelere 5°C ,25°C ve 40°C sıcaklıkta 1000 ms vuruş periyodu boyunca 500 ms yüklü ve 500 ms yüksüz olmak üzere 100 kPa'lık tek eksenli basınç yüküne 8 saat boyunca maruz bırakılarak tekrarlı sünme deneyi uygulanmıştır. Yoğun gradasyonlu sıcak karışımların dairesel ve tek eksenli basınç yüklemesi altında sünme modülü değerlerinin belirlenmesi için de statik sünme deneyi yapılarak, bu deneyden elde edilen sünme modülü değeri ile ısı ve dingil yüklerine maruz kalan asfalt betonu karışımların, düşük sıcaklıklardaki çatlama potansiyeli ve tekerlek izinin hesaplanması ile rijitliğinin tahmininde bulunulmuştur.

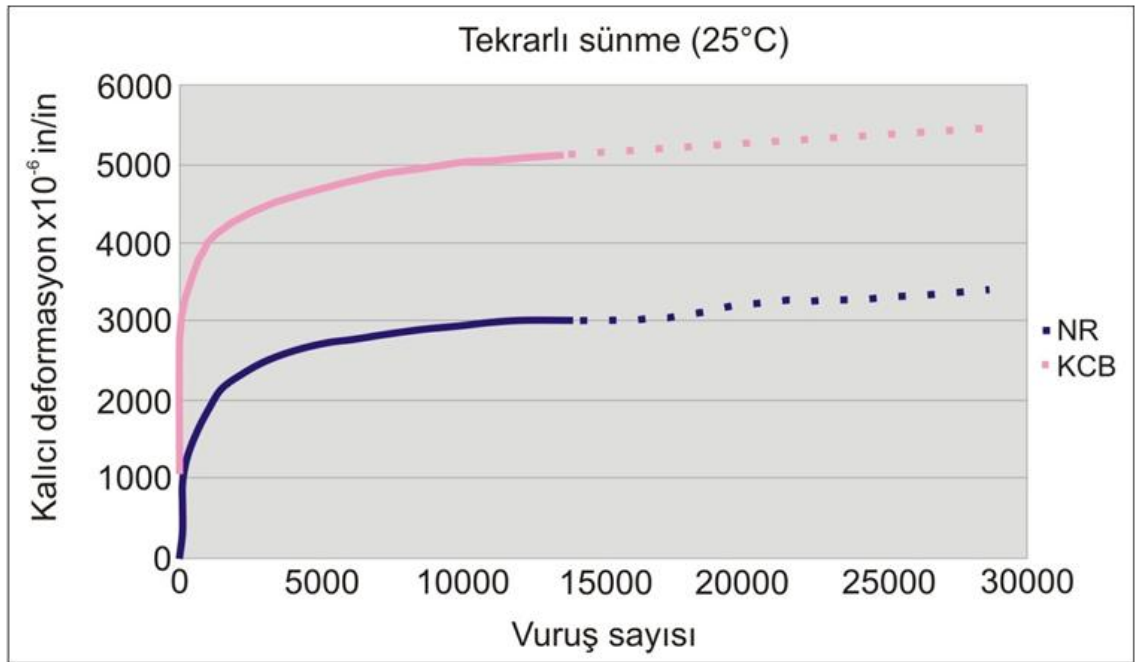
Statik sünme deneyleri için üç farklı sıcaklıkta testler yapılmıştır. Deney sıcaklığına ulaşan numunelere yatay olarak ön yükleme yapılmıştır. Daha sonra 3600 sn süreyle sabit yükleme yapılarak, yükleme süresi boyunca düşey deformasyonlar kaydedilmiştir. Düşey deformasyonların yanı sıra, 3600 sn boyunca yüksüz bırakılarak geri dönen deformasyonlar da ölçülmüştür.

Deneme karışımları içinde en düşük optimum bitüm yüzdesi değerine sahip olan KCB numuneleri ve Geleneksel karışımın relatif kalitesini değerlendirmenin yanı sıra kaplama tasarımı, değerlendirme ve analizlere girdi üretmek amacıyla elastisite modülünü bulmak için 5°C, 25°C ve 40°C de dolaylı çekme deneyi yapılmakta, bu deney ile sıcaklık, yükleme miktarı ve süresi gibi, etkiler araştırılmaktadır.

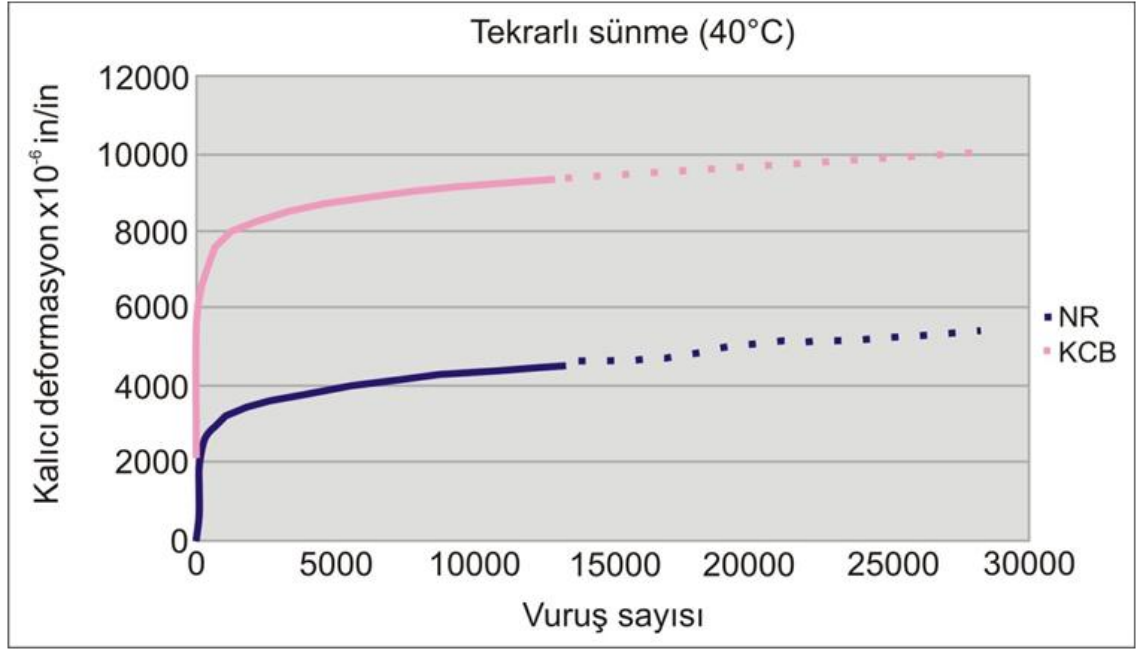
Asfalt karışımların tekerlek izi oluşumu (kalıcı deformasyon) özelliklerini belirlemek amacıyla, Geleneksel ve KCB karışımına ait numunelere tekrarlı sünme deneyi, Karışımların dairesel ve tek eksenli basınç yüklemesi altında sünme modülü değerlerinin belirlenmesi için statik sünme deneyi ve elastisite modülünü bulmak için de dolaylı çekme deneyi yapılmıştır (Tablo 3.14-3.16 ve Şekil 3.51-3.59).



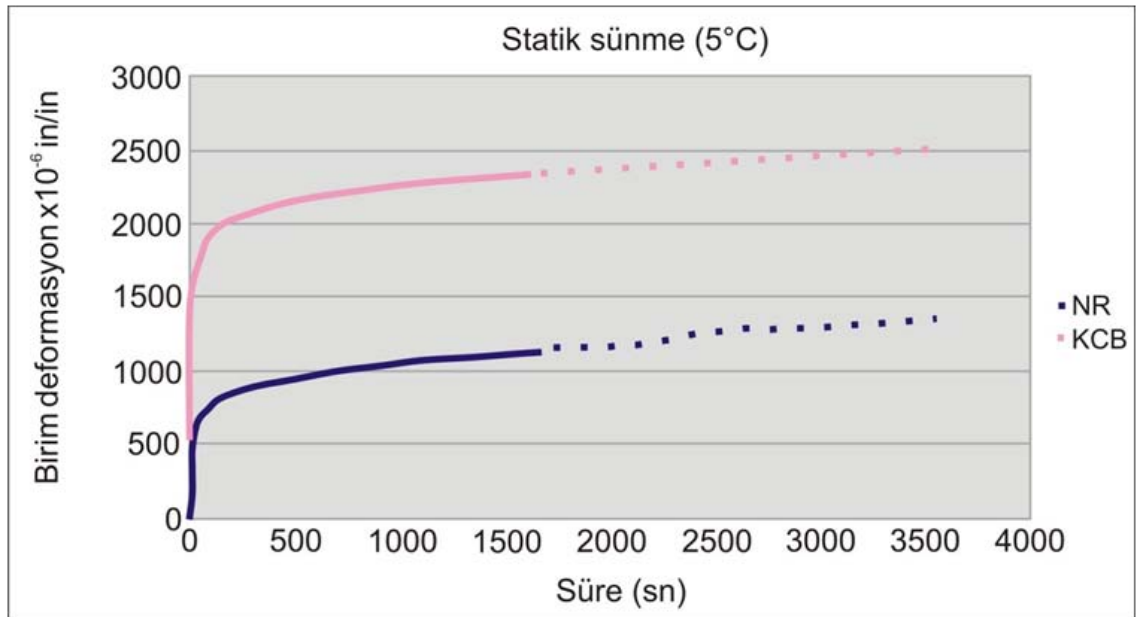
Şekil 3.51: 5 °C de tekrarlı sünme deneyi grafiği.



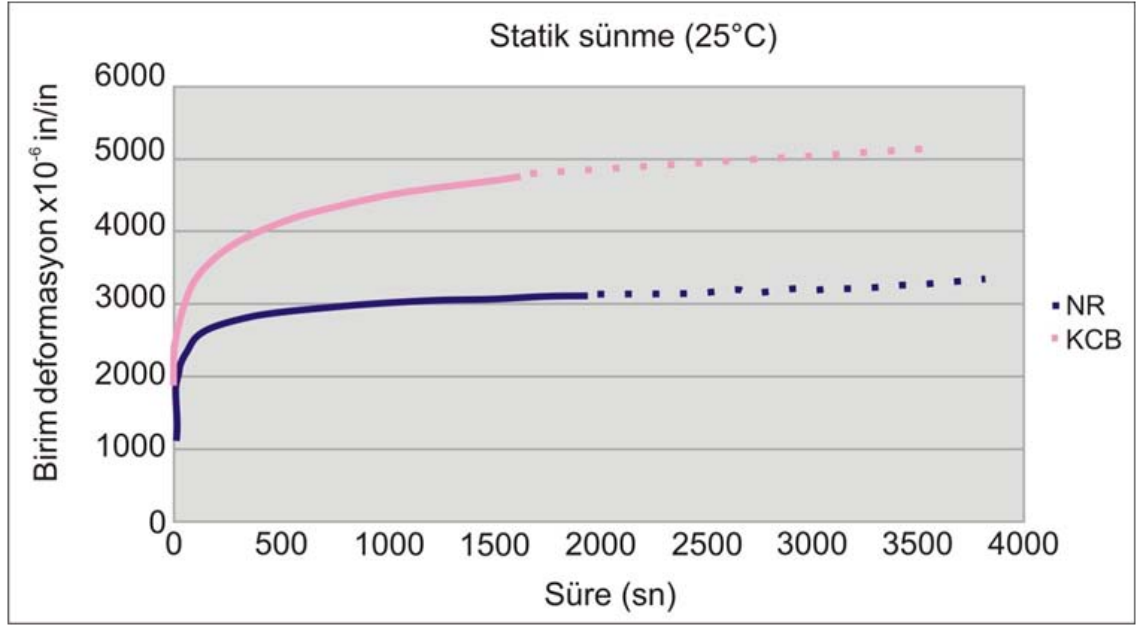
Şekil 3.52: 25 °C de tekrarlı sünme deneyi grafiği.



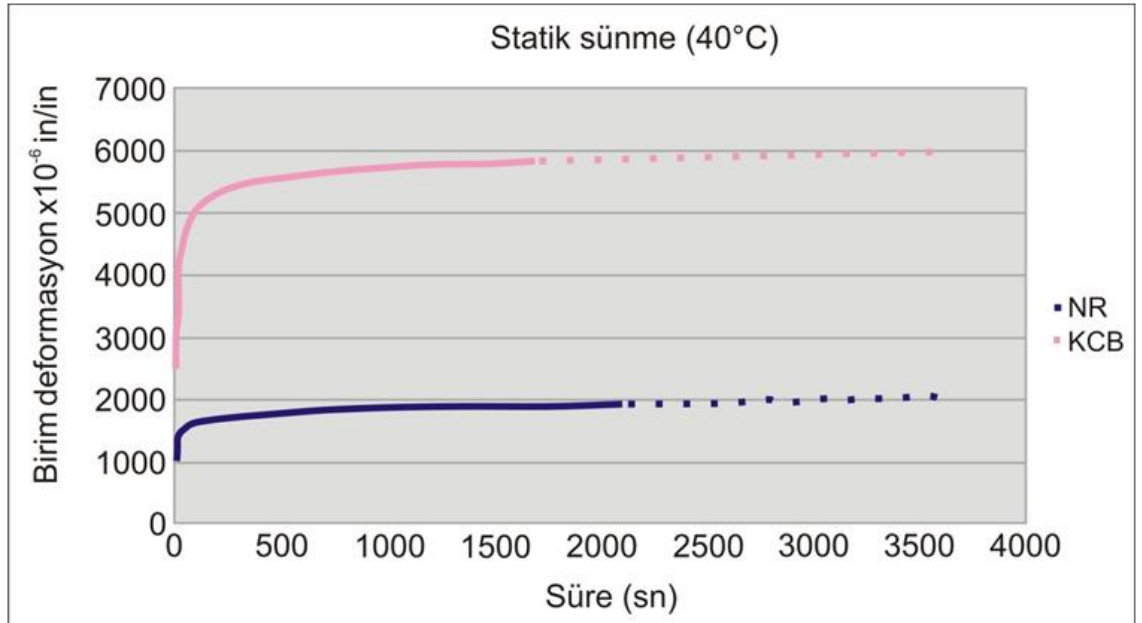
Şekil 3.53: 40 °C de tekrarlı sünme deneyi grafiği.



Şekil 3.54: 5 °C de statik sünme deneyi grafiği.



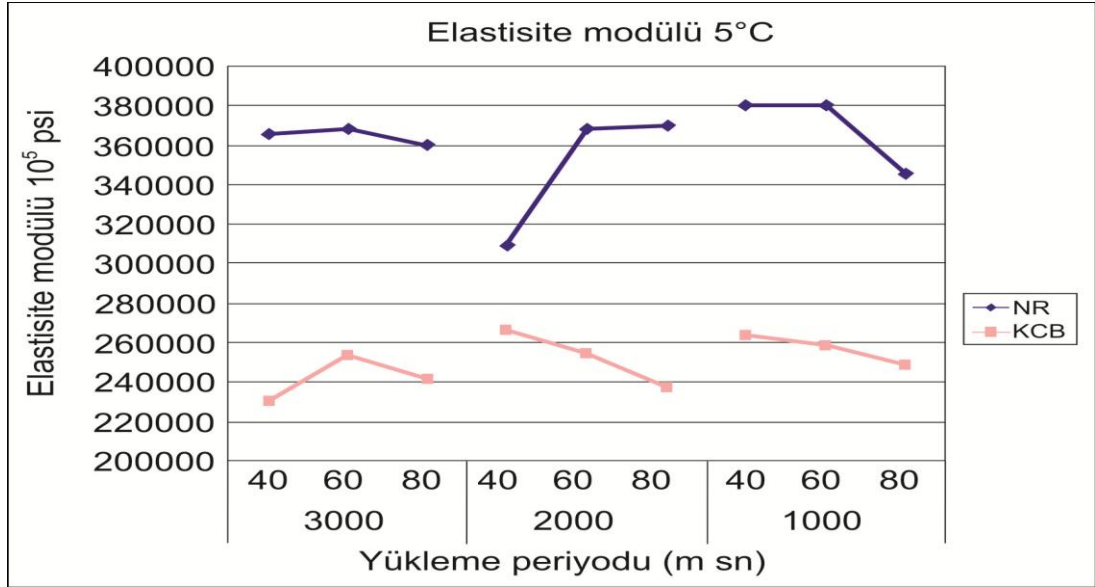
Şekil 3.55: 25 °C de statik sünme deneyi grafiği.



Şekil 3.56: 40 °C de statik sünme deneyi grafiği.

Tablo 3.14: 5 °C de dolaylı çekme deneyi sonuçları.

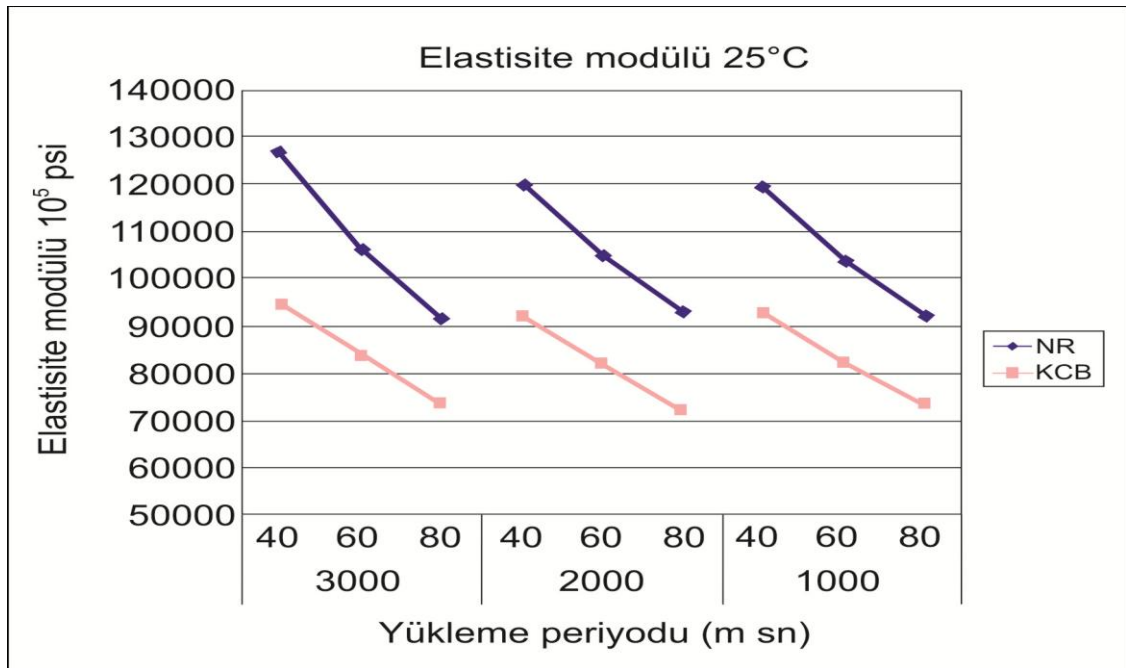
Sıcaklık (°C)		5 °C								
Yükleme Periyodu (ms)		3000			2000			1000		
Yükleme Hızı (ms)		40	60	80	40	60	80	40	60	80
E (psi)	NR	3664078	3681671	3608543	3093485	3681574	3704629	3806903	3802601	3460498
	KCB	2298738	2541560	2416618	2657947	2546514	2377275	2631073	2584335	2485276
μ s	NR	5,8512	5,8788	5,9156	5,5841	5,8604	5,7500	5,5752	5,6948	5,8052
	KCB	8,5501	8,6203	8,8504	8,2707	8,5559	8,3168	8,3720	8,3903	8,6387



Şekil 3.57: 5 °C de dolaylı çekme deneyi grafiği.

Tablo 3.15: 25 °C de dolaylı çekme deneyi grafiği.

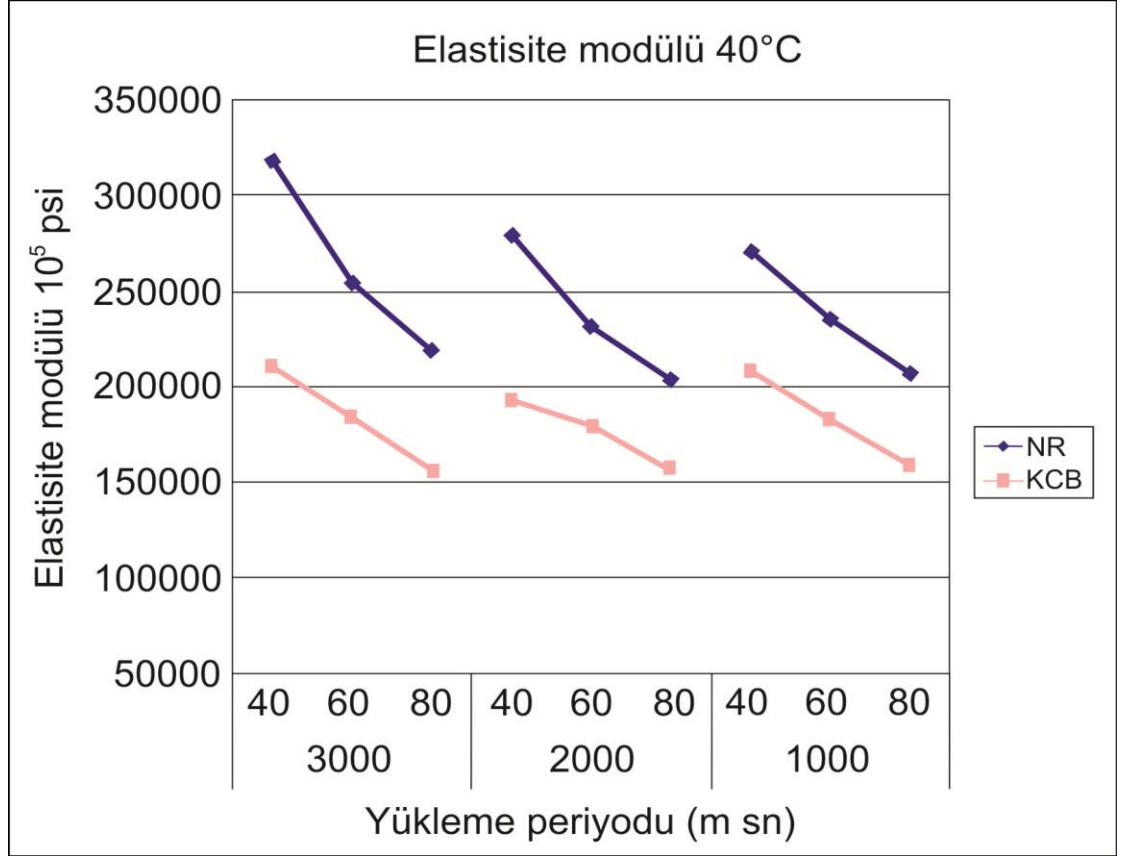
Sıcaklık (°C)		25 °C								
Yükleme Periyodu (ms)		3000			2000			1000		
Yükleme Hızı (ms)		40	60	80	40	60	80	40	60	80
E (psi)	NR	1270273	1059022	917594	1194614	1052048	930163	1199747	1036939	922659
	KCB	947075	836188	731078	918548	821971	718195	926678	825819	733062
μ s	NR	17,0657	19,9452	22,8617	17,4152	20,1843	22,3282	17,7063	20,6995	22,7697
	KCB	22,8013	25,6033	28,7220	23,3860	25,9435	29,5038	23,2020	25,8702	28,9243



Şekil 3.58 : 25 °C de dolaylı çekme deneyi grafiği.

Tablo 3.16: 40 °C de dolaylı çekme deneyi grafiği

Sıcaklık (°C)		40 °C								
Yükleme Periyodu (ms)		3000			2000			1000		
Yükleme Hızı (ms)		40	60	80	40	60	80	40	60	80
E (psi)	NR	318311	254970	220062	279335	231720	203662	270843	235246	206901
	KCB	210939	184302	155627	192140	179706	155752	207923	182096	159415
μs	NR	159,1437	83,4620	95,1133	72,7253	90,8680	100,8020	73,4617	89,8010	100,6997
	KCB	104,0775	117,3872	137,4800	104,0775	118,8312	136,6883	103,4877	117,6820	133,6433



Şekil 3.59: 40 °C de dolaylı çekme deneyi grafiği.

Asfalt karışımların tekerlek izi oluşumu (kalıcı deformasyon) özelliklerini belirlemek amacıyla, Geleneksel ve KCB karışımlarına **Tekrarlı Sünme Deneyi** uygulanmış, ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu deneyde numuneler, 5°C, 25°C ve 40°C sıcaklıkta 1000 ms vuruş periyodu boyunca 500 ms yüklü ve 500 ms yüksüz olmak üzere 100 kPa'lık tek eksenli basınç yüküne 8 saat boyunca maruz bırakılmış ve her bir yük tekrarından sonra numune içerisinde oluşan kalıcı deformasyonlar ölçülmüştür.

Deney sonuçlarına göre kalıcı deformasyonların KCB numunelerinde daha fazla olduğu görülmüştür. Soğuk iklimlerde KCB karışımlarında oluşan kalıcı deformasyonların

geleneksel asfalta göre çok daha fazla olduğu ancak sıcaklıkların artmasıyla bu farkın giderek azaldığı, 25°C ve 40°C’de yaklaşık 1.5-2 kat seviyelerine indiği tesbit edilmiştir.

Yoğun gradasyonlu sıcak karışımların dairesel ve tek eksenli basınç yüklemesi altında sünme modülü değerlerinin belirlenmesi için statik sünme deneyi yapılmış, bu deneyden elde edilen sünme modülü değeri ile ısı ve dingil yüklerine maruz kalan asfalt betonu karışımların, düşük sıcaklıklardaki çatlama potansiyeli ve tekerlek izinin hesaplanması ile rijitliğinin tahmininde bulunulmuştur. Bu deneyde, belli bir süre içinde, sabit büyüklükte bir yük, sıkıştırılmış silindirik numune üzerine uygulanır. Numunede meydana gelen düşey deformasyonlar ölçülür ve yükün üzerinde bulunduğu sürenin herhangi bir parçası için bir basınç sünme modülü hesaplanır. Yükün kaldırılmasından sonra, belirli bir süre içinde geri dönen deformasyon da ölçülür. Statik sünme deneyleri için üç farklı sıcaklıkta testler yapılmıştır. Deney sıcaklığına ulaşan numunelere yatay olarak ön yükleme yapılmıştır. Daha sonra 3600 sn süreyle sabit yükleme yapılarak, yükleme süresi boyunca düşey deformasyonlar kaydedilmiştir. Düşey deformasyonların yanı sıra, 3600 sn boyunca yüksüz bırakılarak geri dönen deformasyonlar da ölçülmüştür.

Deney sonuçlarına göre; 5°C’ de KCB numunelerinde geleneksel asfalta göre daha düşük deformasyon olduğu, ancak sıcaklıklar yükseldiğinde birim deformasyonların değiştiği, KCB numunelerinde 25°C ve 40°C’lerde daha yüksek deformasyonların olduğu tesbit edilmiştir.

KCB karışımında hazırlanan asfalt numuneleri ve geleneksel karışımın relatif kalitesini değerlendirmenin yanı sıra kaplama tasarımı, değerlendirme ve analizlere girdi üretmek amacıyla elastisite modülünü bulmak için 5°C, 25°C ve 40°C de dolaylı çekme deneyi yapılmış, bu deney ile sıcaklık, yükleme miktarı ve süresi gibi, etkiler araştırılmıştır.

Dolaylı çekme deneyinin değerlendirilmesinde, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 338 Asphalt Aggregate Mixture Analyzing System (AAMAS) çalışması neticesinde elde edilen karışımların rijitlik modüllerinin uygunluğu baz alınmıştır.

Değerlendirme 2000 ms’de 60 ms’lik yükleme hızı için elde edilen verilere göre yapıldığında 5 °C’de KCB karışımları, geleneksel karışıma göre daha yüksek elastisite modülüne sahip yani daha rijittir. Sıcaklığın artmasıyla ise iki karışımın da uygun elastisite modülüne doğru geçtikleri görülmüştür.

4. DENEME ASFALT KARIŞIMLARINA AİT ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde daha önceki bölümlerde sunulan deneysel verilerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, agregaların petrografik ve fiziksel özellikleri ile deneme asfalt karışımlarına ait test sonuçlarından elde edilen veriler kullanılmıştır.

Deneme asfalt karışımlarında kullanılan agregalar, kireçtaşı, kumtaşı, bazalt ve granittir. Günümüzde İstanbul dolayında özellikle kireçtaşı, asfalt ile ilgili tüm uygulamalarda kullanılmaktadır. Bazalt ise az bulunmasından dolayı asfalt ile ilgili özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Kumtaşları heterojen yapılarından dolayı az kullanılmakta, granitler ise soyulma değerlerinin yüksek olmasından dolayı hemen hemen hiç kullanılmamaktadır.

Kayaçların litolojilerinin yanısıra, heterojen ve çatlaklı olmaları, tesiste veya laboratuvarında agrega üretimi sırasında kullanılan kırıcı tipi bu kayaçlardan üretilen agregaların şekil ve boyutları ile tane boyu dağılımlarını etkilemektedir (Bell, 1998; Halili, 2003). Bu çalışmada tane boyu dağılımı, asfalt karışım dayanıklılığı açısından en önemli faktör olarak kabul edilmiş ve tane büyüklüğü dağılımı açısından KGM (2006) ve ASTM C 136 ve C 117 (2006, 2004) standartında verilen ideal gradasyon limitlerinin orta noktalarından geçen eğri “ideal” olarak kabul edilmiştir. Deneme asfalt karışımlarında kullanılan agregalar tane büyüklükleri açısından kıyaslandığında, kireçtaşı ve granitin ideal boyutlara yakın olarak kırıldığı görülmektedir (Tablo 4.1). Bu durumu bazalt takip etmektedir. Kireçtaşının ideal gradasyon eğrisine uymasının nedeni taşın dayanım ve sertliği ile ilgili olmakla birlikte, bir çok taş ocağında kireçtaşı agregası üretilmesi nedeniyle, kireçtaşına yönelik gelişen kırıcı sistemlerinin olmasıdır. Granit ve bazalt agregaları ise diğer agregalara oranla daha yassıdır. Bazalt agregaları tesisten alınmış olup, kırma işleminin farklı kırıcılarda yapılmasından dolayı yassılık azaltılmıştır (Tablo 4.1). Granit agregalarının diğerlerine oranla daha yassı olmaları iri

kristalli ve az ayrılmış olmalarının yanı sıra, bu agregaların tesisten alınmayıp laboratuvar tipi çeneli kırıcıda kırılmalarından kaynaklanmaktadır. Bell (1998)'e göre, iri taneli olan granitler, ince taneli olanlara göre daha kolay kırılmaktadır. Kumtaşı agregalarının ideal boyutlarda olmamasının nedeni ise, kumtaşlarının arazide homojen olmaması ve birlikte bulunduğu kayaçların daha zayıf olmasıdır.

Hartley (1974)'e göre yol yüzey tabakalarında kullanılacak olan agregaların, yeterli dayanım, kimyasal etkilere karşı dayanıklı, donmadan etkilenmeyen, uygun yüzey dokusuna sahip ve çok uygun tane boyu dağılımına sahip olması gerektiği belirtilmektedir.

Tablo 4.1: Agregatane büyüklüğü karşılaştırmalı tablosu (sarı renkli alanlar ideal noktalara yakın değerleri göstermektedir).

Agrega boyutları	Elek göz açıklığı (mm)	% Geçen					
		Şartname (KGM, 2006)	İdeal	Kireçtaşı	Kumtaşı	Bazalt	Granit
0-4.76 mm	9,52	100	100	100	100	100	100
	4,76	90-100	95	97,9	99,5	99,2	98,4
	2,00	50-90	70	63,4	64,0	62,1	65,0
	0,425	20-50	35	30,4	25,6	29,1	28,3
	0,180	10-30	20	19,0	16,5	19,7	17,9
	0,075	8-15	11,5	10,5	10,5	10,0	11,0
4.76-12.7 mm	19,1	100	100	100	100	100	100
	12,7	95-100	97,5	100,0	100,0	100,0	100,0
	9,52	50-90	70,0	79,1	88,6	84,5	86,7
	4,76	0-20	10,0	9,1	16,4	18,8	17,7
	2,00	0-5	2,5	1,0	2,0	2,3	2,1
12.7-19.1 mm	25,4	100	100	100	100	100	100
	19,1	95-100	96,4	95,6	100,0	100,0	100,0
	12,7	10-50	20,8	14,4	27,1	27,1	19,5
	9,52	0-10	1,5	1,6	4,2	4,2	3,8
	4,76	0-5	1,0	1,1	0,4	0,4	0,9

Tablo 4.1'de görüldüğü gibi; tane büyüklüğü dağılımının ideal eğriye yakın değerler vermesi, yapılan deneme asfalt karışımlarına ait elek analizi sonuçlarına yansımıştır (Tablo 4.2). Kireçtaşı agregalarının tane büyüklüğü dağılımının ideale yakın olması kireçtaşı ile yapılan asfalt karışımlarında öne çıkmıştır. Tamamı kireçtaşı olan KCKC

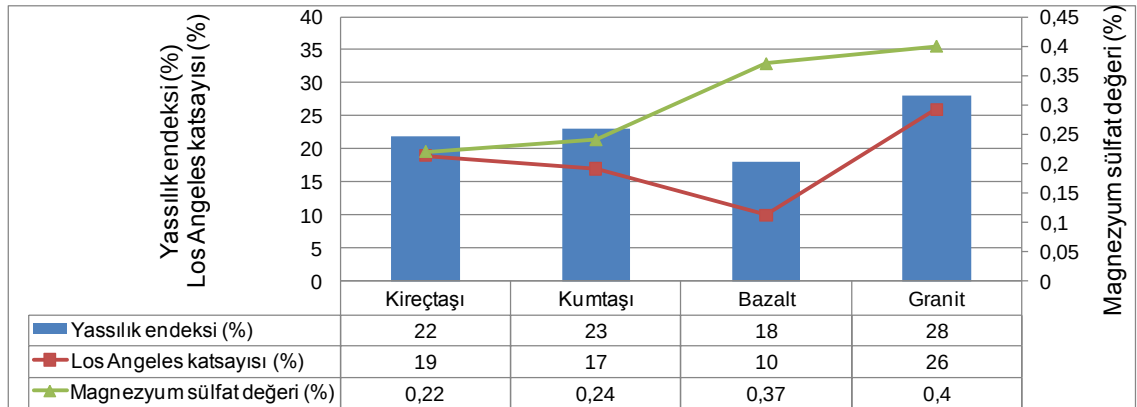
karışımı tüm boyutlarda ideale yakın bir eğri vermiştir. Yine agrega tane büyüklüğü açısından bakıldığında; granit agregalarının ideal eğriler vermesi nedeniyle tamamı granit olan GG karışımı da ideal asfalt karışımı eğrisi sunmuştur. Aynı şekilde kireçtaşı ve granit karışımlarının bir arada olduğu GKC karışım da ideale yakındır. Bunların dışında içlerinde granit ve kireçtaşı bulunan GB, KCKM gibi karışımlar da belli boyutlarda (Tablo 4.1’de renkli alanlar) idealdirler.

Tablo 4.2: Deneme Asfalt karışımlarında kullanılan agregaların tane boyu dağılımları(sarı renkli alanlar ideal noktalara yakın değerleri göstermektedir).

Elek Açıklığı mm	% Geçen																	
	Şartname	İdeal	BB	KMB	KCB	GB	KCKC	BKC	KMKC	GKC	KMKM	BKM	KCKM	GKM	GG	BG	KMG	KCG
19,1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12,7	83-100	91,5	89,1	91,5	92,2	86,7	92,2	94,2	89,8	86,7	94,1	95,6	94,5	86,7	86,3	94,2	93,2	93,5
9,52	70-90	80,0	83,7	81,3	80,8	75,7	80,8	81,5	81,3	75,7	81,2	79,6	86,1	75,7	74,9	77,8	81,2	80,7
4,76	40-55	47,5	52,2	50,5	48,8	49,6	48,3	52,1	49,6	49,0	51,1	52,4	51,9	49,8	48,6	51,4	51,1	49,5
2,00	25-38	31,5	28,9	27,7	28,5	31,1	29,1	29,0	28,3	31,7	28,6	28,7	31,2	32,0	30,0	27,1	27,6	28,4
0,425	10-20	15	13,5	13,5	13,6	14,6	14,2	13,9	14,0	15,2	12,0	11,5	12,8	12,8	18,0	16,1	16,9	17,2
0,180	6-15	10,5	9,2	9,4	9,4	9,9	9,0	8,8	9,1	9,5	8,0	7,5	8,4	8,3	12,3	11,1	11,8	11,9
0,075	4-10	7,0	4,8	5,2	5,0	5,0	5,2	5,0	5,4	5,3	5,5	4,8	5,5	5,3	7,4	6,8	7,5	7,4

Yassılık endeksi, Los Angeles katsayısı ve magnezyum sülfat değeri agregaların dayanımı ile ilgilidir. Bu değerlerin istenen ideal değerlere yakın olması asfalt karışımlarının stabilitelerinin yüksek olması ve tekerlek izinde oturma değerlerinin de düşük olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır (Şekil 4.1).

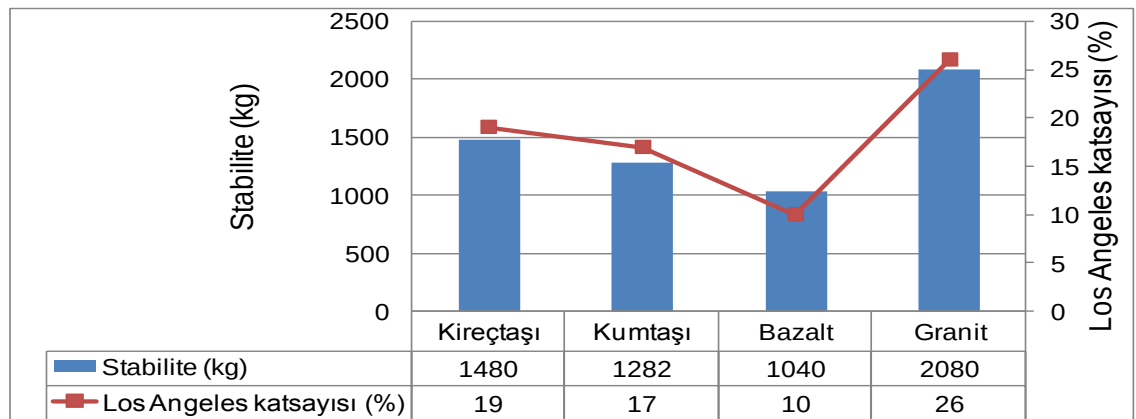
Özen, Tayfur, Aksoy ve Eren (2004)’ e göre asfalt karışımı içinde yer alan yassı agrega tane miktarının artmasıyla karışımın performansı da doğru orantılı olarak azalmaktadır.



Şekil 4.1: Deneme asfalt karışımlarında kullanılan agregaların yassılık endeksi, Los Angeles katsayısı ve magnezyum sülfat değerlerinin gösterilmesi.

Akbulut ve Gürer (2007)' ye göre, yassılık endeksine sahip agregaların dayanımları daha düşük olup, trafik ve çevresel etkiler altında kolay aşınır ve parçalanırlar. McNally (1998)'e göre Los Angeles parçalanma deneyi, agregaların parçalanmaya karşı dayanımlarını belirlemede yaygınca kullanılan bir deneydir. Dona dayanıklılık deneyi ise atmosfer şartlarına göre malzemelerin dayanıklılığını ifade eden deneydir.

Asfalt karışımlarını oluşturan agregalara ait yassılık endeksi, Los Angeles katsayısı ve $MgSO_4$ değeri değerlendirildiğinde Los Angeles katsayısı ile stabilite arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Los Angeles katsayısının artması ile stabilite değeri de artmaktadır.



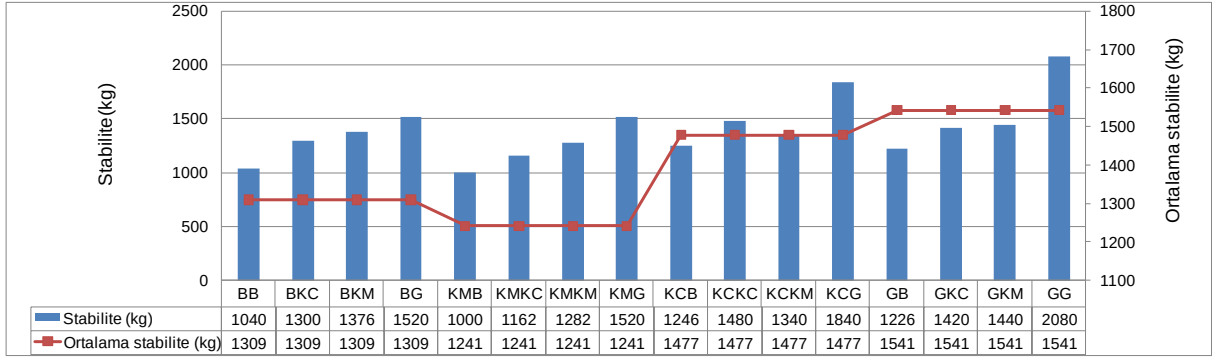
Şekil 4.2 : Los Angeles katsayısı ile stabilite arasındaki ilişki.

Akbulut, Gürer ve Yıldız, (2005) tarafından agregaların bu özelliklerinin, asfalt karışımlarının stabiliteleri ve de kullanım ömürleri üzerinde son derece etkili olduğu ifade edilmiştir.

Tablo 4.3: Asfalt karışımların stabilite değerleri ve stabilite değerlerinin aritmetik ortalamaları.

Asfalt Karışımları	Stabilite (kg)	Stabilite Ortalaması (kg)
BB	1040	1309
BKC	1300	
BKM	1376	
BG	1520	
KMB	1000	1241
KMKC	1162	
KMKM	1282	
KMG	1520	
KCB	1246	1477
KCKC	1480	
KCKM	1340	
KCG	1840	
GB	1226	1541
GKC	1420	
GKM	1440	
GG	2080	

Tablo 4.3'deki stabilite ortalamaları hesaplanırken ince agregalar (0 - 4.76 mm) aynı tür, iri agregalar (4.76 – 19.1 mm) ise farklı türde alınarak değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.3). Tablo 4.3' e göre iri agregaları kumtaşı olan karışımların stabiliteleri en düşük, iri agregaları granit olan karışımların stabiliteleri ise en yüksek değerdedir. Smith ve Collis (2001)' e göre, kayaçların dayanım artışları porozite, tane boyu dağılımı ve ayrılmış minerallerin oranına bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan kumtaşının ayrılmış olmasının yanısıra, su emme değerinin düşük ve Los Angeles katsayısının yüksek olmasından dolayı dayanımları ve dolayısıyla bu tür agregalardan üretilen asfalt karışımlarının stabilite değerleri düşüktür.

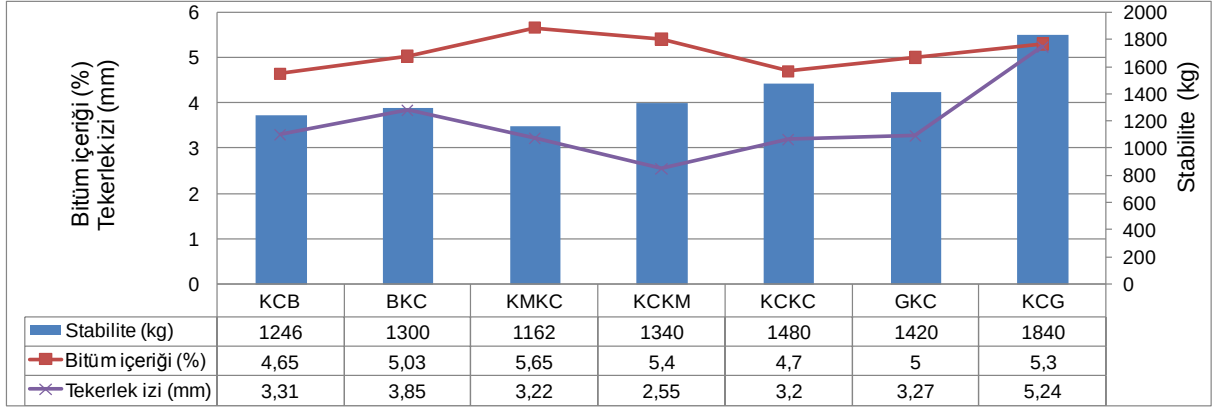


Şekil 4.3: Asfalt karışımlarına ait stabilite değerlerinin ortalaması.

Asfalt stabilitesini tekerlek izi oturmalarına etkilerini incelemek amacıyla tekerlek izi testi yapılan 7 adet karışım incelenmiş ve aralarındaki ilişki Şekil 4.4’ te gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi; benzer stabiliteye sahip KCB ve BKC karışımlarında ince agrega ile iri agrega değişimlerine göre hem bitüm içeriği hem de stabilite değişimleri olmakla birlikte tekerlek izi değerinde de değişimler gözlenmiştir. KCB karışımında iri agrega kireçtaşı olması nedeniyle bitüm içeriği daha azdır, BKC karışımında ise iri agrega bazalt olması nedeniyle bitüm içeriği daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bitüm içeriğinin artmasıyla stabilite de artmış ancak tekerlek izinde daha fazla oturma olmuştur. Bitüm içeriğinin artması başlangıçta stabiliteyi arttırsa da trafik yükü altında oturmalar kaçınılmaz olmaktadır (İsfalt, 2002) (Şekil 4.3, 4.4). Nitekim, sıcak asfalt karışımlarında kullanılan agreganın tipi, porozitesi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, tane boyu dağılımı, aşınması ve cilalanma dirençleri gibi özellikleri bitümlü sıcak kaplamalarının yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahip olduğu Woodside (1998) ve Brown vd., (2001) tarafından ifade edilmiştir.

Daha yüksek dayanımlı agregalar ile üretilen KMKC ve KCKM karışımlarında ise, iri agreganın kumtaşı olduğu KMKC karışımında kumtaşının su emme yüzdesinin daha yüksek olması nedeniyle bitüm içeriği, iri agregası kireçtaşı olan KCKM karışımına göre yükselmiş, ancak stabilite değeri daha düşük olmuş, buna karşılık tekerlek izinde oturma derinliği ise daha az okunmuştur. Bunun nedeni iri agreganın kumtaşı olması nedeniyle üzerine gelen yüke karşı daha dayanıklı olmasındandır. Benzer dayanıma sahip agregalar ile üretilen başka tür karışımlardan GKC ve KCG karışımlarında ise bitüm içeriğinin artmasıyla stabilite de artmış ve buna karşılık tekerlek izinde oturma değeri bitüm içeriği yüksek olan KCG karışımında daha fazla olmuştur. Bunun nedeni

de iri agregası kireçtaşı olan KCG karışımının iri agregası granit olan GKC karışımına göre daha fazla su emme oranına sahip olmasıdır.

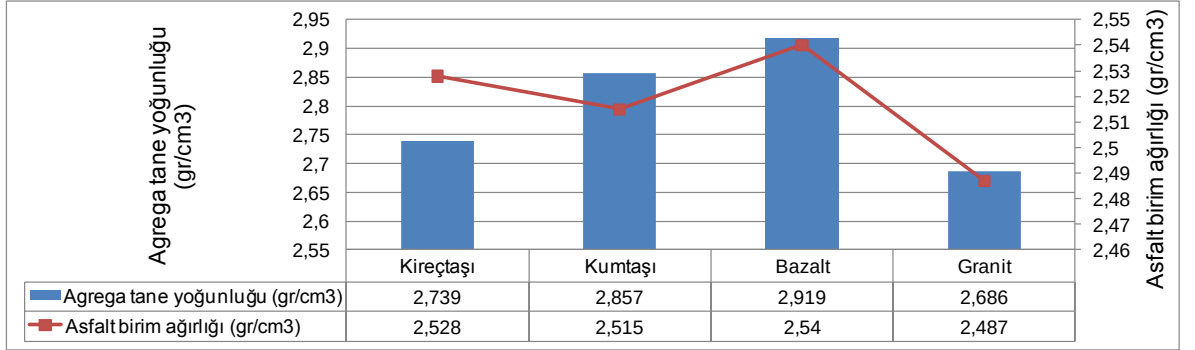


Şekil 4.4: Asfalt karışımlarının bitüm içeriği, stabilite ve tekerlek izi değerlerinin kıyaslanması.

Tane yoğunlukları yüksek olan agregaların seçimi, asfalt karışımının birim ağırlığını arttırdığı gibi asfalt karışımının dayanımını da arttırmaktadır (Orhan ve Yalçın, 2004). Bu çalışmada, kireçtaşı, kumtaşı, bazalt ve granite ait tane yoğunluk değerlerinin ortalaması alınmış ve yine bu agregalardan oluşmuş karışımların birim ağırlık değerlerinin ortalaması ile kıyaslanmıştır (Şekil 4.5). Tablo 4.4'ten izleneceği gibi yüksek tane yoğunluğu değerine sahip agregalardan oluşmuş asfalt karışımlarının birim ağırlık değerleri de yüksek olmuştur (Tablo 4.4).

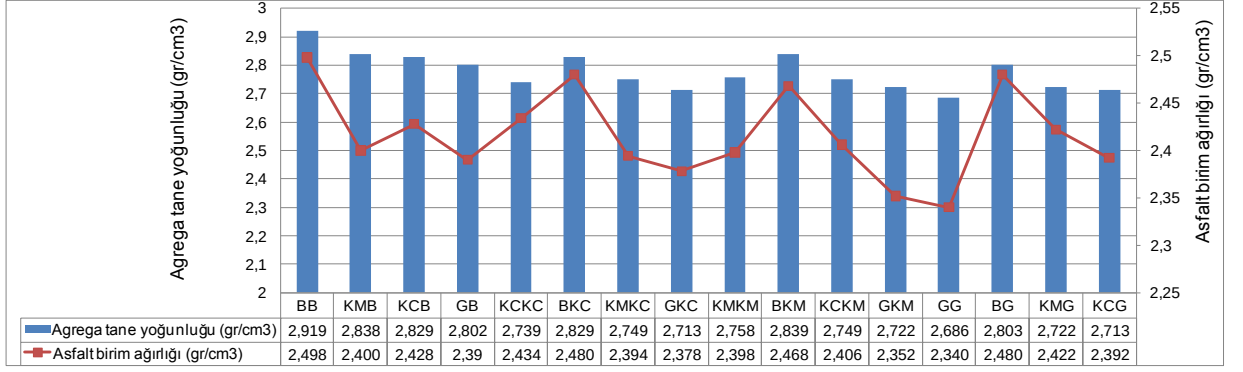
Tablo 4.4: Karışım türlerine göre agregatane yoğunluğu ve asfalt birim ağırlıkları.

Karışım Kodu	Agregatane yoğunluğu (gr/cm ³)	Asfalt birim ağırlığı (gr/cm ³)
BB	2.919	2.498
KMB	2.838	2.400
KCB	2.829	2.428
GB	2.802	2.390
KCKC	2.739	2.434
BKC	2.829	2.480
KMKC	2.749	2.394
GKC	2.713	2.378
KMKM	2.758	2.398
BKM	2.839	2.468
KCKM	2.749	2.406
GKM	2.722	2.352
GG	2.686	2.340
BG	2.803	2.480
KMG	2.722	2.422
KCG	2.713	2.392

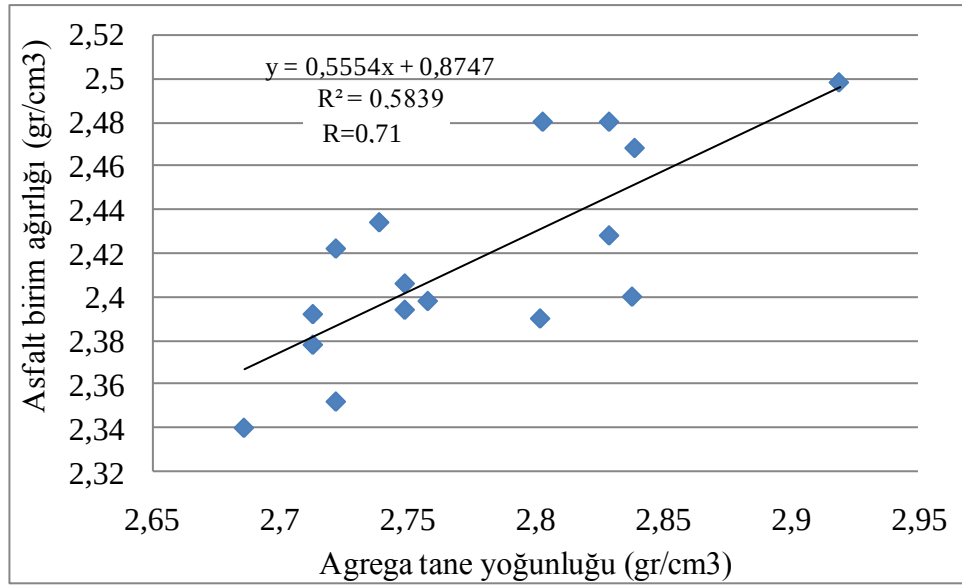


Şekil 4.5: Agregatane yoğunluğu ile tek tip agregat ile üretilen asfalt birim ağırlığı arasındaki ilişki.

Tablo 4.4, Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7' ye göre ise asfalt karışımlarını oluşturan agregatane yoğunlukları ve asfalt birim ağırlıkları gösterilmiştir. Buna göre BB karışımı en yüksek tane yoğunluklu agregat ile en yüksek birim ağırlıklı asfalt karışımını vermiştir. Bu durumu sırasıyla BKC, BKM ve BG karışımları takip etmiştir. İri agregaların tane yoğunluklarının yüksek olması asfalt karışımlarının da birim ağırlıklarını arttırmaktadır. Nitekim, Pellinen, Song ve Xiao (2004), yüksek birim ağırlıklı asfalt karışımlarının trafik altında daha dayanımlı davranış sergilediklerini ifade etmişlerdir.



Şekil 4.6: Agrega tane yoğunluğu ile asfalt birim ağırlıkları arasındaki ilişki.



Şekil 4.7: Agrega tane yoğunluğu ile asfalt birim ağırlıkları arasındaki doğrusal ilişki.

Su emme oranı, agregaların bünyelerine kabul ettikleri su miktarı olup, sıcak asfalt karışımlarında bitümün agregaya yapışması ile doğrudan olarak ilgilidir. Bitüm agregaya yüzeyine yapışması tek başına yetmemekte, bir miktar bitümün de agregaya içine nüfuz etmesi gerekmektedir (Özen, Birliker, Tayfur ve Sönmez, 2004).

Bu çalışmada kullanılan agregalara ait su emme değeri (SED), asfalt karışımında kullanılan agregaların su emme oranları kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 4.5). (1) nolu eşitliğe göre hesaplanan su emme değerleri Tablo 4.5'te sunulmuştur.

$$W_{AV} = PCA \times W_{AC} + PFA \times W_{AF} \quad (1)$$

W_{AV} : Su emme değeri

PCA: İri agrega oranı

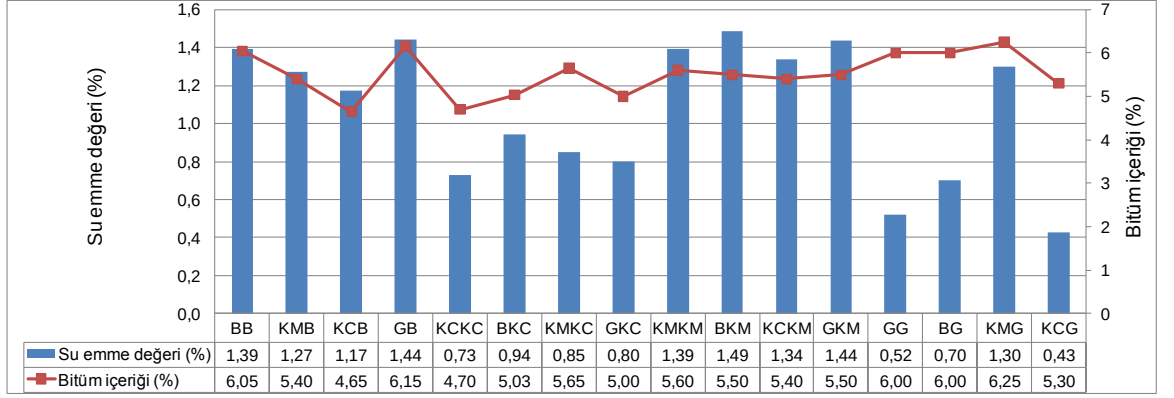
W_{AC} : İri agreganın su emme oranı

PFA: İnce agrega oranı

W_{AF} : İnce agreganın su emme oranı

Tablo 4.5: Asfalt karışımında kullanılan agregaların su emme değerleri (sarı renkli değerler, su emme değeri yüksek olan karışımları, kırmızı renkli değerler ise bitüm içeriği açısından yüksek değerleri göstermektedir).

Karışım kodu	% Geçen		Su Emme Değeri (SED) (%)	Bitüm içeriği (%)
	0 - 4.76 mm	4.76 - 19.1mm		
BB	45	55	1,392	6,05
KMB	43	57	1,274	5,40
KCB	45	55	1,172	4,65
GB	45	55	1,443	6,15
KCKC	45	55	0,727	4,70
BKC	44	56	0,943	5,03
KMKC	43	57	0,848	5,65
GKC	50	50	0,800	5,00
KMKM	43	57	1,394	5,60
BKM	43	57	1,485	5,50
KCKM	47	53	1,339	5,40
GKM	50	50	1,435	5,50
GG	50	50	0,520	6,00
BG	42	58	0,700	6,00
KMG	43	57	1,297	6,25
KCG	45	55	0,430	5,30



Şekil 4.8: Su emme değeri ile bitüm içeriği arasındaki ilişki

Su emme değeri arttıkça bitüm içeriğinin de arttığı gözlenecektir. Deneme asfalt karışımlarında kullanılan granitin su emme oranı düşük olmasına rağmen, bitüm içeriği yüksektir. Bu durum, agrega yüzey pürüzlülüğü ve kayacın az ayrışması ile ilgilidir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.8).

4.1. AYNI TÜR AGREGALAR İLE YAPILAN REFERANS KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Asfalt karışımları ele alındığında, yapılan toplam 16 karışım içinde 4 adet karışım referans karışımdır. Bu referans karışımların agregalarının tamamı aynı tür agregadır. Bu nedenle referans karışımlar ile farklı agregalardan oluşan karışımların karşılaştırılması gerekmektedir. Referans karışımlara ait özellikler Tablo 4.6' ve Şekil 4.9' da sunulmuştur.

Tablo 4.6: Referans karışımların özellikleri (sarı renkli değerler, şartnamelerde istenen kriterlerin ideal noktalarına yakın olan değerlerdir).

Karışım kodu	Opt. btm. (%)	Birim ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)	Asfaltla dolu boşluk (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Agregalar arası boşluk (%)	Filler/bitüm oranı (%)
BB	6.05	2.498	4.60	72	1040	4.47	16.75	0.79
KCKC	4.70	2.434	4.00	71	1480	3.72	14.00	1.10
KMKM	5.60	2.398	4.40	71	1282	4.42	15.20	0.98
GG	6.00	2.340	4.40	73	2080	3.55	15.90	1.23

Tablo 4.6' ya göre; KCKC karışımı en düşük bitüm içeriğine sahiptir. Abo-Quadis ve Al-Shweily (2007)' ye göre kireçtaşı tozu kalsiyum içerir ve kalsiyum agrega yüzeyi ile bitüm arasındaki bağı arttırmaktadır. Bunu KMKM karışımı, daha sonra sırasıyla GG ve BB karışımları takip etmektedir. Burada bitüm yüzdesindeki artışlar Tablo 4.6' da görüldüğü gibi agregaların su emme oranları ile ilgilidir. Ancak, granit gibi su emme oranı çok düşük olmasına rağmen, pürüzlü yüzeye sahip agregalarda bitüm yüzdesi daha farklı olabilmektedir. Nitekim Tasong (1998), bazalt ve granitlerin, kireçtaşlarına göre daha fazla yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu saptamıştır.

Birim ağırlık açısından bakıldığında ise, bazalt agregalarının tane yoğunluklarının yüksek olmasından dolayı bazalt ile yapılan asfalt karışımlarının birim ağırlıkları da yüksek olmuştur (Şekil 4.9).

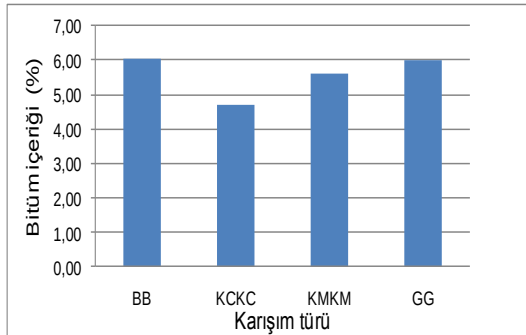
Boşluk yüzdeleri açısından, TS 3720 (1983)' e göre asfalt karışımlarının ideal boşluk oranı % 4 olmalıdır. Buna göre KCKC karışımı uygun boşluk oranında iken, diğer karışımların boşluk oranı ise Tablo 3.11'de verilen üst limite yakındır. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi TS 3720 (1983)' e göre % 70 olmalıdır. Buna göre KCKC ve KMKM karışımı ideale yakın değer verirken diğer karışımlar Tablo 3.12'de belirtilen üst limite yakındır. Agregalar arası boşluk yüzdesi açısından ise, yine TS 3720 (1983)' e göre bu değer min.% 14 olmalıdır. Buna göre KCKC karışımı en uygun değeri vermiş, diğer karışımlara ait değerler ise daha yüksektir. Akbulut ve Gürer (2007)' ye göre asfalt karışımlarının boşluk oranı; stabilite, geçirimsizlik ve bitümün boşluklardan dışarı atılması gibi özellikleri etkilemektedir. Pellinen, Song ve Xiaos (2004)' e göre de boşluk içeriğinin artması, karışımlarının agrega iç kenetlenmesi oluşturmalarını önlediğini ve dirençlerini azalttığını ifade etmişlerdir. Bu araştırmadaki karışımlarda da, kireçtaşından üretilen agrega tanelerinin şekli ve karışım içindeki dağılımının uygun olmasından dolayı boşluk, asfaltla dolu boşluk ve agregalar arası boşluk yüzdeleri ideale yakın değerlerdedir. İbrahim, Faisal ve Jamil (2007), agregaların köşeliliğinin artmasının, asfalt karışımı içindeki boşlukların artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. İncelenen agregalar gözönüne alındığında, bazalt ve granit gibi sert agregalar, kırıldıklarında diğer agregalara göre daha köşeli ve yassı taneler içermesi, bu agregalardan hazırlanan deneme sıcak asfalt karışımlarının boşluk oranlarının yüksek olmasına neden olmuştur (Şekil 4.9).

KGM (2006) 'ya göre stabilite değeri en düşük 900 kg. olmalıdır. Buna göre stabilite değerleri açısından GG karışımı en yüksek değeri vermiştir (Tablo 4.6) (Şekil 4.9). Quadis ve Shweily (2005)' e göre stabilitenin yüksekliği karışımı kırılgan hale getirdiğinden dolayı istenen bir durum değildir. Bu nedenle, KCKC karışımının stabilitesi ise daha uygun bir değerdedir.

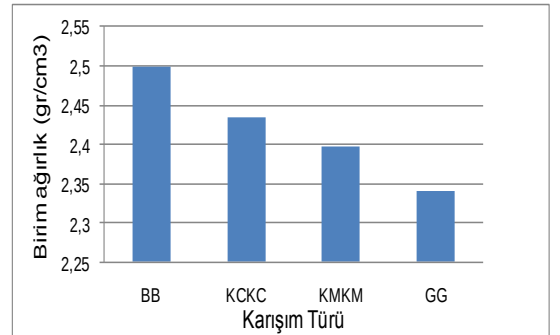
KGM (2006)' ya göre asfalt karışımının akma değeri 2-4 mm arasında olmalıdır. Ancak uygulamalarda 3 mm ideal değer olarak ele alınmaktadır. KCG ve GG karışımları ideal değere yakın sonuçlar vermiştir. Aynı karışımların stabilite değerleri de yüksektir. Ancak KCKC karışımının bitüm içeriğinin de az olması ve stabilite-akma değerlerinin de uygunluğu referans karışımlar içinde en iyi sonucu ortaya koymuştur (Şekil 4.9).

Filler/bitüm oranı açısından ise, KCKC karışımı, filler oranının yüksek, bitüm oranının az olması nedeniyle yüksek bir değer olarak ortaya çıkmıştır. BB karışımında ise, bazaltın filler oranının çok az olması nedeniyle filler/bitüm oranı da düşüktür (Şekil 4.9).

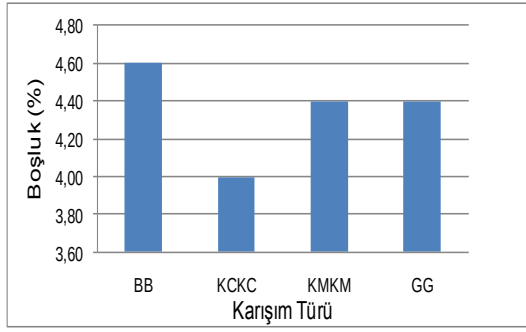
Referans karışımlardan sonra aşağıda sırasıyla ince agregaları bazalt, kireçtaşı, kumtaşı ve granit agregalı asfalt karışımları karşılaştırılmıştır.



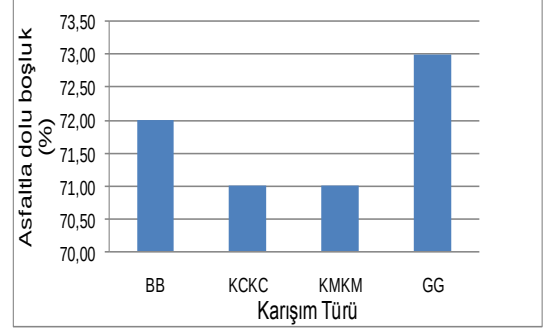
(a)



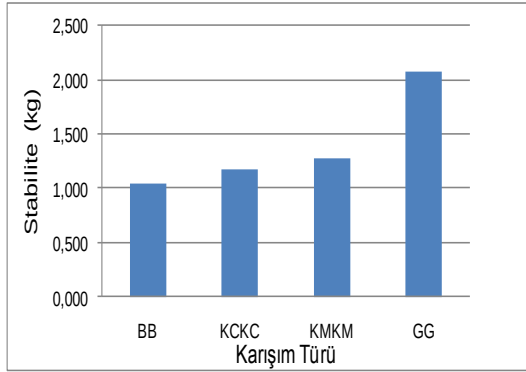
(b)



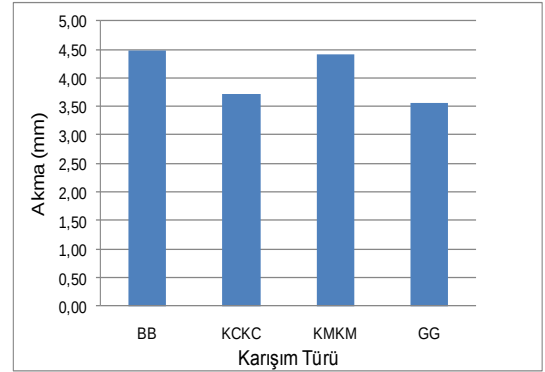
(c)



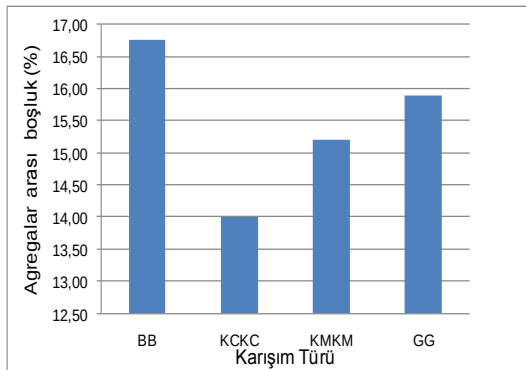
(d)



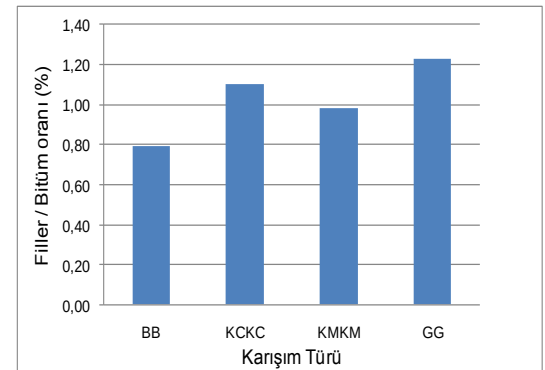
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.9: Referans karışımların özellikleri, (a) Bitüm içeriği, (b) Birim ağırlık, (c) Boşluk, (d) Asfaltla dolu boşluk, (e) Stabilite, (f) Akma, (g) Agregalar arası boşluk, (h) Filler/bitüm oranı.

4.2. FARKLI TÜR AGREGALAR İLE YAPILAN DENEME KARIŞIMLARININ REFERANS KARIŞIMLAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

4.2.1. İnce agregası bazalt olan karışımların sadece bazalt agregalı referans karışımlar ile karşılaştırılması

Bitüm içeriği açısından değerlendirme yapıldığında; KCB ve KMB karışımları daha az bitüm içermektedir (Tablo 4.7 ve Şekil 4.10). Kumtaşı ve bazaltın ince agregalarının su emme oranının yüksek olmasına rağmen iri agregalarının su emme oranları daha düşük olması dengeli bir karışım oluşturmuş ve bitüm yüzdeleri nispeten daha az olmuştur. Granit ile ince agregası bazalt bileşimli karışımlar ise bazaltın su emme oranının yüksek olması granitin az ayrılmış olması nedeniyle daha fazla bitüm içeriğine sahip olmuşlardır.

Tablo 4.7: İnce agregaları bazalt olan karışımların özellikleri(sarı renkli değerler, şartnamelerde istenen kriterlerin ideal noktalarına yakın olan değerlerdir).

Karışım Türü	Opt. btm. (%)	Birim ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)	Asfaltla dolu boşluk (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Agregalar arası boşluk (%)	Filler/bitüm oranı (%)
BB	6.05	2.498	4.60	72	1040	4.47	16.75	0.79
KMB	5.40	2.400	4.20	71	1000	4.70	15.18	0.96
KCB	4.65	2.428	4.00	70	1246	4.17	13.50	1.07
GB	6.15	2.390	4.60	73	1226	4.16	16.60	0.81

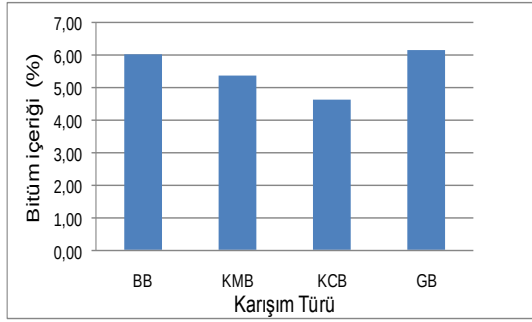
Asfalt birim ağırlıkları açısından BB referans karışımının birim ağırlığı daha yüksektir. Nedeni ise bazalt agregalarının tane yoğunluklarının yüksek oluşudur. KMB ve KCB asfalt karışımlarının birim ağırlıkları, agregalarının tane yoğunluğu değerlerinin birbirine yakın olmasından dolayı hemen hemen aynıdır. Ancak GB karışımında ise granit agregalarının tane yoğunluk değerlerinin az olmasından dolayı karışımın birim ağırlığı da düşük olmuştur (Şekil 4.10).

Boşluk yüzdesi açısından, KCB karışımı ideal boşluk oranını vermiştir. Buna en yakın boşluk oranını ise KMB karışımı vermiştir. BB ve GB karışımları ise boşluk oranı açısından üst sınırlara yakındır. Asfaltla dolu boşluk oranı açısından yine KCB ve KMB karışımları idealdirler, GB ve BB karışımlarının asfaltla dolu boşluk oranları ideal

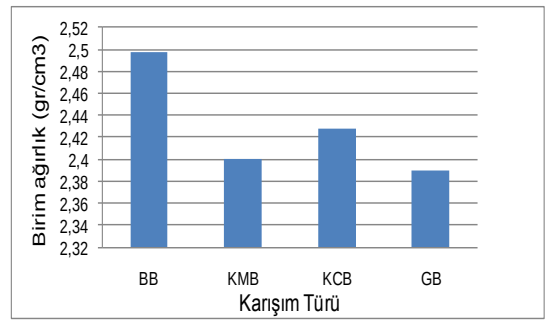
değerden daha yüksektir. Aynı durum agregalar arası boşluk yüzdesi açısından da geçerlidir. Boşluk, asfaltla dolu boşluk ve agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri tamamen agregaya yüzey şekli, yassılığı, agregaya taneleri arasındaki ilişki ve tane boyu dağılımında ideal eğriyi vermeleri ile ilgilidir (Şekil 4.10).

Stabilite açısından, KCB karışımı diğer özelliklerinin uygun olması nedeniyle yüksek değer vermiş buna karşılık da akma değeri de uygun olmuştur (Şekil 4.10).

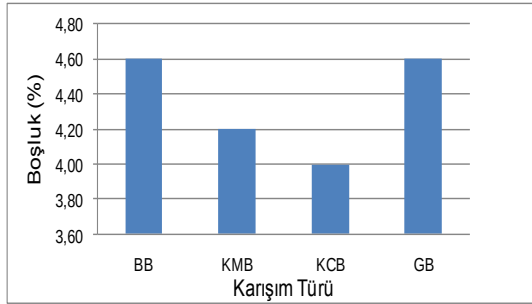
Filler/bitüm oranına bakılacak olursa, ince agreganın bazalt olması nedeniyle filler oranları yüksek değildir. Ancak, KCB karışımının bitüm içeriğinin az, filler oranının da düşük olması nedeniyle bu oran yüksek olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.10).



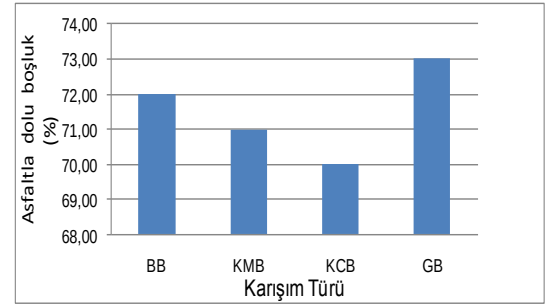
(a)



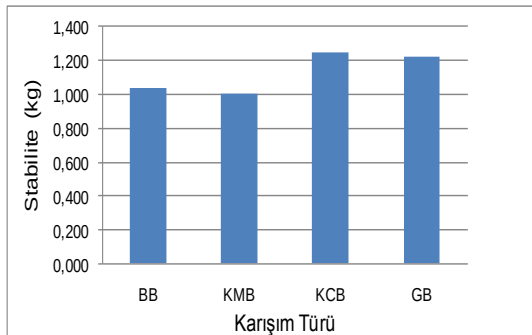
(b)



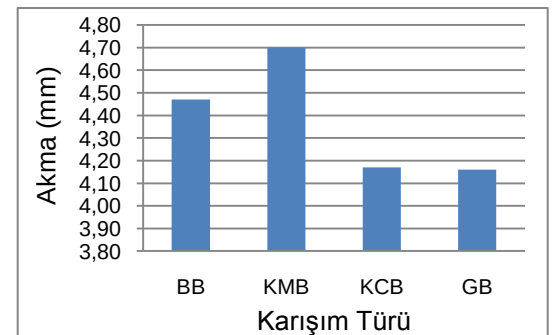
(c)



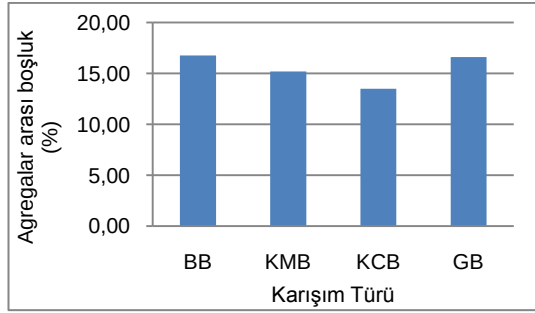
(d)



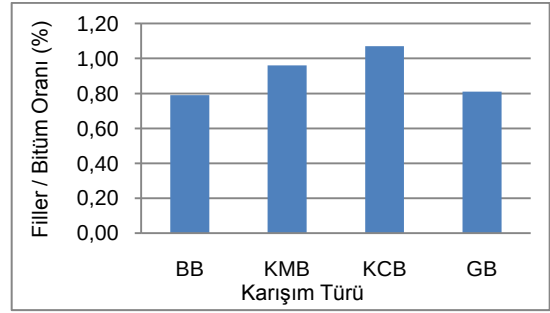
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.10: İnce agregası bazalt olan karışımların özellikleri, (a) Bitüm içeriği, (b) Birim ağırlık, (c) Boşluk, (d) Asfaltla dolu boşluk, (e) Stabilite, (f) Akma, (g) Agregalar arası boşluk, (h) Filler/bitüm oranı.

4.2.2. İnce agregası kireçtaşı olan karışımların sadece kireçtaşı agregalı referans karışımlar ile karşılaştırılması

İnce agregası kireçtaşı karışımlarda ise referans karışım olan KCKC karışımı, KCB karışımında olduğu gibi ideale yakın değerler vermiştir (Tablo 4.8 ve Şekil 4.11) .

Tablo 4.8: İnce agregaları kireçtaşı olan karışımların özellikleri (sarı renkli değerler, şartnamelerde istenen kriterlerin ideal noktalarına yakın olan değerlerdir).

Karışım Türü	Opt. btm. (%)	Birim ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)	Asfaltla dolu boşluk (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Agregalar arası boşluk (%)	Filler/bitüm oranı (%)
KCKC	4.70	2.434	4.00	71.00	1.480	3.72	14.00	1.10
BKC	5.03	2.480	4.15	71.00	1.300	3.49	14.75	0.99
KMKC	5.65	2.394	4.40	72.50	1.162	4.18	16.05	0.96
GKC	5.00	2.378	4.10	71.00	1.420	3.52	14.54	1.06

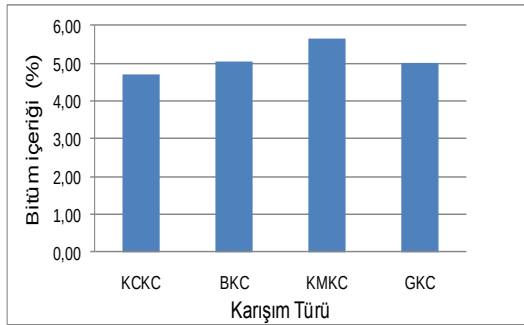
Bitüm içeriği açısından KCKC karışımı % 4.70 gibi değer verirken, diğer tüm karışımlar daha yüksek değer vermiştir. Çünkü kireçtaşının su emme oranı diğer kayaların tamamından daha düşüktür. Granitin su emme oranı düşük olmasına rağmen agrega pürüzlülüğünün fazla olması bitüm yüzdesi KCKC karışımına göre daha fazladır (Şekil 4.11).

Asfalt birim ağırlık değerinde ise kireçtaşı ve bazalt agregalarının tane yoğunluklarının yüksek olması nedeniyle BKC karışımının birim ağırlık değeri de yüksek olmuştur (Şekil 4.11).

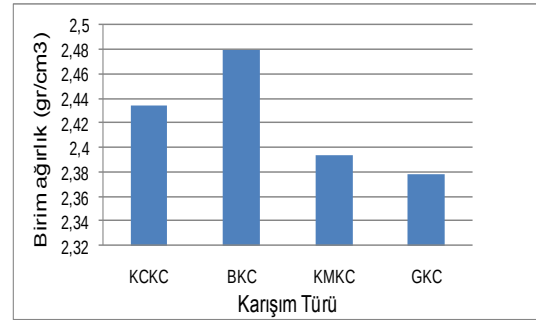
Boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi açısından KCKC, BKC ve GKC karışımları ideale yakın değerler vermiş, ancak KMKC değer daha yüksek değer vermiştir. İri agregası kumtaşı olan bu karışımın, kumtaşı agregalarının pürüzlü yüzeye sahip olması ve tane şekillerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.11).

Stabilite ve akma değerleri açısından da KCKC, BKC ve GKC karışımları uygun değerler vermiştir. Ancak KMKC değeri diğer özellikleri de uygun değerler vermediği için düşük stabilite düşük akma değeri vermiştir (Şekil 4.11).

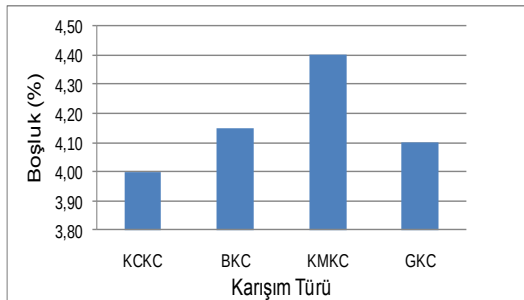
Filler/bitüm oranı da KCKC karışımında bitüm yüzdesinin az olması nedeniyle düşük değer vermiştir (Şekil 4.11).



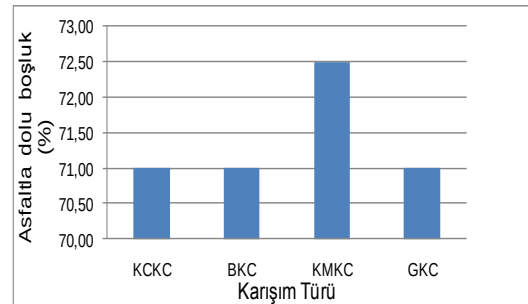
(a)



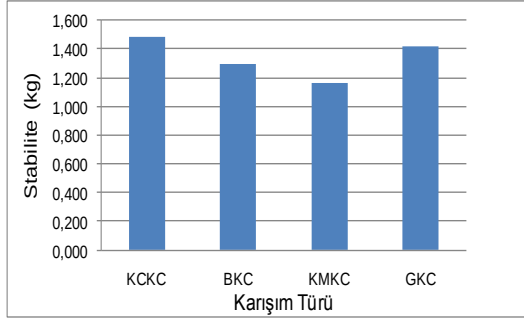
(b)



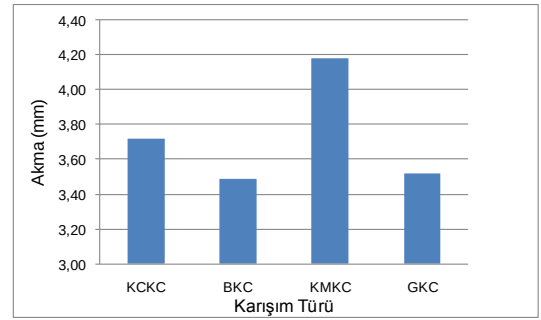
(c)



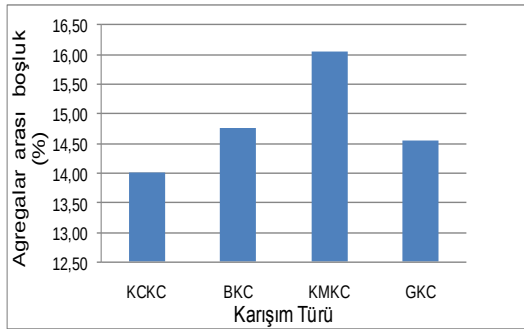
(d)



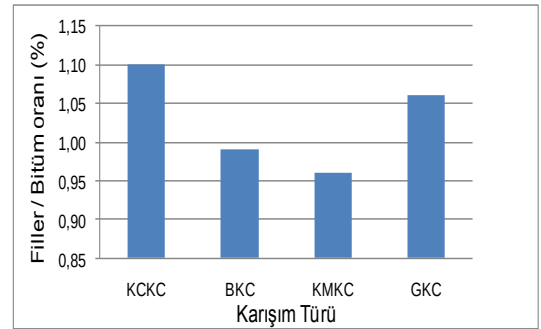
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.11: İnce agregası kireçtaşı olan karışımların özellikleri (a) Bitüm içeriği (b) Birim ağırlık (c) Boşluk (d) Asfaltla dolu boşluk (e) Stabilite (f) Akma (g) Agregalar arası boşluk (h) Filler/bitüm oranı.

4.2.3. İnce agregası kumtaşı olan karışımların sadece kumtaşı agregalı referans karışımlar ile karşılaştırılması

Kumtaşlı karışımlarda referans karışım olan KMKM ile diğer kumtaşlı karışımlar (Tablo 4.9 ve Şekil 4.12) arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Bitüm içerikleri birbirine çok yakındır. En düşük değeri KCKM karışımı vermiştir. En yüksek değeri de KMKM karışımı vermiştir (Şekil 4.12). Bu durum KCKM karışımında iri agregalar olan kireçtaşının su emme oranının daha az oluşundan kaynaklanmaktadır.

Asfalt birim ağırlık değeri açısından ise, bazalt ve kumtaşının bir araya gelmesinden oluşan olan BKM karışımının birim ağırlık değeri yüksektir. Granit tane yoğunluğunun düşük olması nedeniyle GKM karışımı birim ağırlık değeri yine düşüktür (Şekil 4.12).

Boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi açısından BKM ve KCKM karışımları birbirine yakın değerler vermişlerdir. Bu karışımların bitüm içerikleri de birbirine çok yakındır. KMKM ve GKM karışımlarının da boşluk, asfaltla dolu boşluk ve agregalar arası boşluk değerleri de birbirine yakındır. Bunların nedeni karışım gradasyonlarının benzer olmasıdır (Şekil 4.12).

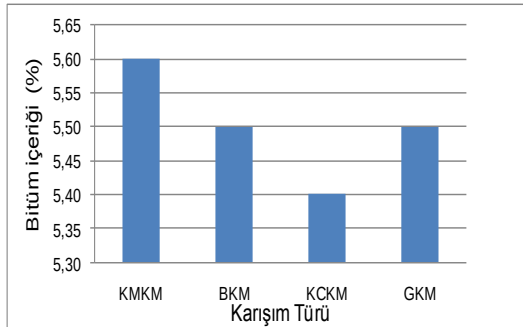
Tablo 4.9: İnce agregası kumtaşı olan karışımların özellikleri (sarı renkli değerler, şartnamelerde istenen kriterlerin ideal noktalarına yakın olan değerlerdir).

Karışım Türü	Opt. Btm. (%)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)	Asfaltla Dolu Boşluk (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Agregalar Arası Boşluk (%)	Filler/ Bitüm Oranı (%)
KMKM	5.60	2.398	4.40	71.00	1.282	4.42	15.20	0.98
BKM	5.50	2.468	4.00	72.00	1.376	4.25	14.83	0.87
KCKM	5.40	2.406	4.20	72.00	1.340	4.06	14.88	1.02
GKM	5.50	2.352	4.60	70.00	1.440	3.85	15.15	0.96

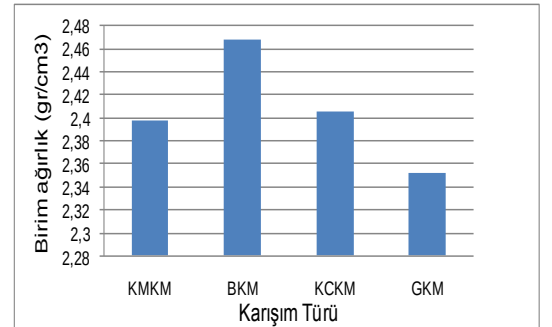
Stabilite açısından bakıldığında ise en yüksek değeri GKM karışımı vermiştir. Sebebi de granit ile kumtaşı agregalarının birbirleri ile iyi kenetlenerek yüksek bir içsel sürtünme açısı oluşturmalarıdır (Şekil 4.12).

Bu durum bu karışımın akma değerini de diğer karışımlara göre daha düşük yapmıştır. Diğer karışımlarda da benzer şekilde stabilite değeri düştükçe akma değeri de artmıştır (Şekil 4.12).

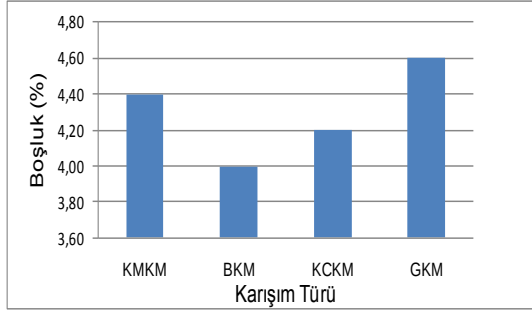
Filler/ bitüm oranına göre değerlendirme yapıldığında; BKM karışımının en düşük, KCKM ise en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.12).



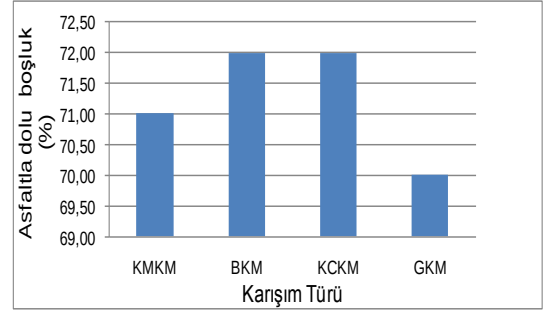
(a)



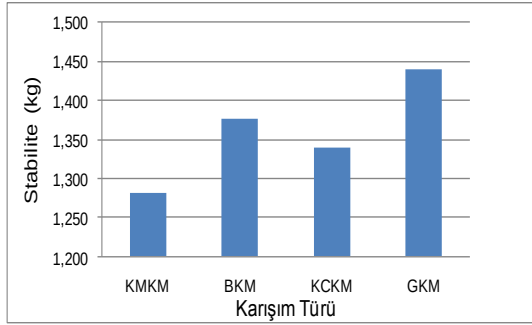
(b)



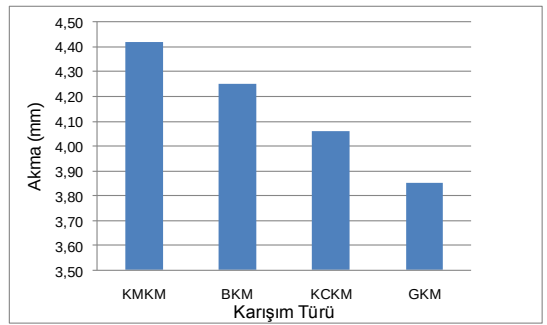
(c)



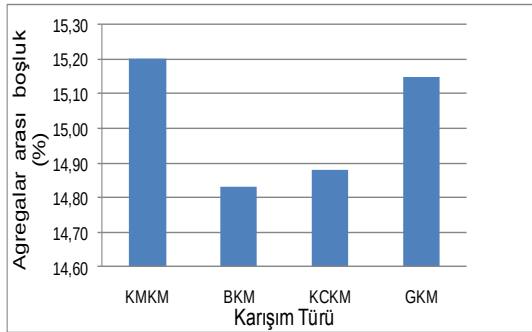
(d)



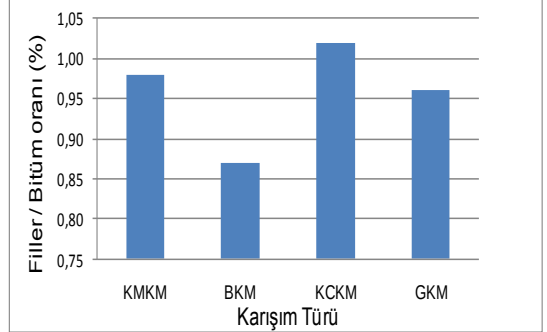
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.12: İnce agregası kumtaşı olan karışımların özellikleri, (a) Bitüm içeriği, (b) Birim ağırlık, (c) Boşluk, (d) Asfaltla dolu boşluk, (e) Stabilite, (f) Akma, (g) Agregalar arası boşluk, (h) Filler/bitüm oranı.

4.2.4. İnce agregası granit olan karışımların sadece granit agregalı referans karışımlar ile karşılaştırılmasında;

Granit agregalı karışımlarda; kılavuz karışım olan GG ile diğer karışımlar arasında farklar bulunmaktadır (Tablo 4.10 ve Şekil 4.13). Bu farklar aşağıda paragraflar halinde sıralanmıştır.

Tablo 4.10: İnce agregası granit olan karışımların özellikleri (sarı renkli değerler, şartnamelerde istenen kriterlerin ideal noktalarına yakın olan değerlerdir).

Karışım türü	Opt. bitüm (%)	Birim ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)	Asfaltla dolu boşluk (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Agregalar arası boşluk (%)	Filler/bitüm oranı (%)
GG	6.00	2.340	4.40	73	2080	3.55	15.90	1.23
BG	6.00	2.480	4.60	73	1520	3.55	17.35	1.13
KMG	6.25	2.422	4.70	73	1520	3.63	17.55	1.20
KCG	5.30	2.392	4.40	73	1840	3.28	15.60	1.40

Bitüm içeriği açısından, GG karışımının bitüm içeriği ile BG ve KMG karışımlarının bitüm içerikleri birbirine yakındır. Ancak KCG karışımında karışım içindeki kireçtaşından dolayı bitüm içeriği diğer karışımlara göre oldukça azdır.

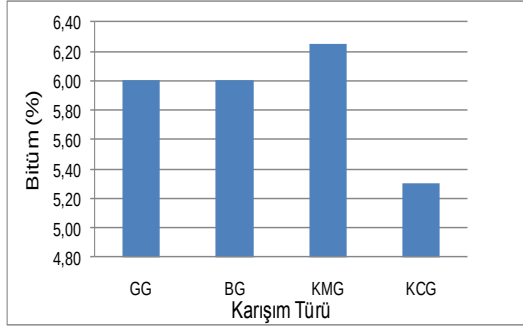
Birim ağırlık değerleri açısından ise, agrega tane yoğunluğu yüksek olan bazalttan dolayı BG karışımı daha yüksek değer vermiştir (Şekil 4.13).

Boşluk yüzdeleri birbirine çok yakın, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ise birbiriyle tamamen aynıdır (Şekil 4.13).

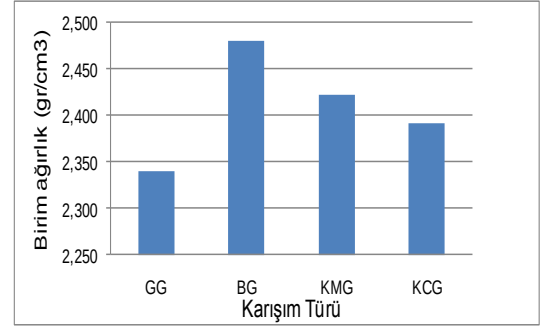
Agregalar arası boşluk değerleri açısından ise GG ve KCG karışımları birbirine yakın değer verirken, BG ve KMG karışımları da birbirine yakındır (Şekil 4.13)

Stabilite açısından en yüksek değeri GG karışımı verirken, KCG karışımının stabilitesi da diğer iki karışıma göre yüksektir. BG ve KMG karışımları ise aynı değerleri vermiştir. Stabilite değerleri, ince agreganın granit olması ve iri agregalar ile de iyi bir kenetlenme sağlamaları nedeniyle diğer karışımlara göre oldukça yüksek değerler vermiştir. stabilite değerlerinin yüksek olması nedeniyle de akma değerleri de her karışımında ideale yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 4.13)

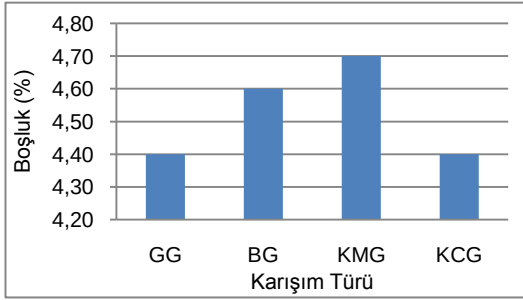
Filler/bitüm oranı ise ince agreganın granit olması nedeniyle filler oranı az, bitüm içeriği de yüksek olmasından dolayı tüm karışımlarda yüksek çıkmıştır (Şekil 4.13)



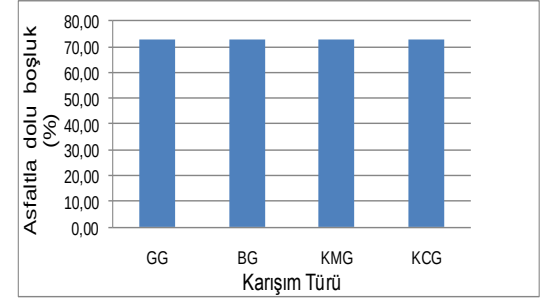
(a)



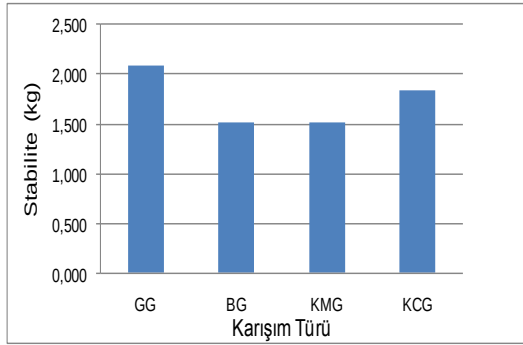
(b)



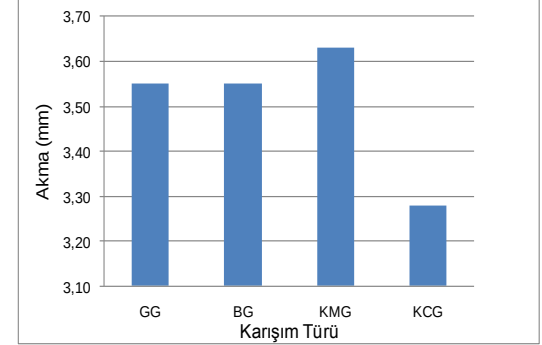
(c)



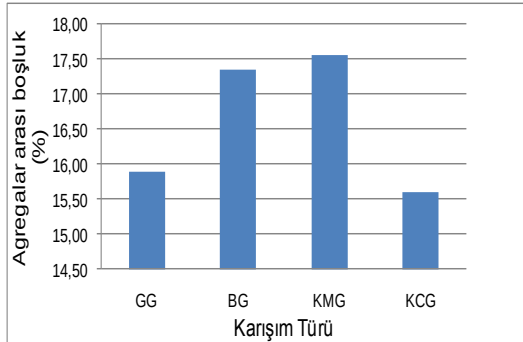
(d)



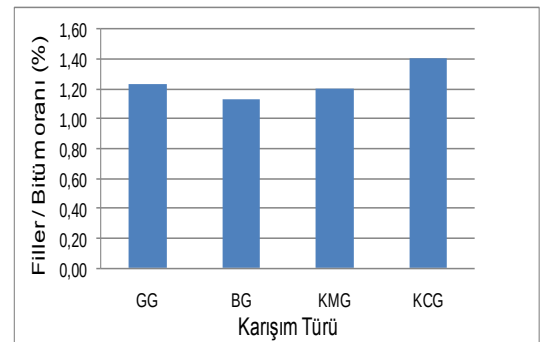
(e)



(f)



(g)

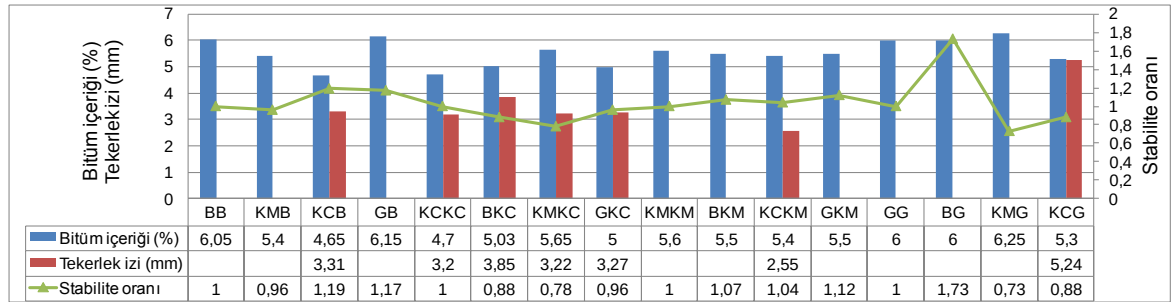


(h)

Şekil 4.13: İnce agregası kumtaşı olan karışımların özellikleri, (a) Bitüm içeriği, (b) Birim ağırlık, (c) Boşluk, (d) Asfaltla dolu boşluk, (e) Stabilite, (f) Akma, (g) Agregalar arası boşluk, (h) Filler/bitüm oranı.

4.3. DENEME KARIŞIMLARINA AİT MARSHALL VE STABİLİTE ORANLARI

Stabilite, asfalt karışımlarında dayanımı temsil etmesine rağmen, çok yüksek stabilite ve düşük akma değeri arzu edilmez, bu tip asfalt karışımlarında ağır trafik yükünden dolayı çatlamlar oluşur (Yılmaz, Kesimal, Erçikdi ve Kaya, 2003). Akma, asfalt karışımlarının trafik yükleri altındaki davranışlarını belirleyen, asfalt karışımlarının plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir değerdir. Akma, karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür. Şartnamelerde (KGM, 2006) belirtilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder (İsfalt, 2002).



Şekil 4.14: Bitüm içeriğinin, stabilite, akma, marshall değeri, stabilite oranı ve tekerlek izi arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi

Bu araştırmada asfalt karışımlarında trafik yükleri altında dayanım ve davranışı belirleyen stabilite ve akma kavramlarının birbirine oranlanması ile **Marshall Değeri** belirlenmiştir. Marshall Değeri (stabilite/akma), karışımın plastik deformasyona karşı direncinin bir göstergesidir (2). Bu değer yüksek olması karışımın daha da dirençli olduğunu göstermektedir (Şekil 4.14, Tablo 4.11).

$$MV = S / F \quad (2)$$

MV: Marshall Değeri (kg/mm)

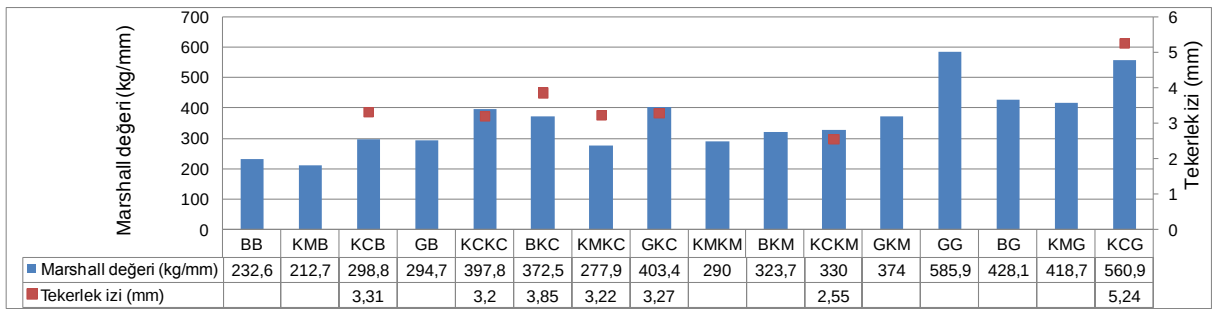
S: Stabilite (kg)

F: Akma (mm)

Tablo 4.11: Deneme karışımlarının bitüm içeriği, stabilite, akma, Marshall değeri, stabilite oranı ve tekerlek izi değerleri (yeşil renkler Marshall değerlerinin en yüksek olanlarını, sarı renkler Stabilite oranının en yüksek olanını, kırmızı renkler de Tekerlek izi değerinin en düşük olanlarını göstermektedir).

Karışım	Bitüm İçeriği (%)	Stabilite (kg)	Akma (mm)	Marshall Değeri (kg/mm)	Stabilite Oranı	Tekerlek İzi (mm)
BB	6.05	1040	4.47	232.6	1.00	
KMB	5.40	1000	4.70	212.7	0.96	
KCB	4.65	1246	4.17	298.8	1.19	3.31
GB	6.15	1226	4.16	294.7	1.17	
KCKC	4.70	1480	3.72	397.8	1.00	3.20
BKC	5.03	1300	3.49	372.5	0.88	3.85
KMKC	5.65	1162	4.18	277.9	0.78	3.22
GKC	5.00	1420	3.52	403.4	0.96	3.27
KMKM	5.60	1282	4.42	290.0	1.00	
BKM	5.50	1376	4.25	323.7	1.07	
KCKM	5.40	1340	4.06	330.0	1.04	2.55
GKM	5.50	1440	3.85	374.0	1.12	
GG	6.00	2080	3.55	585.9	1.00	
BG	6.00	1520	3.55	428.1	1.73	
KMG	6.25	1520	3.63	418.7	0.73	
KCG	5.30	1840	3.28	560.9	0.88	5.24

Marshall değerinin yüksek olduğu karışımlar (KCB, KCKC, GKC ve KCKM) üzerinde tekerlek izi testi yapılmış ve tekerlek izi değerlerinin de düşük olduğu olduğu yani, ağır yükler altında daha dayanıklı oldukları görülmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Marshall değeri ile tekerlek izi arasındaki bağlantı.

“Marshall değeri”, agreganın fiziksel özelliklerinden dolayı yüksek değerler vermektedir. Marshall oranının yüksek değer verdiği karışımlar, tekerlek izi değerinde de uygun sonuçlar vermiştir.

Bunların dışında her karışımın stabilite değeri ile referans karışımların stabilite değerleri oranlanmak suretiyle Stabilite Oranı tespit edilmiştir (3).

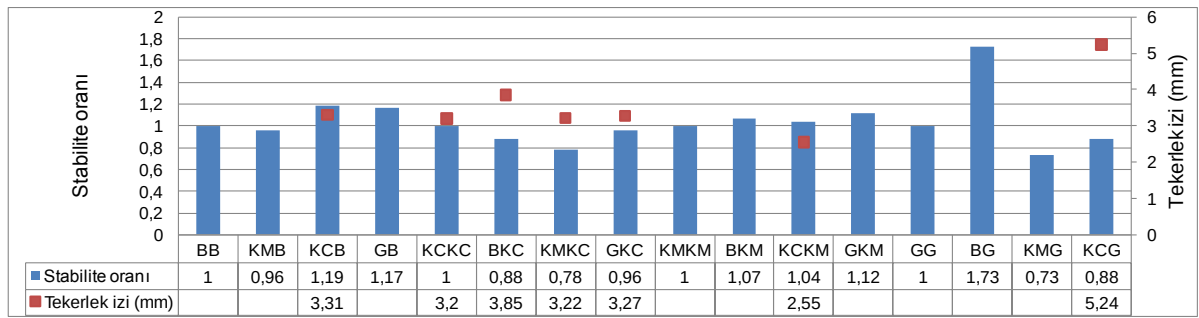
$$SR = MSR / RMSR \quad (3)$$

SR: Stabilite Oranı

MSR: Karışımların Stabilite Değeri (kg)

RMSR: Referans karışımların Stabilite Değeri (kg)

Stabilite oranı, referans karışımlara göre, diğer karışımların yanına eklenen agrega grubuna göre değişmektedir. Bu değer artması, eklenen agreganın karışıma sağladığı katkı ile ilgilidir. Bu değer düşmesi ise eklenen ince agregadan dolayı karışımın stabilitesinin azalması anlamına gelir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Stabilite Oranı ile tekerlek izi arasındaki ilişki.

Stabilite oranı ile tekerlek izi arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4.10), SO değerlerinin yüksek olduğu KCB, KCKC, GKC ve KCKM karışımlarının tekerlek izi test sonuçlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak SO değerleri yüksek olmamasına rağmen KMKC ve GKC karışımları da tekerlek izi açısından uygun değerler vermişlerdir. Bunun sebebi de stabilite oranları düşük olmasına rağmen ince agreganın kireçtaşı olması ve karışım içinde bitümlü uyumu ile iyi kenetlenmesi nedeniyle gösterdiği dirençtir.

“Stabilite oranı” , asfalt karışımların dayanımı açısından çok önem arzettiği, stabilite oranının yüksek olduğu karışımların tekerlek izi değeri açısından daha dayanım gösterdikleri tespit edilmiştir.

4.4. TÜM KARIşIMLARIN GENEL DEğERLENDİRMESİ

Yapılan inceleme sonucunda, tüm karışımların bitüm içeriğinin farklı olduğu saptanmıştır. Çünkü her karışımı oluşturan agregalar ve oranları farklıdır. Burada önemli olan agreganın su emme oranı ve karışıma giren agregaların su emme değeridir (SED). Bu nedenle bitüm içeriğinin sabit tutulması söz konusu değildir.

Stabilite değeri ise şartnamelerde aşınma karışımları için 900 kg olarak tespit edilmiştir. Çok yüksek stabilite değeri de istenen bir durum değildir. Bu nedenle kılavuz karışımların stabilite değerlerine bakıldığında düşükten büyüğe doğru sırasıyla BB, KMKM, KCKC ve GG dır. Diğer tüm karışımlar da değişken değerler vermiştir.

Akma değerleri ise yine kılavuz karışımlara bakıldığında KMKM ve BB karışımlarının değerleri şartname limitleri dışına çıkmıştır. KCKC ve GG karışımlarının akma değerleri ise daha uygundur.

Marshall değerlerine bakıldığında ise, en düşük değeri KMB karışımı verirken, en yüksek değeri GG karışımı vermiştir. GG karışımı dayanım açısından agregasının fiziksel özelliklerinden dolayı Marshall oranında da yüksek değer vermiştir. Marshall oranının ortalamadan daha yüksek değer verdiği BKC, KCKC, GKC ve KCG karışımları tekerlek izi testlerinde çok uygun değerler vermiştir.

Stabilite Oranına göre değerlendirme yapıldığında, ince agregası bazalt olan karışımlar (KCB ve GB) referans karışım olan BB'ye göre daha yüksek dayanım değeri vermiştir. Bu durum bazaltın yanında karışıma giren kireçtaşı ve granit agregaları ile ilgilidir. Kiretaşlı karışımlardan hiçbiri referans karışım olan KCKC'den daha dayanımlı bir değer vermemiştir. Kumtaşlı karışımlarda ise BKM, KCKM ve GKM, referans karışım olan KMKM'den daha dayanımlıdır. Bunun nedeni ise, bazalt, kireçtaşı ve granitin kumtaşı ile birlikte olan uyumudur. Granitli karışımlarda ise, BG karışımı kılavuz karışım olan GG'ye göre daha yüksek değer vermiştir. Bu da bazalt ile granitin birlikte dayanımlı bir karışım oluşturduğunu göstermektedir. Stabilite oranı yüksek olan KCB, KCKC ve KCKM karışımları tekerlek izi testinde daha uygun sonuçlar vermiştir. Al Kofaky (2003), Brask (1987), Obaidat (1999), Abo-Quadis ve Al-Shweily (2007)' ye

göre kireçtaşı agregalarından üretilen asfalt karışımlarının stabilite değeri bazalt agregasından üretilen asfaltların stabilite değerinden daha yüksektir. Bu çalışmada da bu düşünce doğrulanmıştır.

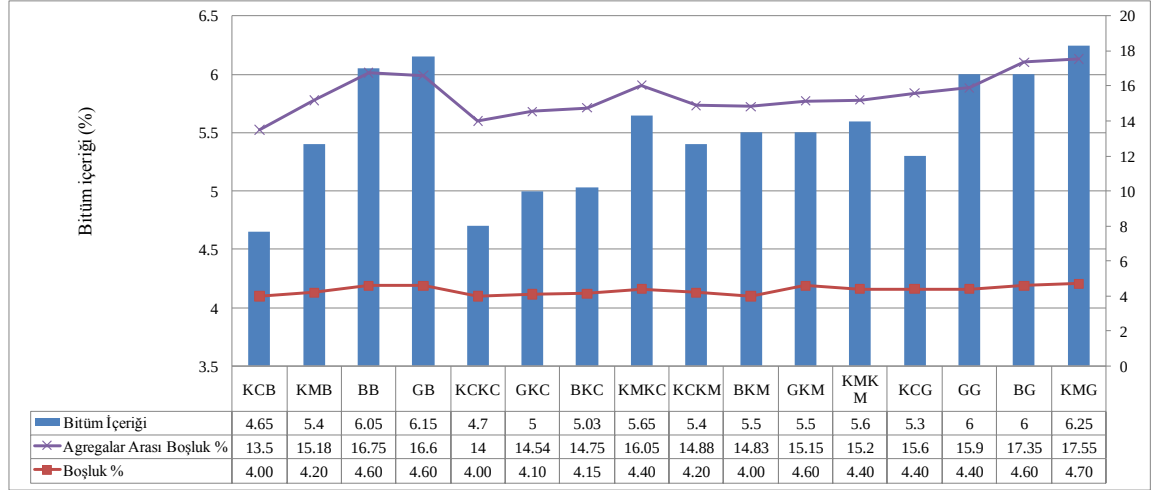
Boşluk yüzdesi ile bitüm içeriği arasındaki ilişki incelenecek olursa, ince agregası kumtaşı olan karışımların dışında diğer tüm karışımlarda bitüm içeriği arttıkça boşluk yüzdesi de artmıştır. Boşluk yüzdesi arttıkça asfaltla dolu boşluk yüzdesi de artmış, buna karşılık yine boşluk yüzdesine bağlı olarak agregalar arası boşluk yüzdesi de artmıştır. Boşluk yüzdesi açısından KCB ve KCKC karışımları ideal boşluk oranı olan % 4 değerini vermiş, diğer karışımların boşluk yüzdesi ise bu değerin üzerinde kalmışlardır. Brown ve Bassett (1990)' a göre, bütün karışımların bitüm içeriği % 4 hava boşluk içeriğinin sağlanması için seçilmektedir.

Asfaltla dolu boşluk yüzdesi açısından ise KCB ve GKM karışımları ideal değer olan % 70' i vermiş, diğer karışımların tamamı ise bu değerinin üzerinde kalmışlardır.

Agregalar arası boşluk yüzdesi , boşluk yüzdesi arttıkça artmaktadır. En ideal değerleri KCKC karışımı vermiş, diğer karışımlar ise daha yüksek değerler vermiştir. Ancak KCB karışımı ideal değerin altında kalmıştır (Tablo 4.12 ve Şekil 4.17).

Tablo 4.12: Karışımlara ait bitüm içeriği, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri (sarı renkler, agregaları aynı tür olan karışımların bitüm içeriği, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi değerlerini göstermektedir).

Karışım	Bitüm içeriği (%)	Boşluk %	Asfaltla dolu boşluk %	Agregalar arası boşluk %
KCB	4.65	4.00	70	13.50
KMB	5.40	4.20	71	15.18
BB	6.05	4.60	72	16.75
GB	6.15	4.60	73	16.60
KCKC	4.70	4.00	71	14.00
GKC	5.00	4.10	71	14.54
BKC	5.03	4.15	71	14.75
KMKC	5.65	4.40	72.5	16.05
KCKM	5.40	4.20	72	14.88
BKM	5.50	4.00	72	14.83
GKM	5.50	4.60	70	15.15
KMKM	5.60	4.40	71	15.20
KCG	5.30	4.40	73	15.60
GG	6.00	4.40	73	15.90
BG	6.00	4.60	73	17.35
KMG	6.25	4.70	73	17.55



Şekil 4.17: Bitüm içeriğinin, boşluk ve agregalar arası boşluk yüzdeleri ile karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Farklı kayaçlardan üretilen agregaların sıcak asfalt karışımlarında birlikte kullanılabilirliği üzerine yapılan bu araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmada **teknik açıdan**; kireçtaşı, kumtaşı, bazalt ve granit'ten üretilen agregalar asfalt karışımlarının üretilmesi için gerekli olan özellikleri sağlamıştır. Bu agregalarla yapılan asfalt karışımlarının tamamı da asfalt karışımlarına ait olması gereken stabilite, akma, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi gibi özelliklerin tamamını yerine getirmiştir. Tüm karışımlar incelendiğinde; farklı agregaları birarada kullanarak üretilen asfaltın karışım özelliklerinin olumsuz olarak değişmediği, aksine bitüm içeriği, asfalt birim ağırlığı, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesi ve stabilite gibi özellikleri bir veya bir kaçında daha uygun değerlerin elde edildiği tespit edilmiştir.

Asfalt karışımlarında agreganın petrografik ve fiziksel özelliklerinin öneminin yanısıra, tane boyu dağılımı da öne çıkmış ve bu dağılımın “**ideal**” eğri olmasının asfalt karışımlarının dayanımı konusunda önemli olduğu gibi, bu durumun hem bitüm içeriği hem de stabilite değerlerini etkileyen ana parametreler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, agregaların yüzey özellikleri, pürüzlü veya düzgün olmaları, bitüm içeriği açısından su emme oranları kadar önem arz etmektedir. Bunun da dışında, agregaların Los Angeles aşınma kaybı, yassılık endeksi ve Magnezyum Sülfat değerleri asfalt karışımının stabilitesi açısından da önem arzettiği ve yüksek tane yoğunluklu agregaların yüksek birim ağırlıklı sıcak asfalt karışımlarını da sağladığı tespit edilmiştir. Stabilitenin değerinin elde edilmesinde iri agregalar kadar ince agregaların oranının da önemli olduğu tespit edilmiş, su emme değerinin de, bitüm içeriği açısından en önemli faktör olarak karşıma çıkmasına rağmen, agrega şeklinin de bu durumu etkilediği

belirlenmiştir. Ayrıca Marshall değeri ve stabilite oranı da asfalt karışımlarının tekerlek izi dayanımı konusunda önemli faktörler olduğu da tespit edilmiştir.

Çevre açısından; farklı kayaçlardan üretilen agregaların birarada kullanılması, teknik açıdan uygun olduğu sürece, hem çevre kirliliği açısından hem de doğal kaynakların yerinde ve sürdürülebilir kullanılması açısından son derece önemli olacaktır. Özellikle ocak sahalarında stok halinde bekletilen bazı boyuttaki agregaların asfalt karışımlarında kullanılabilecek olması, ekonomik açıdan da önemli olacaktır. Bu anlamda Marmara Bölgesi gibi yılda 100.000.000 ton agreganın kullanıldığı bölgede yıllık agrega üretimi daha dengeli olacaktır.

Ekonomik açıdan; günümüzde bazalt kullanımı; kayacın sert olmasından dolayı işletme zorluklarının bulunması ve bu tür agregalarla üretilen asfalt karışımlarının bitüm içeriğinin daha fazla olması dolayısıyla daha fazla maliyetlidir. Ancak bir arada kullanımda kireçtaşı ile birlikte KCB karışımları gibi bitüm açısından çok uygun sonuç vermesi, önümüzdeki yıllarda sık kullanılabileceğini göstermektedir. Kumtaşları ise diğer kayaçlara göre değerlendirildiğinde; bu tür kayaçların bulunduğu alanların jeolojik açıdan heterojen olması nedeniyle kullanılması pek tercih edilmemektedir. Bu kayaçların üretildiği ocaklarda seçici ocak işletmeciliğinin yapılması durumunda, özellikle kumtaşları iri agrega olarak asfalt üretiminde kullanılabilir. Granitlerin sert olması ve işletme zorluklarının bulunması gibi sebeplerle asfalt üretimlerinde henüz kullanılmamaktadır. Özellikle kireçtaşı ile birlikte kullanımda KCG karışımında olduğu gibi bitüm içeriği ve dayanım konusunda iyi değerler vermesi tercih edilebilir olduğu düşüncesini ortaya çıkarmaktadır. Ancak bu çalışmada kullanılan granitin az ayrılmış ve iri kristalli olması dayanım açısından olumlu sonuçlar vermemiştir. Farklı granitler üzerine asfalt karışım çalışmalarının yapılması gereklidir.

Genel değerlendirme yapıldığında; hem ekonomik anlamda hem de karışım performansı anlamında bakıldığında kireçtaşı, kumtaşı, bazalt ve granit agregalarının bir arada kullanılmasının, yapılan bu çalışma ile mümkün olduğu saptanmış olup önümüzdeki yıllarda, İstanbul'daki kireçtaşı agrega rezervlerinin tükeneyeceği göz önüne alındığında; karışık agrega kullanımı konusu oldukça önem kazanacaktır. Bazalt ve granit ocaklarının, İstanbul'a uzak bölgelerde olması, işletme zorluklarının bulunmasından

dolayı asfalt karışımlarında az tercih edilebilir olmakla birlikte, kireçtaşı ve kumtaşı agregalarının birbirine yakın mesafelerde olmasından dolayı asfalt karışımlarında birlikte kullanım hem teknik, hem çevre hem de ekonomik anlamda daha uygun olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. ABDÜSSELAMOĞLU, S., 1963, İstanbul Boğazı doğusunda mostra veren Paleozoyik arazide stratigrafik ve paleontolojik yeni müşahedeler, *M.T.A. Dergisi*, s.60, 1-6 Ankara.
2. ABO-QUDAIS, S. AND AL-SHWEILY, H., 2007, Effect of aggregate properties on asphalt mixtures stripping and creep behavior, *Construction and Building Materials*, 21, 1886-1898.
3. ACIOĞLU, M., 2005, *Cam katkılı sıcak asfalt karışımların performanslarının incelenmesi*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
4. AIREY, G.D., COLLOP, A.C., ZOOROB, S.E., ve ELLIOT, R.C., 2004, Agregas, dolgu ve bitümün asfalt karışımlarında nem hasarı üzerindeki etkisi, *International Journal of Computer Science*, V:1, No: 4.
5. AKARTUNA, M., 1953, Çatalca – Karacaköy Jeolojisi, *İ.Ü. Fen Fakültesi Monografisi*, Sayı 13, pp.88.
6. AKBAŞ, B., ALTUN, İ. VE AKSAY, A., 2002, 1/100 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Zonguldak E-28 paftası, Pafta No.24, *MTA Yayını*, Ankara.
7. AKBULUT, H., GÜRER, C., VE YILDIZ, A., 2005, Farklı jeolojik özellikli kayaçların sıcak karışım asfalt agregası olarak mühendislik özelliklerinin araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Sayı.1, pp. 25-36.
8. AKBULUT, H. VE GÜRER, C., 2007, Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements, *Building and Environment*, 42, 1921-1930.
9. AKBULUT, H., ÇETİN, S., GÜRER, C., VE YILDIZ, A., 2009, Afyonkarahisar Bölgesi andezitlerinin agregas olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *MERSEM Türkiye IV. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 167-173, İzmir.
10. AKÇAY, A.E., DÖNMEZ, M., ILGAR, A., DURU, M. VE PEHLİVAN, Ş., 2008, Türkiye jeoloji haritaları, Bandırma H19 Paftası, *MTA Raporu*, No:103, Ankara.
11. AKSOY, A., 1991, *Karayolu Kaplamasında Maliyet Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
12. AKSOY, A., ŞAMLIOĞLU, K., TAYFUR, S., VE ÖZEN, H., 2004, Çeşitli katkı maddelerin asfalt karışımlarının nem hasarı duyarlılığı üzerindeki etkisi, *International Journal of Computer Science*, V:1, No:4.

13. AKSOY, A., 2004, Bitümün reolojik yapısının bitümün yaşlanmasına ve kaplamanın performansına olan etkisinin incelenmesi, *4.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.181-187, Ankara.
14. AKPOKODJE, E.G., HUDEC, P.P., 1994, The influence of petrology and fabric on the engineering properties of concretionary laterite gravel aggregates, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27,39-50.
15. AKYÜREK, B., 1968, Balıkesir-Balya kuzeyinin jeolojisi, *MTA Ens. Balıkesir Bölge Müdürlüğü Arşivi*, Rapor No: 495.
16. AL, E.T., 1996, *Asphalt Institute Handbook*, USA.
17. ALATAŞ, T., AHMEDZADE, P. AND DOĞAN, Y., 2006, Bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan agrega cinsinin kaplamanın fiziksel özelliklerine etkisi, *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilgileri Dergisi* 18, 81-89.
18. AL-KOFAKY, N.A., 2003, *Development of systematic laboratory testing procedure to predict stripping of asphalt concrete mixtures*, Ph.D thesis, Jordan University of Science and Technology.
19. ALTINLI, İ.E., 1968, İzmit-Hereke-Kurucadağ alanın jeoloji incelemesi, *MTA Dergisi*, 71, 1-26.
20. ARAL, F.İ., 2004, Karatepe bazaltlarının (Çorlu-Tekirdağ) yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği, *İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 2, 69-76.
21. ARDEL, A. VE İNANDIK, H., 1957, Marmara Denizi'nin teşekkülü ve tekamülü, *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı:2.
22. ARIÇ, C., 1955, *Hal-Küçükçekmece Gölü bölgesinin jeolojisi*, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi (yayımlanmamış).
23. ASTM C 136, 2006, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, USA.
24. ASTM C 117, 2004, Standard test method for materials finer than 75-µm (no. 200) sieve in mineral aggregates by washing, USA.
25. ASTM D 6927, 2006, Standard test method for marshall stability and flow of bituminous mixtures, USA.
26. BAGAMPADDE, U., ISACSSON, U. AND KIGGUNDU, B., 2006, Impact of bitumen and aggregate composition on stripping in bituminous mixtures, *Material and Structures*, 39, 303-315.
27. BARKSDALE, R.D., 1991, *The Aggregate Handbook*. National Stone Association, Washington, D.C.

28. BAYKAL, F., 1963, İstanbul Boğazı batısındaki sahanın jeolojik etüdü, *MTA Rap. No: 3267*, Ankara (Yayımlanmamış).
29. BAYKAL, A.F. VE KAYA, O., 1963, İstanbul Bölgesinde bulunan karboniferin genel stratigrafisi, *MTA Dergisi*, 61, 31-43.
30. BELL, F.G., 1998, *Engineering Geology*, Blackwell Science, Third edition, 359 pp., Oxford.
31. BİNGÖL, E., 1976, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi, *MTA Enstitüsü Dergisi*, 86, 26-29.
32. BOER, N.P. 1954, Report on a geological reconnaissance in Turkish Thrace, *G.A. Report*, No. 25373 (yayımlanmamış).
33. BRASK, O., 1987, *Stripping of asphalt mixtures and the effectiveness of antistripping additives*, Master thesis, Jordan University of Science and Technology.
34. BROWN, E.R., BASSETT, C.E., 1990, Effect of maximum aggregate size on rutting potential and other properties of asphalt aggregate mixtures, *Transportation Research Record*, 1259, TRB, National Research Council, Washington (DC); p. 107-119.
35. BROWN, E.R., KANDHAL, P.S. AND ZHANG, J., 2001, Performance testing for hot mix asphalt, *National Center for Asphalt Technology Reports*, Report No. 2001-05.
36. BS 3690, PART 1, 1989, Bitumens for building and civil engineering. *Specification for bitumens for roads and other paved areas*, London.
37. CHAPUT, E., 1931, Observation sur la Structure du Tertiaire des environs d'Istanbul, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi*, 5, 1-32.
38. CURTIS, C.W., 2002, Investigation of asphalt aggregate interactions in asphalt pavements, Chemical Engineering Department, Auburn University.
39. ÇELİK, O. N., YONAR, F., ve CEYLAN, S., 2006, Bitümlü sıcak karışımların performansına filler etkisi, *4.Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.188-195, Ankara.
40. DAĞER, Z., 1978, *Les foraminifères du Trias de la péninsule de Kocaeli, Turquie*, Doktora Tezi, La Faculté des Sciences de l'Université de Genève (yayımlanmamış).
41. DELALOYE, M. AND BİNGÖL, E., 2000, Granitoids western and northwestern Anatolia: geochemistry, and modelling of geodynamic evolution, *International Geology Review*, 42, 241-268.

42. DEVECİ, Ö., 2001, *Yol Üst Yapılarında Yapılan Geleneksel Deneyler ile Son 25-30 Yıl İçerisinde Geliştirilen Deney ve Teknolojiler*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
43. DİZER, A., 1971, La limite Crétacé-Tertiaire dans le bassin NW de la Turquie : *Revue de Micropaléontologie*, 14, 4347.
44. DİZER, A. VE MERİÇ, E., 1972, Kuzeybatı Anadolu'da Kretase-Eosen sınırının mikroorganizmalarla tespiti.
45. DOĞAN, T., KARADOĞAN, A., KAHRİMAN, A., DURDU, İ., 2003, İstanbul ili ve çevresinde bulunan kırmataş ocaklarına genel bir bakış, *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.166-178, İstanbul.
46. DOUST, H. VE ARIKAN, Y., 1974, The geology of the Thrace Basin, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı*, pp: 119-136.
47. DUMAN, T.Y., KEÇER, M., ATEŞ, Ş., EMRE, Ö., GEDİK, İ., KARAKAYA, F., DURMAZ, S., OLGUN, Ş., ŞAHİN, H. VE GÖKMENOĞLU, O., 2004, İstanbul metropolü batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri, *MTA Özel Yayın Serisi-3*, Ankara.
48. DURU, M., PEHLİVAN, Ş., DÖNMEZ, M., ILGAR, A. VE AKÇAY, A.E., 2007, 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Balıkesir-İ18 paftası, MTA.
49. EDET, A., 1992, Physical properties and indirect estimation of microfractures using Nigerian carbonate rocks as examples, *Engineering Geology*, 33, 71-80.
50. EFE, R., 1994, Biga Yarımadası'nda neotektoniğinin jeomorfolojik izleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 209-242.
51. ERCAN, T., ERGÜL, E., AKÇÖREN, F., ÇETİN, A., GRANİT, S., ve ASUTAY, J., 1990, Balıkesir-Bandırma arasının jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrolojisi ve bölgesel yayılımı, *MTA Dergisi*, 110, 113-130.
52. ERCAN, T., (1992); Trakya Senozoyik volkanizmasının ve bölgesel yayılımı. *Jeoloji Mühendisleri Dergisi*, 41, 37-50.
53. EREN, R. H., NASUF, E., ÖKTEN, G., ve EVERGEN, T., 1996 Kocaeli-Gebze İlçesi Tavşanlı Köyü civarındaki kireçtaşı sahalarının jeolojisi, rezerv analizi ve İstanbul Metropolü yönünden önemi, *1.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, pp.53-67.
54. ERGUVANLI, K., 1949, Hereke pudingleri ile Gebze taşlarının inşaat bakımından etüdü ve civarlarının jeolojisi, İTÜ, İstanbul, 88.S.

55. ERGÜL, E., AKÇÖREN, F., GÖZLER, Z., 1986, 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Balıkesir, *MTA Enstitüsü Balıkesir Bölge Md. Arşivi*, No:499, Balıkesir-F6 Paftası.
56. ERGÜN, M., SÜTAŞ, İ. VE ÖZTAŞ, G., 1996, Asfalt kaplama bileşenlerinin yol yüzey özelliklerine etkileri, *I. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.105-109, İstanbul.
57. ERGÜN, M. VE İYİNAM, Ş., 2000, Kentiçi yollarda uygun kaplama seçimi, *II. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu Bildiriler Kitabı* pp. 103-107, İstanbul.
58. ESENLİ, F., 1999, Tekirdağ Bölgesi (Trakya) alkali bazaltları içerisindeki peridotitik ksenolitler, *MTA Dergisi*, 121, 125-139.
59. FOLK, R.L., 1962, *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 p.
60. FOOKES, P.G., 1980, An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 123, 207-229.
61. FOOKES, P.G., 1991, Geomaterials, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 3-15.
62. GEDİK, A. VE KORKMAZ, S., 1984, Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Yayını*, 19, 53-79.
63. GEDİK, İ. VE AKSAY, A., 2002, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Zonguldak E-29 Paftası. Pafta No.38, *MTA Yayını*, Ankara.
64. GEDİK, İ., DURU, M., PEHLİVAN, Ş., TİMUR, E., 2005, 1/50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları, İstanbul-F22c Paftası, *MTA Raporu*, No:11, Ankara.
65. GEDİK, İ., DURU, M., PEHLİVAN, Ş. VE TİMUR, E., 2005, 1:50000 Ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Bursa G22b Paftası, *MTA Raporu*, No:15.
66. GEDİK, İ., DURU, M., PEHLİVAN, Ş., TİMUR, E., 2005, 1/50.000 Ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, İstanbul-F22c Paftası, *MTA Raporu*, No:11, Ankara.
67. GÖRÜR, N., VE OKAY, A.I., 1996, A fore-arc for the thrace basin, NW Turkey, *Geol Rundsch*, 85, 662-668.
68. GÖZLER, M.Z., ERGÜL, E., AKÇAÖREN, F., GENÇ, Ş., AKAT, U. VE ACAR, Ş., 1984, Çanakkale Boğazı doğusu-Marmara Denizi güneyi-Bandırma-Balıkesir-Edremit ve Ege Denizi arasındaki bölgenin jeolojisi, *MTA Derleme*, No:7430 (yayımlanmamış).
69. HAAS, W., 1968, Das Alt-Pleozokum von Bithynien (NW Turkei), *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 131, 60-68

70. HALİLİ, A., GÖZÜBOL, A.M., 1999, Hereke Formasyonunun (Gebze Kireçtaşı) kırmataş özelliği ve kırma-eleme tesislerindeki davranışı, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.89-97.
71. HALİLİ, A., 2003, Agregat üretiminde kırma-eleme ve taşın fiziko-mekanik özelliklerinin önemi, *III.Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 185-189, İstanbul.
72. HARTLEY, A., 1974, A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 7, 69-100.
73. HISLOP, W. AND COREE, B., 2000, VMA as a design parameter in hot mix asphalt, *Mid Continent Transportation Symposium*, pp.141-146, USA.
74. HOSCHSETTER, F., 1870, Die geologischen Verhältnisse des östlichen Türkei. *Jb.k.k.geol.Reichsanst*, 20, 365-461.
75. HUBER, G., 2000, Performance survey on open-graded friction course mixes, *Transportation Research Board*, Washington, p. 284.
76. HUNTER, A.E., AİREY, G.D. AND COLLOP, A.C., 2004, Effect of asphalt mixture compaction on aggregate orientation and mechanical performance, *8 th Conference On Asphalt Pavements for Southern Africa*.
77. ICAR, 2002, Characterizing surface properties of aggregates used in hot mix asphalt, aggregates.
78. ISSA (International Slurry Seal Association), 1989, Test method for determination of methylene blue absorption value (MBV) of mineral aggregate filler and fines, *ISSA Bulletin* 145.
79. ILICALI, TAYFUR, S., ÖZEN, H., SÖNMEZ, İ., EREN, K., 2001. *Asfalt ve Uygulamaları*, Seçil Ofset, 280 s. İstanbul.
80. İBRAHİM, M.A., 2005, Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes, *Building and Environment*, 42, 325-329.
81. İBRAHİM, A., FAİSAL, S. VE JAMIL, N., 2007, Use of basalt in asphalt concrete mixes, *Construction and Building Materials*, pp. 1-9.
82. İRFAN, T. Y., 1994, Aggregate properties and resources of granitic rocks for use in concrete in Hong Kong, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 25-38.
83. İSFALT, 2001, İstanbul' un bazı ana arterlerinde İsfalt A.Ş. tarafından uygulanan bitümlü sıcak karışımların değerlendirilmesine ilişkin teknik rapor, İstanbul (yayımlanmamış).

84. İSFALT, 2002, *Asfalt El Kitabı*, Yazıevi İletişim yayınevi, İstanbul, syf 109.
85. İSFALT, 2004, *Bitüm El Kitabı*, Yazıevi İletişim yayınevi, İstanbul, syf 30 – 280.
86. KANDHAL, P. AND KHATRI, M., 1992, Relating asphalt absorption to properties of asphalt cement and aggregates, *NCAT Report*, pp. 92.
87. KANDHAL, P., PARKER, F. AND MALLICK, R.B., 1997, Aggregate tests for hot mix asphalt, state of the practise, *NCAT, Report*, pp. 97.
88. KHANDAL, S.P. AND FRAIZER, P., 1998, Aggregate tests related to asphalt concrete performance in pavements, *National Cooperative Highway Research Program*, Washington.
89. KASAR, S., 1987, Edirne-Kırklareli-Saray (Kuzey Trakya) bölgesinin jeolojisi. *Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri*, 281-291, Ankara.
90. KAYA, O., 1971, İstanbul Karbonifer Stratigrafisi, *TİJKİ Böl. 14-2*, 143-147.
91. KAYA, O., 1971, İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi, *Türkiye Jeol. Kur. Bülteni*, C.14, S.2, 143-191, Ankara.
92. KAYNARKAN, S., UZ, B., DURAL, C., 1999, Cendere (Kemerburgaz-Ayazağa-İstanbul) Kırmataş-beton ve asfalt üretim havzasında etüd ve değerlendirilmesi, *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.55-68.
93. KESKİN, C., 1974, Türkiye Ergene havzasının stratigrafisi, *Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğler Kitabı*, pp. 35-38, TPJD, Ankara.
94. KGM, 2006, *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara, syf 753.
95. KOÇAK, C., 2002, *Asfalt Yüzeylerinde Gürültünün Tanımı, Gürültünün Azaltılması Yöntemleri ve Tıbbiye Caddesi Hız-Gürültü İlişkisi*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
96. KORUÇ, Ş., 2006, İstanbul ve civarındaki agrega üretimi ile arz talep ilişkisi, *IV.Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.229-240, İstanbul.
97. KÖK, B.V. VE KULOĞLU, N., 2007, Esnek üstyapıların tasarımlarında AASHTO-72 ve AASHTO-86 yöntemlerinin analitik ve ekonomik karşılaştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 136-148.
98. KULOĞLU, N., 2001, Bitüm ve Bitümlü sıcak karışımların rijitliğine etki eden parametreler, *Turk J Eng Environ Sci*, 25, 61-67.

99. KULOĞLU, N., 2002, Agrega gradasyonunun asfalt muhtevasına etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilgileri Dergisi*, 17, 327-332.
100. KULOĞLU, N. VE NAMLI, R., 2005, Asfalt karışımlarının dönel presle sıkıştırılması, *Fırat Ün. Fen ve Müh. Bil. Derg.*, 17, 487-497.
101. KULOĞLU, N., YILMAZ, M. VE KÖK, B.V., 2008, Farklı penetrasyon derecelerine sahip asfalt çimentolarının kalıcı deformasyona karşı dayanımlarının ve işlenebilirliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, C.13, S.1.
102. MCNALLY, G.H., 1998, *Soil and rock construction materials*, E and FN Spon, Firts published, pp. 403, London and New York.
103. Mix Design Methods, 1990, MS-2. The Asphalt Institute, Lexington, KY.
104. NAMLI, R., 2005, Sıkıştırılmış asfalt betonun bitüm yüzdesinin tayini, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilgileri Dergisi*, 17, 693-698.
105. NAMLI, R. VE KULOĞLU, N., 2006, Farklı tasarım yöntemlerine göre hazırlanmış asfalt beton numunelerinin rijitliği, *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilgileri Dergisi*, 18, 235-241.
106. OBAİDAT, A.F., 1999, *Evaluation of bituminous mixtures stripping using conventional and image processing techniques*, Master thesis, Jordan University of Science and Technology.
107. OKAY, A.İ., 1988, Çan-Yenice-Biga arasının jeolojisi ve tektoniği, *İTÜ Rapor*, No: 2544 (yayımlanmamış).
108. ORHAN, F. VE YALÇIN, G., 2004, Agrega ve bitüm cinsi değişiminin bitümlü sıcak karışımların performansına etkisi, 4. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.167-180, Ankara.
109. ÖCAL, H., 2005, *Termosetting katkılı sıcak asfalt karışımlarının performanslarının incelenmesi*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
110. ÖNALAN, M., 1982, Pendik bölgesi ile adaların jeolojisi ve sedimenter özellikleri, Doçentlik tezi, İstanbul Üniversitesi.
111. ÖNCEL, M.S. VE EREN, B.K., 1996, İstanbul çevresindeki taş ocaklarının sınıflaması ve asfalt betonu agregası olarak kullanımı, 1. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 181-187, İstanbul.
112. ÖZEN, H., 1999, *Bitümlü Karışım Değişkenlerin Performans Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Hizmet Ömrü Tahmini İçin Bir Model Kurulması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

- 113.ÖZEN, H., BİRLİKER, Y., TAYFUR,S. VE SÖNMEZ, İ., 2004, Kırmataş içerisindeki yabancı maddelerin (kil topakları) bitümlü sıcak karışımların performansına etkisi, *4. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 196-201, Ankara.
- 114.ÖZEN, H., TAYFUR, S., AKSOY, A. ve EREN, B.K., 2004, Yassı tanelerin bitümlü sıcak karışımların performansına etkisi, *4. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 398-404, Ankara.
- 115.ÖZER, S., TANSEL, İ. VE MERİÇ, E., 1990, Hereke- Kocaeli dolayında Üst Kretase- Paleosen istifinin biyostratigrafisi (Rudist, Foramnifer), *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1-2, 29-40.
- 116.ÖZGAN, E. VE YILDIZ, K., 2003, Asfalt betonunda bitüm yüzdesinin stabilizeye etkisinin araştırılması, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, pp. 5-15, Sayı:5.
- 117.ÖZGAN, E. VE KAP, T., 2005, Asfalt çimentolarında bekleme süresi ve ortam sıcaklığının düktiliteye etkisi, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt.9, Sayı.1.
- 118.ÖZDEMİR, Ü., TALAY (YURTSEVER), G. VE YURTSEVER, A., 1973, Kocaeli Triyasının Biyostratigrafik Etüdü, *T.C.50. Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliğler Kitabı*, pp.112-132.
- 119.ÖZTÜRK, E.A. VE ÇUBUK, K.M., 2004, Karayolu esnek üstyapı tasarımında yeni bir yöntem: yüksek performanslı asfalt kaplama, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Derg.* 2, 175-184.
- 120.PAECKELMAN, W., 1938, Neue Beitrage zur Kenntnis der Geologs, Palaontologie und Petrgraphie der umgegend von Konstantinopel, Abh. D. Preuss Geol. Lands. 186,1-202
- 121.PAMİR, H.M., SAYAR, M., 1933, Küçükçekmece fosil fıkralı hayvanlar mecmuası, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Jeoloji Bölümü*, No:8, pp.119.
- 122.PEHLİVAN, R, 1990, *Kemerburgaz-Bahçeköy-Gümüşdereköy-Çiftalan (İstanbul) dolayının jeolojisi ve kil minerolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi (yayımlanmamış).
- 123.PELLINEN, T.K., SONG, J. AND XIAO, S., 2004, Characterization of hot mix asphalt with varying air voids content using triaxial shear strenght test, *8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*.
- 124.PENCK, W., 1919, Grunzüge der Geologie des Bosphorus. Veröff. *Des instit für meereskunde, geol.-naturw, reihe*, h.4.

- 125.SAAL, R.N.J., 1933, Adhesion of bitümen and tar solid road building material. *Bitümen*, V: 3, pp.101.
- 126.SAKINÇ, M. VE YALTIRAK, C., 1997, Güney Trakya sahillerinin denizel Pleyistosen çökelleri ve paleocoğrafyası, *MTA Dergisi*, 119, 43-62.
- 127.SAYAR, C., 1976, Haliç ve civarının Jeolojisi, Boğaziçi Üniversitesi Haliç Sorunları Ulusal Sempozyumu
- 128.SAYIN, E. VE YILDIRIM, B., 2005, Asfalt betonu kaplamaların farklı sıcaklıklarda dayanımı, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilgileri Dergisi*, 17, 463-469.
- 129.SMITH, M.R. AND COLLIS, L., (EDS.) 2001, *Aggregates: Sand, Gravel and Crushed Rock Aggregates for Construction Purposes*, Geological Society, Engineering Geology Special Publication 17, London, 360 pp.
- 130.SOYTÜRK, N., 1968, Hereke-Tavşancıl civarının jeoloji incelemesi. *İ.Ü.F.F. Tatbiki Jeoloji Kürsüsü* (basılmamış), İstanbul.
- 131.SÖNMEZ, İ., YILMAZ, M., TUĞRUL, A., 2009, Farklı agrega ve üretim prosesleri ile üretilen asfalt karışımlarının özelliklerinin karşılaştırılması, 5. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.299-308, İstanbul.
- 132.SÖNMEZ, İ., YILMAZ, M., TUĞRUL, A., 2009, Yıkanmış ve yıkanmamış agregalardan üretilen asfalt karışımlarının özelliklerinin karşılaştırılması, 5. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 309-315, İstanbul.
- 133.SÖNMEZ, İ., TUĞRUL, A., YILMAZ, M., YILDIRIM, S.A., EREN, B.K., 2010, İstanbul'daki Anadoluray kazılarında çıkan atıkların asfalt agregası olarak kullanılabilirliği, 2. *Uluslararası Mermer ve Doğal Taşlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 215-218, İzmir.
- 134.ŞENGÖZ, B., TOPAL, A. VE TANYEL, S., 2000, Kirecin asfalt kaplamalarında kullanımı, 3. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 82-89, Ankara.
- 135.ŞENGÖZ, B. VE AĞAR, E., 2005, Asfalt film kalınlığının bitümlü karışımların yaşlanmasına etkisi, *İTÜ Dergisi*, 1, 71-82.
- 136.ŞENGÖZ, B. VE AĞAR, E., 2006, Effect of asphalt film thickness on the moisture sensitivity characteristics of hot mix asphalt, *Building and Environment*, 42, 3621-3628.
- 137.TAPIRDAMAZ, M.C., YALTIRAK, C., 1997, Trakya'da Senozoyik Volkanitlerinin paleomanyetik özellikleri ve bölgenin tektonik evrimi, *MTA Dergisi*, 119, 27-42.

138. TANIŞ, M., 2002, *Standart Yükseklikte Olmayan Marshall Enerjisine Bağlı Olarak Boşluk Oranı ve Gradasyon Değişimlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
139. TASONG, W.A., CRIPPS, J.C., LYNSDALE, C.J., 1998, Aggregate-cement chemical interactions, *Cement and Concrete Research*, 36, 1516-1522.
140. TASONG, W.A., LYNSDALE, C.J. AND CRIPPS, J.C., 1998, Aggregate-cement paste interface II: Influence of aggregate physical properties, *Cement and Concrete Research*, 28, 1453-1465.
141. TAYFUR, S., 2001, *Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamalar İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
142. TAYFUR, S., EREN, K., ÖZEN, H. VE YILDIRIM, S.A., 2003, Sıcak asfalt karışımı üretimi açısından istanbul taşocaklarının genel değerlendirilmesi, karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri, *III Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 199-204, İstanbul.
143. TCHIHATCHEFF, P., 1864, İstanbul ve İstanbul boğazı, I. Vol., 590 p., 9 PL., Paris.
144. TCHIHATCHEFF, P., 1867, Asie mineure, IV, Geologie I, Paris.
145. TELLİOĞLU, S., 2001, *Manyas Ovası ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojisi ve Uygulamalı Jeomorfolojisi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
146. The Asphalt Handbook, MS-4, 1990, The Asphalt Institute, Lexington, KY.
147. TİMUR, E. VE AKSAY, A., 2002, 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Zonguldak F29 Paftası. Pafta No. 30, *MTA Yayını*, Ankara.
148. TOPAL, A. VE ŞENGÖZ, B., 2004, Bitümlü karışımlarda kullanılan ince taneli agregaların köşeliliğinin belirlenmesi ve kullanılabilirliğinin saptanması, 3. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 184-193, Ankara.
149. TOULA, F., 1896, Eine Muschelkalfauna am Golfe vo ismid in Kleinasien. *Beitr. Palaeont. Geol. Österreich-Ungarn*, 10, 153-191.
150. TS EN 932-1, 1997, Agregaların genel özellikleri için deneyler- Kısım 1- numune alma metodları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
151. TS 3530 EN 933-1, 1999, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

152. TS 9582 EN 933-3, 1999, Agregaların yassılık endeksi tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
153. TS EN 1097-2, 2000, Agregaların parçalanma direnci deneyi, Los Angeles, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
154. TS EN 1097-2, 2000, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metodlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
155. TS EN 1367-2, 2000, Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler, Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
156. TS 9582 EN 933-3, 1999, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, Bölüm 3: Tane şekli tayini, yassılık endeksi deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
157. TS EN 1097-6, 2002, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
158. TS EN 1097-7, 2009, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 7: Taşunu (filler) tane yoğunluğunun tayini, piknometre deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
159. TS 1900-1, 2006, İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri, Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
160. TS EN 1426, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, İğne batma derinliği tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
161. TS EN 1427, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, Yumuşama noktası tayini, halka ve bilye yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
162. TS EN 12593, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, Frass kırılma/kesilme noktası tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
163. TS EN 12607-2, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, Isı ve hava etkisi altında sertleşme direncinin tayini, Bölüm 2: TFOT yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
164. TS EN ISO 2592, 2006, Petrol ürünleri, Parlama ve yanma noktası tayini, Cleveland açık kap yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
165. TS EN 12592, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, Çözünürlük tayini, TSE, Ankara.
166. TS EN 12606-1, 2008, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, Parafin vaks içeriği tayini, Bölüm 1: Damıtma yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- 167.TS EN 12606-2, 2002, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, Parafin mumu muhtevasının tayini, Bölüm 2. Özütleme metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- 168.TS EN 13589, 2009, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, İşlem görmüş bitümlerin çekme özelliklerinin duktilometre metoduyla tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- 169.TS 3720, 1983, Bitümlü kaplama karışımlarının hesap esasları, Marshall ve Hubbard Field metodları ile, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- 170.TUNÇ, A., 2004, *Esnek Kaplama Malzemelerin El Kitabı*, Asil Yayın Dağıtım Ltd.Şti., Ankara.
- 171.TUNÇ, A., 2004, *Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları*, Asil Yayın Dağıtım Ltd.Şti., Ankara.
- 172.TURGUT, S., SİYAKO, M., DİLKİ, A., 1983, Trakya Havzasının jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *TJK Bülteni*, 4, 35-46.
- 173.TUTUMLUER, E., PAN, T. VE CARPENTER, S.H., 2005, Investigation of aggregate shape effects on hot mix performance using an image analysis approach, *Transportation Engineering Series*, No: 137.
- 174.QUADIS, A.S. AND SHWEILY, H.A., 2005, Effect of aggregate properties on asphalt mixtures stripping and creep behavior, *Construction and Building Materials*, 21, 1886-1898.
- 175.QUADIS, A.S. AND SHWEILY, H.A., 2005, Effect of antistripping additives on environmental damage of bituminous mixtures, *Building and Environment*, S.42, pp.2929-2938.
- 176.ULUÇAYLI, M., 1975, Türkiye’de Asfalt Betonu Kaplamalar ve Alternatifleri, *Karayolları Teknik Bülteni*, S.16, ss.65, Ankara.
- 177.UMAR, F., AĞAR, E., 1991. *Yol Üstyapısı*. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul, 339 s.
- 178.UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, İ., SARIKAYA, H., SARAÇ, G. VE KESKİN, İ., 1983, Tekirdağ ili, Silivri (İstanbul İli) – Pınarhisar (Kırklareli İli) alanının jeolojisi, *MTA Raporu 7349*, Ankara (Yayımlanmamış).
- 179.UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, İ., QTEŞ, M., KARABIYIKLIOĞLU, M., ve SARAÇ, G., 1983, Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli ili)-Uzunköprü (Edirne ili) civarının jeolojisi, *MTA Rap.* No. 7604, Ankara (Yayımlanmamış).

- 180.UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, İ., SARIKAYA, H. VE SARAÇ, G., 1983, Tekirdağ İli - Silivri (İstanbul İli) - Pınarhisar (Kırklareli İli) alanının jeolojisi. *MTA Derleme*, No: 7349.
- 181.UMUT, M., KURT, Z., İMİK, M., ÖZCAN, I., SARIKAYA, H., SARAÇ, G., ve KESKİN, I., 1983, Tekirdağ-Silivri-Pınarhisar alanının jeolojisi, *MTA Raporu*, Rapor No: 7349, Ankara
- 182.UMUT, M., 1988, 1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, *Jeoloji Etüdları Dairesi Yayını*, Ankara.
- 183.UMUT, M., 1988, 1/100 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırklareli C5 Paftası, MTA Ankara, 10 s.
- 184.UZ, B., 1999, Bazaltların kırmataş yönünden değerlendirilmesi, Trakya-Tekirdağ bölgesi bazaltları örneği, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.1-12.
- 185.UZ, B., BACAK, G., YILMAZ, M., 2003, İstanbul ve civarı agregalarının petrografik özellikleri ve beton dayanımına etkileri, *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.121-131, Ankara.
- 186.UZ, B., BACAK, G., ÖZDAMAR,Ş., SARICAOĞLU, H., ve HALEZAROĞLU, İ., 2006, İstanbul Ömerli taş ocaklarının kırmataş açısından değerlendirilmesi, *IV Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 73-83.
- 187.UZUN, N., 2003, *Balıkesir Ovası-Kocaçay-Manyas Ovası ve Susurluk Çayı Arasında Kalan Sahanın Jeomorfolojisi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- 188.ÜNAL, O.T., 1967, Trakya jeolojisi ve petrol imkanları. *TPAO Arama Grubu Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor*, 391, p.80.
- 189.ÜNDÜL, Ö. AND TUĞRUL, A., 2006, The Engineering Geology of Istanbul, Turkey, *The 10th IAEG International Congress*, Nottingham, United Kingdom, 6-10 September, pp. 392.
- 190.WHITE,D.T., HADDOCK, J.E., RİSMANTOJO, E., 2006, Aggregate tests for hot mix asphalt mixtures used in pavements, NCHRP Report-557.
- 191.WILLIAMS, D.M., MCNAMARA, K., 1992, Limestone to dolomite to dedolomite conversion and its effect on rock strength: a case Study, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 131-135.
- 192.WOODSIDE, A., 1998, *Aggregate and Fillers, Asphalt Surfacing*s, Edited By Cliff Nicholls, Transport Research Laboratory, London, p. 123.

193. WU, Y., PARKER, F. AND KANDHAL, K., 1998, Aggregate toughness/abrasion resistance and durability/soundness tests related to asphalt concrete performance in pavements, *NCAT Report*, 98-4.
194. YALÇINLAR, İ., 1951, İstanbul civarının Paleozoyik arazisine ait yeni müşahadeler, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 1, 125-130.
195. YALÇINLAR, İ., 1954, Sur la presence des schistes Carboniferes et des plantes fossiles a l'W. d'İstanbul. Ex., C.R.S. Soc. Geol., No:2, France.
196. YALÇINLAR, İ., 1970, Batı Anadolu'nun Strüktür ve relief şekilleri üzerine müşahadeler, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 17, 69-92.
197. YERGÖK, A.F., AKMAN, Ü., TEKİN, F., KARABALIK, N.N., ARBAŞ, A., AKAT, U., ARMAĞAN, F., ERDOĞAN, K. VE KAYMAKÇI, H., 1989, Batı Karadeniz Bölgesinin jeolojisi (II), *MTA Rap. No. 8848*, Ankara (Yayımlanmamış).
198. YILDIZ, K. VE GÖKDEMİR, A., 2008, Asfalt Betonu Aşınma tabakasının Bitüm Yüzdesi Tayini İçin Tahmin Modeli, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20, 127-134.
199. YILMAZ, E., KESİMAL, A., ERÇIKDI, B. VE KAYA, R., 2003, Seslidere taşocağından üretilen kayanın üstyapı malzemesi olarak kullanılabilirliği, *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp.159-165, İstanbul.
200. YURTSEVER, A. VE ÇAĞLAYAN M.A., 2002, 1:100.000 ölçekli açınsama nitelikli türkiye Jeoloji haritaları No:65, İstanbul F-21 ve G-21 paftaları, *MTA Jeoloji Etütleri Dairesi*, Ankara, s.30.
201. ZARİF, İ., TUĞRUL, A., 2003, Aggregate properties of Devonian limestones for use in concrete in İstanbul, Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.62 Number 4 p. 379-388.
202. ZARİF, İ. H.İ., TUĞRUL, A., ve DURSUN, G., 2003, İstanbul'daki kireçtaşlarının agrega kalitesi yönünden değerlendirilmesi, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 2, 61-70.
203. ZHENG, N. VE CONG, Z., 2004, Study on pavement performance of HMA mix's aggregate gradations near restricted zone, *23 th Southern Africian Transport Conference*.

7. ÖZGEÇMİŞ

İbrahim SÖNMEZ, 1968 yılında Düzce’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Düzce’de tamamladı. 1989 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1991 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünden “Kazancı-Gümüşova Otoyolu 3. Kısımının Jeoteknik Özellikleri” başlıklı tezi ile Jeoloji Yüksek Mühendisi ünvanını aldı.

1994 yılından itibaren İSFALT A.Ş. de Uygulama Müdürü, Kalite Yönetim-Arge Müdürü olarak görev yapmış halen aynı kurumda Üretim Müdürü olarak devam etmektedir. Biri uluslar arası yayın olmak üzere toplam 13 adet yayını, bir adet “Asfalt ve Uygulamaları” adında kitabı bulunmaktadır. Yabancı dili İngilizce’dir.