

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÖNMÜŞ KİREÇ İLE ÇİMENTO VE PR PLAST KULLANIMININ ASFALT
KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Gül GENÇTÜRK

**OCAK 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÖNMÜŞ KİREÇ İLE ÇİMENTO VE PR PLAST KULLANIMININ ASFALT
KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

İnş. Müh. Gül GENÇTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.12.2010
Tezin Savunma Tarihi : 21.01.2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şeref ORUÇ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK
Jüri Üyesi : Prof. Dr. H. Hulusi ACAR**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

TRABZON 2011

ÖNSÖZ

“Sönmüş Kireç ile Çimento ve Pr plast Kullanımının Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmamın bilim camiasına ve ilgili sektöre faydalı olacağını ummaktayım

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde birçok kişinin emeği ve çabası söz konusudur. Bu noktada öncelikle, bu yüksek lisans tezi çalışmasını yöneten Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Şeref ORUÇ’a göstermiş olduğu ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Karayolları 7.Bölge Müdürlüğü Laboratuvarlarında yaptığım deneylerde gerekli ortamı sağlayan ve çalışmalarımın yürütülmesinde her türlü yardımı sağlayan Laboratuvar Teknisyeni Sayın Erdoğan GENÇBAY nezdinde Araştırma Başmühendisliği personeline, briketlerin hazırlanmasında yardımını aldığım Laboratuvar Mühendisi Sayın Havva ÖZTÜRK’e, değerli katkılarından dolayı Jeoloji Mühendisi Sayın Dr. Neşe KILIÇ’a, tecrübelerinden faydalandığım Jeoloji Yüksek Mühendisi Sayın Aytuna SAYIN’a, Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisi Sayın Süleyman AKSU’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu Tez sırasında bütün olumsuzluklara rağmen her zaman varlığını yanımda hissettiğim dostlarım Jeoloji Müh. Berna MAZLUM’a ve Merve ÇAPKIN’a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bu çalışmamı beni sabırla destekleyen ve bugünlere gelmemde en büyük katkısı olan başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme ithaf ediyorum.

Gül GENÇTÜRK
Trabzon 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Konunun Özgeçmişi.....	1
1.3. Asfalt Kaplamalarda Karışım Değişkenleri.....	4
1.3.1. Bitümlü Bağlayıcılar.....	5
1.3.1.1. Asfalt.....	5
1.3.1.1.1. Asfalt Çimentoları.....	6
1.3.1.1.2. Okside Asfalt (Blown Asfalt).....	7
1.3.1.1.3. Sıvı Petrol Asfaltları (Katbek Asfalt).....	7
1.3.1.1.4. Asfalt Emülsiyonları.....	7
1.3.1.2. Katran.....	8
1.3.2. Agregalar.....	9
1.3.2.1. Doğal Agregalar.....	9
1.3.2.2. Suni Agregalar.....	11
1.3.2.3. Bitümlü Kullanılan Agregalar.....	12
1.4. Asfalt Kaplama Problemleri.....	13
1.4.1. Bozulma Ölçütleri.....	14

1.4.1.1.	Servis Yeteneği İndeksi.....	14
1.4.1.2.	Tekerlek İzi Derinliği.....	14
1.4.1.3.	Çatlak Oluşumu.....	14
1.4.1.4.	Defleksiyon.....	15
1.4.2.	Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri.....	15
1.4.2.1.	Oturma ve Çökme.....	16
1.4.2.2.	Tekerlek İzi Oluşumu(Oluklanmalar).....	17
1.4.2.3.	Ondülasyonlar.....	19
1.4.2.4.	Kabarmalar.....	19
1.4.2.5.	Çatlaklar.....	19
1.4.2.6.	Ayrılma, Ayrışma ve Parçalanmalar.....	20
1.5.	Performans Derecelendirme Yöntemleri.....	21
1.5.1.	Marshall Deneyi.....	23
1.6.	Katkı Maddeleri.....	23
1.6.1.	Katkı Maddelerinin Kullanım Yöntemleri.....	27
1.6.2.	Bitüm Katkı Maddelerinde ve Modifiye Bitümlerde Aranılan Özellikler.....	28
1.6.3.	Bitüm Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması.....	29
1.7.	Kullanılan Katkı Malzemeleri.....	30
1.7.1.	Kirecin Özellikleri.....	30
1.7.1.1.	Kirecin Katılma Teknikleri.....	32
1.7.1.2.	Kuru Yöntem.....	33
1.7.1.3.	Nemli Agregaya Uygulanma Biçimi.....	33
1.7.1.4.	Slurry Yöntem.....	33
1.7.2.	Çimentonun Özellikleri.....	34
1.7.2.1.	Portland Çimentosu.....	35
1.8.	Pr Plastın Özellikleri.....	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	37
2.1.	Kullanılan Malzeme.....	37
2.2.	Asfalt Çimentosuna Uygulanan Deneyler.....	37
2.2.1.	Penetrasyon Deneyi.....	38
2.2.2.	Yumuşama Noktası Deneyi.....	38

2.2.3.	Düktilite Deneyi.....	39
2.2.4.	Çözünürlük Deneyi.....	39
2.2.5.	Parlama Noktası Deneyi.....	40
2.2.6.	Özgül Ağırlık Deneyi.....	40
2.3.	Agrega Örneklerine Uygulanan Deneyler.....	40
2.3.1.	Elek Analizi.....	41
2.3.2.	Aşınma Deneyi.....	41
2.3.3.	Cilalanma Deneyi	43
2.3.4.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri	44
2.3.5.	Yassılık Deneyi.....	44
2.3.6.	Hava Etkilerine Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi).....	44
2.4.	Karışım Tasarımı.....	45
2.4.1.	Marshall Deneyi.....	45
2.4.1.1.	Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi.....	46
2.4.1.2.	Briketlerin Hacimlerinin Belirlenmesi.....	47
2.4.1.3.	Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Analizleri.....	47
2.4.1.4.	Bitüm Absorbsiyonu ve Efektif Bitüm Yüzdesi.....	48
2.4.1.5.	Briketlerdeki VMA Yüzdesi.....	48
2.4.1.6.	Optimum Bağlayıcı Yüzdesinin Belirlenmesi.....	49
2.4.2.	Sönmüş Kireç Katma İşlemi.....	49
2.4.3.	Portland Çimento Katma İşlemi.....	50
2.4.4.	Pr Plast Katma İşlemi.....	50
2.4.5.	Numunelerin Koşullandırılması.....	50
2.4.6.	Stabilite ve Akma Değerlerinin Tespiti.....	51
3.	BULGULAR ve İRDELEME.....	53
3.1.	Deney Sonuçları.....	53
3.1.1.	Agregaların Deney Sonuçları.....	53
3.1.2.	Seçilen Granülometri.....	54
3.2.	Bitümlü Bağlayıcı Deney Sonuçları.....	57
3.3.	Katkı Malzemesi Deney Sonuçları.....	58
3.4.	Karışım Tasarımı Sonuçları.....	60

3.4.1.	Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi.....	62
3.5.	Sönmüş Kireç Uygulaması Deney Sonuçları.....	66
3.5.1.	Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Stabilite ve Akma Değerleri.....	69
3.6.	Çimento Uygulaması Deney Sonuçları.....	71
3.6.1.	Çimento Katkılı Numunelerin Stabilite ve Akma Değerleri.....	74
3.7.	Pr Plast Uygulaması Deney Sonuçları	76
3.7.1.	Pr Plast Katkılı Numunelerin Stabilite ve Akma Değerleri.....	77
3.8.	Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	79
3.8.1.	Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerinin Deney Sonuçları.....	79
3.8.1.1.	Koşullandırılmamış Sönmüş Kireç Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	79
3.8.1.2.	Koşullandırılmış Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	81
3.8.2.	Çimento Katkılı Numunelerinin Deney Sonuçları.....	83
3.8.2.1.	Koşullandırılmamış Çimento Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	83
3.8.2.2.	Koşullandırılmış Çimento Katkılı Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	85
3.8.3.	Pr Plast Katkılı Numunelerinin Deney Sonuçları Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	86
3.8.3.1.	Koşullandırılmamış Pr Plast Katkılı Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	86
3.8.3.2.	Koşullandırılmış Pr Plast Katkılı Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	88
3.9.	Koşullandırılmış ve Koşullandırılmamış Numunelerin Karşılaştırmalı Sonuçları.....	89
3.9.1.	Sönmüş Kireç Katkılı Koşullandırılmış Numunelerin Koşullandırılmamış Numunelerle Karşılaştırılması.....	90
3.9.2.	Çimento Katkılı Koşullandırılmış Numunelerin Koşullandırılmamış Numunelerle Numunelerin Karşılaştırılması.....	91
3.9.3.	Pr Plast Katkılı Koşullandırılmış Numunelerin Koşullandırılmamış Numunelerle Numunelerin Karşılaştırılması	93

3.10.	Performans parametrelerinin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış oranlarıyla değerlendirilmesi.....	94
3.10.1.	Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Numune Örnekleri.....	95
3.10.2.	Çimento Katkılı Numunelerin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Numune Örnekleri.....	96
3.10.3.	Pr Plast Katkılı Numunelerin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Numune Örnekleri.....	98
3.11.	Katkılı ve Katkisız Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	99
3.11.1.	Kullanılan En Düşük Oranda Koşullandırılmamış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması.....	100
3.11.2.	Kullanılan En Düşük Oranda Koşullandırılmış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması.....	101
3.12.1.	Kullanılan En Yüksek Oranda Koşullandırılmamış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması.....	103
3.12.2.	Kullanılan En Yüksek Oranda Koşullandırılmış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması.....	104
4.	SONUÇLAR	106
5.	KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Ülkemizde kaplama tabakalarında oluşan bozulmaların hızlı bir şekilde meydana geldiği göz önüne alınırsa, bitümlü karışımlarda katkıların kullanımının deformasyonların azaltılmasında faydalı olacağı ve bunun sonucu olarak ekonomiye katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı farklı katkıları kullanarak bitümlü karışımların performansının iyileştirilmesini sağlamaktır.

Bu çalışmada asfalt kaplamalarda, katkı maddesi olarak sönmüş kireç, çimento ve Pr plast kullanımı araştırılmakta ve seçilen örnekler üzerinde performans değerlendirme yöntemlerinden Marshall Oranı kullanılarak, katkıların sıcak asfalt karışım performansına etkisi saptanmaya çalışılmıştır.

Çalışmada sönmüş kireç ve çimento için filler oranı azaltılmak suretiyle katkıları adım adım % 1, 1,5, 2, 3 ve 5 oranlarında, Pr plast ise karışımın % 0,3 ve % 0,6 oranında doğrudan granül agregaya karıştırılarak alternatif karışımlar üretildi. Optimum asfalt içeriğinde 72 adet özdeş briket üretildi. Briketlerin yarısı; tekrarlı su hasarına maruz bırakıldı ve koşullandırma gerçekleştirildi.

Bu verilerden yola çıkarak sönmüş kireç ve çimentonun aktif filler olarak kullanılabilmesi, Pr plastın ise karışımı güçlendiren katkı olarak kullanılabilmesini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Sönmüş Kireç, Çimento, Pr Plast, Marshall Oranı, Katkılar, Asfalt Karışım

SUMMARY

The Effects of Slaked Lime& Cement and Pr Plast Usage on Mechanical Properties of Asphalt Pavement

In our country, consisting of layers of pavement deformation to occur quickly, using of modifiers in bituminous mixtures is thought to be beneficial in reducing deformation. As a result of this, the economy is expected to contribute.

The ultimate purpose of this study is to use different additions for better mixtures performance and bituminous binder.

Investigated in this study, the effect of using slaked lime, cement and pr plast on asphalt pavement and on selected samples using of Marshall rates which is method of performance evaluation, working to identify the effect of contributions to the performance of hot mix asphalt.

In this study, for slaked lime, cement was reduced filler ratio through the modifiers step by step, 1, 1.5, 2, 3 and 5 percent, as for Pr plast was produced the mixture rate of 0.3% and 0.6% alternate mixtures.

72 identical briquettes was produced at the optimum bitumen. Half of briquettes, was repeatedly exposed to water damage and was realized to condition.

Based on this datas, conclusions has been reached slaked lime and cement can be used as a active filler and as pr plast is can be used as a modifier to strengthening the mixture.

Key Words: Slaked Lime, Cement, Pr plast, Marshall Rate, Modifiers, Asphalt Mixtures

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Tekerlek izi hasarı örneği	17
Şekil 2. Yol üstyapısındaki bir eleman üzerindeki gerilmeler.....	22
Şekil 3. Pr plast katkısı.....	36
Şekil 4. Su banyosu cihazı	51
Şekil 5. Stabilite ve akma değerlerini ölçen alet.....	52
Şekil 6. Seçilen granülometri ve önerilen şartname limitleri.....	56
Şekil 7. Pratik özgül ağırlık-bitüm yüzdesi grafiği.....	63
Şekil 8. Asfalt dolu boşluk yüzdesi-bitüm yüzdesi grafiği.....	63
Şekil 9. Boşluk yüzdesi-bitüm yüzdesi grafiği.....	64
Şekil 10. Stabilite, kg-bitüm yüzdesi grafiği.....	64
Şekil 11. Akma-bitüm yüzdesi grafiği.....	65
Şekil 12. VMA-bitüm yüzdesi grafiği.....	65
Şekil 13. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerleri	81
Şekil 14. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerleri.....	80
Şekil 15. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri.....	86
Şekil 16. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerleri.....	81
Şekil 17. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerleri...	82
Şekil 18. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri.....	82
Şekil 19. Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin stabilite	

	değerleri.....	83
	...	
Şekil 20.	Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin akma değerleri.....	84
Şekil 21.	Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin stabilite /akma değerleri.....	85
	...	
Şekil 22.	Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin stabilite değerleri.....	85
	...	
Şekil 23.	Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin akma değerleri.....	85
	...	
Şekil 24.	Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri.....	86
	..	
Şekil 25.	Koşullandırılmamış pr plast katkılı numunelerin stabilite değerleri.....	87
	..	
Şekil 26.	Koşullandırılmamış pr plast katkılı numunelerin akma değerleri.....	87
	...	
Şekil 27.	Koşullandırılmamış pr plast katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri değerleri.....	88
Şekil 28.	Koşullandırılmış pr plast katkılı numunelerin stabilite değerleri.....	88
	..	
Şekil 29.	Koşullandırılmış pr plast katkılı numunelerin akma değerleri.....	89
	...	
Şekil 30.	Koşullandırılmış pr plast katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri değerleri.....	89
Şekil 31.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerleri.....	90
Şekil 32.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerleri değerleri.....	90
Şekil 33.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri.....	91
Şekil 34.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki çimento katkılı numunelerin stabilite değerleri	91

Şekil 35.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki çimento katkılı numunelerin akma değerleri.....	92
Şekil 36.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki çimento katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri.....	92
Şekil 37.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki pr plast katkılı numunelerin stabilite değerleri	93
Şekil 38.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki pr plast katkılı numunelerin akma değerleri.....	93
Şekil 39.	Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki pr plast katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri.....	94
Şekil 40.	Sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	95
Şekil 41.	Sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	95
Şekil 42.	Sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	96
Şekil 43.	Çimento katkılı numunelerin stabilite değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	96
Şekil 44.	Çimento katkılı numunelerin akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	97
Şekil 45.	Çimento katkılı numunelerin stabilite/akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği	97
Şekil 46.	Pr plast katkılı numunelerin stabilite değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	98
Şekil 47.	Pr plast katkılı numunelerin akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	98
Şekil 48.	Pr plast katkılı numunelerin srabilite/ akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği.....	99
Şekil 49.	Koşullandırılmamış stabilite-karışım sonuç oranı grafiği	100
Şekil 50.	Koşullandırılmamış akma-karışım sonuç oranı grafiği.....	100
Şekil 51.	Koşullandırılmamış stabilite/akma-karışım sonuç oranı grafiği.....	101
Şekil 52.	Koşullandırılmış stabilite-karışım sonuç oranı grafiği değerleri.....	101

Şekil 53.	Koşullandırılmış akma-karışım sonuç oranı grafiği.....	102
Şekil 54.	Koşullandırılmış stabilite/akma-karışım sonuç oranı grafiği	102
Şekil 55.	Koşullandırılmamış stabilite-karışım sonuç oranı grafiği.....	103
Şekil 56.	Koşullandırılmamış akma-karışım sonuç oranı grafiği.....	103
Şekil 57.	Koşullandırılmamış stabilite/akma-karışım sonuç oranı grafiği	104
Şekil 58.	Koşullandırılmış stabilite karışım sonuç oranı grafiği	104
Şekil 59.	Koşullandırılmış akma-karışım sonuç oranı grafiği	105
Şekil 60.	Koşullandırılmış stabilite/akma karışım sonuç oranı grafiği.....	105

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Karışım malzeme ve değişkenleri.....	4
Tablo 2. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması.....	6
Tablo 3. Bitüm modifikasyon tipleri.....	24
Tablo 4. Fiber malzemeler.....	24
Tablo 5. Modifiyelerin etki alanları.....	25
Tablo 6. Üstyapı problemlerine karşılık gelen katkılar.....	26
Tablo 7. Katkı maddelerinin genel sınıflandırılması.....	29
Tablo 8. Kireçtaşı uluslararası standart sanayi sınıflaması	32
Tablo 9. Portland çimentosunun ana bileşenleri	35
Tablo 10. Aşınma deneyi örnek sınıflaması	42
Tablo 11. Aşınma deneyinde kullanılan küre sayıları	43
Tablo 12. Kaba ve ince agrega özellikleri.....	53
Tablo 13. Dane boyutu dağılımı.....	54
Tablo 14. Seçilen agrega gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen sınır değerleri	55
Tablo 15. Kaba ve ince agrega özgül ağırlıkları.....	57
Tablo 16. Bitümlü bağlayıcı (AC 50-70) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları.....	57
Tablo 17. Sönmüş toz kireç (SKK 80-T) kimyasal analiz değerleri.....	58
Tablo 18. Sönmüş toz kireç (SKK 80-T) fiziksel analiz değerleri.....	59
Tablo 19. Çimento (CEM II B-M 42,5 R) kimyasal analiz değerleri.....	59
Tablo 20. Çimento (CEM II B-M 42,5 R) fiziksel analiz değerleri.....	60
Tablo 21. Pr plast analiz değerleri.....	60
Tablo 22. Aşınma dizaynı Marshall Deneyi sonuçları.....	61
Tablo 23. Optimum bitüm miktarı ve karşılık gelen parametreler.....	66
Tablo 24. Sönmüş kireç katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket değerleri.....	67
Tablo 25. Sönmüş kireç katkılı (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri.....	68

Tablo 26.	Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri.....	69
Tablo 27.	Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri.....	70
Tablo 28.	Çimento katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket Değerleri.....	72
Tablo 29.	Çimento katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket Değerleri.....	73
Tablo 30.	Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri.....	74
Tablo 31.	Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri.....	75
Tablo 32.	Pr plast katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket değerleri.....	76
Tablo 33.	Pr plast katkılı (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri.....	77
Tablo 34.	Koşullandırılmamış pr plast katkılı numunelerin stabilite ve Akma Değerleri.....	78
Tablo 35.	Koşullandırılmış pr plast katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri	78

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Briketin havadaki ağırlığı
B	: Briketin doygun yüzey-kuru ağırlığı
C	: Briketin sudaki ağırlığı
Dp	: Briketin hacim özgül ağırlığı
Dt	: Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı
Gsa	: Agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gsb	: Agreganın hacim özgül ağırlığı
Gkb	: Kaba agreganın özgül ağırlığı
Gib	: İnce agreganın özgül ağırlığı
Gka	: Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gia	: İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı
Gfa	: Fillerin zahiri özgül ağırlığı
Gef	: Agreganın efektif özgül ağırlığı
Gb	: Bitümün özgül ağırlığı
P _B	: Ağırlıkça bitüm oranı (%)
VMA	: Mineral agreganın içerisindeki boşluk (%)
% İ	: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
% K	: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemizde trafik yükleri giderek artmakta, taşıt teknolojisi gelişmekte ve bu koşullar karşısında yol malzemeleri, üstyapı yapım ve bakım yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Aynı sorunla karşılaşan sanayileşmiş ülkelerde araştırmalar; yeni malzemelerin geliştirilmesine, bitümlü bağlayıcıların reolojik özelliklerinin ve mekanik davranışlarının incelenmesine, yeni teknolojilerin ve şartnamelerin oluşturulmasına yönelmiştir.

Karayollarında yaygın olarak uygulanan esnek üstyapıların bünyesinde yer alan bitümlü karışımlar, yol inşaatında önemli bir yer tutmakta ve maliyeti büyük ölçüde artırmaktadır. Asfalt üstyapı tabakalarını oluşturan bitümlü bağlayıcının ve agreganın; seçimi, tasarımı ve uygulanması, bilgi birikimi, deneyim ve özen gerektirmektedir.

Asfalt kaplamalar konfor başta olmak üzere, sağladığı diğer avantajlar nedeni ile tüm ülkeler tarafından yol üst kaplamasında en çok tercih edilen kaplama türüdür. Esnek yol kaplamaları konusunda oluşan geniş bilgi birikimine rağmen, tekerlek izinde oturma başta olmak üzere, çatlama ve soyulma gibi birçok faktöre bağlı kompleks problemlerle sıklıkla karşılaşmaktadır [1].

Asfalt kaplamalarda üst düzey performans elde etmeye yönelik çalışmalarda çeşitli katkıların kullanımı, tane boyutu dağılımı, çeşitli tasarım yöntemleri, malzeme seçimi ve kalite kontrolü gibi parametreler üzerinde performans yönlü araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar neticesinde elde edilen sonuçlar ışığında gerçekleştirilen uygulamalarda kaplamaların servis ömürlerinde artış sağlanabilmesine yönelik önemli kazanımlar elde edilmektedir.

1.2. Konunun Özgeçmişi

Günümüzde bitüm ve bitümlü sıcak karışımların modifiye edilmeleriyle yol üst yapılarının davranışlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Son yıllarda hız kazanan modifiye bitüm ve modifiye karışım çalışmaları, farklı katkı maddelerinin Bitümlü Sıcak Karışımlar üzerindeki performans etkilerini tespit etme konusunda yoğunlaşmıştır.

Bu kapsamda sönmüş kireç, çimento ve Pr plast kullanımı ve performans parametreleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıda özet olarak verilmektedir.

Epps, J. A.; çalışmasında sıcak karışıma sönmüş kireç ilave etmenin, trafik yüklerinin meydana getirdiği gerilmelerin yayılmasına yardımcı olduğunu ve dayanımı artırdığını gözlemiş, genellikle kalıcı deformasyon diye nitelendirilen tekerlek izi potansiyelini azalttığını vurgulamıştır [2].

Johannson, L; bitümlü kaplamalarda soyulma önleyici katkı olarak hidrate olmuş kireci kullandığı çalışmasında; kirecin bitümün erken yaşlanmasını geciktirdiğini ve böylece adezyon mekanizmasını iyileştirdiğini tespit etmiştir [3].

Rogge, D. F. , Leahy, R. B. ve Blair, R.; çalışmalarında, kuru sönmüş kireç veya kireç harcı katılarak yapılan iyileştirilmiş asfaltların yaşlanma ve genel reolojik özellikleri üzerinde sağladığı gelişmeleri araştırmış ve sönmüş kirecin sadece yüksek sıcaklıkta değil düşük sıcaklıkta da kaplama dayanımını olumlu yönde etkilediğini tespit etmiştir [4].

Jones, G. M.; Batı Araştırma Enstitüsü kapsamında yaptığı çalışmada sönmüş kirecin kaplamanın sertleşme özelliği üzerindeki etkilerini araştırmış ve %1,5 oranındaki kuru ağırlıktaki sönmüş kirecin kaplamada yaşlanma sertleşmesini azaltmada yeterli katkıyı sağlayacağını tespit etmiştir. Bu katkı, Utah DOT tarafından yönetilen saha çalışmalarında da doğrulanmaktadır [5].

Radenberg, M.; sönmüş kirecin kaplamanın su hassasiyetine katkıları ile ilgili %1-1,5 oranlarında sönmüş kireç kullanarak tekerlek izi testleri uyguladığı araştırmasında sönmüş kirecin olumlu etkilerini ortaya koymuştur [6].

Aschenbrener, T. ve Far, N. ; çalışmalarında, sönmüş kirecin dönel tekerlek laboratuar sonuçları (Colarado, Georgia) doğrultusunda kalıcı deformasyon, özellikle de tekerlek izi direncini yükselttiği tespitinde bulunmuşlardır [7].

Shuler, açık gradasyonlu karışımı soyulma davranışı açısından incelediği çalışmasında, üç ayrı bitümü hem soyulma önleyici sıvı katkı maddesi ve hem de hidrate olmuş kireçle birlikte kullanmıştır. Bitümlü bağlayıcıları, verilen bir polimerle de modifiye ederek soyulma açısından inceledi. Testleri optimum bağlayıcı oranında yürüterek, sönmüş kireç katkı maddesinin ilavesi ve bağlayıcıların modifikasyonu ile kaynama testi sonucunda soyulmanın azaldığını belirlemiştir [8].

Mohammed, L. ve Abadie, G.P.'e göre sönmüş kirecin sıcak karışım asfalta karıştırıldığında oluşturduğu yararlarından birisi de "birlikte çalışma" özelliğidir. Yararlar,

bireysel kullanıldıklarında belirli olmalarına karşın, polimer katkılarla bir arada kullanıldıklarında çok daha fazla artmaktadır. Araştırmalar kireç ve polimerlerin bir arada kullanıldığında yalnız başlarına kullanılmalarına oranla oldukça büyük iyileşmelerin gözlemlendiğini ortata koymuştur [9].

Acar, S.O., Tapkın S. ; numune içerisindeki çimento miktarı arttıkça Marshall stabilitesinin arttığı, yorulma açısından da normal numunelere göre kriterlere bağlı olarak %15 ile % 22 arasında fazla ömür gösterdiklerini kaydetmişlerdir [10].

Taha, R. ve diğerleri; çalışmalarında en iyi sonuçların % 5 çimento katkılı yapılan çalışmalarda sağlandığını ve % 5 oranından daha fazla kullanılacak oranların daha fazla bitüm ihtiyacı doğuracağını ve bununla tasarımı ekonomiklikten uzaklaştıracağını vurgulamıştır [11].

Huschek, S., Angst, C.; çalışmalarında karışım sırasında oluşan portland çimentosu-bitüm pastasının doğal filler-bitüm pastasından elasto-plastik ve adhesif davranışlar açısından farklılıklar gösterdiğini, portland çimentolu numunelerin elastik ve kalıcı deformasyon açısından farklı davranışlar sergilemesinin buna bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir [12].

Önal, M., Aray, S., Orhan, F. ; Pr plast, sıcak karışım asfaltlara karıştırıldığında stabilite değerlerinde artış olduğu, koşullandırma sonucunda stabilite değerlerinde önemli bir düşüş görülmediğini belirtmişlerdir. Araştırma da polimer ilave edilmesi durumunda, karışımın plastik deformasyonlara karşı direncinin büyük ölçüde arttığı ve uygulamada sıkça rastlanan fazla bitüm kullanımı durumunda dahi tekerlek izi oluşumu açısından karışımın performansında büyük bir kayıp olmadığını gözlemlemişlerdir [13].

Sönmez, İ. ve diğerleri; yaptıkları çalışmada Pr plast katkılı numunelerin bitümlü sıcak karışımların maruz kaldığı yükler, çevre ve diğer olumsuz etkiler karşısında farklılık arz etmekle birlikte, katkı maddesinin birden fazla olumlu etkisi olduğunu, tekerlek izi oluşumunda geleneksel karışımlara göre üstün performans sağladığını gözlemlemişlerdir [14].

Aşık, İ., Aray, S., Önal, M.A. ; çalışmalarında Pr Plast katkılı karışım değerlerinin koşullandırılmış numunelerde dahil olmak üzere stabilite değerlerinde % 35'e varan artışlar sağladığı, indirek çekme mukavemetlerinde de artış olduğu gözlemlenmiştir [15].

Son yıllarda karayollarına olan talep dünyanın her yerinde hızla artmış, trafik ağırlaşmış, dingil yükleri ve lastik basınçları yükselmiştir. Bunun sonucunda saf bitüm ve yoğun granülometrilik klasik asfalt betonunun ihtiyaca cevap veremediği ve beklenen

performansı göstermediği gözlenmiştir. Bu yetersizlik esnek üstyapılarda tekerlek izi oluşumunun, yorulma çatlaklarının ve termal çatlaklarının hızlanması şeklinde ortaya çıkmıştır [20]. Bu durum karşısında bitümlü karışımlarda kullanılan agrega granülometrinin değerlendirilmesi, yeni bir bitümlü sıcak karışım dizayn yönteminin geliştirilmesi ve bitümün karakteristiklerinin iyileştirilmesi konuları üzerinde yoğunlaşma söz konusu olmuştur. Bu bağlamda, sönmüş kireç, çimento ve Pr plast katkılarının bitümlü karışımların performansını iyileştirme yönündeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

1.3. Asfalt Kaplamalarda Karışım Değişkenleri

Esnek yol kaplamalarının en yaygın ve kapsamlı karışım türü olan sıcak asfalt kaplamalar bünyesindeki malzemeler Tablo 1’de verilen karışımı oluşturan ana malzemelerden oluşmaktadır. Bu karışım değişkenlerindeki farklılıklar asfalt betonu karışımının performansı üzerinde önemli değişiklikler meydana getirmektedir.

Tablo 1. Karışım malzeme ve değişkenleri

Asfalt	Tipi
	Sertliği
Agrega	Tipi
	Granülometri
Katkı Malzemesi	Bitümün Modifiye Edilmesi
	Karışımın Modifiye Edilmesi
Karışım	Bağlayıcı oranı
	Boşluk Yüzdesi
	Asfaltla Dolu Boşluk Yüzdesi
	Mineral Agrega İçerisindeki Boşluk Yüzdesi

Tablo 1’de verilenlerin dışında karışımların bağlayıcı oranı, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi, mineral agrega içersindeki boşluk yüzdesi, su hassasiyeti, sıkıştırma derecesi gibi değişkenler de bulunmaktadır.

1.3.1. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm “doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok defa bunların gaz sıvı, yarı katı ve katı olabilen metal dışı türevleri ile bir arada bulunan yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde” olarak tanımlanır. Bitümlü bağlayıcılar esas olarak asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki kısma ayrılırlar [19].

1.3.1.1. Asfalt

Asfalt, doğal halde bulunan ya da ham petrolün damıtılması sırasında elde edilen koyu kahverengi-siyah renkte yarı-katı veya sıvı halde olabilen kuvvetli yapıştırıcı (bağlayıcı) özelliğe sahip hidrokarbonlardan oluşan bağlayıcı bir maddedir. Asfaltlar, kökenlerine göre doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılabilir

Doğal asfaltlar, doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Konumlarına göre göl ve kaya asfaltı diye adlandırılırlar. Trinidad göl asfaltı, en yaygın kullanılan göl asfaltıdır. Trinidad Adası Venezuela sınırlarında Güney Amerika’dadır. Rezervi 10-15 milyon tondur. Rafine edildikten sonra % 55 bitüm, % 35 mineral madde ve % 10 organik madde içerir. Kaya asfaltları ise mineral maddeler ile maksimum % 12 bitüm içerirler. Gilsonite (resin) ve Unitaitte en çok kullanılan kaya asfaltlarıdır [16-17].

Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol, rafinerilerden pompalarla tanklara, buradan da ısıtma kulelerine gönderilerek sıcaklığı yükseltilir ve damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Bunlar hafif ürünleri, daha az uçucu olanlar orta ürünleri, en ağır uçanlar ise ağır ürünleri meydana getirirler [18]. Asfaltı içeren kalıntı maddeleri ise kulenin dibinde birikir. Bu şekilde ham petrol başlıca beş kısma ayrılmış olur:

- 1-Benzin (Gazolin),
- 2-Gaz yağı (Kerosen),
- 3-Dizel yağları (Mazot),
- 4-Yağlama yağları,
- 5-Ağır kalıntı maddeleri.

Bunların hepsine gerektiğinde tekrar damıtma işlemi uygulanarak daha değişik petrol ürünleri elde edilir [18].

1.3.1.1.1. Asfalt Çimentoları

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Asfalt çimentoları AC ile gösterilirler ve 10-300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar (Tablo 2). Bu penetrasyon asfaltları daha sert olanların daha yumuşak olanlar ile karıştırılmasından elde edildiği gibi sert olanların yüksek kaynama noktalı bir yağ ile yumuşatılması suretiyle de elde edilebilir [19].

Tablo 2. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması

PENETRASYON SINIFLAMASI	VİSKOZİTE SINIFLAMASI
40-50 Pen AC	AC-20
60-70 Pen AC	AC-40
85-100 Pen AC	AC-10
120-150 Pen AC	AC-5
200-300 Pen AC	AC-20,5

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. Asfalt çimentolarının tamamı agregalar ile karıştırılmadan önce belirli derecelere kadar ısıtmaya ihtiyaç gösterirler.

1.3.1.1.2. Okside Asfalt (Blown Asfalt)

Aritma işlemi sonunda ele geçen kalıntı içerisinde hava geçirerek yarı katı asfaltlara yeni özellikler kazandırılabilir. Bu iş için normal damıtma, kalıntı henüz sıvı iken kesilir. Bu sıvı kalıntı ayrı bir tanka alınır ve yüksek sıcaklıkta tutularak içerisinde hava geçirilir. Böylece çok sert olan blown asfaltlar elde edilir [19].

Okside asfaltlar genellikle kaplamalarda kullanılmaz. Daha özel amaçlar için yalıtım işlerinde, elektrik, otomobil veya boya sanayinde kullanılır [20].

1.3.1.1.3. Sıvı Petrol Asfaltları (Katbek Asfaltı)

Sıvı petrol asfaltları, asfalt çimentolarının farklı özellikli çözücülerle karıştırılarak işlenebilir hale getirilmesi ile elde edilirler. Asfalt çimentosu ile kaynama noktası düşük, yani kolay uçan bir çözücü (benzin, nafta) ile karıştırılarak çabuk kür olan RC Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir. Orta derecede uçucu bir çözücünün (kerosen, gaz yağı) karıştırılması ile de orta hızda kür olan MC Sıvı Petrol Asfaltları ve ağır yağlarla inceltirilerek yavaş kür olan SC Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir [19].

Sıvı petrol asfaltlarının her biri kendi aralarında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılırlar. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakalarının yüzeylerinde yapıştırma malzemesi olarak kullanılırlar [19]. Ayrıca bu tür asfaltlar bitümlü makadam ve ince daneli soğuk asfalt yapımında da kullanılmaktadırlar.

1.3.1.1.4. Asfalt Emülsiyonları

Asfalt emülsiyonları, asfalt çimentosu (dağılan faz) küreciklerinin su (dağıtan faz) içinde dağılmasından oluşur. Bitümün su içerisinde dağılması sadece mekanik bir işlemle (karıştırma) sağlanabilir. Ancak bu şekilde meydana gelen emülsiyon uzun ömürlü olmaz ve kısa bir süre sonra asfalt kürecikleri birbirlerine yapışarak sudan ayrılırlar. Bu durumu önlemek amacı ile emülgatör (emülsiyon verici madde) adı verilen katkı maddeleri kullanılır.

Asfalt emülsiyonları emülgatörün cinsine göre Anyonik, Katyonik ve İyonik olmayan Asfalt Emülsiyonları olmak üzere üçe ayrılır. Bir asfalt emülsiyonu agrega ile

karıştırıldığı veya bir yolun yüzeyine püskürtüldüğünde emülsiyon kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agreganın üzerine yapışır. Bu arada serbest kalan su buharlaşır. Yolda kullanılan asfalt emülsiyonları kesilme hızlarına göre:

- Çabuk kesilen asfalt emülsiyonları (RS),
- Orta hızda kesilen asfalt emülsiyonları (MS),
- Yavaş kesilen asfalt emülsiyonları (SS) olarak üçe ayrılırlar [94].

Asfalt emülsiyonlarının, dünyadaki kullanım miktarları her geçen yıl hızla artmaktadır. Pratikte, yol inşaatı ve bakım uygulamalarında genellikle anyonik ve kationik asfalt emülsiyonu kullanılmaktadır. Bununla birlikte iyonik olmayan asfalt emülsiyonları da, emülsiyon teknolojisi ilerledikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Asfalt emülsiyonları belli başlı olarak;

- 1-Sathi kaplamalarda,
- 2-Karışım kaplamalarda,
- 3-Harç kaplamalarda,
- 4-Yama ve tamir işlerinde,
- 5-Penetrasyon makadam yol kaplamalarında, kullanılmaktadır [19].

1.3.1.2. Katran

Katran, başlıca kömürün veya odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Bu şekilde elde edilen katrana ham katran denir. Genellikle, katran arıtıldıktan sonra kullanılır. Yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir. Katran ya metalurjik amaçlar için kok elde edilmesi veya havagazı üretimi için kömürün kuru olarak damıtılması sırasında bir yan ürün olarak elde edilir. Katranın, agregaya yapışma özelliği asfalttan daha fazla olmasına karşın ömrü asfalttan daha kısadır. Katranlar, yapışma özelliğinden dolayı asfalt çimentoları içerisinde dop olarak da kullanılabilirler [19].

RT (Road Tar) sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre RT-1, RT-2 RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar. Numaralar büyüdükçe kıvamlılık artar.

1.3.2. Agregalar

Kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve diğer mineral bileşiklerin bitümlü bir karışım, portland çimentosu, harç, makadam, mastik vb. bağlayıcı bir ortamda, bir araya gelmelerine ve bu malzemelerin bağlayıcısız kullanılmak üzere (örneğin demir yollarında balast malzemesi) bir araya getirilmiş şekline agrega denir. “Doğal” ve “Suni” olmak üzere ikiye ayrılırlar [18].

1.3.2.1. Doğal Agregalar

Doğal olarak oluşmuş kayalardan fiziksel yolla doğrudan doğruya elde edilirler. Doğal agregaların sınıflandırılmasının daha iyi anlaşılabilmesi için jeolojik birkaç tanımın verilmesinde yarar vardır.

Kayaç; bir veya birkaç çeşit mineralin bir araya gelmesi ile oluşmuş katı bir maddedir .

Mineral; doğal yollarla oluşan, kimyasal yollarla gösterilebilen, genellikle homojen kristal yapısı olan inorganik maddelerdir. Yerkabuğunu teşkil eden kayalardaki mineraller başlıca oksijen, alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum ve daha az olarak diğer elementlerden ibarettir.

Kayaçlarda mineralojik ve kimyasal bileşimle birlikte, taşın yapı ve dokusunun oluşumunun ve jeolojik durumunun da önemi büyüktür. Örneğin bir granit, bir gnays ve bir arkoz tamamen aynı mineralojik ve kimyasal bileşimde olabilirler. Yani aynı oranda feldspat, kuvars ve mika mineralleri ihtiva edebilirler. Fakat görünüş, jeolojik durum ve oluşumları bakımından birbirlerinden tamamen farklıdırlar [19].

Kayaçlar kökenlerine göre üçe ayrılırlar:

- a. Magmatik (Püskürük) Kayaçlar
- b. Sedimanter (Tortul) Kayaçlar

c. Metamorfik (Başkalaşım) Kayaçlar

a. Magmatik Kayaçlar

Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan magmanın katılaşması ile meydana gelirler. Bu katılaşma yeryüzünde olabildiği gibi, yerkabuğunun derinliklerinde büyük kütleler halinde yeraltındaki tabakalar arasında veya yarık ve çatlaklar içinde damarlar halinde olabilir. Böylece magmanın yeryüzünde katılaşması ile dış püskürük kayaçlar, derinlerde katılaşması ile derinlik kayaçları (veya iç püskürükler) ve damarlar halinde katılaşması ile de damar kayaçları oluşurlar. Dış püskürük kayaçlar ani soğumadan dolayı küçük kristalli, derinlik kayaçları ise yavaş yavaş soğuduklarından iri kristallidirler. Örneğin, bazalt, andezit dış püskürük, granit, gabro derinlik taşı, granit porfir, aplitler, pegmatitler damar taşlarıdır [19].

Magma yer kabuğunun derinliklerinde bulunan, çok sıcak viskoz ve kompleks bileşimli doğal eriyiklerdir. Bünyelerinde silikatlar, oksitler, sülfürler, uçucu elemanlar vb. vardır. Çeşitli magma tiplerinde magmatik diferansiasyonlar çok karışık fizikokimya olaylarıdır. Magmanın çeşitli derinliklerinde soğuma süratinin farklı olması sonucunda, kristalleşme ve taşın dokusu farklı olur. Ayrıca kristalleşmeye başlayan minerallerle, henüz sıvı halde olan magma arasında ve yeni teşekkül etmekte olan bir mineralle, önceden oluşmuş mineraller arasında reaksiyonlar meydana gelir. Bütün bu kompleks olayların sonucunda yerkabuğunu teşkil eden pek çok magmatik taş cinsi ortaya çıkar.

b. Sedimanter (Tortul) Kayaçlar

Her türlü taşın dağılması, bu dağılan parçaların veya eriyiklerin nakledilmesi, deniz veya göl dibi gibi sedimantasyon havzalarında tortullaşması ve daha sonra bunların katılaşması ile meydana gelen taşlara tortul kayaçlar denir. Tortul kayaçların başlıca özellikleri tabakalı olmaları ve içlerinde fosil ve canlıların iz ve kalıplarının bulunabilmesidir. Sedimanter kayaçlar oluşum tarzlarına göre üçe ayrılırlar.

- Klasik (Mekanik) tortul kayaçlar
- Kimyasal tortul kayaçlar
- Organik tortul kayaçlar

Klasik tortul kayaçlar; yerkabuğunda mevcut taşların çeşitli nedenlerle ufalanıp parçalanması ve sonra bu parçaların su ve rüzgâr gibi etkilerle çukur yerlerdeki sular içinde birikmesi ve parçaların diyajenetik (bir nevi çimentolaşma) olaylarla birleşip katılaşması ile oluşurlar. Örneğin kumtaşı (gre), konglomera, kalker, marn birer tortul kayadır. Ayrıca parçalar birbirleri ile birleşmemiş halde bulunarak doğrudan doğruya agrega ocakları teşkil edebilirler (kum, çakıl ocakları gibi).

Kimyasal tortul kayaçlar; çözünebilen minerallerin, çözüntüdeki suyun uçması, çöktürücü bir maddenin karışması ile çözüntüden ayrılıp çökmeleri sonucunda oluşurlar. Bu grupta bulunan kayaçlar daha ziyade kayacın kimyasal bileşimine dayanarak karbonatlı (kalkerler), silisli (kimyasal çörtler), demirli (oolitik demir mineralleri) fosfatlı (kuvars taneli fosfatlar) tuzlu (tuz, anhidrit, jips) olmak üzere çeşitli gruplara ayrılabilir.

Organik tortul kayaçlar; Bunların oluşumunda esas rolü canlılar oynar. Organik tortul kayaçlar karbonatlı (organik kalkerler), silisli (diatomit, radiolarit) veya karbonik (kömürler) olabilirler.

c. Metamorfik (Başkalaşım) Kayaçlar

Magmatik veya tortul kayaçların yüksek ısı ve ya yüksek basınç su buharı ve türlü bileşimdeki gazlar etkisi veya mekanik olarak şekil değiştirmesi ile değişik bir yapı-doku ve mineralojik bileşim kazanması sonucunda oluşurlar. Metamorfizma sonunda ya taşın mineralleri kristal şeklini değiştirir veya eski minerallerin yerine yeni mineraller teşekkül eder. Bütün bu hallerde taşın kimyasal bileşimi aynı kalabilir veyahut ta madde ilavesi veya madde eksilmesi olabilir. Metamorf taşlara örnek olarak verebilecek ve tanınan bir taş olan mermer, kalkerlerin değişiminden meydana gelir.

1.3.2.2. Suni Agregalar

Endüstriyel işlemler sonucunda elde edilirler. Asfalt kaplama inşaatında kullanılan başlıca suni agregalar şunlardır.

a. Cüruf

Demir filizinin endüstride indirgenmesi sırasında artık madde olarak yüksek fırınlardan elde edilen cüruf en fazla kullanılan suni agregadır. Cüruf kalsiyum, alüminyum ve magnezyumun çeşitli kompleks karışımıdır [18].

b. Klinker

Fırınlardan bir artığı olup, küllerin eriyerek topraklar halinde gelmesinden oluşur. Klinker çok değişebilen bir malzemedir. Bu yüzden yalnız bu iş için hazırlanmış şartnamelere uygun klinkerler asfalt kaplama yapımında kullanılabilirler [18].

c. Çimento

Çimento, ilave edildiği bitümlü karışımda sadece filler olarak görev görür. Çimentoların filler olarak kullanılmasına neden çimentonun bağlayıcı özelliğinde yararlanmak değildir. Çimento standart granülometrik bileşimleri, saflıkları ve bitüm bağlayıcılarla herhangi bir reaksiyona girmediği için filler olarak kullanılmaya çok elverişlidir [18].

1.3.2.3. Bitümlü Kullanılan Agregalar

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, sedimanter, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için TCK şartnamelerinde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Ancak istenen bütün koşulları sağlayan bir agrega yol yapımında kullanılmalıdır.

Agregalar boyutlarına göre üç grupta incelenebilir:

- a. Kaba agrega (4.75 mm'lik elek üzerinde kalan)
- b. İnce agrega (4.75 mm'lik elekten geçip 0.075 mm'lik elek üzerinde kalan)
- c. Mineral filler (0.075 mm'lik elekten geçen)

Her agrega grubunun karışıma sağladığı nitelikler farklı olmasına karşın, karışım tüm olarak mütalaa edildiğinde fiziksel özellikleri ve granülometrik bileşimleri yüzünden şartnamelerde istenilenlere uyması gerekir.

Bu üç grup malzemenin her biri bitümlü karışımın ayrı ayrı özelliklerini kontrol eder. Burada kısaca, bitümlü karışımların bir takım önemli özelliklerini kontrol eden mineral fillerden bahsedeceğiz. Mineral filler, toplam agreganın çok küçük yüzdesini teşkil etmesine rağmen karışımın özelliklerinin düzeltilmesindeki etkileri çok önemlidir. Genellikle mineral filler agreganın 0.075 mm'lik eleği geçen kısmı olarak tanımlanır. Ancak 0.075 mm'den daha ince olan bütün malzemeler filler görevi görmezler. Mineral fillerin 0.075 mm'yi geçen kısmı düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalı ve aynı zamanda 0.001 mm'den daha ince boyuttaki taneleri dahi içermelidir. Granülometrik bileşim mineral filler için önemli bir özelliktir. Her ne kadar 0.075 mm'lik eleği geçen malzemeler olarak tanımlanırsa da bu konuda konulan şartnamelerde üst sınır genellikle 0.600 mm'den başlar. Tane biçimi de mineral fillerin etkenliğinde önemli rol oynar. Köşeli taneler yassı, uzun ve düz tanelere tercih edilir. Bu arzu edilmeyen biçimdeki tanelerin yüzdesinin artması fillerin niteliğini düşürür. Filler kimyasal bakımdan atıl olmalı, yani bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Ayrıca bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklıkta bir değişime uğramamalı, bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu göstermelidir. Kalker tozu, portland çimentosu ve silisli malzeme tozu çokça kullanılan mineral fillerden bazılarıdır [19].

1.4. Asfalt Kaplama Problemleri

Yol üst yapısında meydana gelen gerilmeler iki gruba ayrılabilir [21]:

1. Trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeler,
2. Sıcaklık ve nemin (iklim koşullarının) değişiminden doğan gerilmeler,

Bu gerilmelerin etkisiyle, yolların performansı ilk yapıldıkları yıllara nazaran giderek düşer ve bir müddet sonra yollar kullanılamaz hale gelebilir.

Yolların, bu bozulma sürecinde, yüksek hız ve hacimde trafiğe hizmet edebilme yetenekleri ile sahip oldukları sürüş konforu değerlendirilerek, bir servis yeteneği indeksi

kavramı geliştirilmiştir. AASHTO tarafından geliştirilen bu dereceleme, yol üzerinde yapılan bir dizi fiziksel ölçüm (tekerlek izi oluşumu, çatlak uzunluğu, yama miktarı vb.) yapılarak saptanır [22].

1.4.1. Bozulma Ölçütleri

Yol üst yapı deformasyonu yol trafiğe açıldıktan sonra tabii zeminde ek sıkışma ya da hareket şeklinde görülen zayıflığın ya da temel tabakasında oluşan ek sıkışmanın sonucudur. Bozulma ölçütleri; servis yeteneği indeksi, tekerlek izi derinliği, çatlak oluşumu ve defleksiyon olarak dört ana başlık altında toplanabilir [23].

1.4.1.1. Servis Yeteneği İndeksi

Bir kaplamanın performansı, uzun süre taşıtların emniyetli ve konforlu olarak seyahat edebilmelerinin göstergesidir. AASHTO-1986 tasarım yönteminde kaplamanın performansı 'servis yeteneği' kavramı ile tanımlanmaktadır. AASHTO yol testinde kaplamanın başlangıçta sahip olduğu ve belirli bir kullanımı sonunda azalan servis yeteneğine göre kaplamanın performansının nasıl değiştiğini saptamaya çalışılmış ve buna göre tasarım formülleri geliştirilmiştir.

1.4.1.2 Tekerlek İzi Derinliği

Tekerlek izi derinliğinin, belirli bir düzeyi aşması durumunda, yol sathı bozulmuş kabul edilir ve tekerlek izi derinliğinin büyüklüğüne göre, bakım ya da onarım kararı verilir. Tekerlek izi oluşumu 1,0-2,5 cm'yi aşan yollarda, onarım, bakım kararı verilmektedir.

1.4.1.3. Çatlak Oluşumu

Yol üstyapısında, basınç ve çekme gerilmelerden dolayı, yol eksenine paralel veya dik doğrultuda oluşan yarılmalardır. Genel olarak 6 mm'den büyük genişlikteki çatlakların

artması ve trafik altında çatlak kenarlarının kopması, kırılması çatlak açısından yolun bakım gerektirdiğinin bir işareti olarak görülmelidir [23].

1.4.1.4. Defleksiyon

Esnek bir üstyapının, üzerinden geçen tekerlek yükleri altında, düşey yöndeki geçici deformasyona ‘defleksiyon’ denir. Üstyapının yük altında gösterdiği defleksiyon, elastik deformasyon şeklindedir yani yükün uygulanmasıyla oluşan defleksiyon yükün kalkmasıyla geri döner. Ancak, trafik yükünün kısa aralıklarla tekrarlanması nedeniyle, yol üst yapısı sürekli geri gelen deformasyonların etkisinde kalır ve yorulma oluşur. Başka bir deyişle, yüksek defleksiyonlar üstyapının zayıflığının göstergesidir ve defleksiyonlar arttıkça yol üstyapısındaki bozulmalarda artar.

Defleksiyonun belirlenmesi için tüm dünyada kullanılan bazı ölçüm cihazları ;

- Dynaflect
- Road Rater
- Dynatest Falling Weight Deflectometer
- KVAB Falling Weight Deflectometer
- Phoenix Falling Weight Deflectometer

olarak sıralanabilir [24].

Defleksiyon ölçümleri sonucunda bulunan değerlerle birlikte, üst yapı malzemesi ve diğer parametreler kullanılarak yolun bakıma gereksinimi olup olmadığına karar verilmektedir.

1.4.2. Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri

Yol üstyapısında meydana gelen bozulma türleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [25].

1.4.2.1. Oturma ve Çökme

Bu tip bozulmalar, üstyapının dizayn edildiği trafikten daha ağır trafiğe maruz kalmasından ya da dengeli bir yapıya sahip olmayan malzemenin kullanıldığı kaplama altındaki tabakaların oturması, çökmesi, büzülmesi ve kabarması gibi nedenlerle meydana gelir.

a) Oturmalar

Kaplama altındaki malzemenin oturması sonucu oluşur. Nedenleri aşağıda sıralanmıştır [45]:

- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- Taban, alttemel veya temel tabakalarında yetersiz sıkışma,
- Üstyapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması,
- Dolgu şevinde hatalar,
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği,
- Yetersiz drenaj,
- Uygun olmayan bakım teknikleri,

b) Çökmeler

Çökme, kaplama yüzeyinin ötelenmesini de içeren yerel bir plastik hareket biçimidir. Orijinal kaplama yüzeyine göre düşük kotta kalmış küçük çukurluklardır. Derinlikleri 2,5 cm ya da daha fazla olabilmekte ve yağmurlardan sonra içlerine su dolmaktadır. Çapları değişkendir. Nedenleri aşağıda sıralanmıştır [45]:

1. Temel ve alttemel tabakalarının stabilite yetersizliği,
2. Kaplamanın yapım sırasında yetersiz olarak belirli bir bölgede sıkıştırılması,
3. Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi,
4. Temel ve alttemel malzemelerinin kille karışması,
5. Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması
6. Kötü işçilik ve yapım hataları

1.4.2.2. Tekerlek İzi Oluşumu (Oluklanmalar)

Tekerlek izi oluşumu ya da oluklanma asfalt kaplamaların tekerlek geçen kısımlarında oluşan kalıcı karakterdeki deformasyonlardır. Tekerlek izi oluşumu, trafik hareketleri altında bir veya birkaç alt tabakanın konsolidasyonundan, yanıl hareketinden veya aşınma tabakasının şekil değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.

Tekerlek izi oluşumu, bitümlü sıcak karışımlar ya da road-mix karışım tipi kaplamalarda, tekerlek etkisiyle oluşmaktadır.



Şekil 1. Tekerlek izi hasarı örneği [46].

Oluklanmalar (tekerlek izleri), kaplamanın altındaki bir ya da birden fazla tabakada, trafik etkisinin neden olduğu dansifikasyon ya da yanıl hareketlerle oluşan yer değiştirmelerdir. Başka bir ifadeyle oluklanmalar, trafiğin izler boyunca meydana getirdiği kalıcı deformasyonların birikimidir (Şekil 1).

Nedenleri üç ana başlık altında sıralanmıştır [45]:

1. Asfalt tabakasıyla ilgili nedenler :

a. Yüksek bitüm yüzdesi,

- b. Filler malzemesinin fazlalığı,
- c. Yuvarlak malzemelerin karışımda kullanımı,
- d. Karışımın yetersiz sıkışması,
- e. Uygun olmayan gradasyon
- f. Ağır trafik ve tek şeritte hareket eden trafik nedeniyle kaplama tabakasının fazla sıkışması,
- g. Serim kalınlığının fazla olması,
- h. Kaplamanın taşıt trafiğine erken açılması

2. Alt tabakalarla ilgili nedenler :

- a. Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- b. Doğal zeminin konsolide oluşu,
- c. Doğal zeminin ve üst tabakaların yanal hareketleri.

3. Çevresel nedenler :

- a. Ağır ve yüksek sayıda tekerrür eden yük,
- b. Sıcak iklim koşulları.

Ağır taşıt trafiği, iz ve olukların oluşumundaki en önemli etkidir. Yüksek dingil yükü, yüksek lastik basıncı, yükün sık tekrarı ve yavaş seyreden hızdaki ağır araçlar olumsuz etkilerdir.

İzler ve oluklar aşağıdaki olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olurlar.

- a. Suların toplanmasıyla, kayma tehlikesinin artması ve soğuk havalarda ince buz tabakalarının oluşması,
- b. Seyir konforunun düşmesiyle birlikte, şerit değiştirmek isteyen hızlı araçlar için tehlike oluşması [23].

1.4.2.3. Ondülasyonlar

Ondülasyonlar özellikle sıcak havalarda tekerleklerinde mekanik etkisi ile ötelenerek yol eksenine dik ya da paralel olarak oluşan yüzey bozulmalardır. Yol yüzeyinde ondülasyon, tepecik, çukurlaşma ve düzensizlikler görülür. Bu sapmalar sürüş konforu ve sürüş güvenliğinde düşmelere neden olurlar.

1.4.2.4. Kabarmalar

Satın tabakasının lokal olarak yukarıya doğru hareketidir. Genellikle doğal zeminin ve üst tabakaların şişmesiyle ortaya çıkar. Doğal zeminin şişmesi aşağıdaki durumlarda söz konusudur:

- a. Doğal zemindeki suyun donması ve çözülmesi,
- b. Doğal zeminin, su etkisi ile şişme karakterine sahip olması [26].

1.4.2.5. Çatlaklar

Çatlaklar; genellikle aşırı dingil yüklerinden ve bunların fazla tekrarından oluşurlar. Çatlaklar, dingil yükünün kaplama tabakası altında meydana getirdiği gerilmeleri, kaplama malzemesinin mukavemetini aştığı zaman oluşur.

Ayrıca araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarıyla ortaya çıkan yatay kuvvetler de çatlaklara neden olabilir.

Bu etkilerin dışında bir takım dış etkenler, kendi başlarına ya da trafik etkisiyle de çatlaklar oluşturabilir. Şöyle ki;

- Sıcaklık değişimleri, su absorpsiyonu yüksek agrega kullanımı, asfalttaki uçucu maddelerin buharlaşması,
- Nem ve sıcaklık değişimleri, alt tabakalarda kireç stabilizasyonu yapılırken ya da çimento ile kür olurken doğan hacim değişikliklerinin yansıması.

Çatlamada, asfaltın çekme mukavemeti en önemli rolü oynar. Hızlı yüklemelerde ve soğuk havalarda çekme mukavemeti artış gösterirken yavaş yüklemelerde ve sıcak havalarda düşmektedir. Trafik etkeni ve hacim değişiklikleri dışında, çatlama neden olan hususlar şunlardır [45]:

- a. Fazla miktarda yük tekrarı (yorulma),
- b. Kaplama (satih) tabakasının yetersiz kalınlığı,
- c. Kaplama altındaki tabakaların yetersiz kalınlığı,
- d. Kaplama altındaki tabakaların yüksek deformasyonları nedeniyle, malzemelerin dağılımı, ayrışımı
- e. Yetersiz drenaj,
- f. Don tesirine duyarlı olan temel ve alttemel malzemeleri,
- g. Satih ve banketlerdeki nem farklılıkları,
- h. Yanal desteklerin (banketlerin) yetersizliği,
- i. Araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarından oluşan yatay kuvvetler,
- j. Karışım tipi kaplamalarda, yapım sırasında finişerin sık sık durması,
- k. Yol kaplama yapımında derzlerin (ek yerlerinin) dikkatsiz yapılması.

1.4.2.6. Ayrılma, Ayrışma ve Parçalanmalar

Ayrılma, ayrışma ve parçalanma tipi bozulmalar, agregaların iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile kaplamadan koparak ayrılmasıyla meydana gelir. Bağlayıcının yerinde kalan agregadan ayrılması anlamına gelen “soyulma” bağlayıcının yine agregadan ayrılarak yüzeye çıkması demek olan “kusma” ve agreganın pürüzlülüğünü kaybetmesi anlamına gelen “cılalanma” da bu tip bozulmalar arasında incelenebilir.

Bitümlü bağlayıcı filmi ile agrega arasındaki adezif bağın zayıflaması sonucu oluşan soyulma her iklimde karşılaşılabilen problemlerden biri olarak ortaya çıkmakta ve çeşitli durumlarda çok önem kazanmaktadır [27]. Soyulma birçok nedene bağlı olarak ortaya çıkabilir.

Bu tip bozulmaların genel nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

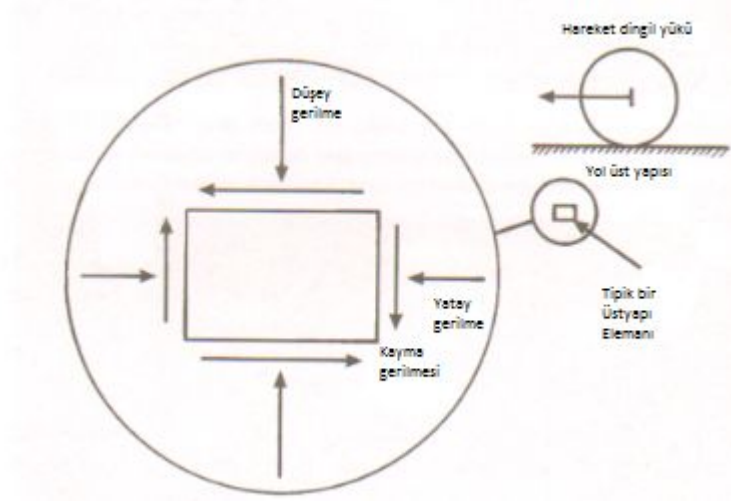
- Bağlayıcının mekanik etki ile kopması,

- Karışımın kötü kalitede olması, (özellikle düşük asfalt yüzdesi, çok düşük veya çok yüksek filler yüzdesi, kirli agrega kullanılması)
- Yüzey tabakasının ince olması
- Granüler alttemel ve temele tabandan kil yükselmesi,
- Drenaj yetersizliği,
- Yetersiz sıkışma,
- Nemli ve soğuk havada yapım,
- Plentte asfaltın aşırı ısıtılması,
- Yapım sırasında segregasyon oluşması,
- Ayırışmayı kolaylaştıracak kuma oluşması,
- Kimyasal maddelerin (özellikle tuz ve yağların) etkisi,
- Yüzey tabakasının alt tabakaya iyi yapışmaması,
- Su ve kil etkisi ile soyulma [28].

1.5. Performans Derecelendirme Yöntemleri

Yol üst yapısının analitik olarak tasarlanabilmesi, üstyapı tabakalarında kullanılan malzemelerin ve karışım özelliklerinin belirlenerek kullanılmasına bağlıdır. Bu konuda yapılan araştırmalarda laboratuvar deneyleri yaygın olarak kullanılmış olup elde edilen sonuçlar bitümlü karışımların mekanik davranışları hakkındaki temel bilgilerin edinilmesini sağlamıştır.

Arazideki gerilme şekilleri laboratuvarda güçlkle sağlanabilmektedir. Gerçek gerilme şekli üç boyutludur ve Şekil 2’de zemin elemanının gösterilen düzlemlerine dik düzlemlerde de normal ve kayma gerilmeler mevcuttur. Tekerlek bu zemin elemanı üzerinden geçtikçe gerilmeler zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu karmaşık gerilme hali laboratuvar ortamında doğru bir şekilde henüz benzeştirilmemekle birlikte dinamik üç eksenli deney sistemi, kayma gerilmelerinin yön değiştirmesi hariç diğer gerilme durumlarını sağlayabilmektedir.



Şekil 2. Yol üstyapısındaki bir eleman üzerindeki gerilmeler

Sonuç olarak, arazideki davranışın belirli bazı yönlerinin laboratuvar ortamında tekrarlanmasını sağlayabilecek basitleştirilmiş deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler üç gruba ayrılabilir [25]:

- Temel deneyler
 - Dinamik üç eksenli basınç deneyi
 - Sünme deneyi
 - Dinamik endirekt çekme deneyi
 - Dinamik rijitlik ve yorulma deneyleri
- Benzeşim deneyleri
 - Tekerlek izi deneyi
- Ampirik deneyler
 - Marshall deneyi

Bu çalışmada performans derecelendirme yöntemlerinden Marshall Deneyi üzerine çalışılmıştır.

1.5.1 Marshall Deneyi

Marshall deneyinin esası, Mississippi Eyaleti Karayolları İdaresi (Mississippi State Highway Department) bitümlü malzemeler mühendisi olan Bruce Marshall tarafından ortaya konulmuştur. 1948 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Askeri Mühendislik Birimi tarafından Marshall'ın deney yöntemine belirli özellikler eklenmiş ve sonuçta karışım tasarımı için bazı kriterler geliştirilmiştir [29].

Marshall deneyinde, numunenin göçmeden taşıyabileceği maksimum yük Marshall stabilitesi ve göçme anına kadar oluşan deformasyon miktarı ise Marshall akması olarak adlandırılır. Stabilitenin akmaya oranı Marshall bölümü (Marshall Quotient) olarak bilinmekte olup bu faktör karışımın kalıcı deformasyona karşı direncinin bir ölçüsü olan bir tür “ampirik” rijitlik değeridir [30].

1.6. Katkı Maddeleri

Bitümlü bağlayıcıların ve karışımların modifiye edilmesi yeni bir konu olmayıp özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Günümüzde birçok değişik madde asfalt ve modifiyerleri olarak kullanılmakta. Tüm bu maddelerin kullanılmasının amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesidir.

Çok yüksek molekül ağırlıklı uzun zincirli polimerler, farklı ölçütlere dayanılarak sınıflandırılmaktadır. Yöntemlerden birisi, polimerleri elastomerler ve plastomerler olarak iki genel kısımda incelemektedir. İki kısım arasındaki temel fark, deformasyona karşı direnç mekanizmalarıdır. Elastomerlerin yük-deformasyon davranışı, kauçuk (rubber) bandın davranışına benzemektedir. Şöyle ki, çekme gerilmesinin artmasıyla uzama artmakta, yükün kalkmasıyla başlangıçtaki durumuna dönebilmektedir. Diğer yandan, plastomerler yüksek erken dayanım oluşturmakta fakat daha az esnek ve yüksek şekil değiştirmelerde elastomerlerden daha kırılabilirler [31].

Son yıllarda kullanımı oldukça artan modifiye bitümler ve modifiye karışımlar konusundaki çalışmalar ve yayınlarda farklı tip katkı maddelerinin karşılaştırmasından katkı maddesi olarak polimerlere ilginin arttığı ve bitüm katkı maddeleri sınıflandırılırken polimerler temel alınarak, polimer olan katkı maddeleri ve polimer olmayan katkı maddeleri şeklinde sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu biçimdeki bir sınıflandırmaya göre bitüm modifikasyon tipleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Bitüm modifikasyon tipleri [45].

Bitüm Modifikasyon Tipleri	
Modifikasyon Tipleri	Örnekler
I. Polimer olmayan katkıyla modifikasyon 1. Fillerler 2. Soyulma önleyici katkılar 3. Ekstenderler 4. Anti-oksidanlar 5- Organo-metal bileşimleri 6- Diğerleri	Kil, karbon siyahı, uçucu kül Organik aminler ve amidler, sülfür Çinko antioksidanlar, Kurşun antioksidanlar, fenolikler, Organo mangan bileşimleri Organo karbon bileşimleri
II. Polimer modifikasyon 1. Plastikler a- Termoplastikler b. Termosetler	Polietilen (PE), Polipropilen (PP) Polivinil klorid (PVC), Polistiren (PS) Etilen vinil asetat (EVA) Epoksi reçineler
2. Elastomerler a. Doğal kauçuklar b. Yapay elastomerler	Sentetik-butodien kopolimer (SBR) Stran-butodienstran kopolimer (SBS), Etilen-propilendien kopolimer (EPDM) Isobüten-İsopren kopolimer (IIR)
3. İşlenmiş kauçuklar	
4. Fiberler*	Polyester, fiberler, Polipropen
III. Kimyasal reaksiyon modifikasyonu	Katkı reaksiyonu , Bitüm+Sülfür, Bitüm+Nitrik asit

Bazı başka fiber malzemeleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Fiber malzemeler (*) [45].

Bazı Başlıca Fiber Malzemeleri		
Doğal Fiberler	Yapay Fiberler	
	Organik tip	İnorganik tip
Selüloz	Polipropilen	Karbon
Yün	Polyester Poliüretan	Cam
Asbestler (Sikat)	Aromatik polimidler	Çelik

Yaygın olarak kullanılan kimi modifiyerlerin bitüm özellikleri üzerindeki etkisi Tablo 5’ de verilmektedir

Tablo 5. Modifiyelerin etki alanları [45].

Değişmiş Sonuç Özellikleri ile Bazı Yaygın Kullanılan Modifiyelere Etkidiği Özellikler	
	Kimyasal Katkıların Rolü
Yağ	Bitümün yapısı Bağlayıcılık Viskozite Penetrasyon değeri Yumuşama noktası
Filler tozu	Yumuşama noktası Viskozite Sertlik Yoğunluk Maliyet Mekanik sağlamlık
Fiberler	Tiksotropik Çatlak direnci Viskozite
Balmumu	Viskozite (sıcak) Sertlik (soğuk) Bağlayıcılık Adezyon
APP (Ataktik polipropilen) EVA (Etilen vini asetat)	Sertlik Penetrasyon değeri Frass kırılma noktası Yumuşama noktası
SBS (stren-butodien-stren)	Penetrasyon değeri Yumuşama noktası Elastik geri dönüş Düşük sıcaklık kırılmanlığı
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite Islatma kabiliyeti Uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti Adezyon

Belli başlı üstyapı sorunlarına karşı, bağlayıcı ve üstyapı karışımının iyileştirilmesi için, yukarıdaki sınıflandırmalarda görülen ve yaygın olarak kullanılan modifiyerler Tablo 6’da verilmektedir

Tablo 6. Üstyapı problemlerine karşılık gelen katkıları [45].

Üstyapının İyileştirilmesi İçin Kullanılan Katkılar	
Problem Türü	Modifiyerler
Yaşlanma	SBR (Stren-butodien) Oksidan Antioksidan Mineral fiber
Yorulma	SBR (Stren-butodien) EVA (Etil vinil asetat) Oksidan
Kalıcı Deformasyon	SBS (Stren-butodien-stren) Mineral filler
Isısal Çatlamlar	SBS (Stren-butodien-stren) Ekstender (Genleştirici)

Asfalt malzemelerin özellikleri, ham petrolün doğasına ve işleme sürecinin gerçekleştirildiği rafineri özelliklerine bağlıdır. Üretilen asfaltlar, endüstride kullanılan asfalt sınıflarına ve nihai tanımlamalara her zaman uyumlu olamamaktadır. Ayrıca, daha yüksek lastik basınçları oluşumu noktasında eğilim söz konusudur. Asfalt kaplamalar, hızlı bozulma ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek için asfalt çimentolarda katkıların kullanımı konusuna ilgi günden güne artmaktadır.

Son yıllarda, asfalt çimentoları için polimer katkıların kullanımı konusunda daha çok ilgi söz konusudur. Polimerlerin yol uygulamasında etkili olabilmesi için bitüme karıştırılması, düşük sıcaklıklarda bitümü çok kırılğan veya karıştırma sıcaklığında modifiye bitümü çok viskoz yapmaması, bu koşullar altında orta ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı (resistance) kalıcı deformasyon, aşınma, çatlama, yorulma, soyulma ve yaşlanma gibi bağlamalarda geliştirmesi beklenmektedir. Diğer bir deyişle, kaplamanın performansını “çeşitli yönleriyle” geliştirmelidir. Birçok polimer, modifikasyon sürecinde kullanılmakta fakat termoplastik elastomerler bitüm katkı maddesi olarak yaygınca kabul

edilmektedir. Polyolefinler daha çok su geçirmez membranların hazırlanmasında kullanılmaktadır, bununla birlikte başka birçok polimer üretilmekte ve önerilmektedir [32].

Çok yüksek molekül ağırlıklı uzun zincirli polimerler, farklı ölçütlere dayanılarak sınıflandırılmaktadır. Yöntemlerden birisi, polimerleri elastomerler ve plastomerler olarak iki genel kısımda incelemektedir. İki kısım arasındaki temel fark, deformasyona karşı direnç mekanizmalarıdır. Elastomerlerin yük-deformasyon davranışı, kauçuk (rubber) bandın davranışına benzemektedir. Şöyle ki, çekme gerilmesinin artmasıyla uzama artmakta, yükün kalkmasıyla başlangıçtaki durumuna dönebilmektedir. Diğer yandan, plastomerler yüksek erken dayanım oluşturmakta fakat daha az esnek ve yüksek şekil değiştirmelerde elastomerlerden daha kırılğan olmaktadır [33].

1.6.1. Katkı Maddelerinin Kullanım Yöntemleri

Modifikasyon işlemi genel olarak iki türlü yapılabilmektedir. Katkı maddesi bitüme katılarak “modifiye bitüm”, katkı maddesi asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılarak, “modifiye karışım” elde edilir.

Bitümün modifikasyonunda, modifiye bitüm çeşitli standart test yöntemleri uygulanarak bitüm özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Böylece, modifiye bitümün özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirmesi yapılabilmektedir. Ancak bitümün modifiye edilmesi yönteminde, bu işlem için genellikle ek ekipmanlar gerekmekte, hazırlanan modifiye bitümün depolanması, taşınması gibi sorunlar söz konusu olmaktadır. Karışımın modifikasyonunda ise katkı maddesi asfalt plentinde karışıma katılabildiğinden ek karıştırma ekipmanı gerekmemekte, depolama, taşıma vs. gibi sorunlarla karşılaşılmamakta; ancak bu durumda da karışımdan modifiye bitümü çekerek özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi uygun olmamaktadır.

Bilindiği gibi bağlayıcı özelliklerin belirlenmesinde uygulanan test yöntemleri, karışım özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan test yöntemlerine göre daha uygun ve daha kısa sürelerde yapılabilmektedir. Karışıma yönelik testlerde, daha uzun sürelerle, daha fazla işlemlere ve daha kapsamlı test ekipmanlarına gereksinim duyulmakla birlikte üstyapı işleyişinin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde daha temsili olmaktadır. Ancak ülkemizde konuyla ilgili kurumlardaki laboratuvarlarda karışımlara yönelik test olanaklarının gelişmiş ülkelere göre düşük bir düzeyde olduğu bilinmektedir.

Karışıma yönelik test olanaklarının ülkemize transfer edilmesiyle gerek klasik üstyapı karışımlarının işleyişlerinin daha sağlıklı bir biçimde belirlenmesi bakımından, gerekse bu karışımların iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak katkı maddelerinin amacına uygun seçilmesiyle büyük yararlar sağlanacaktır [34].

1.6.2. Bitüm Katkı Maddelerinde ve Modifiye Bitümlerde Aranacak Özellikler

Modifikasyonda kullanılacak katkı maddelerinin ve modifiye bitümlerin uygulamada etkili, uygun ve ekonomik olması bakımından bir takım koşulların sağlanması gerekmektedir.

Bitüm katkı maddelerinin şu koşulları sağlaması istenir:

- 1-Kolay elde edilebilmelidirler,
- 2-Karışım sıcaklığında özelliklerini kaybetmemelidir,
- 3-Bitümlü bağlayıcı ile homojen olarak karışabilmelidirler,
- 4-Bitümlü bağlayıcıyı yüksek karıştırma ve serme sıcaklıklarında, çok fazla viskoz hale getirmeden, yüksek yol sıcaklıklarında akışkanlığa karşı dirençlerini arttırmalıdır,
- 5- Düşük sıcaklıklarda asfaltın çok kırılğan ya da sert olmamasını sağlamalıdır,
- 6- Maliyetleri ekonomik olmalıdır.

Katkı maddelerinin bitümlü bağlayıcı ile karıştırılmasından sonra aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir:

- 1- Depolama, uygulama ve hizmet sırasında sahip oldukları özelliklerini korumalıdır,
- 2- Uygun ekipman ile işlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdır,
- 3- Depolama, uygulama ve hizmet sırasında fiziksel ve kimyasal olarak stabil olmalıdır,
- 4- Normal uygulama sıcaklıklarında püskürtülebilme ve agregayı sarabilme akışkanlığını sağlayabilmelidirler.

1.6.3. Bitüm Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması

Bitüm katkı maddeleri çeşitli biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Katkı maddesinin tipini, örneklerini ve katkı maddesinin bitüm kıvamına etkisini gösteren genel bir sınıflandırma Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Katkı maddelerinin genel sınıflandırılması [45].

TİP	ÖZELLİKLER	Modifiyerlerin Asfalt Çimentosunun Kıvamına Genel Etkisi	
1- Filler	<ul style="list-style-type: none"> • Mineral Filler : Taş tozu Kireç Portland çimentosu Uçucu kül • Karbon siyahı • Sülfür 	Sertleştirme	
2- Uzatici (Extender)	<ul style="list-style-type: none"> • Sülfür • Lignin (Odun özü) 	Sertleştirme	
3- Kauçuk a) Doğal lateks b) Yapay lateks c) Blok copolymer d) İşlenmiş kauçuk	POLİMERLER	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal kauçuk • Strene -butadien veya SBR • Strene-butadien-Strene veya SBS • Dönüştürülmüş kauçuk 	*
4-Plastik		<ul style="list-style-type: none"> • Polietilen • Polipropilen • Etil-vinil-asetat, EVA • Polivinil klorid, PVC 	Sertleştirme
5- Bileşim		• 3 ve 4’deki polimerlerin karışımı	*
6- Fiber	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal : Asbest Taş yünü • Yapay : Polipropilen Polyester Fiberglas 	Sertleştirme	
7- Oksidan	• Manganez tuzu	Sertleştirme	
8- Antioksidan	<ul style="list-style-type: none"> • Kurşun karışımları • Karbon • Kalsiyum tuzu 	Yumuşatma	
9- Hidrokarbon	<ul style="list-style-type: none"> • Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları • Sertleştirme ve doğal asfaltlar 	Yumuşama veya Sertleştirme	
10- Soyulma önleyici	<ul style="list-style-type: none"> • Aminler • Kireç 	Yumuşatma	

*Bazı malzemeler, sıcaklık sırasına bağı olarak asfalt çimentosunu sertleştirir ya da yumuşatır.

Üstyapı alttemel, temel ve kaplama tabakaları olmak üzere üç ana tabakadan oluşan bir yapıya sahiptir ve kaplama tabakası ise trafik yüklerine ve çevresel şartların olumsuz etkilerine doğrudan maruz kalmaktadır. Bu nedenle, üstyapının ömrünün uzatılması açısından kaplama tabakasında bağlayıcı olarak kullanılan bitümün bileşiminin ısı değişikliklere, havaya, neme, güneş ışığına (oksidasyona) karşı dayanımının yüksek olması önemlidir. Bu etkilere karşı dayanımının artırılması için bitümün modifiye edilmesi çalışmaları oldukça önemlidir.

1.7. Kullanılan Katkı Malzemeleri

1.7.1. Kirecin Özellikleri

Kirecin hammaddesi olan kireçtaşı ve kalker, genellikle kalsiyum karbonat (CaCO_3) dan oluşur. İçindeki kalsiyum karbonat oranını baz alarak yapılan klasifikasyona göre kireçtaşı cinsleri şöyle sıralanır:

1. Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (KT)	: CaCO_3 : min. %97
2. Yüksek kalsiyumlu KT	: CaCO_3 : min. %95
3. Yüksek karbonatlı KT	: $(\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3)$: min. %95
4. Kalsitik KT	: MgCO_3 . % 5
5. Magnezyumlu KT	: MgCO_3 . % 5-20
6. Dolomitik KT (Dolomit)	: MgCO_3 . % 20-40
7. Yüksek magnezyumlu dolomit	: MgCO_3 . % 20-46

Kireç, en az %90 CaCO_3 içeren kireçtaşının kireç fırınlarında 900-1000 °C'in üzerinde kalsinasyonu sonucunda kalsiyum oksite (1) dönüşmesiyle elde edilir.



Kalsiyum oksidin yaygın olarak kullanılan adı sönmemiş kireçtir. Kalsiyum oksit, suyla reaksiyona sokulması sonucunda kalsiyum hidroksite veya ticari adıyla sönmüş kirece dönüşür (2) :



Kirecin hammaddesi olan ve doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri (CaCO_3 / MgCO_3) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünya’da çok değişik formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, minerolojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre sınıflandırılır (Örneğin tebeşir, marn, traverten gibi). İçindeki MgCO_3 miktarının % 20-40 arasında olması durumunda ise kireçtaşı, rhombohedral yapıdaki dolomit: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ adını alır.

Kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli, doğada hiçbir zaman saf halde bulunmayan Kalsit ve Aragonit’dir. Teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO_2 ihtiva ederler. Kalsitin rhombohedral yapıda ve sertliğinin 3 Mohs olmasına karşın, 400 °C’de kalsite dönüşen Aragonit’in kristal yapısı orthorhombik ve sertliği 3,5-4 Mohs’dur [89].

Kirecin:

- Birçok kimyasal prosesin (nötralizasyon, absorpsiyon, kostikleştirme, gibi) ana girdisi olması,
- Kimyasallarla çabuk reaksiyona girerek istenmeyen maddeleri bünyeden uzaklaştırılması,
- Pahalı kimyasalların geri kazanılmasındaki rolü,
- Organik canlılar için besi maddesi olması,
- Ucuzluğu ve kolay bulunması gibi nedenler, kirecin yaygın biçimde kullanılmasında önemli rol oynamıştır.

Kireç ürünleri:

- Portland çimento ve beton yapımında hammadde komponenti;
- İnşaat harç ve sıvalarında bağlayıcı;
- Demir-çelik endüstrisinde safsızlaştırıcı

- Gaz beton endüstrisinde bağlayıcı;
- Çevre denetiminde arıtma kimyasalı;
- Asitli toprakların iyileştirilmesinde pH dengeleyicisi;
- Çeşitli kimyasal maddelerin elde edilmesinde ara reaksiyon kimyasalı veya nihai ürün komponenti;
- Yol zemin inşaatlarında stabilizatör ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanlarda kullanılır.

Kireç, uluslar arası standart sanayi tasnifinde (ISIN), 36 ana grup ve 3692 kod numarasıyla endüstride kullanılan esas kimyasal maddeler grubunda yer almakta olup GTIP kodu 25.22.0.00 ve 25.22.20.00'dir. Kireçtaşının doğal, tuvenan ve ayıklanmış haldeki uluslar arası sanayi tasnifindeki kodlaması aşağıda verilmektedir.

Tablo 8. Kireçtaşı uluslararası standart sanayi sınıflaması [35].

Kireçtaşı Uluslar arası Standart Sanayi Sınıflaması (USS Rev 2) (Madencilik ve Taş Ocağı İşletmeciliği)		
Bölüm	Grup	Sınıf
29	290	290107 Kireçtaşı (Lime stone)
		29010701 Tuvenan (Burden)
		29010702 Ayıklanmış (Separated)

1.7.1.1. Kirecin Katılma Teknikleri

Sönmüş kireç, sıcak karışımlara çeşitli biçimlerde katılabilmektedir. Genel bir kural olarak; uygulanma oranı karışımın ağırlığı cinsinden %1 oranındadır. Soyulma potansiyelinin yüksek olduğu durumlarda kullanılan miktar artırılabilir. Kirecin sıcak karışım asfaltlara katışım yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılanlar aşağıda belirtilmektedir [36].

1.7.1.2. Kuru Yöntem

Karışım ağırlığına bağlı olarak %1 oranında sönmüş kireç mineral fillere karıştırılır. Eklenen kirecin kaybı düşünülerek modifikasyona gerek duyulmaktadır. Son yıllarda, ince malzeme kaybı düşünülerek ASTEC tarafından önerilen çift kutu mikseri (Double Barrel Mixer) ince malzemeleri etkin bir biçimde karıştırabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

1.7.1.3. Nemli Agregaya Uygulanma Biçimi

Bu yöntem, çoğunlukla tercih edilmektedir. Yaklaşık olarak %2-3 düzeyinde doygun kuru yüzey koşulunu sağlayan agreganın ihtiyaç duyduğu kireç belirlenerek karıştırılmaktadır. Plentte karıştırılmadan önce yeterli karışımı sağlamak için kireçle iyileştirilmiş agrega pug mill ile işlem görür. Kuru yöntemde ulaşılan kaplanmadan daha fazla bir agrega yüzey kaplılığı oluşturmak amacıyla kireç nemli agrega yüzeyine uygulanmaktadır. Agregaya yapışmamış bulunan kireç karışım içerisinde dağılarak tanımlanan diğer özelliklerin iyileşmesine neden olmaktadır. Sönmüş kirecin sıcak karışımlara katıldığı bu “nemli kuru” denilebilen yöntem, göreceli olarak basittir ancak ilave su için gerekecek işlemler plent üretimini bir ölçüde yavaşlatmaktadır.

1.7.1.4. Slurry Yöntem

Bu yöntem, kireç ve suyun bir harç formunu kullanır. Bu harç, agreganın belli bir ölçüsü olarak uygulanır. Kaba agrega yüzeylerinin üst düzey kaplanmasını sağlamaktadır. Harç uygulandıktan sonra, agrega ya doğrudan doğruya plente karıştırılır veya belirli bir süre agregayla kirecin reaksiyona girmesi için depo edilerek uygulanır. Kireç agregaya bağlandığı için geri kalan karışımda kirecin en az dağıldığı katıştırma türüdür.

1.7.2.Çimentonun Özellikleri

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Günümüzde birçok çimento türü olup bunlar; portland çimentoları, puzolonik katkıli portland çimentoları ve diğer çimentolar olmak üzere üç ana grupta toplanabilirler [37]. Bu çalışmada katkı olarak portland çimentosu kullanılmıştır.

Portland Çimentoları

- Sertleşme hızı normal pç
- Çabuk sertleşen pç
- Beyaz pç

Puzolonik Katkıli Portland Çimentoları

- Puzolan(tras) katkıli çimentolar
- Cüruf çimentoları
- Uçucu küllü çimentolar

Diğer Çimentolar

- Oksiklorit veya serel çimentosu
- Ferrari çimentosu
- Süpersülfat çimentosu
- Alüminli çimento
- Genleşen çimento
- Jet-Set çimento
- Hidroforik çimento
- Harç çimentosu

1.7.2.1. Portland Çimentosu

Portland çimentosu üretiminde kullanılan maddeler dört grupta toplanabilir. Bunlar; kireçli maddeler (CaO), silisli maddeler, alüminli (killi) maddeler ve demirli (Fe_2O_3) maddelerdir [38].

Portland çimentosunun hammaddesi kireçtaşı, yani kalker, kil, silis kumu, demir filizi ve alçı taşı yani jips dir. Bu maddelerin saf olmaması nedeniyle bileşimde bir miktar da MgO, K_2O, Na_2O ve bazı diğer maddeler bulunur. Görüldüğü gibi çimento çeşitli oksitlerden oluşmaktadır. Portland çimentosunda CaO önemli bir yer tutmakta ve SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ile birlikte çimentonun yaklaşık % 90-95'ini oluşturmaktadır (Tablo 9).

Tablo 9. Portland çimentosunun ana bileşenleri

Ana Bileşenin Adı	Kimyasal Bileşimi	Simgesi
Trikalsiyum silikat	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
Dikalsiyum silikat	$3CaO \cdot SiO_2$	C_2S
Trikalsiyum alüminat	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalsiyum alüminoferrit	$3CaO \cdot Al_2O_3, Fe_2O_3$	C_4AF

Çalışmada, filler malzemesi yerine kullanılan çimento, Ünye Çimento'dan temin edilen PÇ 42,5 tipi portland çimentodur.

1.8. Pr Plastın özellikleri

Pr Plast, siyah renkte bir poliolefindir. Poliolefinler, etilen, propilen ve buten'in doymuş kopolimerleridir. Yol uygulamalarında bitüm içine katılarak homojen bir dağılım sağlamak oldukça zordur. Bu nedenle bazı poliolefinler direk karışıma katılarak kullanılır.

Çift bağırları olmadığından yaşlanmaya ve ısıya karşı dirençlidirler. Pr Plast katkı maddesi Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Pr plast katkısı

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu araştırmada, seçilen asfalt çimentosu katkısız, sönmüş kireç katkılı, çimento katkılı ve Pr plast katkılı olmak üzere dört farklı grup üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Agregada örneği alımı sırasında homojenliği sağlamak amacıyla, numunelerin oluşturulmasında kullanılan agregaların aynı kayaç örneğinden alınması sağlanmıştır.

2.1. Kullanılan Malzeme

Çalışmada kullanılacak agregalar, Samsun ili Kavak mevkiinde bulunan Emirli Taş Ocağından temin edilmiştir. Buradan kayaç örneği alımı sırasında homojenliği sağlamak amacıyla, aynı kayaç aynasının ayrışmamış kısımları kullanılmıştır.

Araştırmada bitüm olarak, Kırıkkale Rafinerisinden temin edilen 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır.

Araştırmada stabilite/akma oranı performans ölçme yöntemi ile performans yönlü araştırma yapacağımız katkı malzemesi olarak sönmüş kireç (katkısız ve beş farklı oranda katkılı), çimento (katkısız ve beş farklı oranda katkılı) ve Pr plast (katkısız ve iki farklı oranda katkılı) kullanılmıştır.

Seçilen asfalt çimentosu, agregalar ve bunların karışım tasarım briketleri üzerinde uygulanan test yöntemleri ve standartları aşağıda özetlenerek bir sonraki bölümde bu deney koşullarına göre gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2.2. Asfalt Çimentosuna Uygulanan Deneyler

Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler Karayolları 7.Bölge (Samsun) Müdürlüğü ve Karayolları 10.Bölge (Trabzon) Müdürlüğü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi TSE 118 EN 1426, ASTM D5 standardı ile yapılır. Oda sıcaklığında yarı katı durumda olan asfalt çimentosu kıvamlılığıyla ilgilenilme nedeni, asfaltın yol sıcaklığındaki bağlama yeteneğini veya bağlayıcılık gücünü saptamaktır. Asfalt çimentosunun kıvamlılığı arttıkça karışım içerisindeki agregaları birbirine daha kuvvetle bağlayacağı bilinmektedir.

Penetrasyon deneyi ile asfalt çimentolarının sertlik veya kıvamlılıkları tespit edildi. Penetrasyonun kelime anlamı, batma veya içe girme demektir. Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde, asfalt örneği içerisine dikey olarak batma mesafesi penetrasyon miktarını belirler. Standart bir iğnenin 100 g ağırlık ve 5 sn süre altında asfalt çimentosu içine dikey olarak battığı mesafe 0,1 mm cinsinden bulundu. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar, kıvamlılık arttıkça asfalt sertleşir [19]. Bu çalışmada penetrasyon değeri 55 bulunmuştur.

2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

Yumuşama noktası deneyi TSE 120 EN 1427, ASTM D36 standardına göre yürütülmüştür. Biri blown asfalt diğeri yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentosu olmak üzere iki tane yarı katı asfalt numunesi (bunların 25°C'deki penetrasyonları birbirinin aynı olmak üzere) alınmıştır. Asfaltlar 45°C'ye kadar ısıtılarak penetrasyon deneyine tabi tutulmuş, penetrasyonlarının aynı olmadıkları ve asfalt çimentosunun çok daha yumuşak olduğu görülmüştür. Her iki örnek daha da fazla ısıtılırsa kıvamlılıktaki fark daha belirgin olur. Her iki asfalt da 0°C'ye kadar soğutulursa bu defa asfalt çimentosunun diğere göre çok daha sertleşmiş olduğu görülür. Görülüyor ki asfalt çimentolarının kıvamlılıkları ısı değişimlerinden blown asfalta göre daha fazla etkilenmektedirler. Asfaltların bu özelliklerine "ısıya karşı duyarlık" denir. Değişik ham petrolerden üretilmiş asfaltların ısı değişimlerine karşı olan duyarlılıkları farklıdır. Fakat bu fark blown asfaltları ile normal olarak kaplamalarda kullanılan asfalt çimentoları arasındaki farka göre oldukça küçüktür. Asfaltların sıcaklık değişimlerine karşı olan duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve en basit yöntem yüzük ve bilya yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır. Yumuşama noktası; bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilya bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılmasıyla yumuşayan malzemenin

tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır [19]. Bu alışma için yumuşama noktası 48 bulunmuştur.

2.2.3. Düktilite Deneyi

Düktilite deneyi TSE 119 standardına göre yrtlmştur. Düktilite kısaca; asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanabilir. Düktilite yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değerleri daha düşük olan asfalt çimentolarına göre daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptirler. Diğer yandan, çok yüksek düktilite değerine sahip asfaltlar ise, ısı değişimlerine karşı fazla duyarlık gösterirler. Bu nedenle, çeşitli asfaltların düktilite değerleri sınırlandırılmıştır. Asfalt imentosunun dktilitesini ölçmek için standart bir kalıba asfalt çimentosundan bir örnek dkmştur. Sonra, rnek düktilite cihazındaki yerine konulmuştur. Su banyosu 25°C 'ye ayarlanmış ve asfalt briketi bu sıcaklıkta 5+0,25 cm/dakika hızla çekilmiştir. Örneğin belli bir uzamadan sonra kopma anındaki uzama miktarının cm cinsinden karşılığı düktilite değerleri olarak belirlenmiştir [19]. Bu alışma için düktilite değerleri, +100 cm bulunmuştur.

2.2.4. Çözünürlük Deneyi

Çözünürlük deneyi TSE 1090 ile tanımlanmıştır. Bu deney, içinde mineral madde bulunmayan veya çok az bulunan, yol katranları ve petrol asfaltları gibi bitümlü yol malzemelerinin organik çözücüler içerisindeki çözünürlüğünün belirlenmesini kapsar. Deneyde; benzen, triklor kullanılmıştır. Bu zcler zehirli olduklarından çalışılırken iyi bir havalandırma sağlanmalıdır. Ayrıca, triklor etilen dışındakiler son derece yanıcı olduklarından çıplak alevden uzak çalışılması gerekir. Kullanılacak çözücünün seçiminde; karbon tetraklorür petrol kökenli asfaltlar için, benzen katran esaslı bitümlü maddeler için, triklor etilen petrol kökenli asfaltlar için kullanılır [19].

2.2.5. Parlama Noktası Deneyi

TSE 123 standardı ile tanımlanan parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Bir malzemenin parlama noktasının bilinmesi, o malzemenin uygulanması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemlidir [19]. Bu çalışma için parlama noktası 230 bulunmuştur.

2.2.6. Özgül Ağırlık Deneyi

TSE 1087 özgül ağırlık deneyini ifade eder. Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı, 20-25°C’de hacmi bilinen bir miktarının ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilen orandır [19]. Kaba ve ince agrega için özgül ağırlıklar ayrı ayrı bulunmuştur. Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı 2.695, zahiri özgül ağırlığı 2.719, ince agreganın hacim özgül ağırlığı 2.678, zahiri özgül ağırlığı ise 2,716 bulunmuştur.

2.3. Agrega Örneklerine Uygulanan Deneyler

Agregaların yol yapımında kullanılabilmesi amacıyla; aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, soyulma değerlerinin, elek analizleri ve tane şekillerinin, sürtünme etkileri ile meydana gelecek cilalanmaya karşı olan dirençlerinin bilinmesine gerek vardır. Agreganın kullanılacağı yere göre uygun olup olmadığı yapılan bu deneyler sonucu belirlenir.

Yukarıda adı geçen deney sonuçlarına göre agregaların değerlendirilmesinin güvenilir olabilmesi için denenecek örneklerin çok özenle alınmış temsili örnekler olması gerekir. Aksi halde o örnek için yanlış değerler bulunacaktır.

2.3.1. Elek Analizi

Elek analizi deneyi ASTM C136, ASTM C 117 ile tanımlanan deney yöntemi olup, nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın tane büyüklüğü dağılımının tespit edilmesini kapsar. Elde edilen sonuçlar ise sınıflandırmada, tane boyutu dağılımının şartnameye uygunluğunun kontrolünde ve agrega karışım hesaplarında kullanılır.

Herhangi bir agrega malzemesi içindeki değişik boyuttaki danelerin miktarı, o agreganın mühendislik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir [19]. Çalışmada kullanılan agrega granülometrisi bulgular ve irdeleme kısmında Tablo 14' te verilmiştir.

2.3.2. Aşınma Deneyi

ASTM C 131 standardına göre yapılmıştır. Bu deney, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını belirtir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanılarak Los Angeles makinesi ile tespit edilir. Los Angeles Aleti; iki ucu kapalı, iç çapı 71 cm ve iç uzunluğu 51 cm olan içi boş çelik bir silindirden oluşur. Silindir, içinden geçmeyen aksla yatay durumda dönmeyi sağlayacak şekilde yapılmıştır. Numuneyi silindir içine koyabilmek için özel bir kapak vardır. Bu kapak, silindirin iç yüzeyine tamamen uyacak şekilde sıkıca kapatılabilmelidir. İç yüzde silindir eksenine paralel olmak üzere 9 cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeter kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde yerleştirilmiş çelik raf bulunur. Bu raf, numune koyma deliğinden dönme doğrultusunda en az 127 cm uzaklıktadır. Aşınma yükleri yaklaşık olarak 4.68 cm çapında dökme demir veya çelik kürelerdir. Her birinin ağırlığı 390 ile 445 gram kadardır [20].

Numune en büyük tane boyutuna ve Tablo 7'de verilen sınıflardan birine uyacak şekilde, 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37.5 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 6.3 mm, 4.75 mm ve 2.36 mm' lik eleklerden kabaca elenir. Her elek üzerinde kalan agrega kil ve tozlardan iyice temizleninceye kadar kaldığı elek üzerinde yıkanır, 110°C'lik etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Kuru örnekler tekrar üzerinde kaldıkları eleklerden hassas olarak elenip, Tablo 10 'da verilen sınıflardan birine göre tartılır [39].

Tablo 10. Aşınma deneyi örnek sınıflaması [39].

Elek Büyüklüğü (mm)		Granülometri Sınıfları, Gerekli Örnek Miktarları (gram)						
Geçtiği	Kaldığı	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			
Toplam		5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000

Los Angeles Aşınma Deneyinde kullanılacak küre sayıları ve yükleme ağırlıkları Tablo 11’de görülmektedir.

Yukarıda anlatılan şekilde hazırlanan deney numunesi ve aşındırıcı yükler (küreler) Los Angeles aşındırma makinesine konur ve ağzı sıkıca kapatılır. Makine, dakikada 30-33 devir döndürülerek A,B,C,D sınıfları için 500; E,F,G sınıfları için 1000 devir yaptırılır (Tablo 11). Sonra numune makineden çıkarılarak 1.70 mm eleğinden elenir, bu elek üzerinde kalan kısım yıkanır. 110°C ‘lik etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur ve tartılır. Numunenin ilk ağırlığı ile 500 veya 1000 devirden sonra elek üzerinde kalan

malzeme arasındaki fark, ilk ağırlığın yüzdesi olarak hesap edilir ve bu aşınma kaybı yüzdesi şeklinde ifade edilir. Bu çalışma için Los Angeles aşınma kaybı % 24 bulunmuştur.

Tablo 11. Aşınma deneyinde kullanılan küre sayıları [39].

Sınıfı	Küre Sayısı	Yükleme Ağırlığı (g)
A	12	5000 ±25
B	12	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

2.3.3. Cilalanma Deneyi

BS 813 standardı cilalanma deneyini tanımlar. Bu deneyin amacı, çeşitli yol taşlarının trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuarda kısa bir zamanda tespit etmektir. Yolun sathının cilalanan bir taştan yapılmış olması, yolun kaymaya karşı direncini etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Taşın cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç arasındaki ilişki trafik koşulları, kaplamanın tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Yoldaki şartlara benzer , fakat hızlandırılmış bir cilalanma elde etmek için bir makine geliştirilmiştir.

Deneme iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda taş örnekler cilalanma makinesinde hızlandırılmış cilalanma işlemine tabi tutulurken ikinci kısımda ise cilalanan taş örneklerinin sürtünme cihazı ile cilalanma değerleri tespit edilir. Bu çalışmada cilalanma değeri 0,60 bulunmuştur.

2.3.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Bir agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacmindeki ağırlığının aynı hacimde ve 25°C’ de suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Danenin hacim tanımlamasına bağlı olarak genellikle kuru hacim özgül ağırlık ve zahiri hacim özgül ağırlık tanımlamaları yapılır. Zahiri özgül ağırlık geçirimsiz boşluklarla beraber katı dane hacmini, kuru hacim özgül ağırlık ise asfalt absorbe eden boşluklar dışındaki tüm hacmi kapsar [20].

No 4 eleği üzerinde kalan malzeme kaba, No 4 ile No 200 arası ince ve No 200 eleğinden geçen malzeme de mineral filler agregası olarak tanımlanır. Çalışmada ASTM C 127 ile kaba agreganın, ASTM C 128 ile ince agreganın hacim-zahiri özgül ağırlıkları ve su emmeleri elde edilmiştir. Bu çalışmada su absorpsiyonu kaba agrega için % 0,32, ince agrega için % 0,81 bulunmuştur.

2.3.5. Yassılık Deneyi

Bir malzemenin yassı kabul edilebilmesi için, deneye alınan herhangi bir agrega danesinin kalınlığının, nominal boyutunun 0.6’sından küçük olması gerekir. Bu deney, 63,50’lik elek üzerinde kalan ve 6.35 mm’lik elekten geçen malzemeler için uygulanmaz. Yassı danelerden oluşan bir yapı, trafik yükü altında stabil değildir. Yassı daneler yük altında kolaylıkla kırılır ve karışımın mukavemeti azalır. Bu çalışma için yassılık indeksi % 14,7 bulunmuştur.

2.3.6. Hava Etkilerine Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi)

ASTM C88 standardına göre yürütülür. Bu deney yöntemi, agregaların doymun sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltileri ile ufalanmaya karşı dayanıklılığının tespit edilmesini kapsar. Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hakkında, laboratuarda kısa süre içinde bir karar verebilmek amacıyla uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

Çözeltinin hazırlanması için saf ve susuz sodyum sülfat tuzu (Na_2SO_4) veya kristalize sodyum sülfat tuzu ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kullanılır. Tuz 25-30°C sıcaklıktaki su içinde iyice karıştırılarak yavaş yavaş çözülür. Her litre su için en az 250 gram sodyum

sülfat tuzu veya en az 750 gram kristalize sodyum sülfat tuzu katılır. Tuzun ilave edilmesi sırasında çözelti devamlı olarak karıştırılır. Buharlaşmayı önlemek amacıyla çözeltinin ağzı kapatılarak 48 saat sabit sıcaklık ve rutubet odasında bekletilir. Kullanılmadan önce topaklaşmayı gidermek için iyice karıştırılıp özgül ağırlığı belirlenir. Özgül ağırlık 1,151'den az, 1,174'den fazla olmamalıdır. Bu çalışma için donma değeri % 1,2 bulunmuştur.

2.4. Karışım Tasarımı

Bu kısımda optimum bitüm yüzdesini bulmaya yönelik uygulanan tasarım süreci vurgulanmaktadır. Tasarım sürecinde parametrelerin tespitine yönelik olarak Marshall briket hazırlama yöntemi kullanılmıştır.

Deneyler, Karayolları 7.Bölge (Samsun) Müdürlüğü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.4.1. Marshall Deneyi

Marshall deneyi, TCK şartnamelerinde tanımlanan ve kullanılan bir stabilite deneyidir ve ASTM D1559 standardına göre uygulanarak hazırlanmaktadır. Marshall cihazı yardımıyla, bitümlü karışımın plastik akmaya karşı stabilitesi elde edildikten sonra hesaplamaya geçilir, asfalt çimentosu yüzdesine bağımlı olarak pratik birim ağırlık, stabilite, asfalt dolu boşluk, boşluk yüzdesi ve akma ilişkileri belirlenir. Bulunan değerler şartname değerleri ile kontrol edilerek optimum asfalt yüzdesi bulunur [40].

Marshall metodu ile hazırlanan sıcak karışım dizaynı aşağıdaki işlem sırasına göre yapılmıştır:

- Gradasyon belirlenmiştir
- Agrega ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmiştir
- Agrega ve bitüm miktarlarının hesabı planlanmıştır
- Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar yapılmıştır
- Stabilite ve akma değerleri bulunmuştur
- Optimum bitüm miktarının belirlenmiştir

Briketler aşağıdaki işlem sırasına göre hazırlanmıştır [41]:

1. Her bir bitüm yüzdesi için en az 3 briket hazırlandı. Bu nedenle her brikette kullanılacak agrega miktarı toplam briket sayısına göre ayrı ayrı kaplara doldurularak 24 saat bekletilmek üzere 165°C'lik etüve konulmuştur.

2. Kullanılacak asfalt çimentosu etüve konularak 165°C'ye kadar ısıtılmıştır.

3. Deneyde kullanılması gerekli olan mikser kabı, Marshall tokmağı, briket kalıbı, pala, kürek vb aletler de 165°C'lik etüvede ısıtılmıştır.

4. 165°C'lik etüvede ısıtılmış olan agrega yine 165°C'lik etüvede ısıtılmış olan karıştırma kabına boşaltıldı ve kuru olarak karıştırıldı. Bu şekilde hazırlanan agrega içerisine bir çukur açıldı ve agrega ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken asfalt miktarı açılan çukura ilave edilmiştir.

5. Asfalt çimentosunun agrega içerisinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla karıştırma işleminin mekanik bir karıştırıcı ile veya kürek kullanarak elle mümkün olduğu kadar çabuk ve iyi bir şekilde yapılması gerekir.

6. Karışım, kalıba boşaltıldı ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından 10 kez, çevresinden 15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirildi. Sonra 45.7 cm (18 inch) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne dizayn trafik sınırlandırmasına göre belirlenen 75 darbe uygulanarak sıkıştırma yapılmıştır.

7. Sıkıştırılan numuneler numaralandırıldı ve kalıpla birlikte soğumaya bırakıldı. Daha çabuk bir soğutma istendiğinde masa vantilatörü kullanılabilir.

8. Numune kalıptan kriko ile çıkarıldı ve düzgün bir yüzey üzerine konuldu, numuneler, normal olarak bir gece soğumaya bırakılmıştır.

2.4.1.1. Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi

Standart briket yüksekliği 63,5 mm olup mukavemet değeri bu standart yüksekliğe göre değerlendirilir. Standart briket yüksekliğine karşılık gelen katsayı 1'dir. Yüksekliğin 63,5 mm den büyük olduğu durumda bu katsayı azalır, 63,5 mm den küçük olduğu durumda yükselir. Briketin ölçülen stabilitesi ile numunenin yüksekliğine bağlı katsayının çarpımı, 63,5 mm yüksekliğindeki (standart) brikete göre düzeltilmiş stabilite değerini

verir. Bunun için bir setteki her briketin değişik yerlerinden üç okuma alınmış ve bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak Marshall deney formuna kaydedilmiştir.

2.4.1.2. Briketlerin Hacimlerinin Belirlenmesi

Briketlerin önce havada sonra sudaki ağırlıkları hassas bir şekilde tartılarak belirlenir. Briketin hacmi, briketin havadaki ağırlığından sudaki ağırlığının çıkarılması ile elde edilir .

$$V = B - C \quad (3)$$

Burada;

V= Briketin hacmi

B = Briketin havadaki ağırlığı

C = Briketin sudaki ağırlığı

ifade etmektedir.

2.4.1.3. Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Analizleri

Briketin hacim özgül ağırlığı (D_p), briketin havadaki ağırlığının hacmine oranıdır.

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (4)$$

Burada;

D_p = Briketin hacim özgül ağırlığı

A = Briketin havadaki ağırlığı

V = Briketin hacmi

ifade etmektedir.

Bitüm yüzdeleri aynı olan (aynı setteki) briketlerin hacim özgül ağırlıkları arasındaki fark 0,02 den fazla olmamalıdır.

Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı (DT), agreganın ağırlığına göre bitüm yüzdesi cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (5)$$

Dt = Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı

Wa = Agreganın ağırlığına göre bitüm yüzdesi

Gef= Agreganın efektif özgül ağırlığı

Gb= Bitümün özgül ağırlığı

Agrega tarafından absorbe edilen asfalt hacmi absorbe edilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın efektif özgül ağırlık değeri, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır. Maksimum teorik özgül ağırlık (DT) deneyinin yapılmadığı durumlarda agreganın efektif özgül ağırlığı, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerinin ortalaması olarak alınabilir.

2.4.1.4. Bitüm Absorpsiyonu ve Efektif Bitüm Yüzdesi

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{ef} \times G_{sb}} \times G_b \quad (6)$$

P_{be} = Wa-P_{ba}

P_{ba} = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı

P_{be} = Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı

W_a = Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agregaların dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

2.4.1.5. Briketlerdeki VMA Yüzdesi

VMA, Agregalar arası boşluk yüzdesi, efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agrega taneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Eğer karışım kompozisyonu agrega ağırlığının % si olarak bulunmuşsa;

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + W_a} \times 100 \quad (7)$$

Karışım kompozisyonu normal bitüm yüzdesi olarak bulunmuşsa,

$$VMA = 100 - \frac{D_p \times (100 - W_b)}{G_{sb}} \quad (8)$$

VMA = Agregalar arası boşluk yüzdesi

D_p = Briketin hacim özgül ağırlığı

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı

2.4.1.6. Optimum Bağlayıcı Yüzdesinin Belirlenmesi

Briketlerin, yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra aşağıdaki grafikler çizilir:

1. D_p - W_a
2. V_f - W_a
3. V_h - W_a
4. Stabilite- W_a
5. Akma- W_a
6. VMA- W_a

Çalışmada, Karayolları Teknik Şartnamesi kriterlerine göre boşluk yüzdesi esas alınarak karışım dizaynının optimum bitüm muhtevası bulunur. Optimum bitüm yüzdesi, bu çalışma için 4,80 bulunmuştur.

2.4.2. Sönmüş Kireç Katma İşlemi

Karışıma sönmüş kireç kuru agrega ağırlığı cinsinden %1, 1.5, 2, 3 ve 5 oranlarında uygulanmış ve sönmüş kireç katkı malzemesi filler olarak karıştırılmıştır. Karıştırma süresi

normal briket hazırlama süresine göre 30 saniye kadar arttırılmıştır. Briketlerde katkıli durum koşullu ve koşulsuz olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

2.4.3. Portland Çimento Katma İşlemi

Karışım portland çimento kuru agrega ağırlığı cinsinden %1, 1.5, 2, 3 ve 5 oranlarında uygulanmış ve portland çimento katkı malzemesi filler olarak karıştırılmıştır. Karıştırma süresi normal briket hazırlama süresine göre 30 saniye kadar arttırılmıştır. Briketlerde katkıli durum koşullu ve koşulsuz olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

2.4.4. Pr Plast Katma İşlemi

Karışım Pr plast toplam agrega ağırlığı cinsinden % 0,3 ve 0,6 oranlarında uygulanmış ve Pr plast katkı malzemesi karışıma direk olarak karıştırılmıştır. Karıştırma süresi normal briket hazırlama süresine göre 30 saniye kadar arttırıldı. Briketlerde katkıli durum koşullu ve koşulsuz olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

2.4.5. Numunelerin Koşullandırılması

Üretilen katkıli biriketlerin farklı oranlardaki numunelerinin yarısı (36 tanesi) koşullandırılma işlemine tabi tutuldu. Her grubun özdeş 3'er tane numunesi alınarak 50°C'de su banyosunda 48 saat süre ile bekletildi (Şekil 4). Sonrasında bu numuneler oda sıcaklığında (25°C'de) 48 saat süre ile bekletildi.



Şekil 4. Su banyosu cihazı

Su banyosu ve ardından oda sıcaklığında bekletme işlemi bir kez daha tekrarlanarak iki aşamalı koşullandırma tamamlandı.

2.4.6. Stabilite ve Akma Değerlerinin Tespiti

Stabilite/akma oranı Marshall oranı olarak tanımlanmakta, karışım rijitliğinin ve asfalt betonunun deformasyon karşısındaki direncinin bir göstergesi olmaktadır. Oran değerleri, briketlerin deformasyon direncinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Daha yüksek bir oran değeri, daha rijit bir karışım ve bundan dolayı daha dirençli bir karışım olabilmektedir. Marshall oranı, taslak olarak (BSEN 12697–34: Sıcak karışım asfaltlar için Marshall Deneyi) yeniden düzenlenmiştir [42- 44].

Deneyde aletin kelepçeleri arasına yerleştirilen numuneler basınca maruz bırakıldı (Şekil 5). Numunenin deforme olmasını (akmasını) sağlayan değer tespit edildi ve gerekli dönüşümlerle “kg” cinsine çevrildi. Buradaki akma miktarıda diğer akma göstergesinden okundu. Bu değer 0.001 inch’e karşılık geldiğinden mm’ye çevirmek için 0,0256 ile çarpılarak “mm” cinsinden tespit edildi.



Şekil 5. Stabilite ve akma değerlerini ölçen alet

3. BULGULAR

3.1. Deney Sonuçları

Samsun-Kavak yolu Emirli Taş Ocağından temin edilen kalker cinsi kaba agrega, ince agrega ve filler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları aşağıda belirtilmektedir.

3.1.1. Agrega Deney Sonuçları

Özgül ağırlık, elek analizi, sağlamlık (Los Angeles), su absorpsiyonu, dona karşı dayanıklılık (sodyum sülfat deneyi), yassılık indeksi ve soyulma mukavemeti deneylerine tabi tutulan agregaların elde edilen deney sonuçları Tablo 12’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde temin edilen taşların üstyapı agregası olarak elverişli oldukları görülmüştür.

Tablo 12. Kaba ve ince agrega özellikleri

KABA AGREGA		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	SONUÇ
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	TS - 3694 (ASTM C - 131)	24
Donma Deneyi (%)	(ASTMC-88)	1,2
Yassılık İndeksi (%)	BS - 812 Kısım - 105	14,7
Soyulma Mukavemeti (%)	Nicholson	60-65
Su Absorpsiyonu (%)	TS - 3526 (ASTM C - 127)	0,32
Cilalanma	BS 812	0,60
İNCE AGREGA		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	SONUÇ
Plastisite İndeksi	TS - 1900	(N.P.) Plastik Değil
Su Absorpsiyonu (%)	TS - 3526 (ASTM C - 127)	0,81

3.1.2. Seçilen Granülometri

Üç grup agregadan alınan örneklerle yapılan 15 elek analizi sonucunun oluşan tane boyutu dağılımı aşağıda Tablo 13'deki şekildedir.

Tablo 13. Tane boyutu dağılımı

Elek Açıklığı		(3/4"-1/2") Geçen %	(1/2"-No:4) Geçen %	(No:4-0) Geçen %
No	mm			
3/4"	19,1	100	100	100
1/2"	12,7	70	100	92
3/8"	9,52	30	100	100
No. 4	4,76	0	39	100
No. 10	2,0	0	0	100
No. 40	0,42	0	0	40
No. 80	0,177	0	0	25
No. 200	0,075	0	0	17

Üç grup agreganın tane boyutu dağılımı esas alınarak saptanan aşınma tabakası Tip-2'ye uygun granülometri veren karışım oranları; (3/4"-1/2") grubu ağırlıkça %28, (1/2"-No:4) grubu ağırlıkça %40, (No:4-0) grubu ağırlıkça %32 şeklindedir. Bu Tablo 14'de verilen TCK. Aşınma Tabakası Tip 2 Şartnamesine uygun agrega karışımı kullanılmasına karar verilmiştir (TCK, 1994). Ayrıca agrega granülometrisi Şekil 6'da verilmiştir.

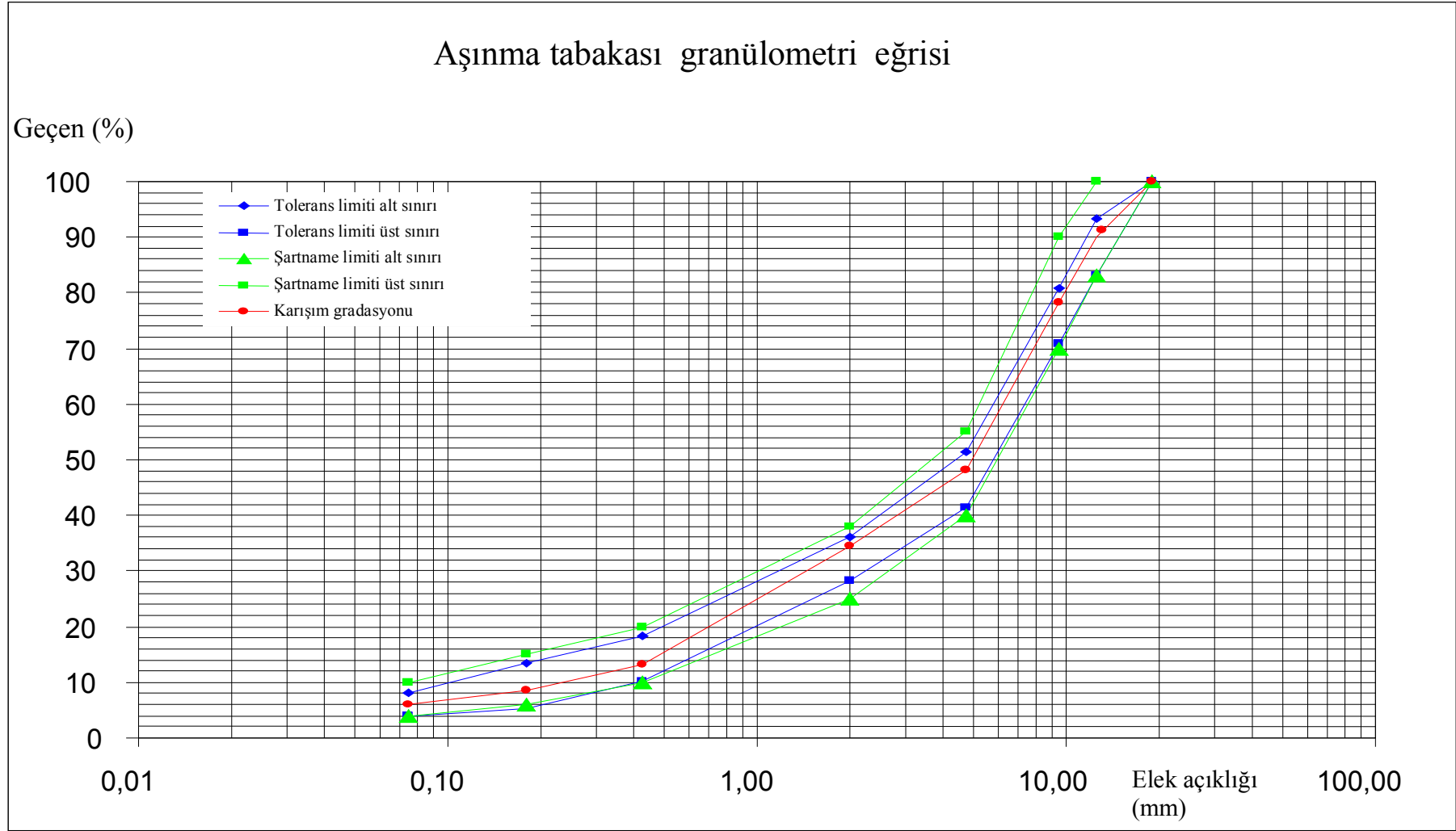
Tablo 14. Seçilen agrega granülometrisi ve bu granülometriye göre önerilen sınır değerleri

Elek Boyutu		Şartname Sınırları		Geçen (%)	Kalan (%)	Elekler Arası
No	mm	ÜST	ALT			(gr)
¾"	19,1	100	100	100	0	88
½"	12,5	83	100	92	8	132
3/8"	9,5	70	90	80	12	352
No. 4	4,75	40	55	48	32	528
No. 10	2,0	25	38	32	16	
No. 40	0,425	10	20	13	9	
No. 80	0,180	6	15	8	5	
No. 200	0,075	4	10	5	3	
						1100

Yukarıdaki karışım granülometrisi esas alınarak Marshall Yöntemine göre optimum bitüm saptanmasına yönelik karışımlarda aşağıdaki dağılım kullanılmıştır.

Kaba Agrega Yüzdesi (No:4 üzeri)	: 52
İnce Agrega Yüzdesi (No:4-No.200 üzeri)	: 43
Filler Yüzdesi (No:200'den geçen)	: 5

Sönmüş kireç ve çimento katma işleminde, katkılar filler görevi göreceğinden katılacak katkıların oranında filler azaltılmıştır. Pr plast ise karışıma katılarak deney yürütülmüştür. Sönmüş kireç ve çimentolu numunelerin son grubunda da %5'lik filler oranının tamamı oranında sönmüş kireç ve çimento kullanılarak karışım hazırlanmıştır.



Şekil 6. Seçilen granülometri ve önerilen şartname limitleri

Yukarıda verilen granülometriye uygun olarak hazırlanan agregaya karışımlarının kaba, ince ve filler olmak üzere yapılan özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar kaba ve ince agregaya için Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Kaba ve İnce Agregaya Özgül Ağırlıkları

Özgül Ağırlıklar	Kaba	İnce
Hacim Özgül Ağırlığı-Kuru (gr/cm ³)	2,695	2,678
Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,719	2,716

Filler Özgül Ağırlığı ise 2,704 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

3.2. Bitümlü Bağlayıcı Deney Sonuçları

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı Kırıkkale Rafinerisi kaynaklı 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosudur. Bağlayıcı üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Bitümlü bağlayıcı (AC 50-70) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları

DENEYLER	DEĞERLER
Penetrasyon, 25 °C, 100 gr, 5 s (1/10 mm)	55
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	1,019
Parlama Noktası (°C)	230
Düktilite, 25 °C, 5 cm/min	+100 cm
Yumuşama Noktası (°C)	48

3.3. Katkı Malzemeleri Deney Sonuçları

Deneyleerde, katkı maddesi olarak kullanılan sönmüş kireç Kavkisan Kavak Kireç San. Tic.A. Ş. Firması tarafından, çimento olarak Ünye Çimentosu ve İsfalt'tan temin edilen Pr plast kullanılmıştır. Aşağıdaki tablolarda katkıların kimyasal ve fiziksel analizlerinin özellikleri verilmiştir. Katkıların kullanımında üst düzey performans değerlerinin tespitine yönelik olarak sönmüş kireç ve çimento beş farklı oranda (%1-1,5-2-3-5), Pr plast ise iki farklı oranda (%0,3-0,6) katıldı.

Aşağıda tablolarda katkıların firmalardan temin edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri belirtilmektedir.

Tablo 17. Sönmüş toz kireç (SKK 80-T) kimyasal analiz değerleri

SÖNMÜŞ TOZ KİREÇ-Ca(OH)₂		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	ORAN (%)
Toplam CaO (%)	EN 459-2 Mad. 4.2.	85,78
Aktif Ca(OH) ₂ (%)	TS 32 Mad. 1.1.3.	80,79
MgO (%)	EN 459-2 Mad. 4.3	2,52
Toplam CaO+MgO (%)	TS	92,1
Kızdırma Kaybı (%)	En 459-2 Mad. 4.5.	22,54
Asitte Çözünmeyen (%)	TS 32 Mad. 1.1.5.	1,42
R ₂ O ₃ (%)	TS 32 Mad. 1.1.9.	0,48
SO ₃ (%)	EN 459-2 Mad. 4.6.	1,49
CO ₂ (%)	EN 459-2 Mad. 4.4.	3,92

Tablo 18. Sönmüş toz kireç (SKK 80-T) fiziksel analiz değerleri

SÖNMÜŞ TOZ KİREÇ-Ca(OH)₂		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	ORAN (%)
İncelik-90 mikron üzeri (%)	EN 459-2 Mad. 5.2.	5,0
Yoğunluk gr/dm ³	EN 459-2 Mad. 5.8.	460

Tablo 19. Çimento (CEM II/ B-M 42,5 R) kimyasal analiz değerleri

ÇİMENTO (CEM II /B-M 42,5 R)		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	ORAN (%)
SiO ₂	TS-EN 196-2	19,47
Çözünmeyen kalıntı	TS-EN 196-2	0,98
Çözünen SiO ₂	TS-EN 196-2	18,49
Al ₂ O ₃	TS-EN 196-2	5,60
Fe ₂ O ₃	TS-EN 196-2	3,71
CaO	TS-EN 196-2	61,19
MgO	TS-EN 196-2	0,99
SO ₃	TS-EN 196-2	2,98
Na ₂ O	TS-EN 196-2	0,23
K ₂ O	TS-EN 196-2	1,05
Na ₂ O Eq	TS-EN 196-2	0,92
Cl	TS-EN 196-21	0,0078

Tablo 20. Çimento (CEM II /B-M 42,5 R) fiziksel analiz değerleri

ÇİMENTO (CEM II /B-M 42,5 R)		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	ORAN (%)
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	TS-EN 197-1	3,05
Hacim genişmesi	TS-EN 197-1	1
Su ihtiyacı(%)	TS-EN 197-1	32,4
ÖzgülYüzey-Blaine (cm ² /g)	TS-EN 197-1	3561
90 mikron elekte kalıntı	TS-EN 197-1	0,00
45 mikron elekte kalıntı	TS-EN 197-1	3,40

Tablo 21. Pr plast analiz değerleri

PR PLAST	
Yoğunluk	0,91-0,965
Erime Noktası(°C)	110-140
Dane Boyutu (mm)	0/5
Poliolefin	>95

3.4. Karışım Tasarımı Sonuçları

Özellikleri belirlenen asfalt çimentosu ve agrega granülometrisi ile Marshall Karışımı Tasarım Tekniği çerçevesinde briketler hazırlandı. Hazırlanan briketlerde asfalt çimentosu, kuru granül agrega ağırlığının yüzdesi olarak 4,0-4,5-5,0-5,5-6,0-6,5 değerlerinde 6 farklı oranda olmak üzere her asfalt çimentosu yüzdesinde 3 adet briket üretildi. Sıkıştırma işlemi briketlerin ön ve arka yüzlerine 75 darbe olarak uygulandı. Karıştırma, 145 °C sıcaklıkta yapıldı. Briketlerin alt ve üzerine filtre kâğıdı konuldu. İşlem

sonunda briketler soğumaya bırakıldı. Yeterli soğuma sağlandıktan sonra kalıplarından çıkarıldı ve özellikleri tespit edilip tablolaştırıldı.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında hazırlanan Marshall briketlerine ait veriler tablolar halinde aşağıda sunulmaktadır. Tasarım verileri Tablo 22 'de görülmektedir.

Tablo 22. Aşınma dizaynı Marshall Deneyi sonuçları

Briket No	Bitüm (%)	Ortalama Briket Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teorik Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
1	4,0	61,7	1185,5	496,4	2,388	2.541	5,82
2	4,0	62,3	1186,5	494,3	2,400		
3	4,0	62,0	1180,7	494,0	2,390		
Ortalama					2,393		
4	4,5	62,5	1188,8	495,4	2,400	2.523	4,75
5	4,5	62,0	1191,5	4494,9	2,408		
6	4,5	62,4	1190,5	496,1	2,400		
Ortalama					2,403		
7	5,0	61,6	1191,1	491,1	2,425	2,505	3,49
8	5,0	62,2	1190,6	494,0	2,410		
9	5,0	62,0	1192,8	493,2	2,418		
Ortalama					2,418		
10	5,5	61,2	1195,7	489,2	2,444	2,604	3,19
11	5,5	61,6	1198,0	491,6	2,437		
12	5,5	61,3	1201,3	495,1	2,426		
Ortalama					2,436		
13	6,0	60,5	1198,3	573.20	2,447	2,685	2,82
14	6,0	63,0	1206,1	578.52	2,443		
15	6,0	61,7	1198,8	573.65	2,435		
Ortalama					2,442		
16	6,5	61,6	1203,1	573.17	2,429	2,567	2,03
17	6,5	61,7	1205,7	573.31	2,439		
18	6,5	61,3	1194,8	571.55	2,433		
Ortalama					2,434		

Tablo 22 ' nin devamı

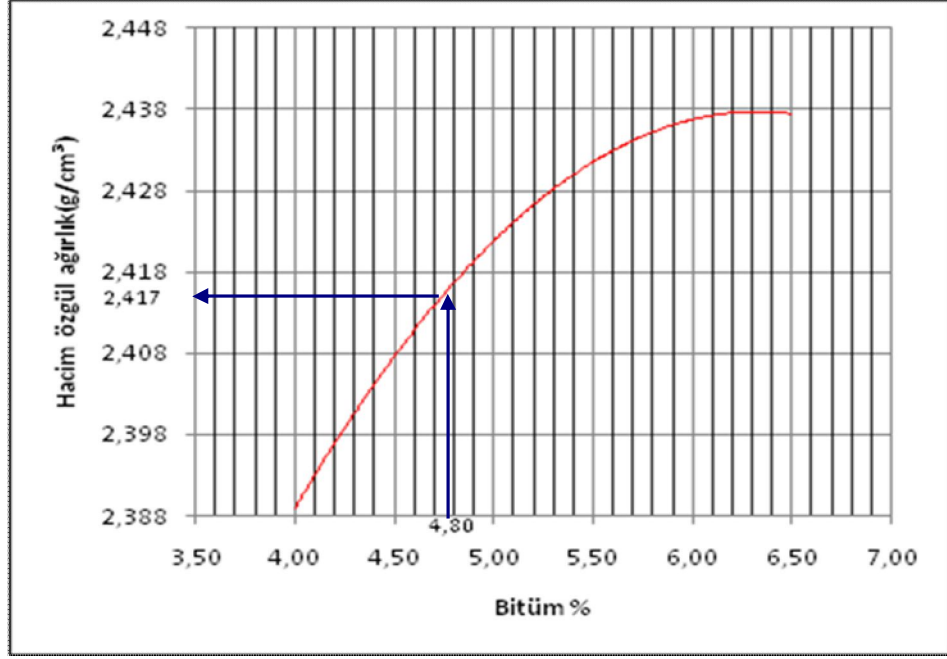
Bitüm Özgül Ağırlığı	1,019	Kaba Agrega (%)	52	Kaba Ag. Hac. Öz. Ağ.	2,695
Bitüm Penetrasyonu	50	İnce Agrega (%)	43	Kaba Ag. Zahirî Öz. Ağ.	2,719
Agrega AC Abs.	0,31	Filler (%)	5	İnce Ag. Hac. Öz. Ağ.	2,678
Agrega Kar. Ef. Öz. Ağ.	2,702	Agrega Kar. Hac. Öz. Ağ.	2,688	İnce Ag. Zahirî Öz. Ağ.	2,716
Karışımındaki Agrega	1150	Agrega Kar. Zah. Öz. Ağ.	2,717	Filler Zahirî Öz. Ağ.	2,704

3.4.1. Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi

Saptanan karışım gradasyonu ve Marshal yöntemi ile briketlerin, yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra, elde edilen değerlerle oluşturulan grafikler aşağıda belirtilmektedir.

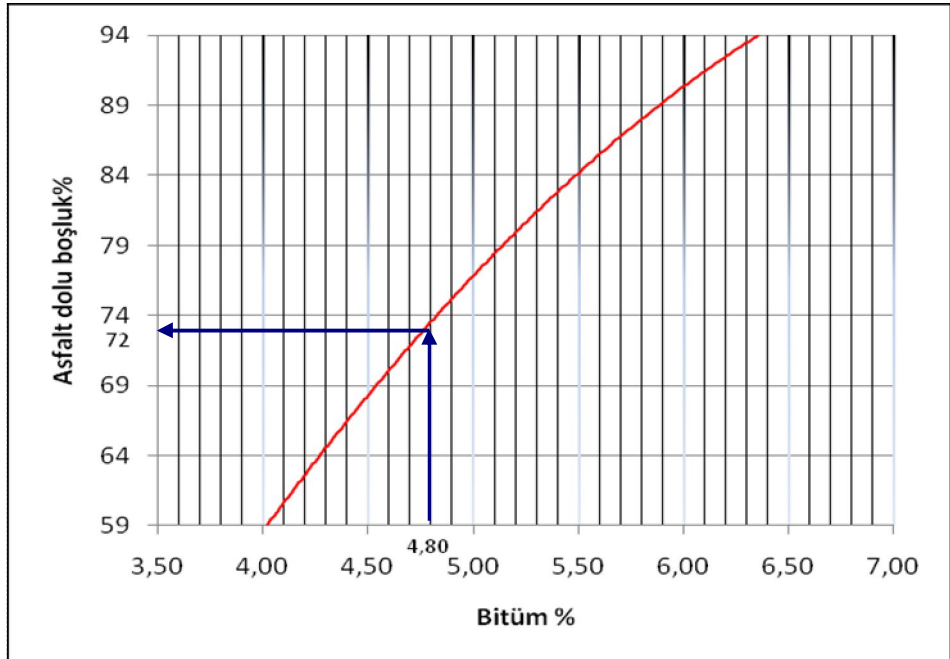
- Dp-Wa
- Vf-Wa
- Vh-Wa
- Stabilite-Wa
- Akma-Wa
- VMA-Wa grafikleri aşağıda görülmektedir;

Pratik özgül ağırlık-bitüm yüzdesi grafiği Şekil 7' de gösterilmiştir.



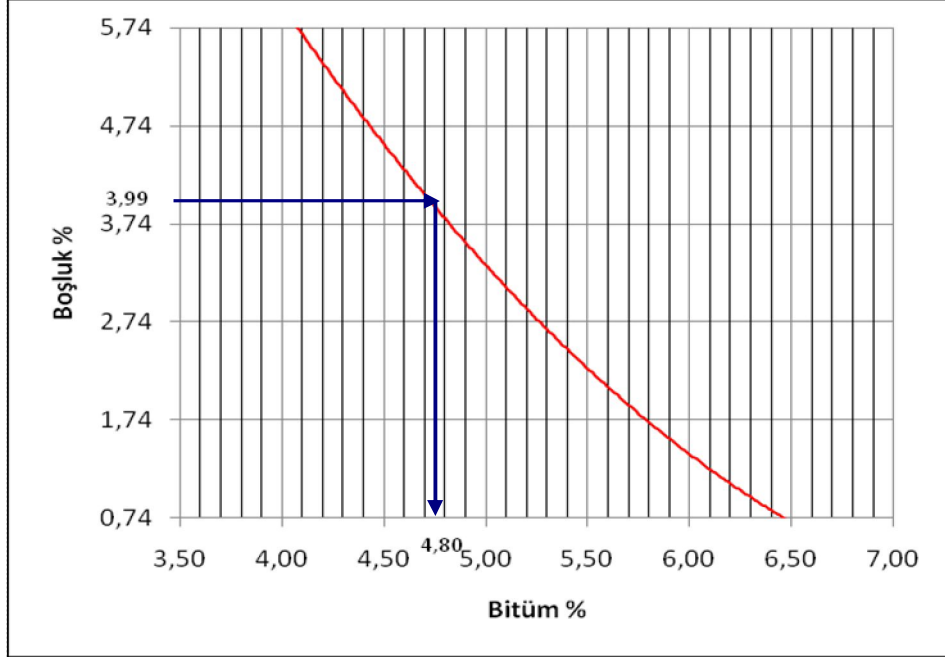
Şekil 7. Pratik özgül ağırlık-bitüm yüzdesi grafiği

Asfalt dolu boşluk-bitüm yüzdesi grafiği Şekil 8’de gösterilmektedir.



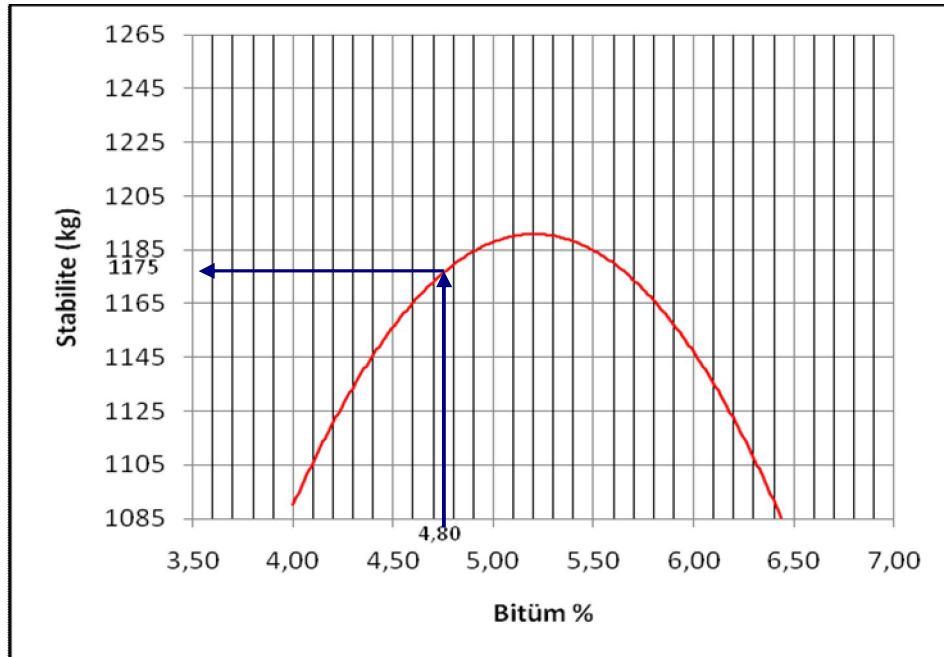
Şekil 8. Asfalt dolu boşluk yüzdesi-bitüm yüzdesi grafiği

Boşluk yüzdesi-bitüm yüzdesi grafiği Şekil 9'da gösterilmektedir.



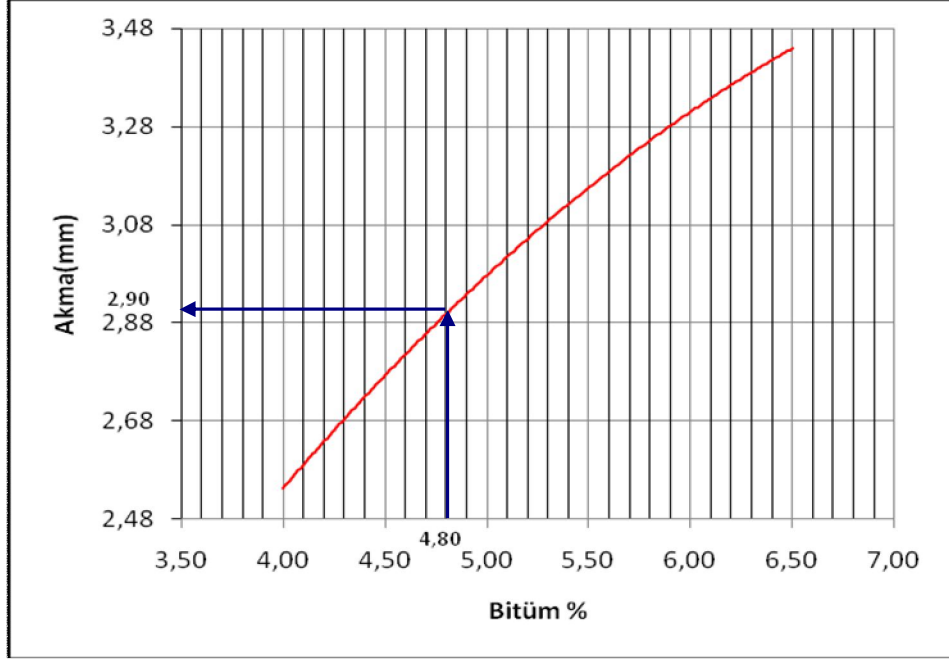
Şekil 9. Boşluk yüzdesi-bitüm yüzdesi grafiği

Stabilite (kg) -bitüm yüzdesi grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir.



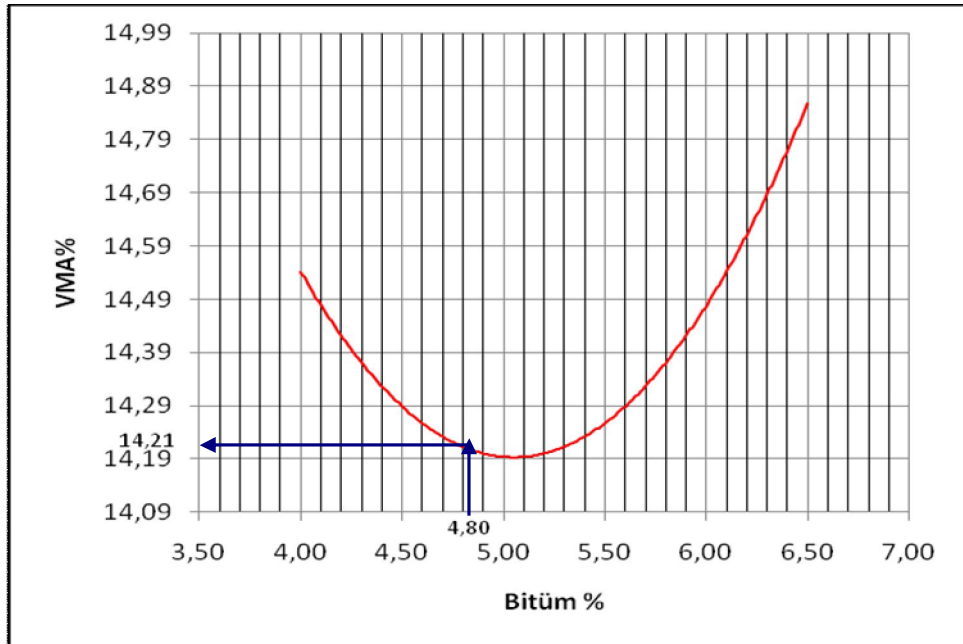
Şekil 10. Stabilite(kg)-bitüm yüzdesi grafiği

Akma -bitüm yüzdesi grafiği Şekil 11’de gösterilmektedir.



Şekil 11. Akma-bitüm yüzdesi grafiği

VMA -bitüm yüzdesi grafiği Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. VMA-bitüm yüzdesi grafiği

Karayolları Teknik Şartnamesinde ki kriterlere göre optimum bitüm yüzdesini belirlenirken genellikle boşluk yüzdesi göz önünde bulundurulur. Bu doğrultuda boşluk esas alınarak diğer değerlerin şartname kriterlerine uygun olup olmadığına bakıldı.

Elde edilen optimum bitüm miktarı ve diğer deney sonuçları aşağıda Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Optimum bitüm miktarı ve karşılık gelen parametreler

Optimum bitüm miktarı	4,80
Stabilite (Kg)	1175
Pratik yoğunluk (gr/cm ³)	2,417
Boşluk yüzdesi (%)	3,99
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (%)	72
Akma (mm)	2,90
VMA (%)	14,20

3.5. Sönmüş Kireç Uygulaması Deney Sonuçları

Farklı katkı oranlarında (Normal, %1, 1,5, 2, 3 ve 5) sönmüş kireç ihtiva eden numuneler oluşturulmuş, karakteristik değerlerinin tespitine yönelik yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler aşağıda Tablo 24 ve Tablo 25'de belirtilmiştir.

Tablo 24. Sönmüş kireç katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket değerleri

Br. No	Durum			Ort. Br. Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teo. Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
		Filler	S.Kireç						
1	Koşulsuz	4	1	61,4	1197,3	500,7	2,391	2,512	4,47
2		4	1	61,0	1182,5	491,5	2,406		
3		4	1	60,8	1199,1	499,3	2,402		
Ortalama							2,400		
7	Koşulsuz	3,5	1,5	62,2	1190,7	495,4	2,396	2,512	4,26
8		3,5	1,5	61,5	1198,8	499,1	2,396		
9		3,5	1,5	62,2	1193,0	492,1	2,423		
Ortalama							2,405		
13	Koşulsuz	3	2	63,0	1196,6	497,9	2,403	2,512	4,33
14		3	2	62,6	1192,8	498,3	2,394		
15		3	2	61,8	1190,4	493,3	2,413		
Ortalama							2,403		
19	Koşulsuz	2	3	62,4	1196,2	502,4	2,381	2,514	5,03
20		2	3	62,8	1196,9	500,2	2,393		
21		2	3	62,6	1197,2	500,9	2,390		
Ortalama							2,388		
25	Koşulsuz	0	5	63,1	1194,4	501,9	2,393	2,514	5,07
26		0	5	63,1	1199,3	500,9	2,397		
27		0	5	63,1	1205,0	500,5	2,391		
Ortalama							2,394		

Tablo 25. Sönmüş kireç katkılı (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri

Br. No	Durum			Ort. Br. Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teo. Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
		Filler	S.Kireç						
4	Koşullu	4	1	62,4	1194,1	497,2	2,402	2,512	4,26
5		4	1	62,8	1187,3	494,7	2,400		
6		4	1	62,2	1189,7	492,6	2,415		
Ortalama							2,406		
10	Koşullu	3,5	1,5	62,9	1196,6	498,2	2,402	2,512	4,11
11		3,5	1,5	62,2	1193,8	493,3	2,420		
12		3,5	1,5	63,0	1196,5	497,8	2,404		
Ortalama							2,409		
16	Koşullu	3	2	62,7	1196,7	495,5	2,415	2,512	3,89
17		3	2	62,2	1196,9	496,6	2,410		
18		3	2	62,2	1197,2	495,1	2,418		
Ortalama							2,414		
22	Koşullu	2	3	62,8	1195,5	501,3	2,385	2,514	4,80
23		2	3	63,1	1198,3	499,8	2,398		
24		2	3	63,5	1199,8	500,3	2,398		
Ortalama							2,394		
28	Koşullu	0	5	63,1	1225,3	499,1	2,393	2,514	4,80
29		0	5	63,1	1225,0	500,3	2,397		
30		0	5	63,1	1224,5	504,2	2,391		
Ortalama							2,394		

3.5.1. Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Stabilite ve Akma Değerleri

Üç adet koşullandırılmış, üç adet ise koşullandırılmadan bekletilmiş olan sönmüş kireç katkılı numuneler stabilite aletine yerleştirilerek stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir. Stabilite aletine yerleştirilen briketlere basınç uygulanarak hangi değerde akma davranışı sergiledikleri ve bu akma miktarının ne kadar olduğu tespit edilmiştir. Tüm briketlere bu işlem uygulandıktan sonra elde edilen bulgular aşağıda Tablo 26 ve Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 26. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri

Stabilite ve Akma Değerleri						
Sıra No	Yükseklik (mm)	Katkı Oranları	Akma (mm)	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Tahsis Edilmiş Stabilite
				(kN.)	TSE-3720	(kg)
-	61,2	Katksız	2,56	11,84	1,062	1257
-	61,4		2,69	11,30	1,056	1193
-	61,3		2,60	10,17	1,059	1077
Ortalama			2,62	Stabilite / Akma = 448,85		1176
1	62,8	% 1 S.Kireç Katkılı	3,80	11,79	1,018	1200
2	61,2		2,60	11,80	1,062	1253
3	62,3		2,80	10,83	1,030	1115
Ortalama			3,07	Stabilite/ Akma= 387,62		1190
7	61,7	% 1,5 S.Kireç Katkılı	2,60	10,97	1,046	1147
8	62,7		3,10	11,75	1,020	1199
9	62,0		2,80	11,85	1,038	1230
Ortalama			2,83	Stabilite/ Akma= 421,20		1192
13	63,0	%2 S.Kireç Katkılı	3,10	11,56	1,013	1171
14	62,0		2,60	11,65	1,023	1192
15	62,5		2,80	11,85	1,043	1236
Ortalama			2,83	Stabilite/ Akma= 424,03		1200

Tablo 26'nın devamı

19	62,4	%3 S. Kireç Katkılı	3,80	12,55	1,028	1290
20	62,8		3,60	12,58	1,018	1281
21	62,6		3,40	12,60	1,023	1289
Ortalama			3,60	Stabilite/ Akma=357,5		1287
25	62,5	%5 S. Kireç Katkılı	3,22	13,85	1,028	1417
26	63,2		3,40	13,90	1,018	1404
27	64,0		3,31	13,95	1,023	1388
Ortalama			3,31	Stabilite/ Akma=423,87		1403

Tablo 27. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkıli numunelerin stabilite ve akma değerleri

Stabilite ve Akma Değerleri						
Sıra No	Yükseklik (mm)	Katkı Oranları	Akma (mm)	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Tahsis Edilmiş Stabilite
				(kN.)	TSE-3720	(kg)
-	61,8	Katkısız	3,55	11,05	1,043	1153
-	62,5		3,27	9,980	1,025	1023
-	62,1		2,58	10,60	1,035	1097
Ortalama			3,13	Stabilite/ Akma =348,56		1091
4	62,8	% 1 S.Kireç Katkılı	3,18	11,22	1,028	1153
5	61,2		2,87	11,59	1,018	1180
6	62,3		3,50	11,33	1,033	1170
Ortalama			3,18	Stabilite/ Akma= 367,30		1168
10	62,9	% 1,5 S.Kireç Katkılı	3,66	11,46	1,015	1163
11	62,2		2,80	11,30	1,033	1167
12	63,0		3,10	11,86	1,013	1201
Ortalama			3,19	Stabilite/ Akma= 368,97		1177

Tablo 27'nin devamı

16	61,9	%2 S.Kireç Katkılı	3,70	11,03	1,020	1125
17	62,1		3,60	11,35	1,033	1172
18	61,1		3,39	12,29	1,033	1270
Ortalama			3,56	Stabilite/ Akma= 333,99		1189
22	62,6	%3 S. Kireç Katkılı	4,24	11,89	1,018	1210
23	62,9		4,53	11,95	1,010	1207
24	63,6		4,59	12,05	1,000	1205
Ortalama			4,45	Stabilite/ Akma= 271,24		1207
28	63,1	%5 S. Kireç Katkılı	3,60	13,49	1,010	1362
29	63,1		4,78	12,57	1,010	1270
30	63,1		3,55	13,40	1,010	1353
Ortalama			3,98	Stabilite/ Akma= 333,67		1328

3.6. Çimento Uygulaması Deney Sonuçları

Farklı katkı oranlarında (Normal, %1, 1,5, 2, 3 ve 5) çimento ihtiva eden numuneler oluşturulmuş, karakteristik değerlerinin tespitine yönelik yapılan deneyler neticesinde elde edilen çimento katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket değerleri aşağıda Tablo 28'de belirtilmiştir.

Tablo 28. Çimento katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket değerleri

Br. No	Durum			Ort. Br. Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teo. Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
		Filler	Çimento						
1	Koşulsuz	4	1	62,0	1185,9	490,9	2,416	2,512	3,74
2		4	1	62,1	1190,3	493,2	2,413		
3		4	1	62,0	1193,8	492,3	2,425		

Tablo 28 'in devamı

Ortalama							2,418		
7	Koşulsuz	3,5	1,5	62,3	1192,0	495,6	2,405	2,512	4,30
8		3,5	1,5	62,8	1196,6	498,0	2,403		
9		3,5	1,5	62,9	1196,7	497,8	2,404		
Ortalama							2,404		
13	Koşulsuz	3	2	62,3	1194,0	496,7	2,417	2,512	3,74
14		3	2	62,1	1199,2	494,1	2,423		
15		3	2	61,9	1199,1	497,1	2,409		
Ortalama							2,403		
19	Koşulsuz	2	3	62,7	1196,9	500,5	2,391	2,514	4,73
20		2	3	62,6	1197,2	497,5	2,406		
21		2	3	62,7	1200,6	502,6	2,389		
Ortalama							2,395		
25	Koşulsuz	0	5	62,4	1198,0	487,3	2,458	2,514	2,46
26		0	5	61,4	1196,6	489,4	2,445		
27		0	5	61,5	1198,6	488,5	2,454		
Ortalama							2,452		

Çimento katkı (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri ise aşağıda Tablo 29'da belirtilmiştir.

Tablo 29. Çimento katkılı (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri

Br. No	Durum			Ort. Br. Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teo. Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
		Filler	Çimento						
4	Koşullu	4	1	62,0	1199,5	490,9	2,424	2,512	3,74
5		4	1	62,6	1195,7	493,2	2,406		
6		4	1	61,6	1197,1	492,3	2,4025		
Ortalama							2,418		
10	Koşullu	3,5	1,5	62,7	1198,3	500,1	2,396	2,512	4,21
11		3,5	1,5	62,7	1197,8	497,4	2,408		
12		3,5	1,5	62,0	1197,9	496,0	2,415		
Ortalama							2,406		
16	Koşullu	3	2	62,3	1200,6	496,7	2,417	2,512	3,81
17		3	2	61,9	1197,4	494,1	2,423		
18		3	2	62,5	1197,4	497,1	2,409		
Ortalama							2,416		
22	Koşullu	2	3	62,5	1195,3	497,5	2,403	2,514	4,67
23		2	3	62,3	1196,9	498,4	2,401		
24		2	3	62,8	1196,7	501,5	2,386		
Ortalama							2,397		
28	Koşullu	0	5	61,0	1198,8	487,5	2,459	2,514	2,22
29		0	5	61,2	1198,7	487,9	2,457		
30		0	5	60,5	1199,5	487,8	2,459		
Ortalama							2,458		

3.6.1. Çimento Katkılı Numunelerin Stabilite ve Akma Değerleri

Sönmüş kirece uygulanan aynı işlem çimento katkılı numuneler içinde tekrarlanmış, elde edilen bulgular aşağıda Tablo 30 ve Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 30. Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri

Stabilite ve Akma Değerleri						
Sıra No	Yükseklik (mm)	Katkı Oranları	Akma (mm)	Stabilite	Düzeltilme Faktörü	Tahsis Edilmiş Stabilite
				(kN.)	TSE-3720	(kg)
-	61,2	Katkısız	2,56	11,84	1,062	1257
-	61,4		2,69	11,30	1,056	1193
-	61,3		2,60	10,17	1,059	1077
Ortalama			2,62	Stabilite / Akma = 448,85		1176
1	62,0	% 1 Çimento Katkılı	2,60	12,05	1,038	1251
2	62,1		2,60	12,07	1,035	1249
3	62,0		3,10	12,15	1,038	1261
Ortalama			2,77	Stabilite/ Akma = 452,71		1254
7	62,3	% 1,5 Çimento Katkılı	2,80	12,94	1,030	1333
8	62,8		2,70	12,97	1,018	1320
9	62,06 2,9		3,10	13,00	1,015	1320
Ortalama			2,87	Stabilite/ Akma = 461,32		1324
13	62,3	%2 Çimento Katkılı	2,70	12,03	1,030	1239
14	62,1		3,20	12,09	1,035	1251
15	61,9		3,10	12,21	1,040	1270
Ortalama			3,00	Stabilite/ Akma = 417,67		1253
19	62,7	%3 Çimento Katkılı	3,60	10,73	1,020	1094
20	62,6		3,20	11,92	1,023	1219
21	62,7		3,40	11,95	1,020	1219

Tablo 30'un devamı

Ortalama			3,40	Stabilite/ Akma=346,47	1178	
25	62,4	%5 Çimento Katkılı	4,76	11,38	1,028	1170
26	61,4		4,51	11,85	1,056	1251
27	61,5		5,05	10,40	1,053	1095
Ortalama			4,77	Stabilite/ Akma=245,70	1172	

Tablo 31.Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin stabilite ve akma değerleri

Stabilite ve Akma Değerleri						
Sıra No	Yükseklik (mm)	Katkı Oranları	Akma (mm)	Stabilite (kN.)	Düzeltilme Faktörü TSE-3720	Tahsis Edilmiş Stabilite (kg)
-	61,8	Katkısız	3,55	11,05	1,043	1153
-	62,5		3,27	9,980	1,025	1023
-	62,1		2,58	10,60	1,035	1097
Ortalama			3,13	Stabilite/ Akma =348,56	1091	
4	62,0	% 1 Çimento Katkılı	3,15	11,72	1,038	1217
5	62,6		2,87	11,73	1,023	1200
6	61,6		2,79	11,78	1,049	1236
Ortalama			2,94	Stabilite/ Akma= 413,95	1217	
10	62,7	% 1,5 Çimento Katkılı	3,31	12,64	1,020	1289
11	62,7		3,52	12,55	1,020	1280
12	62,0		3,20	12,71	1,038	1319
Ortalama			3,34	Stabilite/ Akma= 368,96	1296	

Tablo 31 'in devamı

16	62,3	%2 Çimento Katkılı	3,42	11,18	1,030	1152
17	61,9		3,95	10,98	1,040	1142
18	62,5		3,27	11,94	1,025	1224
Ortalama			3,55	Stabilite/ Akma= 330,14		1172
22	62,5	%3 Çimento Katkılı	5,61	10,51	1,025	1077
23	62,3		4,30	10,54	1,030	1086
24	62,8		3,59	10,61	1,018	1080
Ortalama			4,50	Stabilite/ Akma= 240,22		1081
28	61,0	%5 Çimento Katkılı	4,76	10,40	1,068	1111
29	61,2		4,19	10,54	1,062	1119
30	60,5		5,21	11,02	1,084	1195
Ortalama			4,72	Stabilite/ Akma= 254,23		1142

3.7. Pr Plast Uygulaması Deney Sonuçları

Farklı katkı oranlarında (Normal, % 0,3 ve 0,6) çimento ihtiva eden numuneler oluşturulmuş, karakteristik değerlerinin tespitine yönelik yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler aşağıda Tablo 32 ve Tablo 33'te belirtilmiştir.

Tablo 32. Pr plast katkılı (koşullandırılmayacak) Marshall briket değerleri

Br. No	Durum	Pr Plast (Karışımın %)	Ort. Br. Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teo. Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
2	0,3	62,8	1198,9	503,1	2,383			
3	0,3	63,3	1198,3	502,3	2,386			

Tablo 32 'nin devamı

Ortalama						2,383		
7	Koşulsuz	0,6	65,1	1203,4	514,3	2,340	2,512	6,87
8		0,6	64,8	1200,9	513,4	2,339		
9		0,6	64,7	1201,5	513,6	2,339		
Ortalama						2,339		

Tablo 33. Pr plast katkı (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri

Br. No	Durum	Pr Plast (Karışımın %)	Ort. Br. Yük. (mm)	Havada Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Maks. Teo. Öz. Ağırlık (gr/cm ³)	Boşluk (%)
4	Koşullu	0,3	63,1	1204,0	503,2	2,393	2,512	4,74
5		0,3	62,2	1192,7	496,5	2,402		
6		0,3	63,1	1198,6	502,7	2,384		
Ortalama						2,393		
10	Koşullu	0,6	64,5	64,5	506,3	2,375	2,512	5,71
11		0,6	63,8	63,8	506,0	2,372		
12		0,6	64,6	64,6	511,1	2,359		
Ortalama						2,369		

3.7.1. Pr Plast Katkı Numunelerin Stabilité ve Akma Değerleri

Sönmüş kirece uygulanan aynı işlem Pr plast katkı numuneler içinde tekrarlanmış, elde edilen bulgular aşağıda Tablo 34 ve Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 34. Koşullandırılmamış Pr plast katkıli numunelerin stabilite ve akma değerleri

Stabilite ve Akma Değerleri						
Sıra No	Yükseklik (mm)	Katkı Oranları	Akma (mm)	Stabilite (kN.)	Düzeltilme Faktörü TSE-3720	Tahsis Edilmiş Stabilite (kg)
-	61,2	Katkısız	2,56	11,84	1,062	1257
-	61,4		2,69	11,30	1,056	1193
-	61,3		2,60	10,17	1,059	1077
Ortalama			2,62	Stabilite / Akma =448,85		1176
1	63,1	%0,3 Pr Plast Katkılı	3,15	12,08	1,010	1220
2	62,8		2,86	12,14	1,018	1236
3	63,3		3,11	12,25	1,005	1231
Ortalama			3,04	Stabilite/ Akma= 404,28		1229
7	64,5	%0,6 Pr Plast Katkılı	3,40	12,97	0,960	1245
8	63,8		3,30	13,47	0,968	1304
9	64,6		3,50	13,49	0,970	1309
Ortalama			3,40	Stabilite/ Akma= 378.24		1286

Tablo 35. Koşullandırılmış pr plast katkıli numunelerin stabilite ve akma değerleri

Stabilite ve Akma Değerleri						
Sıra No	Yükseklik (mm)	Katkı Oranları	Akma (mm)	Stabilite (kN.)	Düzeltilme Faktörü TSE-3720	Tahsis Edilmiş Stabilite (kg)
-	61,2	Katkısız	2,56	11,84	1,062	1257
-	61,4		2,69	11,30	1,056	1193
-	61,3		2,60	10,17	1,059	1077
Ortalama			3,13	Stabilite / Akma =348,56		1091

Tablo 35 'in devamı

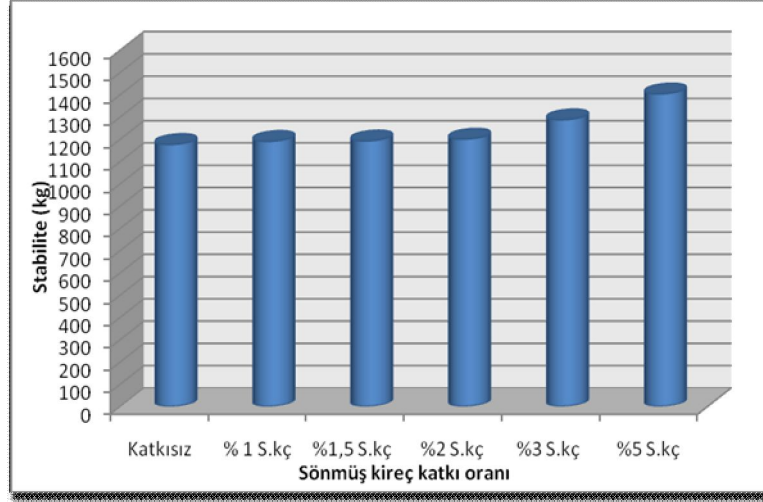
1	63,1	%0,3 Pr Plast Katkılı	3,15	11,96	1,010	1208
2	62,2		3,20	11,98	1,033	1238
3	63,1		3,30	12,00	1,010	1212
Ortalama			3,22	Stabilite/ Akma= 78,57		1219
7	64,5	% 0,6 Pr Plast Katkılı	4,25	12,54	0,975	1223
8	63,8		4,20	12,57	0,993	1248
9	64,6		4,15	13,00	0,973	1265
Ortalama			4,20	Stabilite/ Akma=296,43		1245

3.8. Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

3.8.1. Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

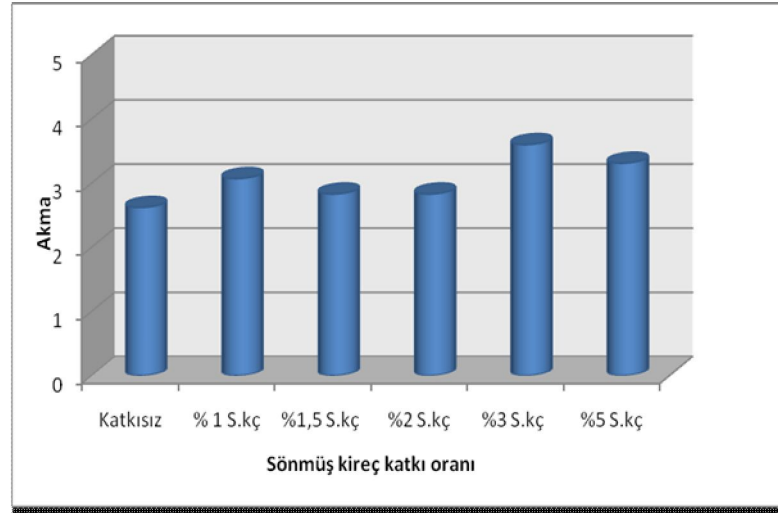
3.8.1.1. Koşullandırılmamış Sönmüş Kireç Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı oranlarındaki sönmüş kireç katkıli numunelerin (koşullandırılmamış) stabilite değerleri ölçülmüş ve en yüksek stabilite değer katkıli (koşullandırılacak) Marshall briket değerleri i % 5 oranında elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 13'de belirtilmiştir.



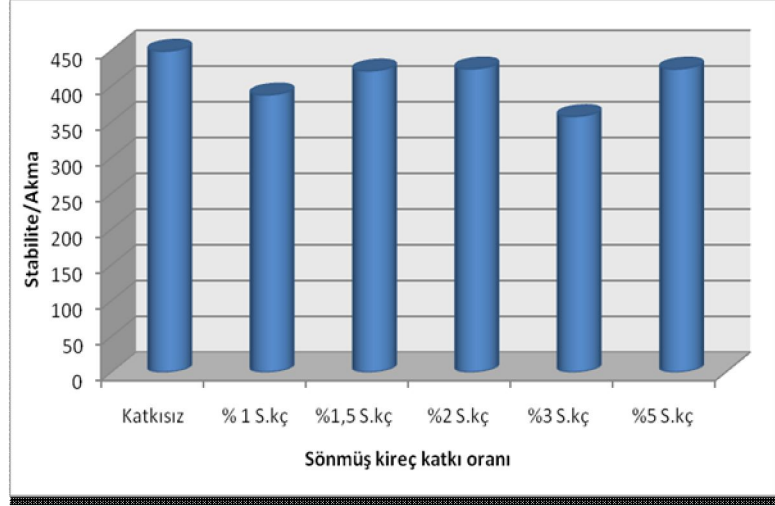
Şekil 13. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerleri

Bu numunelerin akma değerleride, stabilite değerlerinin tespiti sırasında okunmuş ve Şekil 14’de gösterilmiştir. En düşük akma oranları katkısız ve %1-%1,5 oranları arasında elde edilmiştir.



Şekil 14. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerleri

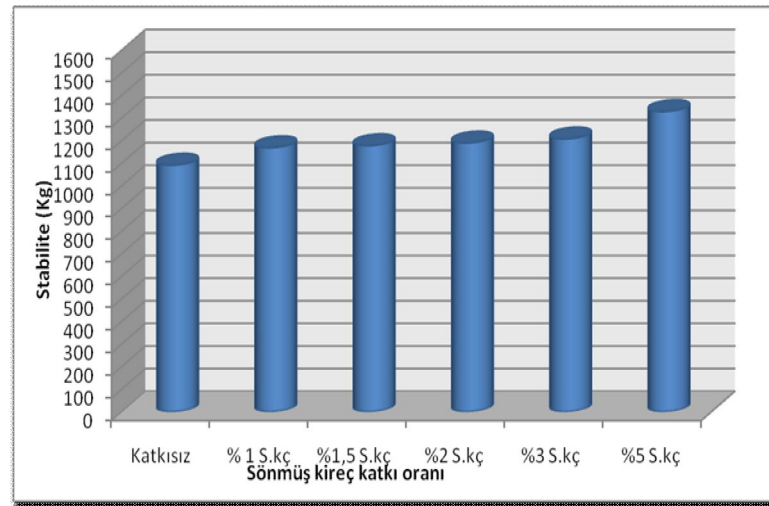
Esnek yol kaplamalarındaki önemli performans ölçümü kriterlerinden olan Marshall Oranı (Stabilite/Akma) oranları tespit edilmiş ve Şekil 15 ’de belirtilmiştir.



Şekil 15. Koşullandırılmamış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri

3.8.1.2. Koşullandırılmış Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

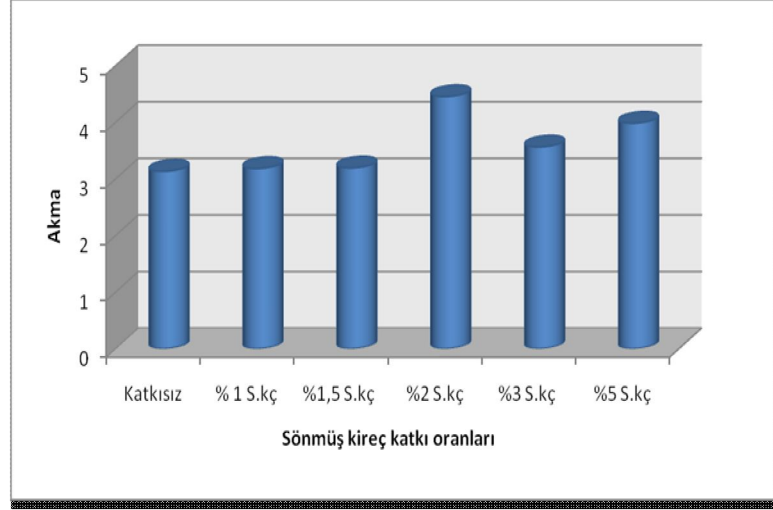
Altı farklı grupta incelediğimiz briketlerden su hasarına yönelik olarak koşullandırmış olduklarımız ile ilgili stabilite değerleri ölçülmüş ve aşağıda Şekil 16'da belirtilmiştir.



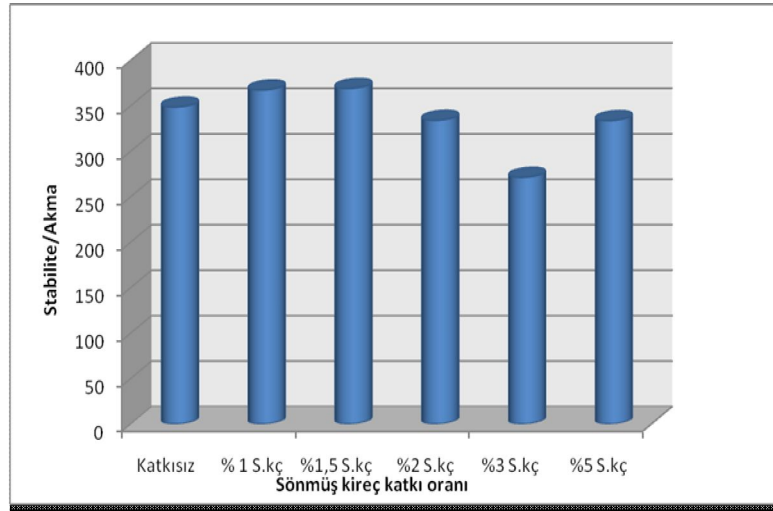
Şekil 16. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerleri

Buradan da görüldüğü gibi en yüksek stabilite oranları katkı oranlarıyla doğru orantılı olarak artmış, en yüksek değer % 5 oranında elde edilmiştir.

Bu numunelerin akma değerleride, stabilite değerlerinin tespiti sırasında okunmuş ve Şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerleri



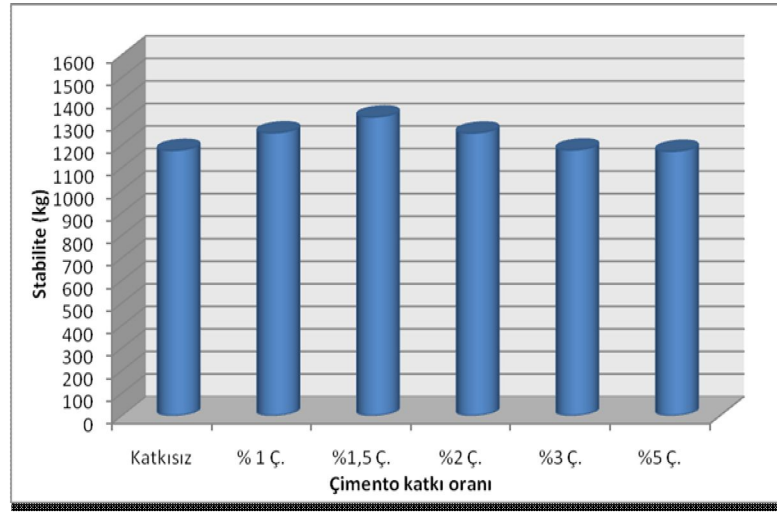
Şekil 18. Koşullandırılmış sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri

Esnek yol kaplamalarındaki önemli performans ölçümü kriterlerinden olan Marshall Oranı (Stabilite/Akma) oranları tespit edilmiş (Şekil 18) ve en düşük oran % 3’ te elde edilmiştir.

3.8.2. Çimento Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

3.8.2.1. Koşullandırılmamış Çimento Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

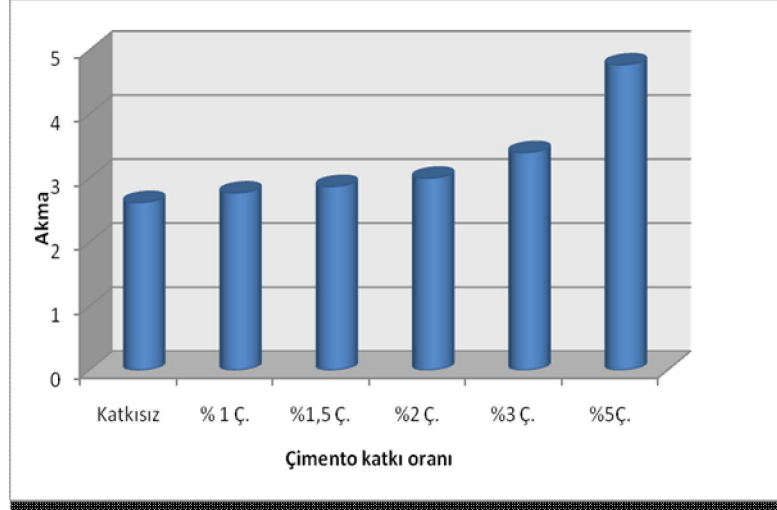
Farklı oranlarındaki çimento katkıli numunelerin (koşullandırılmamış) stabilite değerleri ölçülmüş ve aşağıda Şekil 19 'da belirtilmiştir.



Şekil 19. Koşullandırılmamış çimento katkıli numunelerin stabilite değerleri

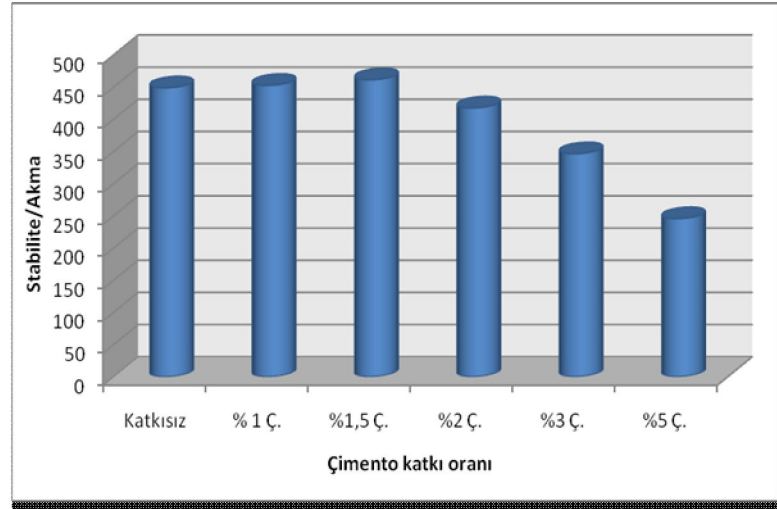
Şekil 19'da stabilite değerleri katkısız numuneye göre artmaya devam etmiş fakat en yüksek stabilite değeri % 1,5 oranında yakalanmıştır.

Bu numunelerin akma değerleride, stabilite değerlerinin tespiti sırasında okunmuş ve Şekil 20'de gösterilmiştir. En yüksek akma değeri % 5 oranında elde edilmiştir.



Şekil 20. Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin akma değerleri

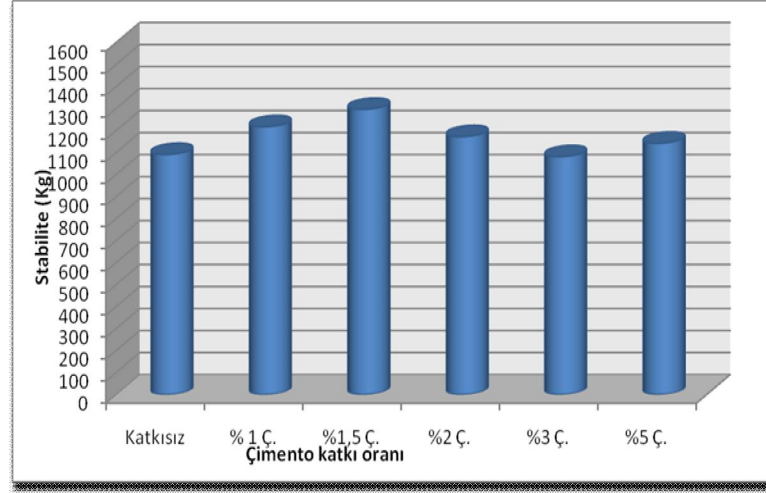
Şekil 21' de Stabilite/akma oranları verilmiş en düşük oran % 5 çimento oranında bulunmuştur.



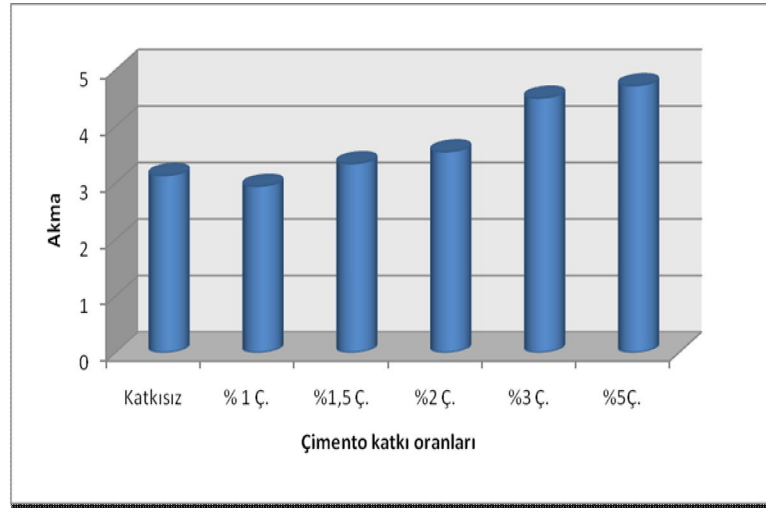
Şekil 21. Koşullandırılmamış çimento katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri

3.8.2.2. Koşullandırılmış Çimento Katkılı Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Altı farklı grupta incelediğimiz briketlerden su hasarına yönelik olarak koşullandırılmış olduklarımız ile ilgili stabilite değerleri ölçülmüş ve en yüksek stabilite oranı % 1,5' ta elde edilmiştir (Şekil 22).

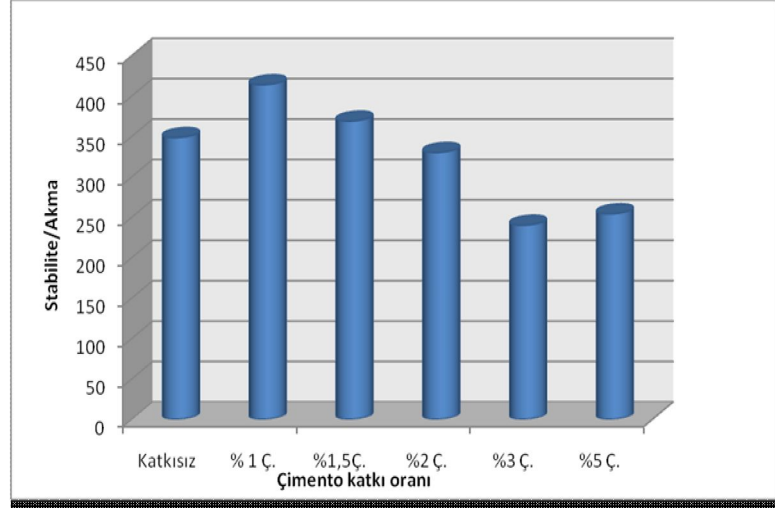


Şekil 22. Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin stabilite değerleri



Şekil 23. Koşullandırılmış çimento katkılı numunelerin akma değerleri

Şekil 23' te bu numunelerin akma değerleri verilmiş, en düşük oran %1 katkılı çimento katkıli numunede elde edilmiştir.



Şekil 24. Koşullandırılmış çimento katkıli numunelerin stabilite/akma değerleri

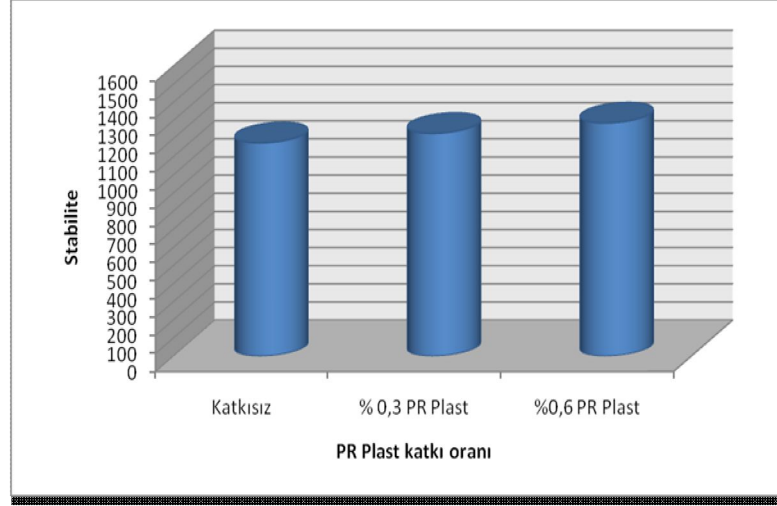
Burada görüldüğü gibi çimento katkıli numunelerde koşullandırma sonucu en yüksek akma oranı % 5 oranında elde edilmiştir.

Şekil 24' te stabilite/akma oranları verilmiş en düşük oran % 3 çimento oranında bulunmuştur.

3.8.3. Pr Plast Katkıli Numunelerin Deney Sonuçları

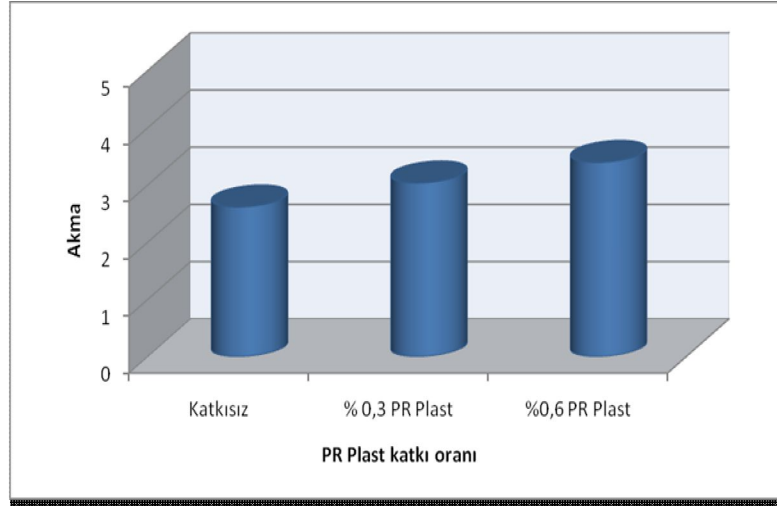
3.8.3.1. Koşullandırılmamış Pr Plast Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı oranlarındaki Pr plast katkıli numunelerin (koşullandırılmamış) stabilite değerleri ölçülmüş ve en yüksek stabilite değeri % 0,6'da elde edilmiştir.

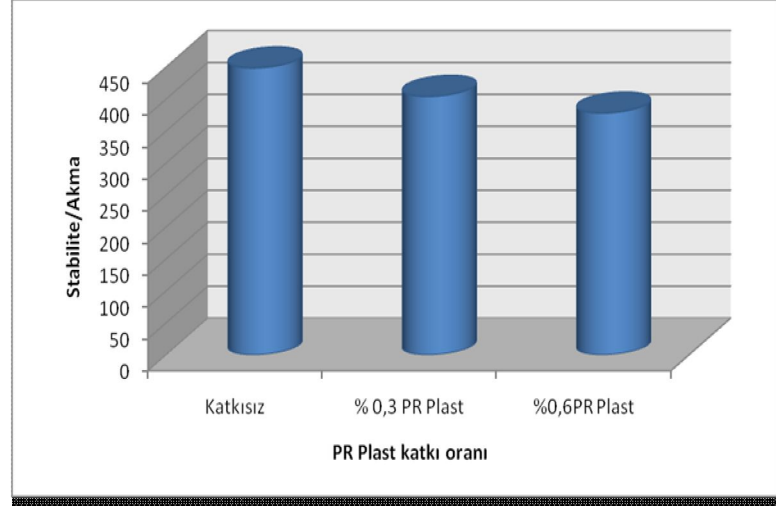


Şekil 25. Koşullandırılmamış Pr plast katkıli numunelerin stabilite değerleri

Bu numunelerin akma değerleride, stabilite değerlerinin tespiti sırasında okunmuş ve Şekil 26'da gösterilmiştir.



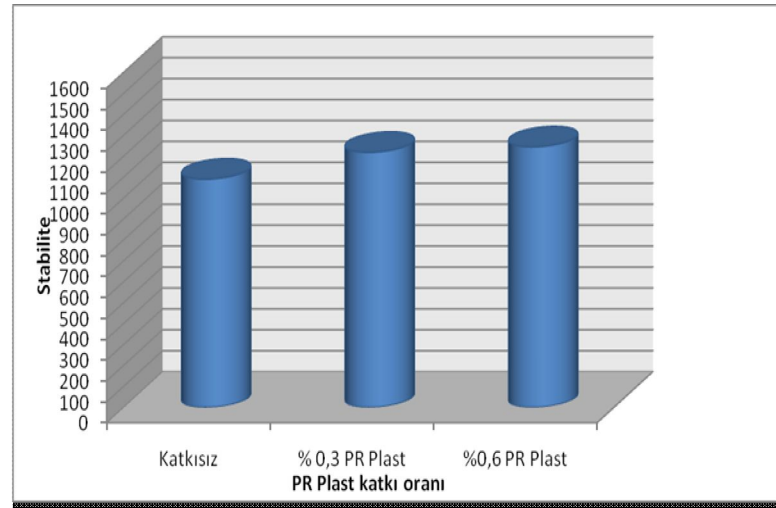
Şekil 26. Koşullandırılmamış Pr plast katkıli numunelerin akma değerleri



Şekil 27. Koşullandırılmamış Pr plast katkıli numunelerin stabilite/akma değerleri

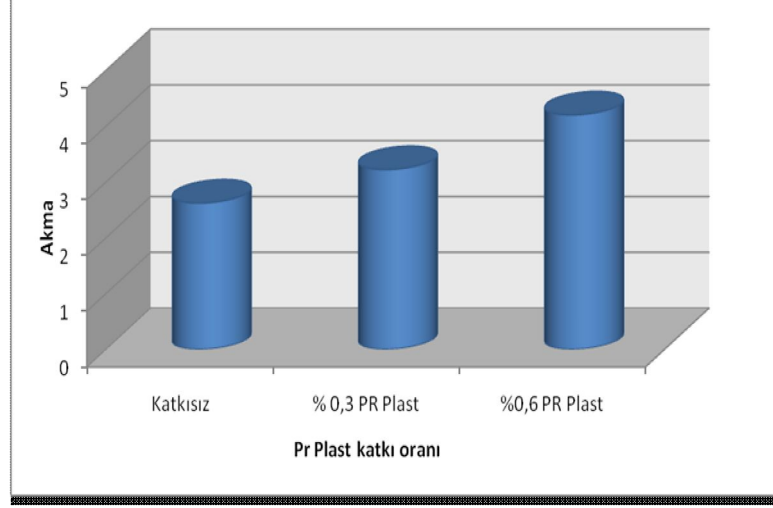
3.8.3.2. Koşullandırılmış Pr Plast Katkıli Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Altı farklı grupta incelediğimiz briketlerden su hasarına yönelik olarak koşullandırmış olduklarımız ile ilgili stabilite değerleri ölçülmüş ve aşağıda Şekil 28’de belirtilmiştir.

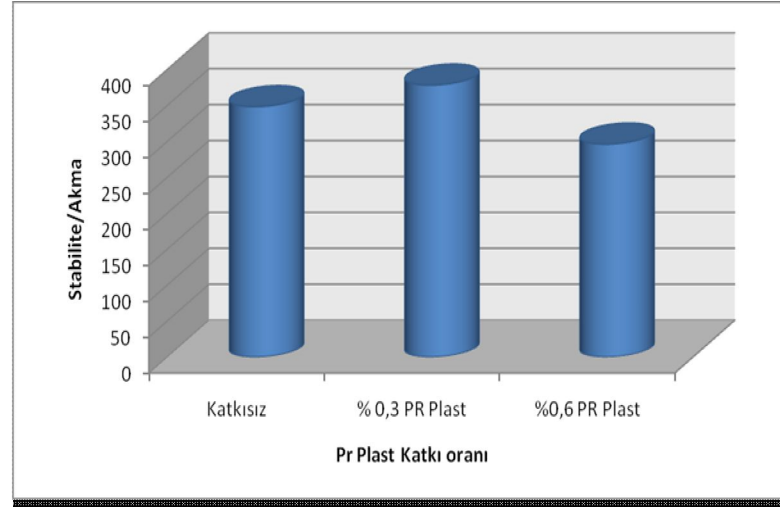


Şekil 28. Koşullandırılmış Pr plast katkıli numunelerin stabilite değerleri

Bu numunelerin akma değerleride, stabilite değerlerinin tespiti sırasında okunmuş ve Şekil 29’da gösterilmiştir. En dşuk akma değeri katkısız numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 29. Koşullandırılmış Pr plast katkılı numunelerin akma değerleri

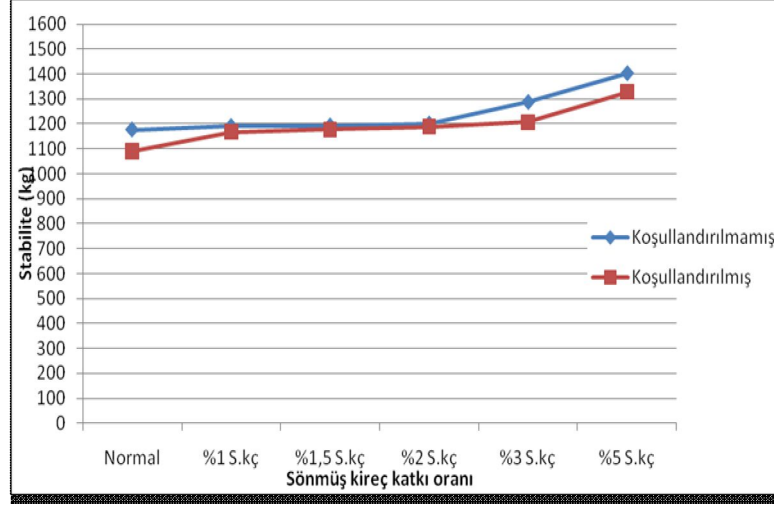


Şekil 30. Koşullandırılmış Pr plast katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri

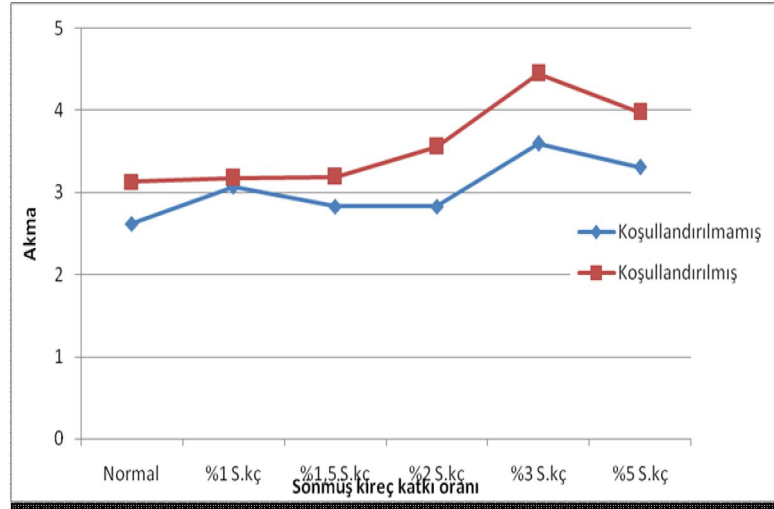
3.9. Koşullandırılmış ve Koşullandırılmamış Numunelerin Karşılaştırmalı Sonuçları

Stabilite, Akma ve Stabilite/Akma oranlarının koşullandırma durumunda nasıl bir değişim gösterdiklerinin rahatlıkla değerlendirilebilmesi açısından bu parametrelerdeki değişim aşağıdaki grafiklerde belirtilmiştir.

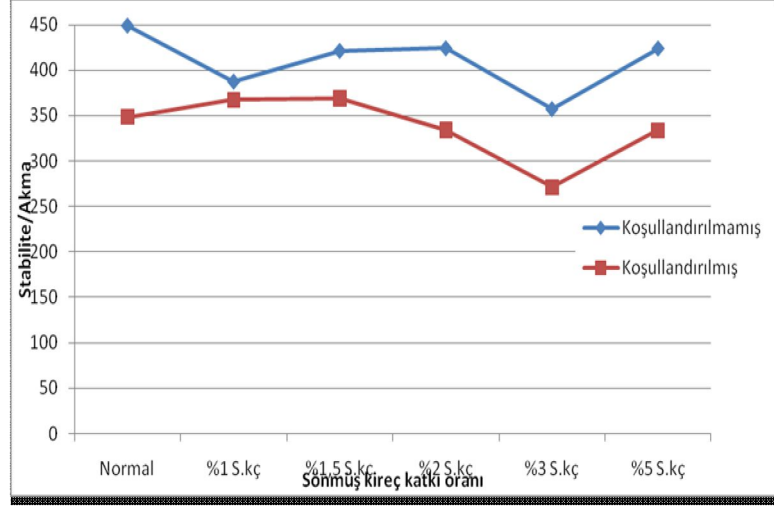
3.9.1. Sönmüş Kireç Katkılı Koşullandırılmış Numunelerin Koşullandırılmamış Numunelerle Karşılaştırılması



Şekil 31. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerleri

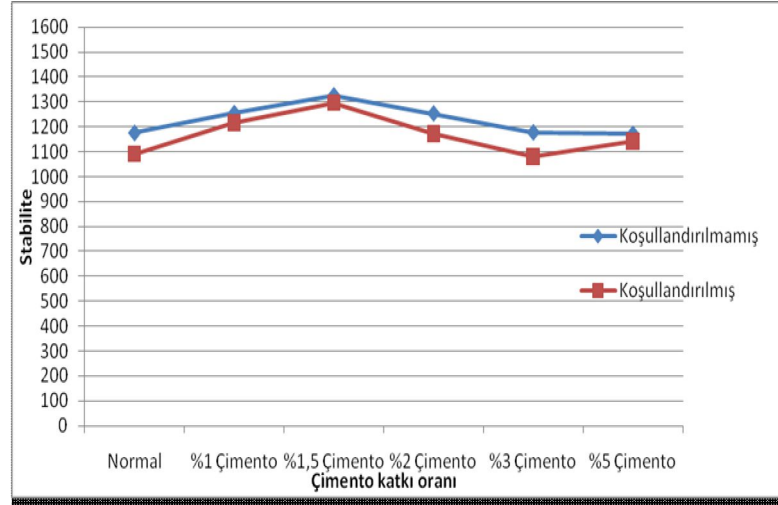


Şekil 32. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerleri

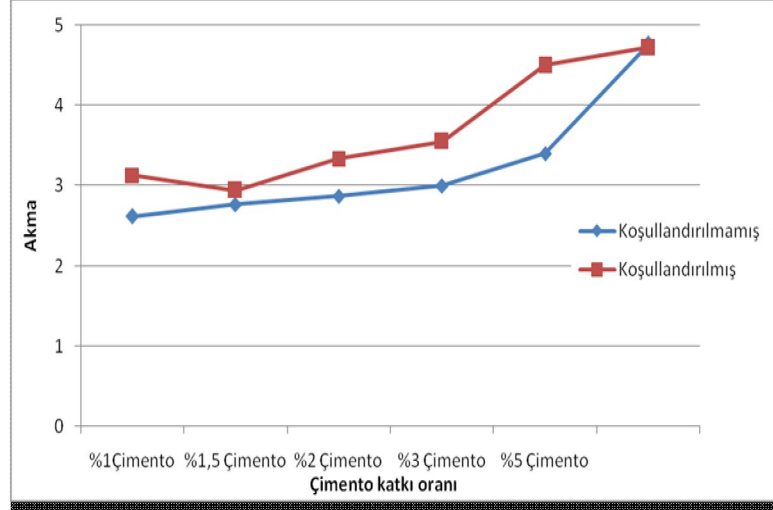


Şekil 33. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri

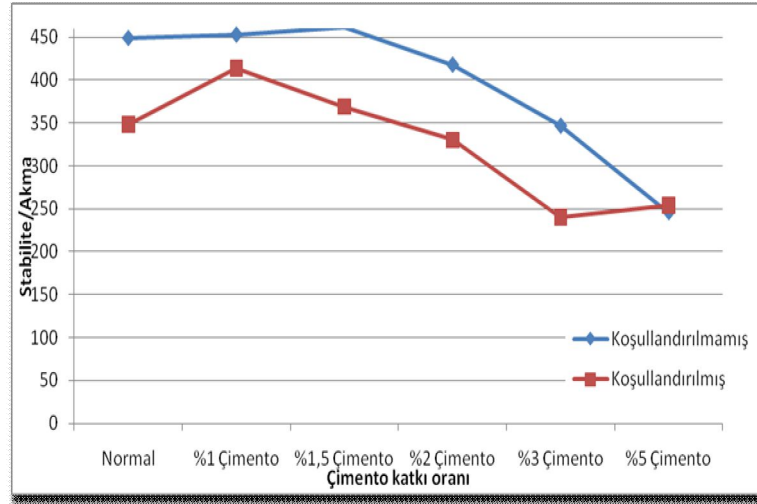
3.9.2. Çimento Katkılı Koşullandırılmış Numunelerin Koşullandırılmamış Numunelerle Numunelerin Karşılaştırılması



Şekil 34. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki çimento katkılı numunelerin stabilite değerleri

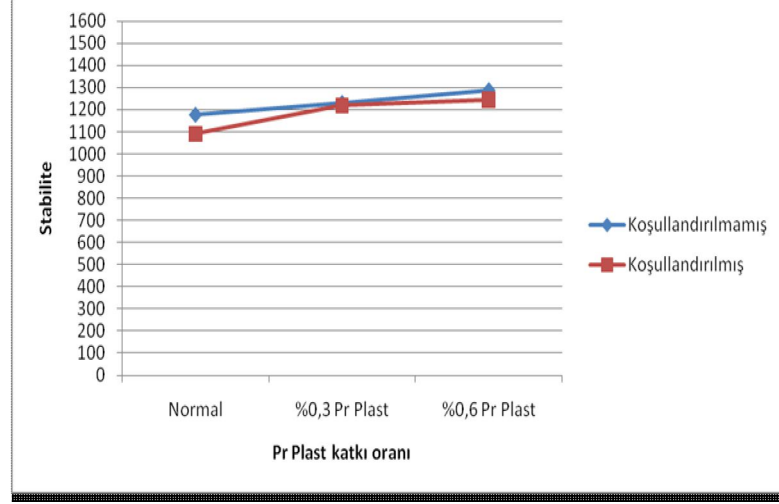


Şekil 35. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki çimento katkılı numunelerin akma değerleri

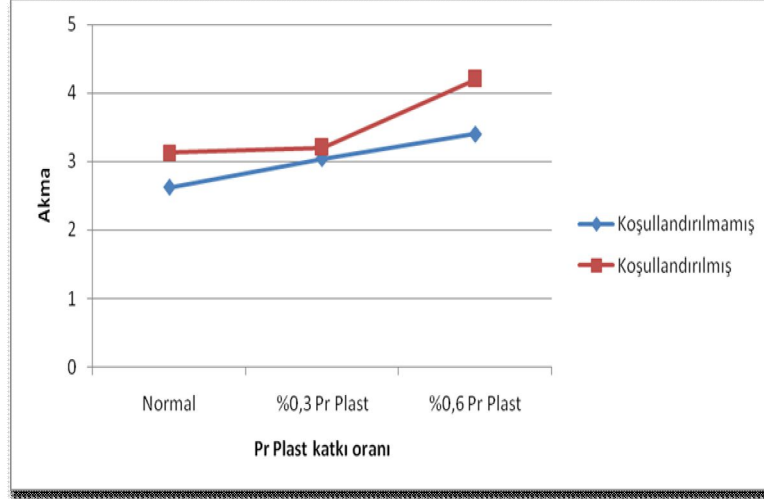


Şekil 36. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki çimento katkılı numunelerin stabilite/akma değerleri

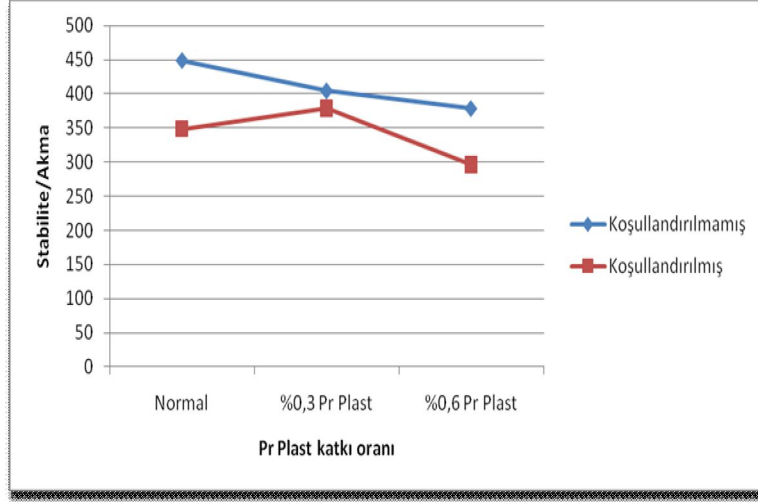
3.9.3. Pr Plast Katkılı Koşullandırılmış Numunelerin Koşullandırılmamış Numunelerle Numunelerin Karşılaştırılması



Şekil 37. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki pr plast katkıli numunelerin stabilite değerleri



Şekil 38. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki pr plast katkıli numunelerin akma değerleri

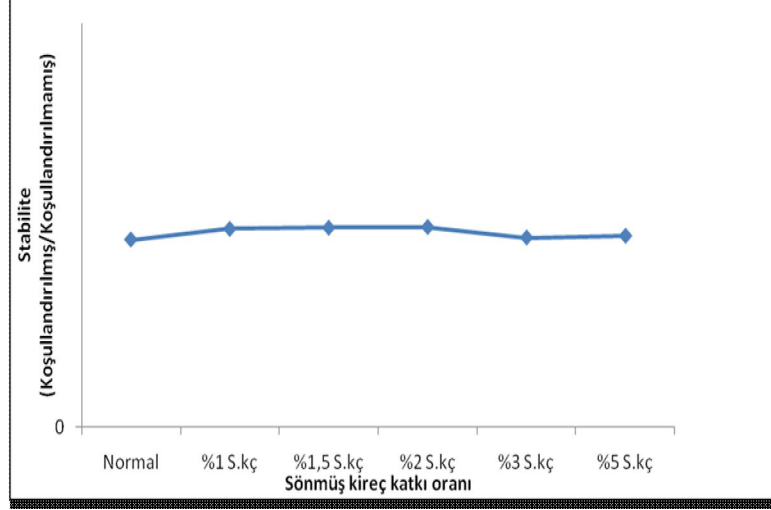


Şekil 39. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlardaki pr plast katkı oranlarının stabilite/akma değerleri

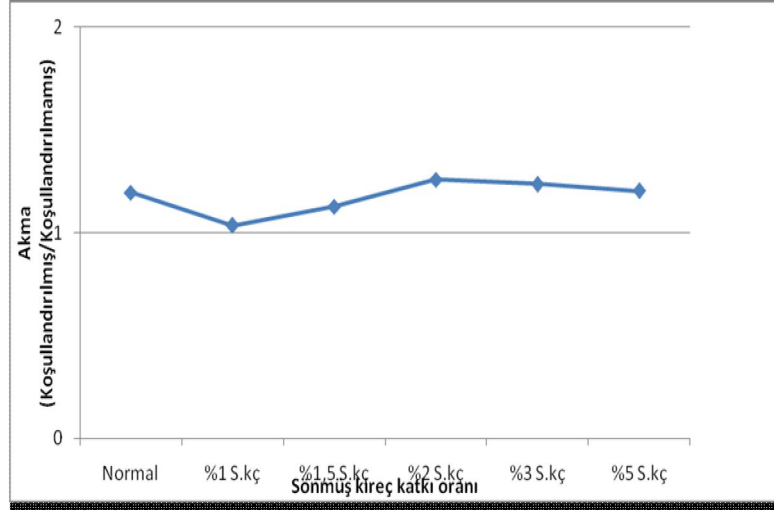
3.10. Performans Parametrelerinin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Oranlarıyla Değerlendirilmesi

Koşullandırma durumunda numunelerin performans değerlerindeki değişimin ne oranda ve hangi yönde olduğunun tespiti için parametrelerde koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranları hesaplanarak aşağıdaki grafiklerde belirtilmiştir.

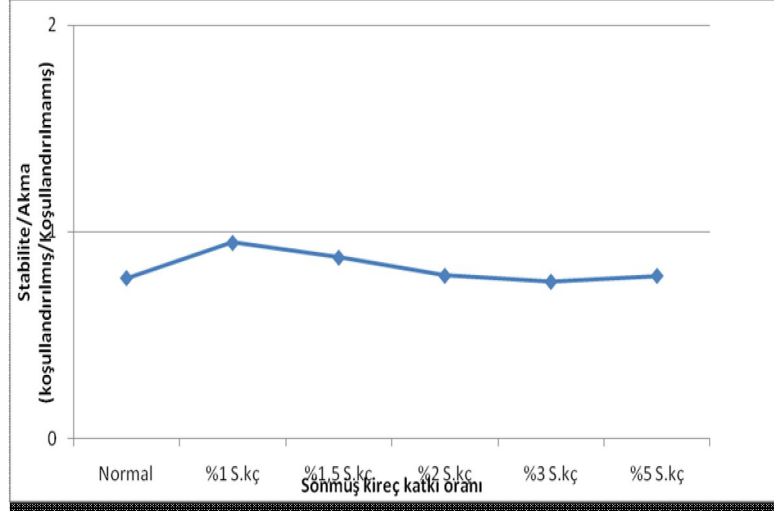
3.10.1.Sönmüş Kireç Katkılı Numunelerin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Numune Örnekleri



Şekil 40.Sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

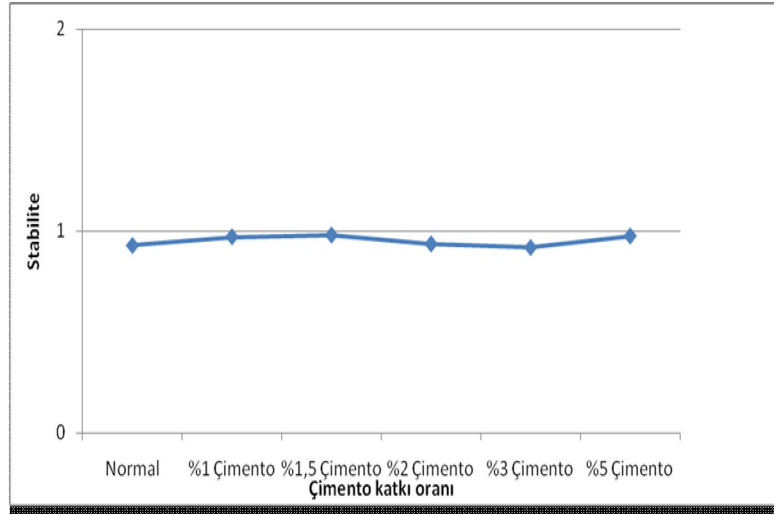


Şekil 41. Sönmüş kireç katkılı numunelerin akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

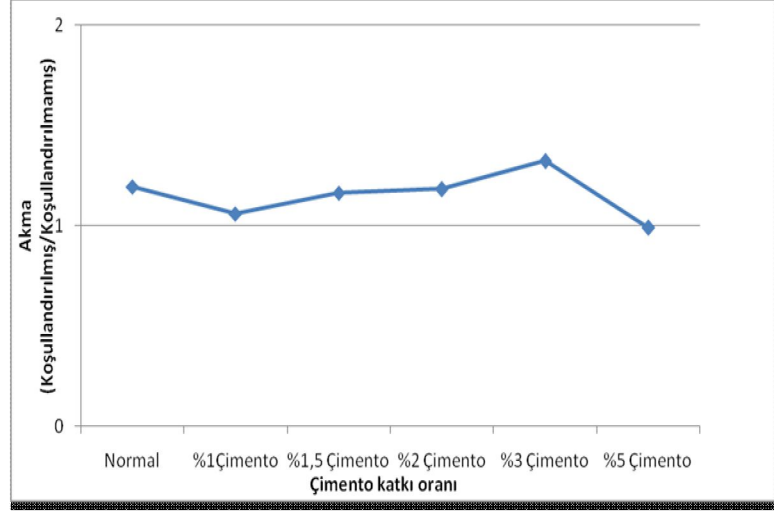


Şekil 42. Sönmüş kireç katkılı numunelerin stabilite/akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

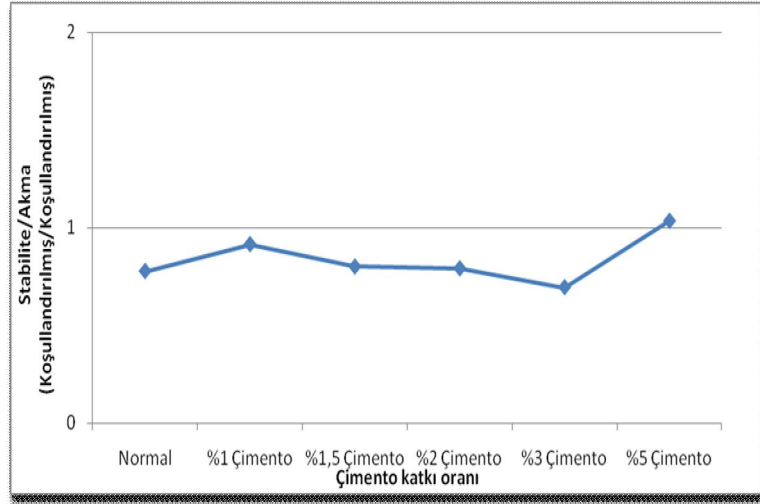
3.10.2. Çimento Katkılı Numunelerin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Numune Örnekleri



Şekil 43. Çimento katkılı numunelerin stabilite değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

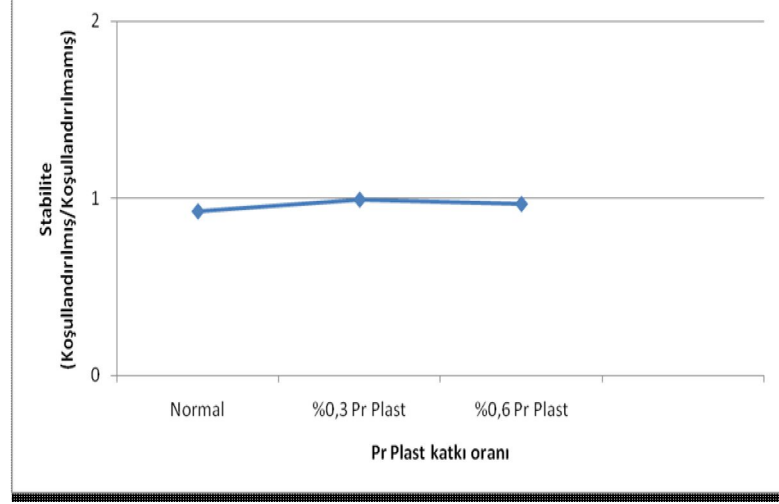


Şekil 44. Çimento katkılı numunelerin akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

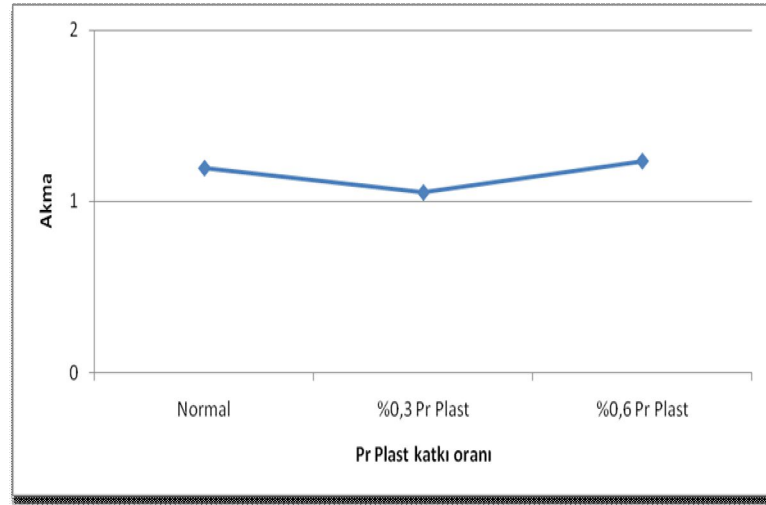


Şekil 45. Çimento katkılı numunelerin stabilite/akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

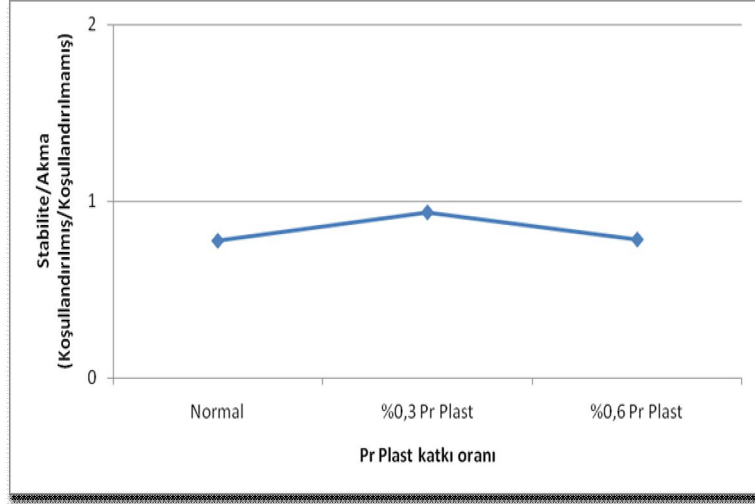
3.10.3. Pr Plast Katkılı Numunelerin Koşullandırılmış/Koşullandırılmamış Numune Örnekleri



Şekil 46. Pr plast katkılı numunelerin stabilite değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği



Şekil 47. Pr plast katkılı numunelerin akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

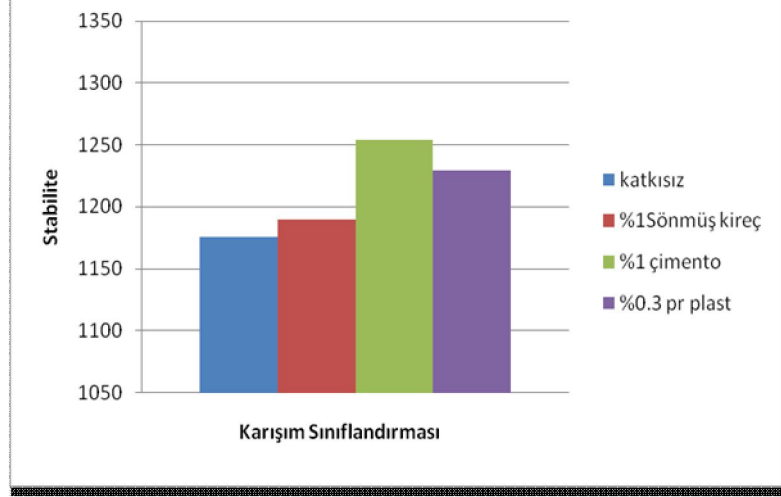


Şekil 48. Pr plast katkılı numunelerin stabilite/akma değerlerinin koşullandırılmış/koşullandırılmamış oranı grafiği

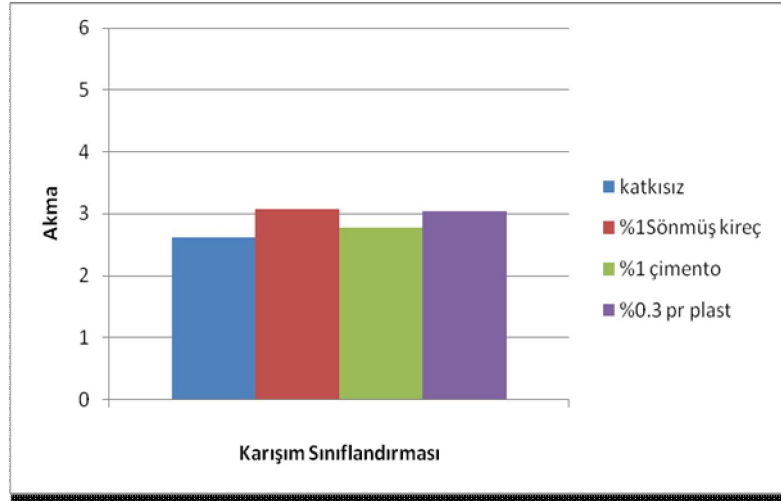
3.11. Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları ile Katkısız Numunelerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışma da kullanılan katkıların deney sonuçları hem kendi aralarında hem de katkısız numunelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçların daha iyi gözlenmesi açısından katkıları birbirleri arasında da karşılaştırılmıştır. Grafiklerde katkısız numuneler ve en düşük oranda kullanılan katkılarla en düşük elde edilen koşullandırılmamış stabilite, akma, stabilite/akma oranları ve koşullandırılmış stabilite, akma, stabilite/akma oranları ile en yüksek oranda elde edilen koşullandırılmamış stabilite, akma, stabilite/akma oranları ve koşullandırılmış stabilite, akma, stabilite/akma oranları karşılaştırılmıştır.

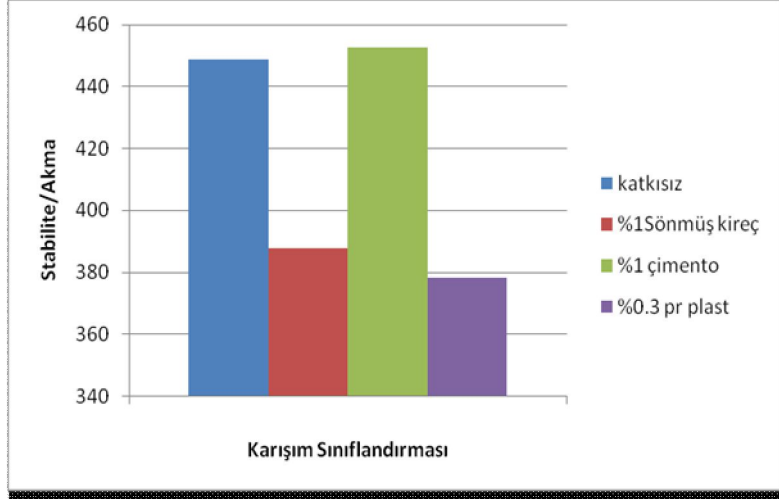
3.11.1. Kullanılan En Düşük Oranda Katkıların Koşullandırılmamış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 49. Koşullandırılmamış stabilite-karışım sonuç oranı grafiği



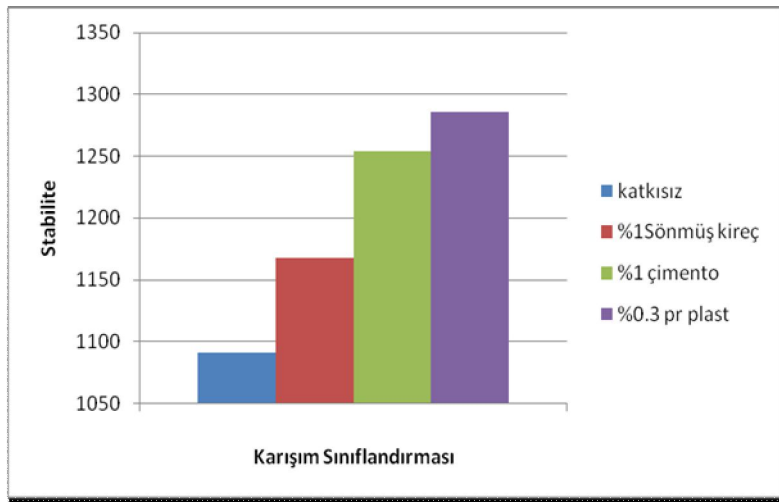
Şekil 50. Koşullandırılmamış akma-karışım sonuç oranı grafiği



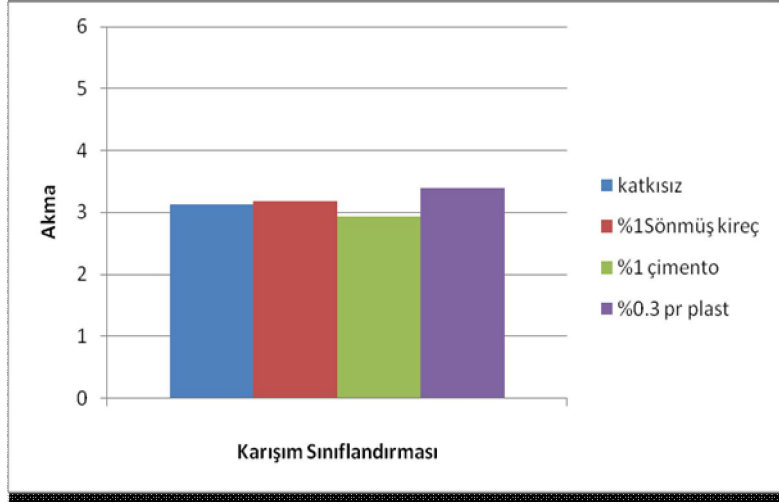
Şekil 51.Koşullandırılmamış stabilite/akma-karışım sonuç oranı grafiği

Şekil 49, Şekil 50 ve Şekil 51'de görüldüğü gibi en düşük katkı oranlarında koşullandırılmadan oluşturulmuş numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en iyi stabilite değeri çimento katkılı numunelerde elde edilmiştir. En düşük akma oranı ise katkısız numunelerde elde edilmiştir. Stabilite/akma oranlarına bakıldığında ise en yüksek Marshall Oranı (stabilite/akma) çimento katkılı numunelerde elde edilmiştir.

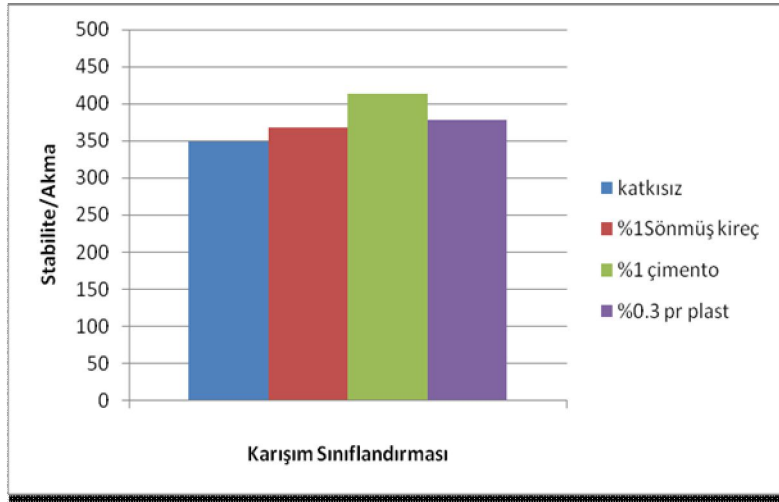
3.11.2. Kullanılan En Düşük Oranda Katkıların Koşullandırılmış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 52. Koşullandırılmış stabilite-karışım sonuç oranı grafiği



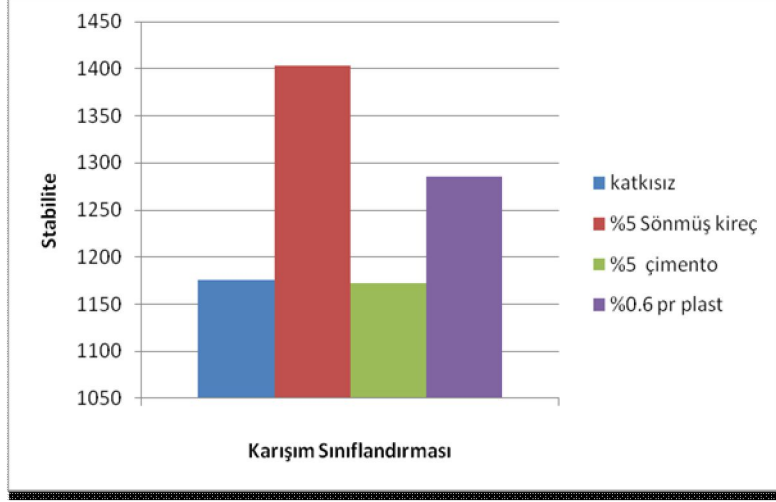
Şekil 53. Koşullandırılmış akma-karışım sonuç oranı grafiği



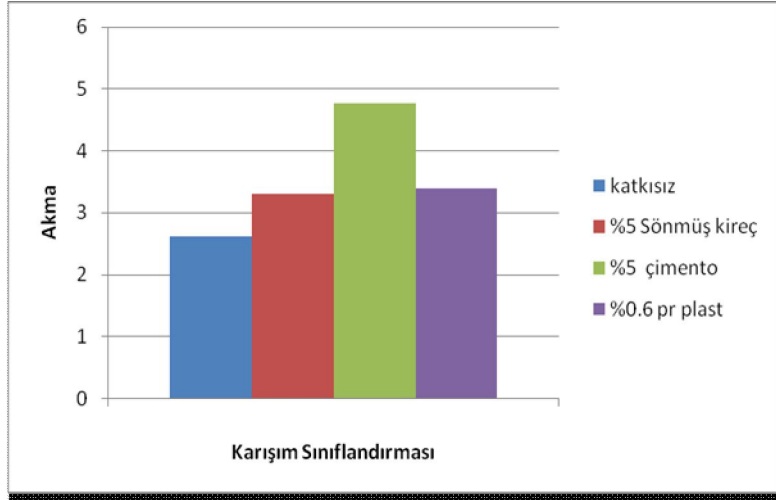
Şekil 54. Koşullandırılmış stabillite/akma-karışım sonuç oranı grafiği

Şekil 52, Şekil 53 ve Şekil 54’de görüldüğü gibi en düşük katkı oranlarında koşullandırılmış durumda oluşturulmuş numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en iyi stabillite değeri Pr plast katkılı numunelerde elde edilmiştir. En düşük akma oranı ise çimento katkılı numunelerde elde edilmiştir. Stabillite/akma oranlarına bakıldığında ise en yüksek Marshall oranı (stabillite/akma) çimento katkılı numunelerde elde edilmiştir.

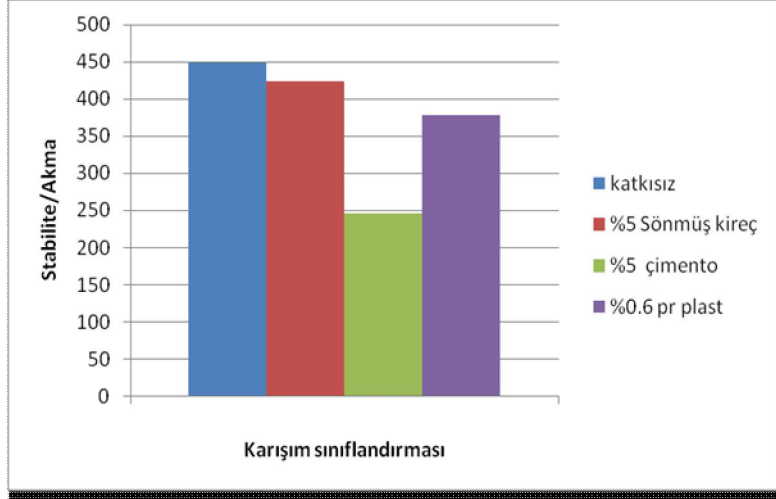
3.12.1. Kullanılan En Yüksek Oranda Katkıların Koşullandırılmamış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 55. Koşullandırılmamış stabilite-karışım sonuç oranı grafiği



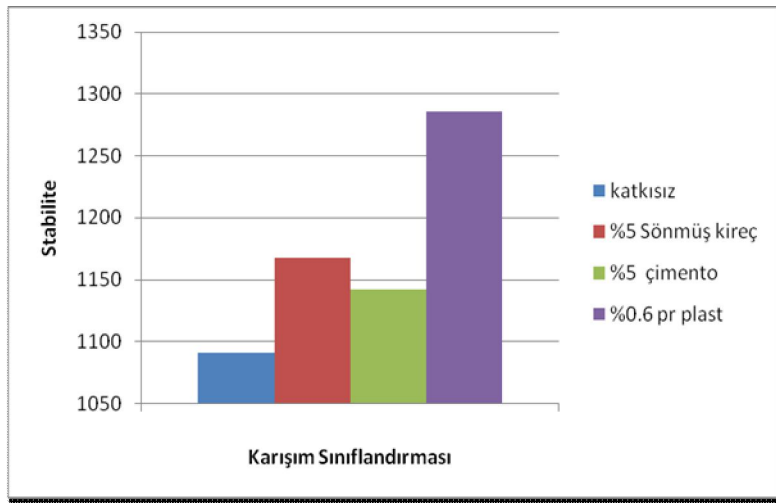
Şekil 56. Koşullandırılmamış akma-karışım sonuç oranı grafiği



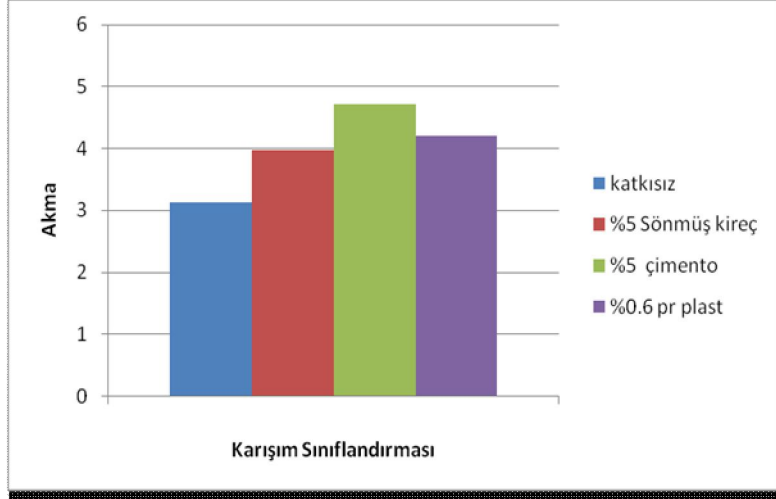
Şekil 57. Koşullandırılmamış stabilite/akma-karışım sonuç oranı grafiği

Şekil 55, Şekil 56 ve Şekil 57'de görüldüğü gibi en yüksek katkı oranlarında koşullandırılmadan oluşturulmuş numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en iyi stabilite değeri sönmüş kireç katkılı numunelerde elde edilmiştir. En düşük akma oranı ise katkısız numunelerde elde edilmiştir. Stabilite/akma oranlarına bakıldığında ise en yüksek Marshall oranı (Stabilite/Akma) katkısız numunelerde elde edilmiştir.

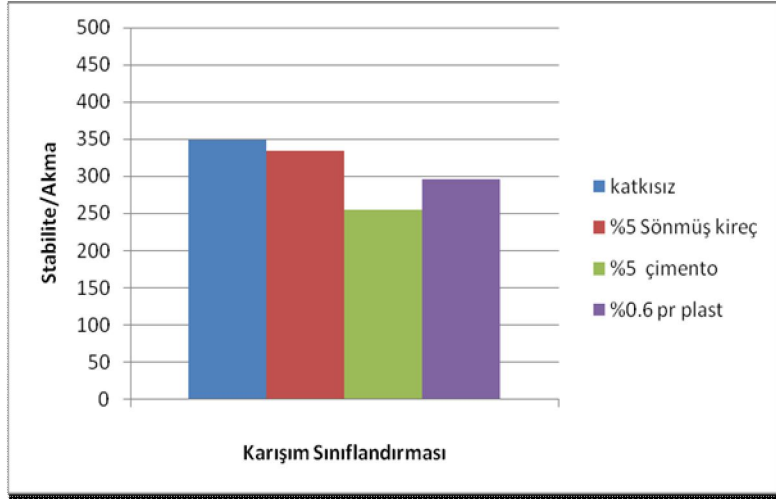
3.12.2. Kullanılan En Yüksek Oranda Katkıların Koşullandırılmış Durumdaki Stabilite, Akma, Stabilite/Akma Oranlarının Karşılaştırılması



Şekil 58. Koşullandırılmış stabilite karışım sonuç oranı grafiği



Şekil 59. Koşullandırılmış akma-karışım sonuç oranı grafiği



Şekil 60. Koşullandırılmış stabilite/akma karışım sonuç oranı grafiği

Şekil 58, Şekil 59 ve Şekil 60'da görüldüğü gibi koşullandırmaya maruz bırakılmış numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en iyi stabilite değeri Pr plast katkıli numunede elde edilmiş, en düşük akma oranı ise katkısız numunede elde edilmiştir. Şekil 60'da görüldüğü gibi en yüksek katkı oranında oluşturulmuş, koşullandırmaya maruz bırakılmış numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek stabilite/akma oranı katkısız numunede elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında; çimento, sönmüş kireç ve Pr plast katkılı karışımlar araştırılmıştır. Çimento ve sönmüş kireç numuneleri için 5 ayrı katkı oranı ve katkısız hali, Pr plast için 2 ayrı katkı oranı hazırlanmış olup toplam 72 tip karışım üzerinde performans deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Aynı gradasyon ve optimum muhtevasında ki sınırlı sayıda numuneler üzerinde yapılan Marshall deneylerinden, agrega içerisinde doğal filler bulunan numunelerin sönmüş kireç ve çimento katkıları doğal filler yerine (%1-1,5-2-3-5), Pr plast katkısında ise karışıma (%0,3-0,6) oranlarında kullanılarak hazırlanan numunelerin farklı davranışlar sergiledikleri gözlenmiştir. Filler yerine kullanılan bu malzemelerin özgül ağırlığının ve dane boyu dağılımının farklı olmasının asfalt betonunda fiziksel bazı değişikliklere sebep olduğu ve bu değişikliklerin davranış farklılıklarında etken olabileceği görülmüştür.

Marshall Stabilitesi açısından karışımların stabilite değerleri birbirlerine göre farklılıklar göstermekle birlikte, tüm karışımların stabilite değerleri Karayolları Teknik Şartname sınır değerinin üzerindedir.

Marshall tasarımı sonucunda bulunan optimum bitüm oranlarında hazırlanan numunelerin koşullandırma öncesi ve koşullandırma sonrası durumu incelendiğinde sönmüş kirecin, katkısız numunelere kıyasla stabilite değerlerinde yükselme gösterdiği, % 5 oranının diğer katkı maddeleriyle kıyaslandığında en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Çimentonun ve Pr plast katkılarının sonuçlarına bakıldığında katkı oranlarıyla doğru orantılı olarak stabilite artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. En düşük katkı oranında koşullandırılmamış durumda ki değerleri birbirleri arasında kıyaslandığında en yüksek stabilite değeri (1259 kg) çimento katkılı numunelerde elde edilmiştir. Koşullandırmadan sonraki durumda ise en yüksek stabilite değeri (1219 kg) Pr plast katkılı numunede elde edilmiştir. En yüksek katkı oranlarında bakıldığında ise koşullandırma yapılmayan numunelerde en yüksek stabilite (1403 kg) sönmüş kireç katkılı numunelerde elde edilmiştir. Koşullandırmadan sonraki durumda ise en yüksek stabilite (1245 kg) Pr plast katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında maksimum fayda aralığı ile ilgili kesin bir kaniya varmamakla birlikte, kullanılan oranların maksimum olmasa bile olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir. Bu etkinin değerlendirilmesi konusunda sadece bu çalışmadaki parametreler

göz önüne alınarak irdelenmesinin sağlıklı bir sonuç vermeyeceği, katkıların maksimum fayda verdiği oranın bağlı olduğu kriterlerin çok yönlü olduğu göz önüne alınarak bu konunun diğer oran ve performans değerlendirme yöntemleri uygulanarak elde edilecek verilerin değerlendirilmesi ile daha yararlı bir kanıya varılacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan katkı maddelerinin en iyi sonuç aralığını belirlemek için, katkı maddeleri farklı oranlarda kullanılarak daha ayrıntılı bir çalışma yapılabilir.

Bu katkı maddeleri ile elde edilen karışımlar üzerinde ileri asfalt deneyleri uygulanarak diğer performans özellikleri de araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Pendrys, J. P., Biodegradation Of Asphalt Cement By Aerobic Bacteria, Applied And Environmental Microbiol., 55 (1989) 1357-62.
2. Epps, J. A., "Hydrated Lime Hot Mix," Presentation Manual, FHWA, AASHTO, NLA, 1992.
3. Johansson, L., Influence of Hydrated Lime On Bitumen Hardening, Licentiate Thesis, TRITA-IP FR 95-8, Royal Institute of Technology, Highway Engineering, Stockholm, 1995.
4. Rogge, D. F., Leahy, R. B. ve Blair, R., "Cold-In-Place(CIP) Recycling with Lime," Transportation Research Instit., OR State Univ., Corvallis, OR, July ,1995.
5. Jones, G. M., "The Effect of Hydrated Lime on Asphalt in Bituminous Pavements," NLA Meeting, Utah DOT, Mayıs, 1997.
6. Radenberg, M., "Effect of Hydrated Lime Addition on the Deformation of Hot Mix Asphalt in the Wheel Tracking Test, "IFTA, Essen, Germany, Paper Presented at Lhoist HMA Symposium, Dusseldorf, Germany, Haziran, 1998.
7. Lesueur, D., Little, D.N. ve Epps, J. A., "Effect of Hydrated Lime on the Rheology, Fracture ve Aging of Bitumen and Asphalt Mixture," Paper Presented at Lhoist HMA Symposium, Dusseldorf, Germany, June 1998.
8. Shuler, S., Douglas, I., Improving Durability Of Open-Graded Friction Courses, Transportation Research Record, 1259 (1990) 35-41.
9. Mohammed, L., Abadie, G.P., Mechanistic Evaluation Of Hydrated Lime In HMA Mixtures, TRB, 2000.
10. Acar, S.O. ve Tapkın S., ' Portland Çimentosu Kullanılarak Hazırlanan Marshall Numunelerinin Özelliklerinin İncelenmesi' 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık, 1998, Ankara, Bildiriler Kitabı: 95-104.
11. Taha, R., A. M. ASCE, Al-Rawas, A., Al-Harthy, A. ve Qatan A., Use Of Cement Bypass Dust As Filler In Asphalt Concrete Mixtures, 2002.
12. Huschek, S. ve Angst, CH. 'Mechanical Properties Of Filler-Bitumen Mixes At High and Low Service Temperatures, Proceedings Of AAPT 1980.
13. Önal, M., Aray, S. ve Orhan, F., ' Polimer ile Modifiye Edilmiş Sıcak Karışımların Bitüm Yüzdesi Değişiminin Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi' 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık 1998, Ankara, Bildiriler Kitabı: 81-84.

14. Sönmez,İ., Deniz, M.T., Tayfur, S., Özen, H., Yıldırım, S.A. ve Eren, B.K., 'Modifiye Katkı Maddelerinin Bitümlü Sıcak Karışıma Etkisi ve Performans Üstünlükleri' 1999.
15. Aşık, İ., Aray, S. ve Önal, M.A., 'Bitümlü Sıcak Karışımların Plentte Modifiye Edilmesinde Kullanılan Katkıların Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi' 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık 1998, Ankara, Bildiriler Kitabı : 45-54
16. Yağız,F., Keçeciler, A.F.i Işıksalan, C. ve Akkol, G., Bitümlü Malzemeler İş Matbaacılık ve Ticaret , Ankara, 1967.
17. Van der Heide J.P.J., Materials and Mix Design, Proceedings Of The 1992 Asphalt Paving Tecnology, 1992 Charleston, SC, USA, Asphalt Paving Tecnology, 584-611.
18. TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Ankara, 1993.
19. TC Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, Yayın no 239, 1988.
20. Asfalt El Kitabı, Prof.Dr.Mehmet Uluçaylı, Ayla Yavuz, Bilimsel Yayın No :2,1989.
21. Tayfur, S., 'Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamaları İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi' Doktora Tezi Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
22. Pavement Performance Trends, AASHO Guide for Design of Pavement Structure, Washington D.C., 1986.
23. Ilıcalı, M., Tayfur,S., Özen, H., Sönmez ,K., Asfalt ve Uygulamaları,Yıldız Teknik Üniveritesi yayın Merkezi Başkanlığı,Seçil Ofset,280 ,2001.
24. Saltan,M. ve Karasahin,M., 'Esnek Üstyapıların Değerlendirilmesinde Tahribatsız Test Yöntemlerinin İncelenmesi' 1. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık, 1996, İstanbul, Bildiriler Kitabı : 45-54
25. Shell Bitum El Kitabı, Doç.Dr.Abdullah Hilmi Lav,Doç.Dr.M.Ayşen Lav, Bilimsel Yayın No: 3, 2004
26. Özen H. Karayolu Üstyapı Ders Notları, 2004.
27. Asphalt Institute, Mix Design Methods For Asphalt Concrete And Other Hot Mix Types, Manuel Series No 2, Ms2, Sixth Edition, 1985.
28. Umar,F. ve Ağar,E., Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1985.

29. The Asphalt Institute: Mix Design Methods For Asphalt Concrete And Other Hot-Mix Types Manual Series No2 (MS-2),1988.
30. British Standard, Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas, Methods for design and physical testing, Part 3,1985
31. Mostafa AE, Gerardo WF ve Imad LA. Quantitative effect of elastomeric modification on binder performance at intermediate and high temperatures. Journal of Materials in Civil Engineering, 15, 1, (2003) 32–40.
32. Hicks R.G. and Todd V.S. Life Cycle Costs For Lime In Hot Mix Asphalt,Report&Software for National Lime Association, 2001.
33. Little D.N. and Epps J. The Benefits Of Hydrated Lime In Hot Mix Asphalt, Report For National Lime Association, 2001.
34. Seçginli, M. ‘Karayolu Esnek Üstyapılarında Sönmüş Kireç Katkısının Düşük Sıcaklık Çatlama Direncine Etkisi’ Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
35. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammadeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri 1.Çalışma Raporu. Ankara, 2001.
36. Aksoy, A. Açar, E. , Yüksek Performanslı Bitümlü Sıcak Karışımlar İçin Sönmüş Kirecin Kullanımı, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir Üniversitesi, 11-13 Eylül 2002, Balıkesir.
37. TS EN 197-1 ‘Genel Çimentolar-Bileşim ve uygunluk Kriterleri’ ,T.S.E., Ankara, 2002.
38. Cimilli,T. Yapı Malzemesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi; Trabzon, 1986.
39. Traxler, R.N., Asphalt, Its Composition, properties and Uses, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1961,
40. Lee,A.R., Adhesion In Relation To Bituminous Road Materials Journal Of The Society Of Chemical Industry, 55, 23, 1936.
41. Oruç.S., ‘Torul Kalker Taş Ocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçerisindeki Performansının Araştırılması’ Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
42. Robertus, C., Mulder E.A. ve Koole, R.C. ‘SBS modified bitumen for heavy duty asphalt pavements’. Second International Conference on Roads and Airfield Pavement Technology, Eylül 1995, Singapur.
43. Zoorob, S.E. ve Suparma, L.B., Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (plastiphalt), Cement&Concrete Composites, 22(2000) 233-242G.

44. Hınıslıoğlu S. ve Ağar E., Use of the waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. *Materials Letters*, 4640 (2003), (article in press).
45. Sağlık, A., Gtingör,G.A., *Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi*, Ankara, 2006.
46. California Department of Transportation, *Flexible Pavement Rehabilitation Manual*, California, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Gül Gençtürk, 1982 yılında Trabzon'da doğdu. 1992 yılında Cudibey İlköğretim Okulu'ndan, 2000 yılında Kanuni Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında girdiği üniversite sınavında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. "2005 Bahar yılı" sonunda "İnşaat Mühendisi" ünvanıyla mezun oldu. Aynı yıl içinde Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliğinde Yol ve Yapı Malzemeleri Mühendisi olarak göreve başladı. 2006 Güz Yılında başvurduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 2007 yılında Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü Bakım Başmühendisliği'ne Protokollü İşler Mühendisi olarak atandı. 2007-2009 yılları arasında burada görev yaptıktan sonra 2010 yılında Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Yapım Başmühendisliğine Kontrol Mühendisi olarak atandı.

Gül Gençtürk, iyi derecede İngilizce bilmekte ve halen Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü Yol Yapım Başmühendisliğinde Kesin Hesap Teknik Elemanı olarak görev yapmaktadır.