

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI DARBE SAYILARI İLE HAZIRLANAN SICAK ASFALT
KARIŞIMLARDA MARSHALL ORANININ BELİRLENMESİ VE REGRESYON
ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semih Dinçer KONAK

**ŞUBAT 2012
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI DARBE SAYILARI İLE HAZIRLANAN SICAK ASFALT
KARIŞIMLARDA MARSHALL ORANININ BELİRLENMESİ VE REGRESYON
ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semih Dinçer KONAK

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.01.2012
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08.02.2012**

ŞUBAT 2012

KABUL ve ONAY

Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ danışmanlığında **Semih Dinçer KONAK** tarafından hazırlanan **“FARKLI DARBE SAYILARI İLE HAZIRLANAN SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA MARSHALL ORANININ BELİRLENMESİ VE REGRESYON ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ”** bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Atakan AKSOY

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

Üye : Doç. Dr. Atakan AKSOY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

ONAY

Bu tez .../...../2012 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI DARBE SAYILARI İLE HAZIRLANAN SICAK ASFALT
KARIŞIMLARDA MARSHALL ORANININ BELİRLENMESİ VE REGRESYON
ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Semih Dinçer KONAK

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsünde
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

2012, 151 Sayfa

Marshall stabilitesinin, Marshall akmasına oranı Marshall Oranı (MQ) olarak adlandırılmaktadır. Bu oran asfalt betonunun deformasyona karşı direncinin ve rijitliğinin bir göstergesidir. Marshall Oranı değeri modifiye karışım örneklerin deformasyon direncinin değerlendirilmesi için kullanılır. Daha yüksek MQ değeri daha rijit karışımı belirtmekte ve muhtemelen daha dirençli karışımı göstermektedir. Bu çalışmanın ana amacını; Marshall tokmağı kullanılarak farklı darbe sayısı ile hazırlanan karışımların Marshall oranlarının belirlenmesi, elde edilen oranlar yardımı ile regresyon analizi sonuçlarına bağlı bir modelin belirlenmesi ve hata oranlarının araştırılması oluşturmaktadır.

Marshall yöntemiyle 75 darbe kullanılarak optimum bitüm belirlenmiştir. Optimum bitüm içeriğinde, farklı darbe sayıları (her iki yüze 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 darbe) ile karışımlar hazırlanarak Marshall oranları hesaplanmıştır.

Stabilite değerleri, 45 vuruştan 65 vuruşa kadar artmakta, 65 vuruştan sonra 75 vuruşa kadar kademeli olarak azalmaktadır. 60-65 vuruş düzeylerinde sıkıştırma enerjisi uygun görülmektedir. Karışımların akma değerleri 65 vuruşa kadar artarken, 65-75 arası vuruşlarda azalmaktadır. Bunlara bağlı olarak MQ değerleri 45 vuruştan 65 vuruşa kadar azalmakta, 65-75 vuruş sayısı arasında ise artmaktadır.

MS Excel programı kullanılarak hazırlanan briketlere ait Vuruş sayısı-MQ, H_{ort} -MQ, D_p -MQ, V_f -MQ değerleri arasındaki ilişkiyi veren bağıntılar ve R^2 değerleri bulunmuştur. Bağıntılar kullanılarak elde edilen MQ değerleri ile deney sonucunda bulunan MQ değerleri karşılaştırılmış ve hata oranları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asfalt Betonu, Marshall Oranı (MQ), Regresyon Analizi, Sıkıştırma enerjisi.

ABSTRACT

MS THESIS

**DETERMINATION OF MARSHALL RATIO FOR HOT ASPHALT MIXTURES
PREPARED WITH DIFFERENT PULSE NUMBERS AND EVALUATION OF THE
RESULTS THAT DETERMINED WITH REGRESSION ANALYSIS METHOD**

Semih Dinçer KONAK

Gümüşhane University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ
2012, 151 pages

The rate of Marshall stability to Marshall flow value, is called Marshall Quotient (MQ). This ratio is an indicator of rigidity and deformation resistance of asphalt concrete. The value of Marshall Quotient is used for the evaluation to deformation resistance of the modified mix samples. Increasing MQ value defines more rigidity and more resistance and probably a more resistant mixture. The main purpose of this study is determination of Marshall ratio values by Marshall compression technique (under different impacts) of prepared mixtures, then specify an equation with obtained MQ values according to the results of regression analysis, and finally exploration of error rates.

The optimum bitumen were determined by Marshall method under 75 blows. Several mixtures are prepared in this optimum bitumen, and for each mixture MQ is calculated under different compression values (on both sides 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 pulses).

The value of stability, increase from 45 pulse to 65 pulse and they gradually decrease from 65 pulse to 75 pulse. The optimum compacting energy level is about 60-65 pulses. Mixtures yield values are increased to 65 pulses, decreased between 65-75 pulses. Accordingly, MQ values are decreased from 45 pulse to 75 pulses, but increased from 65 pulse to 75 pulses.

Pulse number which is belong to briquettes-MQ, correlation that give connection between H_{ort} -MQ, D_p -MQ, V_f -MQ values and R^2 values were gotten using MS Excel computer program. MQ values which were gotten using correlations with the experimental values belonging to MQ were compared and error rate were determined.

Key Words: Asphalt concrete, Marshall Quotient (MQ), Regression Analysis, Compacting energies.

TEŞEKKÜR

"Farklı Darbe Sayıları İle Hazırlanan Sıcak Asfalt Karışımlarda Marshall Oranının Belirlenmesi Ve Regresyon Analizi Yöntemi İle Belirlenen Sonuçların Değerlendirilmesi" adlı Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde hazırlanan bu tezin ilgili alanda yararlı olmasını dilerim.

Bu tez çalışmasında desteğini gördüğüm, katkı sağlayan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ hocama, bilgilerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Atakan AKSOY, Sayın Yrd. Doç. Dr. Erol İSKENDER hocalarıma öncelikle teşekkürlerimi sunarım.

Polat Yol-Yapı Araklı Şantiyesi laboratuvarlarındaki yapılan çalışmalarda desteğini esirgemeyen Laboratuvar sorumlusu Sayın Ali Kemal ÇAĞLAR'a ve laboratuvar çalışanı Dursun BIYIKLI'ya, tecrübeleriyle bu çalışmaya katkıda bulunan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Orhan KARSLI, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Selahattin ALBAYRAK hocalarıma, her zaman yanımda olup destek ve yardımlarını gördüğüm Murat AYKAN'a, Mustafa KARSLI'ya ve arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Bu çalışmamı, hayatım boyunca desteğini esirgemeyen aileme ithaf ediyorum.

Semih Dinçer KONAK
Gümüşhane, 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Regresyon Analizi.....	2
1.2.1. Regresyon Türleri	3
1.2.1.1. Doğrusal Regresyon Modeli	5
1.2.1.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli	6
1.2.1.1.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli	7
1.2.2. Regresyon Modelinin Önemli Özellikleri.....	8
1.2.3. En Küçük Kareler Varsayımlarının Kontrolü	8
1.2.3.1. Normallik Varsayımı	9
1.2.3.2. Sabit Varyans Varsayımı	9
1.2.3.3. Hataların İlişkisizlik Varsayımı	9
1.2.4. Çoklu Bağlantı	10
1.2.5. En Küçük Kareler Yöntemi	10
1.2.5.1.1. En Küçük Kareler Yöntemiyle Elde Edilen Regresyon Katsayılarının Özellikleri	13
1.2.5.1.2. Tahminleyenin Dağılımı	13
1.2.5.1.3. Gauss-Markov Teorisi	14
1.2.6. Regresyon Denklemine Standart Hatası	16
1.2.7. Regresyon Uyumunun Değerlendirilmesi	17
1.3. Korelasyon Analizi	18
1.3.1. Basit Doğrusal Korelasyon Analizi	18
1.3.2. Çoklu Doğrusal Korelasyon Analizi.....	20

1.3.2.1.	Çoklu Korelasyon Katsayısı	20
1.3.2.2.	Kısmi Korelasyon Katsayıları	22
1.4.	Anakütle Verileri ile Tahmin ve Politikaların Belirlenmesi	23
1.5.	Asfalt Kaplama Betonu	24
1.5.1.	Alt Temel ve Temel Tabakası	26
1.5.2.	Karayolu Üst Yapısı	27
1.5.2.1.	Rijit Kaplamalar	28
1.5.2.2.	Esnek Kaplamalar	29
1.5.2.3.	Yüzeysel (Sathi) Kaplamalar	29
1.5.2.4.	Asfalt Betonu Kaplamalar	29
1.5.2.5.	Binder Tabakası	30
1.5.3.	Asfalt Betonu Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar	31
1.5.3.1.	Şekilce Bozulma Türleri	32
1.5.3.1.1.	Oturmalar	33
1.5.3.1.2.	Çökmeler	33
1.5.3.1.3.	Tekerlek İzi ve Oluklanmalar	34
1.5.3.1.4.	Ondülasyon ve Yığılmalar	35
1.5.3.1.5.	Kabarmalar	36
1.5.3.1.6.	Lastik Deseni Oluşumu	36
1.5.3.1.7.	Çatlamalar	37
1.5.3.1.7.1.	Timsah Sırtı Çatlaklar	37
1.5.3.1.7.2.	Yorulma Çatlakları	38
1.5.3.1.7.3.	Büzülme (Rötire) Çatlakları	39
1.5.3.1.7.4.	Kenar Çatlakları	39
1.5.3.1.7.5.	Yansıma Çatlakları	40
1.5.3.1.7.6.	Kayma Çatlakları	40
1.5.3.1.8.	Ayrışmalar	41
1.5.3.1.8.1.	Çanak Şekilli (Folluk) Çukurlar	42
1.5.3.1.8.2.	Sökülmeler	42
1.5.3.1.8.3.	Soyulma	42
1.5.3.1.8.4.	Cilalanma	43
1.5.3.1.8.5.	Kusma	43

1.5.4.	Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Malzemeler.....	44
1.5.4.1.	Agrega	45
1.5.4.1.1.	Agregaların Sınıflandırılması	46
1.5.4.1.2.	İdeal Agreg Standartları	48
1.5.4.1.3.	Agrega Granülometrisi	49
1.5.4.2.	Bitümlü Bağlayıcılar	49
1.5.4.2.1.	Bitüm	50
1.5.4.2.2.	Bitümün Kalitesi	51
1.5.4.2.3.	Bitümlerin Sınıflandırılması	53
1.5.4.2.3.1.	Asfalt Çimentoları.....	53
1.5.4.2.3.2.	Okside Asfalt (Blown Asfalt)	53
1.5.4.2.3.3.	Sıvı Petrol Asfaltları	54
1.5.4.2.3.3.1.	Çabuk Kür Olan (RC) Sıvı Petrol Asfaltları.....	54
1.5.4.2.3.3.2.	Orta Hızda Kür Olan (MC) Sıvı Petrol Asfaltları.....	55
1.5.4.2.3.4.	Asfalt emülsiyonları.....	55
1.5.4.2.4.	Katran.....	56
1.5.4.3.	Bitümlü Sıcak Karışımlarda Aranılan Özellikler.....	57
1.5.4.3.1.	Stabilite	57
1.5.4.3.1.1.	Karışımın Kayma Mukavemeti.....	58
1.5.4.3.1.2.	Isının Etkisi	59
1.5.4.3.1.3.	Eylemsizlik Direnci	59
1.5.4.3.2.	Rijitlik	60
1.5.4.3.3.	Dayanıklılık (Durabilite).....	61
1.5.4.3.4.	Fleksibilite (Esneklik).....	62
1.5.4.3.5.	Geçirimsizlik.....	63
1.5.4.3.6.	Kayma Direnci	64
1.5.4.3.7.	İşlenebilirlik	64
1.5.4.3.8.	Yorulma Mukavemeti	65
1.6.	Marshall Test Yöntemi	67
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	72
2.1.	Amaç	72
2.2.	Kapsam	72
2.3.	Malzeme.....	72

2.3.1.	Asfalt Çimentosuna Uygulanan Deneyler	73
2.3.1.1.	Penetrasyon Deneyi	73
2.3.1.2.	Yumuşama Noktası Deneyi	74
2.3.1.3.	Düktilite Deneyi.....	75
2.3.1.4.	Çözünürlük Deneyi	75
2.3.1.5.	Parlama Noktası Deneyi	76
2.3.1.6.	Birim Hacim Ağırlık Deneyi	76
2.3.2.	Agrega Örneklerine Uygulanan Deneyler	76
2.3.2.1.	Elek Analizi	76
2.3.2.2.	Los Angeles Aşınma Deneyi	77
2.3.2.3.	Hava Etkilerine Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi).....	78
2.3.2.4.	Cilalanma Direnci Deneyi	79
2.3.2.5.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri.....	79
2.3.2.6.	Yassılık Deneyi.....	80
2.3.3.	Asfalt Betonu Karışım Tasarımı	81
2.3.3.1.	Marshall Deneyi.....	81
2.3.4.	Malzeme Özellikleri	87
2.3.4.1.	Agrega Özellikleri.....	87
2.3.4.2.	Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri.....	89
2.3.4.3.	Karışım Özellikleri	90
2.4.	Yöntem.....	95
3.	BULGULARve İRDELEME.....	103
3.1.	Marshall Oranına Ait Bulgular ve İrdeleme	103
3.1.1.	Farklı Oranlarda Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite ve Akma Değerleri	107
3.2.	Regresyon Analizine Ait Bulgular ve İrdeleme.....	118
4.	SONUÇLAR	123
5.	KAYNAKLAR	128
6.	EKLER.....	133
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Serpilme Diyagramları.....	6
Şekil 1.2. Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı	28
Şekil 1.3. Tekerlek İzi.....	35
Şekil 1.4. Yığılma	35
Şekil 1.5. Timsah Sırtı Çatlak.....	38
Şekil 1.6. Yorulma Çatlağı.....	39
Şekil 1.7. Kenar Çatlakları.....	40
Şekil 1.8. Kusma.....	44
Şekil 1.9. Bitümlü Sıcak Karışım Kompozisyonu	44
Şekil 1.10. Taştozu.....	46
Şekil 1.11. 1 nolu agrega.....	47
Şekil 1.12. 2 nolu agrega.....	47
Şekil 1.13. 3 nolu agrega.....	47
Şekil 1.14. 4 nolu agrega.....	48
Şekil 1.15. Bitümün Genel Görüntüsü.....	51
Şekil 1.16. Marshall Stabilitesi-Bitüm Yüzdesi.....	70
Şekil 2.1. Penetrometre aleti	74
Şekil 2.2. Marshall stabilite aleti.....	85
Şekil 2.3. Asfalt Numune Karıştırma Mikseri	86
Şekil 2.4. Agrega Granülometrisi Eğrisi.....	89
Şekil 2.5. Pratik Özgül Ağırlık - Bitüm Yüzdesi Grafiği.	92
Şekil 2.6. Stabilite - Bitüm Yüzdesi Grafiği.....	92
Şekil 2.7. Akma - Bitüm Yüzdesi Grafiği.....	93
Şekil 2.8. Asfalt Dolu Boşluk - Bitüm Yüzdesi Grafiği.	93
Şekil 2.9. Boşluk - Bitüm Yüzdesi Grafiği.....	94
Şekil 2.10. VMA - Bitüm Yüzdesi Grafiği.....	94
Şekil 2.11. Farklı Sıkıştırma Enerjisi İle Oluşturulan Briketler.....	96
Şekil 3.1. Kırkbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri.	108
Şekil 3.2. Elli Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri	108

Şekil 3.3. Ellibeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri.....	108
Şekil 3.4. Altmış Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri.....	109
Şekil 3.5. Altmışbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri.....	109
Şekil 3.6. Yetmiş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri.....	109
Şekil 3.7. Yetmişbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri.....	110
Şekil 3.8. Farklı Darbelerle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite Değerleri Ortalamaları.	110
Şekil 3.9. Kırkbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	111
Şekil 3.10. Elli Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	111
Şekil 3.11. Ellibeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	111
Şekil 3.12. Altmış Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	112
Şekil 3.13. Altmışbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	112
Şekil 3.14. Yetmiş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	112
Şekil 3.15. Yetmişbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri.....	113
Şekil 3.16. Farklı Darbelerle Sıkıştırılan Briketlerin Akma Değerleri Ortalamaları....	113
Şekil 3.17. Kırkbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri.....	114
Şekil 3.18. Elli Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri.....	114
Şekil 3.19. Ellibeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri.....	115
Şekil 3.20. Altmış Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri.....	115
Şekil 3.21. Altmışbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri.....	116
Şekil 3.22. Yetmiş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri.....	116
Şekil 3.23. Yetmişbeş Darbe İle Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite/ Akma Değerleri....	117
Şekil 3.24. Farklı darbelerle sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma ortalama değerleri	117
Şekil 3.25. V_f -Stabilite/Akma Değerleri Grafiği ve Regresyon Formülü.....	121
Şekil 3.26. D_p -Stabilite/Akma Değerleri Grafiği ve Regresyon Formülü.....	121
Şekil 3.27. H_{ort} -Stabilite/Akma Değerleri Grafiği ve Regresyon Formülü.....	122
Şekil 3.28. Vuruş Sayısı-Stabilite/Akma Değerleri Grafiği ve Regresyon Formülü....	122

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Aşınma tabakası için gradasyon limitleri.	30
Tablo 1.2. Binder tabakası için gradasyon limitleri	31
Tablo 1.3. Asfalt çimentoları penetrasyon dereceleri	53
Tablo 1.4. Sıvı petrol asfaltı tipleri	54
Tablo 1.5. Asfalt emülsiyonların viskozitelerine göre türleri.	56
Tablo 1.6. Bitümlü sıcak karışımların temel özelliklerine etki eden parametreler	67
Tablo 1.7. Tasarım kriterleri	70
Tablo 2.1. Aşınma deneyi örnek sınıflaması.....	77
Tablo 2.2. Aşınma deneyinde kullanılan küre sayıları.....	78
Tablo 2.3. Sağlamlık deneyinde uygulanan miktar	79
Tablo 2.4. Donma kaybı için kullanılan elek	79
Tablo 2.5. Yassılık deneyi elekleri.....	81
Tablo 2.6. Kaba ve ince agrega özellikleri.....	87
Tablo 2.7. Dane boyutu dağılımı	87
Tablo 2.8. Seçilen agrega gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen sınır değerleri	88
Tablo 2.9. Kaba ve ince agrega özgül ağırlıkları	89
Tablo 2.10. Bitümlü bağlayıcı (AC 65) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları.....	91
Tablo 2.12. Optimum bitüm miktarı ve karşılık gelen parametreler	95
Tablo 2.13. Kırkbeş darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri	97
Tablo 2.14. Elli darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri	98
Tablo 2.15. Elli beş darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri.....	99
Tablo 2.16. Altmış darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri	100
Tablo 2.17. Altmış beş darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri.....	101
Tablo 2.18. Yetmiş darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri	102
Tablo 2.19. Yetmiş beş darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri.....	103
Tablo 3.1. Kırk beş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri.....	104
Tablo 32. Elli darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri.....	104
Tablo 3.3. Ellibeş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri	105
Tablo 3.4. Altmış darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri	105

Tablo 3.5. Altmış beş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri	106
Tablo 3.6. Yetmiş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri.....	106
Tablo 3.7. Yetmişbeş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri	107
Tablo 3.8. Eğitim seti değerleri.....	119
Tablo 3.9. Test seti değerleri.....	120
Tablo 4.1. V_f değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deney sonuçları ve Hata oranları	123
Tablo 4.2. D_p değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deney sonuçları ve Hata oranları	123
Tablo 4.3. Hort değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deney sonuçları ve Hata oranları	124
Tablo 4.4. Vuruş Sayısı değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deney sonuçları ve Hata oranları.....	124
Tablo 4.5. SPSS 15.0 programından elde edilen formül ile elde edilen Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deney sonuçları ve Hata oranları.....	125

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Briketin havadaki ağırlığı.
B	: Briketin havadaki ağırlığı.
c	: Kohezyon
C	: Briketin sudaki ağırlığı.
D _p	: Briketin hacim özgül ağırlığı.
D _t	: Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı.
G _b	: Bitümün özgül ağırlığı
G _{ef}	: Agreganın efektif özgül ağırlığı.
G _{sb}	: Agreganın hacim özgül ağırlığı.
H _{ort}	: Ortalama Briket yüksekliği
n	: Gözlem sayısı
p	: Değişken sayısı
P _{ba}	: Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm.
P _{be}	: Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı
R ²	: Belirtme Katsayısı
t	: Yükleme süresi (hızı)
T	: Isı
V	: Briketin hacmi.
V _f	: Asfaltla Dolu Boşluk %
V _h	: Boşluk (%)
VIF _j	: Varyans Şişme Faktörü
VMA	: Sıkıştırılmış kaplamadaki agregalar arası boşluk (%)
W _a	: Agreganın ağırlığına göre bitüm yüzdesi.
x	: Bağımsız Değişken
X _{1i, ..., X_{pi}}	: Açıklayıcı değişkenleri
y	: Bağımlı Değişken
Y _i	: Bağımlı değişkene ait i. Gözlemleri
β ₀	: Kesişim Katsayısı
β ₁	: Eğim Katsayısı
β _j	: j=0,1,...,p j. açıklayıcı değişkenin bilinmeyen Regresyon katsayısı olan parametreyi
ε	: Bitümlü karışımın kayma mukavemeti
ε	: Hata terimi
η _j	: Durum indeksi
κ _j	: Durum sayısı
\bar{r}	: Düzeltilmiş korelasyon katsayısı
σ ²	: Hata terimi varyansı
Φ	: İçsel sürtünme açısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Asfalt kaplamalar konfor başta olmak üzere, sağladığı diğer avantajlar nedeni ile tüm ülkeler tarafından yol üst yapısında en çok tercih edilen kaplama türüdür (Aksoy, 2001).

Günümüzde birçok mühendis bitümlü sıcak karışım metotlarının kullanımında, projeci ve yapımcı personelin güvenilir mühendislik verilerine ihtiyaç duyduklarını ifade etmişlerdir. Bu mühendislik verileri için gerekli karışım tasarımları ve ilgili hesaplamalar detaylı bir şekilde açıklanmış ve bu metotlar açıklanırken asfalt kaplama karışımlarının tasarımında deney yöntemlerinin detaylarına çok dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiş ve karışım tasarım deney sonuçları ile şartname talepleri arasındaki ilişkilere dikkat edilmesi gerektiği öne sürülmüştür (Önal ve Karaca, 1990).

Bu yöntem ile tasarım kavramı, Birleşik Devletler, Mississippi Devlet Otoyolları Bölümünde çalışan Bruce Marshall tarafından geliştirilip formüle edilmiştir. Birleşik Devletler Mühendislik Şirketinin ileri araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla, Marshall Deney Yöntemi geliştirilerek bugün kullanılan son halini almıştır. Daha sonra bu tasarım yöntemi, "American Society for Testing and Materials" tarafından standartlaştırılmıştır. Bu yöntem penetrasyon veya viskozite derecesi belli asfalt çimentolarına ve maksimum boyutu 25 mm (1 inç) veya daha az olan agregalar kullanarak yalnızca sıcak karışım asfalt kaplamalara uygulanır (ASTM D 1559-89, 1992). Ülkemiz karayolları karışım tasarımlarında da bu yöntem kullanılmaktadır. Marshall stabilitesinin Marshall akmasına oranı Marshall Oranı (MQ) olarak adlandırılmaktadır. Bu oran asfalt betonunun deformasyona karşı direncinin ve rijitliğinin bir göstergesidir. Marshall Oranı değeri modifiye karışım örneklerin deformasyon direncinin değerlendirilmesi için kullanılır. Daha yüksek MQ değeri daha rijit karışımı belirtmekte ve muhtemelen daha dirençli karışımı göstermektedir (Şengül, Aksoy ve İskender, 2006).

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, ilgilenilen kitleye yönelik tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla Regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize edilebilen istatistiksel analiz tekniğidir (Rousseeuw ve Zomeron, 1990). Regresyon analizi, bilinen bulgulardan, bilinmeyen gelecekteki olaylarla ilgili tahminler

yapılmasına izin verir. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir. Değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra, bağımsız değişken(ler)in skoru bilindiğinde bağımlı değişkenin skoru tahmin edilebilir (Alpar, 2003). Bağımlı değişken ile bir ya da bir kaç değişken arasında kurulan modeldeki parametreleri tahmin ederek, bağımsız değişkenlerin belirlenen değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmeye Regresyon Problemi denir (Çömlekçi, 1994).

Bu çalışmanın ana amacını; Marshall sıkıştırma tekniği ve farklı sıkıştırma enerjileri ile (farklı darbe sayısı) hazırlanan karışımların Marshall oranlarının belirlenmesi, elde edilen oranlar yardımı ile Regresyon analizi sonuçlarına bağlı bir modelin belirlenmesi ve hata oranlarının araştırılması oluşturmaktadır.

1.2. Regresyon Analizi

Gelecekle ilgili tahmin ve planlar yapabilmek uzun yıllardan bu yana kazanılmak istenen becerilerden biridir. Bu amaçla, istatistik ve ekonomi alanlarında çalışan araştırmacılar, çeşitli alanlarda belirsizlikleri ölçmek ve gelecekle ilgili tahminler yapabilmek için bilimsel tahmin yöntemleri geliştirmişlerdir. Regresyon Analizi ve Zaman Serileri Analizi başlıkları altında toplanabilen bu analizlerden Regresyon analizi değişik ölçüm ve değerler için tahmin ve politika belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Thomas, 1997). Bir diğer tanıma göre ise, "Regresyon analizi, bir değişkenin diğer bir değişken veya değişkenlerle tahmin edilebilmesi için kullanılan istatistik bir yöntemdir." Regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişki matematik bir fonksiyonla ortaya konurken, Regresyon katsayılarındaki işaretler değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü de belirtir, fakat ilişkinin derecesi hakkında bir bilgi vermez. Bu yüzden modelde yer alan bağımsız değişken veya değişkenlerin, bağımlı değişkendeki değişmeleri açıklama oranının bilinmesi, modelin uygunluğu konusunda bir ölçü oluşturulacaktır (Guriş ve Çağlayan, 2000). Korelasyon analizinin amacı "Korelasyon katsayısı" olarak bilinen bu oranın hesaplanmasıdır.

Genellikle Regresyon analizine başvurulmasının üç başlıca amacı vardır: Bunlar ilişkinin tanımlanması, ilişkinin kontrol edilebilmesi, tahmin ve politikaların belirlenmesi başlıkları altında toplanabilirler.

Regresyon analizinde genellikle, bağımlı değişkenin alacağı değerler diğer açıklayıcı değişkenlerden yararlanılarak tahmin edilmektedir. Bu analiz yapılırken,

kullanılan açıklayıcı değişkenlerle en uygun modelin bulunması amaçlanmaktadır. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi açıklayan en sade yapıya sahip olan model, genel olarak en uygun model olarak değerlendirilmektedir. Üzerinde durulan değişkenlerden bağımlı değişken y , bağımsız değişken x ise;

1-Bağımlı Değişken (y):Bağımlı değişken, Regresyon modelinde açıklanan ya da tahmin edilen değişkendir. Bu değişkenin bağımsız değişken ile ilişkili olduğu varsayılır.

2-Bağımsız Değişken (x):Bağımsız değişken, Regresyon modelinde açıklayıcı değişken olup; bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılır.

$y=f(x)$ şeklindeki fonksiyona Regresyon denir. $f(x)$ fonksiyonu farklı şekiller alabilir:

Doğrusal: $y = ax + b$

Parabolik: $y = ax^2 + b$

Üstsel: $y = ab^x$, $y = ae^x$

Geometrik: $y = ax^b \Rightarrow \log y = b \log(ax)$

Hiperbolik: $y=(ax+b)^{-1}$

1.2.1. Regresyon Türleri

Regresyon analizinde, farklı ilişkileri ortaya koyabilmek için değişik türde modeller oluşturulabilmektedir. Regresyon modellerinde, bağımlı değişken etkilenen değişkendir ve bu değişkenin değişimi incelenmektedir. Bu değişken tek veya çok denklemlilerde eşitliğin solunda yer almaktadır. Bağımsız değişkenler sonuç yaratan veya etkileyen değişkenlerdir. Bu değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişmelerin nedeni oldukları düşünülmektedir.

Regresyon analizinde modeller bağımsız değişken sayısı, fonksiyon tipi ve verilerin kaynağı dikkate alınarak üç ana grupta toplanabilmektedir. Araştırmalarda, bu üç ana ayırımın alt ayırımlarının bileşimi uygulanmaktadır.

- Bağımsız değişken sayısına göre:
 - Basit Regresyon analizi
 - Çoklu Regresyon analizi
- Fonksiyon tipine göre:
 - Doğrusal Regresyon analizi

-Doğrusal olmayan Regresyon analizi

- Verilerin kaynağına göre:
 - Anakütle verileriyle Regresyon analizi
 - Örnek verileriyle Regresyon analizi
 - Zaman Serilerinde Regresyon analizi

Tek denklemlerli Regresyon modellerinde bir bağımlı değişken yer almakta ve bir veya birden fazla bağımsız veya açıklayıcı değişkenle bağımlı değişkendeki değişimler incelenmektedir. Bu modeller, bir bağımsız değişken olması durumunda basit Regresyon, birden fazla bağımsız değişken olması durumunda ise çoklu Regresyon modelleri olarak adlandırılmaktadırlar. Basit ve çoklu Regresyon modellerini oluşturmada kullanılan en yaygın yöntem En Küçük Kareler yöntemidir. Ancak, bu yöntemin sonuçları, modele ait temel varsayımların geçerli olması durumunda uygulanabilmektedir. Bu varsayımlar geçerli olmadıklarında, En küçük Kareler yöntemine alternatif olarak geliştirilen yöntemler bulunmaktadır. Kullanılan bu yöntemler arasında literatürde en sık söz edilenler: Farklı varyanslılık saptandığında, Ağırlıklı En Küçük Kareler yöntemi, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı bulunduğunda Ridge Regresyon (Ridge Regression) ve Asal Bileşenler (Principal Components) yöntemi, normallik varsayımının geçerli olmadığı modellerde ise Güçlü Regresyon (Robust Regression) yöntemi olarak sıralanabilir. Regresyon modelleri parametrelerine veya değişkenlerine göre doğrusal olmayabilirler. Doğrusal olmayan Regresyon modellerinden bir kısmı değişkenlere çeşitli dönüşümler uygulanarak doğrusallaştırılabilirler. Bu tür modellere gerçekte doğrusal modeller adı verilir ve bunlar doğrusal modeller gibi oluşturulurlar. Doğrusal olmayan Regresyon modellerinin bir diğer bölümü ise herhangi bir şekilde doğrusallaştırılamazlar. Bu modellerin tahmini için tekrarlı (iterative) yöntemler kullanılır (Gürış ve Çağlayan, 2000).

Regresyon analizinde de, diğer istatistik yöntemlerde olduğu gibi anakütle verilerini tümü yerine bu anakütleden seçilen örnek verileriyle analiz yapılır, daha sonra elde edilen sonuçlar anakütledeki ilişkinin tahmininde kullanılır (William, 1993).

Zaman serileri başlığı altında incelenen analizler ise, tahmini yapılacak değişkenin geçmişteki durumunun çeşitli yöntemlerle incelenmesi ve elde edilen bilgilerden yararlanarak gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesine dayanmaktadır (Orhunbilge, 1999). Zaman serileri modellerinde, değişkenlerin geçmiş devre değerleri de modele katılarak gelecekle ilgili tahminler yapılabilmektedir. Eğer model, bağımsız değişkenlerin

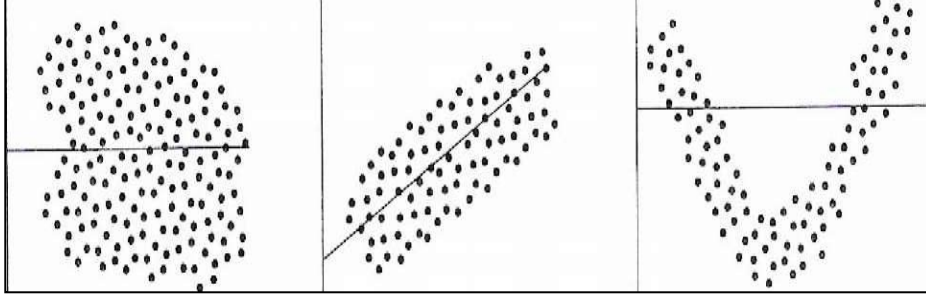
yalnızca şimdiki değerlerini değil, ama aynı zamanda gecikmeli değerlerini de içeriyorsa, bu modele gecikmesi dağıtılmış model adı verilmektedir. Bağımsız değişkenleri arasında bağımlı değişkenin bir veya daha fazla gecikmeli değerlerini içeren modellere otoregressif (AR) model denmektedir (Akın, 2002). Hareketli Ortalama (MA) modellerinde ise, bağımlı değişken hata teriminin mevcut ve geçmiş dönem değerlerinin lineer kombinasyonu ile ifade edilmektedir. Bileşik Otoregressif Hareketli Ortalama (ARMA) yönteminde ise model, otoregressif ve hareketli ortalama modellerinin bileşimiyle oluşturulmaktadır. Bazı iktisadi olayların ise birden fazla denklemle açıklanması gerekmektedir. Bu modellerden en fazla kullanılanları VAR (vektörotoregressif) ve VARMA (vector otoregressif hareketli ortalama) modelleridir. Çok denklemlili bu model veya sistemlerde bazı değişkenler hem bağımlı hem de bağımsız değişken olarak yer alırlar. Böyle sistemlerin eşanlı olarak çözümleri gerektiğinden eşanlı denklem sistemi olarak adlandırılırlar (Gürüş ve Çağlayan, 2000). Çok denklemlili ilişkileri açıklamak için eşanlı denklem sistemleri gibi ardışık sistem, blok-ardışık sistem, görünüşte ilişkisiz Regresyon yöntemleri de kullanılabilir.

1.2.1.1. Doğrusal Regresyon Modeli

Burada bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken varken bu iki değişken arasındaki ilişkiyi belirleyecek modelin nasıl olduğunun ortaya çıkartılması açıklanmaya çalışılacaktır. n tane birimin her birinden bağımsız değişken X ve bağımlı değişken Y değerleri saptanmış olsun. Bu durumda $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ olmak üzere n tane gözlem değeri olacaktır. Acaba X ve Y değişkenleri arasındaki ilişki nasıldır? Bu ilişkiyi matematiksel eşitlik olarak ifade edilebilir mi? Bu soruların yanıtını verebilmek için $(X_i, Y_i), i=1,2,\dots,n$ gözlem çiftlerini koordinat eksenlerine işaretlemek gerekir. Buna Regresyonda serpm diyagramının hazırlanması denir. n tane gözlem çiftinin her biri için serpm diyagramında kesişim noktaları bulunduğunda n tane nokta oluşacaktır. Bu noktaların konumuna bakılarak modelin nasıl olduğuna karar verilir. Eğer noktalar bir doğru etrafında toplanıyor ise doğrusal bir model kullanılmalıdır.

Basit Regresyon modellerinde, değişkenler arasında ilişki olup olmadığını saptamak ve ilişkinin hangi tür fonksiyonla gösterilmesi gerektiğini araştırmak için öncelikle, X ve Y değişkenlerinin aldıkları değerler iki boyutlu koordinat sisteminde çizilmektedir. Aşağıdaki serpilme diyagramları incelendiğinde ilkinde, iki değişken

arasında bir ilişki söz edilememekte, ikincisinde doğrusal, üçüncüsünde ise doğrusal olmayan bir ilişki gözlenmektedir.



Şekil 1.1.Serpilme Diyagramları (Mardikyan.2005).

1.2.1.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli

Basit doğrusal Regresyon modeli sadece bir bağımsız değişken içeren modeldir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1.1)$$

Bu modelde β_0 kesişimi, β_1 eğimi temsil eden bilinmeyen Regresyon katsayılarıdır. ε terimi modelin rastgele hata bileşenini temsil eder. Hataların sıfır ortalamaya ve bilinmeyen σ^2 varyansına sahip olduğu varsayılır.

Burada β_0 ve β_1 değerleri tüm popülasyon verileri kullanılarak hesaplanan teorik değerlerdir. Ancak yine de dikkate alınmayan bağımsız değişkenler olabileceğinden, verilerin rassal (şansa bağlı) değişimlerini gösteren hata değeri ε modele eklenmiştir.

Gerçek hayat uygulamalarında β_0 ve β_1 değerleri bilinmiyorsa, popülasyondan örnekler alınarak bunların tahmini değerleri olan b_0 ve b_1 kullanılır.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (1.2)$$

\hat{y} : y 'nin tahmini değeri.

Basit doğrusal Regresyon modeli şu varsayımlara dayanır:

1. Açıklayıcı değişken değerleri sabit sayılardır.
2. Hata teriminin ortalaması sıfırdır.
3. Hata teriminin varyansı σ^2 dir ve bu varyans x değerlerine göre değişmez
4. Hata teriminin değerleri birbirleriyle ilişkili değildir.
5. Hata terimi, ortalaması ve varyansı (2) ve (3) nolu varsayımlarda belirlenmiş olan bir normal değişkendir (Myers, 1990).

1.2.1.1.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli

Bir bağımlı değişkenin kendisini etkileyen birden çok bağımsız değişken ile olan ilişkisi çoklu Regresyon analizi başlığı altında incelenmektedir.

O halde, β bağımsız değişkenli birçoklu doğrusal Regresyon modeli

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanır.

Burada n: gözlem sayısını, p: değişken sayısını, X_{1i}, \dots, X_{pi} : açıklayıcı değişkenleri, Y_i : bağımlı değişkene ait i. gözlemleri, β_j : $j=0, 1, \dots, p$ j. açıklayıcı değişkenin bilinmeyen Regresyon katsayısı olan parametreyi, ε_i : hata terimlerini temsil eder.

Parametreler modele bağımsız değişkenlerin veya bağımsız değişkenlerin fonksiyonlarının birer basit katsayıları olarak girerler. (1.2) eşitliğinin matris notasyonu ile ifadesi

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1.4)$$

olarak yazılabilir.

Burada Y: (nx1) boyutlu bağımlı değişkenlerin vektörü, X: (nxp) boyutlu bağımsız değişkenler matrisi, β : (px1) boyutlu bilinmeyen Regresyon parametreleri vektörü, ε : (nx1) boyutlu hata vektörüdür.

Hata vektörünün, ortalaması sıfır ($E(\varepsilon) = 0$) ve varyansı ($Var(\varepsilon) = \sigma^2 I$) olan ve birbirinden bağımsız rastgele değişkenler vektörü olduğu varsayılır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren parametrelerin tahmininde en iyi sonuçlara ulaşabilmek için sağlanması gereken bazı varsayımlar vardır.

1.2.2. Regresyon Modelinin Önemli Özellikleri

Basit ve çoklu doğrusal Regresyon modellerinde dikkate alınması gerekli temel varsayımlar bulunmaktadır (Ertek, 2000).

1. $E(\varepsilon_i) = 0$ bütün $i=1,2,\dots,n$ için X değişkeni X_i değerini aldığı anda Y_i değişkenin beklenen değeri $E(Y_i|X_i) = \sum_{k=0}^{p-1} \beta_k X_{ik}$ olur. X_i değeri için ε_i 'nin dağılım $E(Y_i|X_i) = \sum_{k=0}^{p-1} \beta_k X_{ik}$ noktası etrafında normal bir dağılım gösterir. Bütün X_i değerleri için hata terimlerinin beklenen değerleri $E(\varepsilon_i) = 0$ olur. Bu özelliğe Normallik (Normality) varsayımı adı verilmektedir.

2. Hata terimlerinin varyansı sabittir ve $\sigma^2(\varepsilon_i) = \sigma^2$ olarak ifade edilebilmektedir. Regresyon analizinde Eşit Varyanslılık (Homoscedasticity) olarak bilinen bu varsayıma göre, X_i 'nin alacağı değerler ile oluşan analizlerin varyansı her bir X_i için aynı olacaktır. Eşit varyanslılık varsayımının geçerli olmaması durumu ise Farklı Varyanslılık (Heteroscedasticity) olarak adlandırılmaktadır.

3. $E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$ varsayımı hata terimlerinin birbirinden bağımsız olduklarını, diğer bir ifade ile birbirlerinden etkilenmediklerini belirtir. Bu özelliğe, hatalar arasında Otokorelasyon (Autocorrelation) bulunmaması varsayımı adı verilmektedir.

4. $E(X_i, \varepsilon_i) = 0$ varsayımı ε_i değerinin X_i değerinden bağımsız olduğunu gösterir.

5. ε hata teriminin sabit varyansa sahip olduğu dikkate alınırsa Y_i değişkeninin varyansı, $\sigma^2(Y_i) = \sigma^2(\sum_{k=0}^{p-1} \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i) = \sigma^2(\varepsilon_i)$ olacaktır. Böylece, Regresyon modeli, X değişkeninin değerine bağlı kalmaksızın, Y değişkeninin olasılık dağılımının hata terimi ile aynı sabit varyansa (σ^2) sahip olduğunu varsaymaktadır .

6. Sadece çoklu doğrusal regresyon modeli için geçerli olan bu varsayımda ise, bağımsız değişkenler arasında tam Çoklu Doğrusal Bağlantı (Multicollinearity)'nin bulunmadığı varsayılmaktadır. Yani bağımsız değişkenler arasında tam doğrusal ilişkiler yoktur.

1.2.3. En Küçük Kareler Varsayımlarının Kontrolü

Regresyon analizinde hata teriminin bağımsız, ortalaması sıfır, varyansı sabit olan normal dağılım gösterdiği varsayılır (Chatterjee ve Hadi, 1988). Uydurulan model için bu varsayımlar tutmadığı takdirde o model ile ilgili her türlü yorum şüphe ile karşılanır ve

tartışmaya açıktır. Çünkü tahminler minimum varyanslı olma özelliğini yitirirler. Bu nedenle model kullanılmadan önce varsayımlar kontrol edilmelidir.

1.2.3.1. Normallik Varsayımı

Normal dağılım varsayımı özellikle hipotez testlerinin yapılabilmesi ve güven aralıklarının oluşturulabilmesi için oldukça önemlidir. Bu varsayımın tutup tutmadığının belirlenmesi için en pratik yöntemlerden birisi normal olasılık grafikleridir (Draper ve Smith, 1981). Grafik çizildiğinde noktalar bir doğru üzerinde olmalıdır. Elde edilen grafikteki doğrudan sapmalar, ilgili gözlemlerin normallikten sapmalarını ifade eder. Normalden sapan gözlemlerin olması uygun olmayan bir regresyon modeli kullanıldığını veya varyansın homojen olmadığını ifade eder. Grafikselle yöntemler yanında normallik için Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk istatistiği, çarpıklık ve basıklık testleri gibi analitik testler kullanılarak kapsamlı bir incelemeden sonra artıkların normal dağılım gösterip göstermediği test edilebilir (Shimek, 1999). Sonuçta artıkların normal dağılım göstermediğine karar verilirse bu durumda EKK tekniği uygulanamaz.

1.2.3.2. Sabit Varyans Varsayımı

Sabit varyans varsayımı, Regresyon analizinde temel varsayımlardan birisidir. Bu nedenle, artıkların sabit varyansa sahip olup olmadıklarının belirlenmesi ve doğrulanması önemlidir. Eğer bu problem çözülemezse, EKK tahmin edicileri yine sapmasızdırlar fakat minimum varyans özelliğine sahip olmayabilirler. Diğer bir ifade ile katsayılar gerekenden büyük standart hatalara sahip olacaklardır. Problemin varlığının incelenmesi için en çok kullanılan yöntem artıkların, tahmin değerlerine \hat{Y} karşı grafiklerinin oluşturulmasıdır. Bu problemin çözümü için önerilen en etkili yöntem Y değişkeninde bir dönüşüm uygulamaktır (Montgomery ve Peck, 1992).

1.2.3.3. Hataların İlişkisizlik Varsayımı

EKK Regresyon analizinde hata teriminin ortalaması sıfır, varyansı sabit olduğu ve birbirleriyle ilişkisiz olduğu varsayılır. Bağımsızlık varsayımı çoğu zaman mevcut olmayabilir. Özellikle zaman serisi verilerinde ardışık bağımlılık mevcuttur. Hatanın

ardışık bağımlı olması, EKK Regresyonu üzerinde bazı etkilere sahiptir. Regresyon katsayıları hala yansızdırlar fakat minimum varyansa sahip değildir. Hata teriminin ardışık bağımlı olup olmadığının araştırılması için en basit yöntem artık değerlerinin zamana karşı grafiğinin oluşturulmasıdır. Diğer bir yöntem ise Durbin Watson istatistiğidir (Drafer ve Smith, 1981).

1.2.4. Çoklu Bağlantı

Çoklu bağlantı terimi, X matrisinin kolonlarının doğrusal bağımlılığı şeklinde tanımlanabilir. Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı problemi,

1. Veri toplama yönteminin yanlış olması
2. Örneklem veya modelde yapılan kısıtlamalar
3. Model seçiminde yapılan hatalar

gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Verideki bu problem, Regresyon katsayılarına ait EKK tahmin edicilerinin varyans ve kovaryans değerlerinin gerçekte olduğundan daha büyük olmasına, buna bağlı olarak da Regresyon modeline dayanan yorumların hatalı olmasına neden olabilir (Drafer ve Smith, 1981). Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı problemi olup olmadığının belirlenmesi için birçok yöntem önerilmektedir. Bu problem aslında bir veri problemi olduğundan tespiti için önerilen yöntemlerin çoğunluğu X bağımsız değişken matrisi ile ilgilidir. Bunlar arasında en çok kullanılan istatistikler Varyans Şişme Faktörü (VIF_j), Durum İndeksi (η_j), Durum Sayısı (κ_j) istatistikleridir.

Bağımsız değişkenler arasında tespit edilen çoklu bağlantı probleminin çözümü için modeli yeniden tanımlamak, konu ile ilgili ek veriler toplamak ve EKK yöntemi yerine ridge Regresyon yöntemini uygulamak önerilmektedir.

1.2.5. En Küçük Kareler Yöntemi

Basit regresyon analizinde çizilen serpilme diyagramından da görülebileceği gibi, çizilen noktaların arasından sonsuz sayıda doğrusal veya doğrusal olmayan fonksiyon geçirilebilecektir. Bu analizde amaç, en uygun, bir diğer ifade ile ilişkiyi en iyi temsil eden regresyon fonksiyonunu seçebilmektir. Şayet ilişki serpilme diyagramında doğrusal ise, en uygun regresyon doğrusunun bilinmeyenleri olan β_0 ve β_1 parametrelerinin değerini belirlemek gerekmektedir. Bilindiği üzere anakütle regresyon modeli, Basit doğrusal

regresyon için (1.1), çoklu doğrusal regresyon için (1.3) denklemleriyle gösterilmektedir. Bu denklemlerin parametreleri, anakütle verilerinin tüm değerleri gözlenemediği durumda, n birimlik bir örnekten tahmin edilirler.

Örnek verileri kullanıldığında denklemlerde tek değişiklik küçük harflerin kullanılmasıdır. Nitekim bu nedenle örnek verileri ile basit doğrusal Regresyon modeli,

$$y_i = b_0 + b_1 X_i + e_i \quad (1.5)$$

şeklini alır. Burada b_0 ve b_1 , β_0 ve β_1 'in, e_i ise ε_i 'nin tahminleyenidirler, yani örnekten belirlenecek değerlerini ifade etmektedirler. anakütle için tek bir β_0 ve β_1 değeri söz konusu iken bu anakütleden seçilebilecek bütün mümkün örneklerden her biri için değişik b_0 ve b_1 değerleri elde edilebilir. Bu b_0 ve b_1 değerlerinin teorik dağılımları normaldir ve beklenen değerleri β_0 ve β_1 'e eşittir.

Benzer şekilde, örnek verileri ile çoklu doğrusal regresyon modeli de aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$y_i = b_0 + b_1 X_{1i} + \dots + b_p X_{pi} + \varepsilon_i \quad (1.6)$$

Basit ve çoklu regresyon modellerinde anakütle verileri ile çalışıldığında, gerçek Y_i değeri, tahmini Y_i' değeri ile hata terimi ε_i 'nin toplamına eşit olacaktır.

$$Y_i = Y_i' + \varepsilon_i \quad (1.7)$$

Aynı modeller için örnek verileri ele alındığında;

$$y_i = y_i' + \varepsilon_i \quad (1.8)$$

eşitliği söz konusudur. Bu durumda, Y (veya y) gözlem değerlerine en yakın tahmini Y' (veya y') değerleri minimum hata ile tahmin edilmelidir. Bu amaçla, mevcut Regresyon analizi yöntemleri arasında, en popüler ve güçlü olan yöntem En Küçük Kareler Yöntemi'dir. Bu yöntemin tahminleyenleri, bölüm 1.1.3.'de belirtilen varsayımlar altında, tarafsızlık, etkinlik, tutarlılık gibi önemli istatistik özellikler taşırlar.

En Küçük Kareler yönteminde, parametreler tüm gözlem değerleri için elde edilen hata terimlerinin karelerini minimize edecek şekilde hesaplanmaktadır. Örnek verileri ile çalışıldığında, basit doğrusal Regresyon modeli için, farkların kareleri toplamı,

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_i)^2 \quad (1.9)$$

olarak ifade edilirse, bu değeri en küçük yapacak b_0 ve b_1 değerlerini bulmak için, bu denklemin b_0 ve b_1 parametrelerine göre kısmi türevleri alınıp sıfıra eşitlendiğinde normal denklemler adı verilen denklem sistemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\sum_{i=1}^n y_i = n b_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.10)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = b_0 \sum_{i=1}^n x_i + b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (1.11)$$

Normal denklemlerin ortak çözümü ile b_0 ve b_1 değerleri elde edilirler.

$$b_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \quad (1.12)$$

$$b_0 = \frac{1}{n} (\sum y_i - b_1 \sum x_i) \quad (1.13)$$

Aynı yöntemde çoklu doğrusal regresyon modeli için, farkların kareleri,

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_{i1} - \dots - b_p x_{ip})^2 \quad (1.14)$$

olarak, matris notasyonu kullanıldığında ise (Draper ve Smith, 1981),

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n e_i^2 &= (Y - X_b)'(Y - X_b) \\ &= Y'Y - b'x'Y - Yxb + b'x'xb \\ &= Y'Y - 2b'x'Y + b'x'xb \end{aligned} \quad (1.15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada bilindiği gibi $b'X'Y$ (1x1) boyutunda bir matris ve $(b'X'Y)' = Y'Xb$ 'dir.

En Küçük Kareler yönteminde $\sum_{i=1}^n e_i^2 = (Y - Xb)'(Y - Xb)$ denkleminin b 'ye göre türevi alınıp 0'a eşitlenmesi ile

$$(X'X)b = X'Y \quad (1.16)$$

normal denklem sistemi elde edilmektedir. Burada bulunan p doğrusal denklemin bağımsız olduğu, dolayısıyla $X'X$ 'in tekil olmayan bir matris olduğu ve tersinin bulunduğu varsayımı vardır. Bu durumda normal denklemlerin çözümü yapıldığında, parametre tahminleyenleri,

$$b = (X'X)^{-1}X'Y \quad (1.17)$$

denklem sistemi ile hesaplanmaktadır (Long, 1997). Bu tahminleyenler $\sum_{i=1}^n e_i^2$ değerini minimum yapan değerlerdir, çünkü bu değer b 'ye göre ikinci dereceden kısmi türevi olan $2X'X$ matrisi bir pozitif definit matrisidir.

1.2.5.1. En Küçük Kareler Yöntemiyle Elde Edilen Regresyon Katsayılarının Özellikleri

Regresyon modelinin doğrusallık varsayımı altında, modelin parametreleri β vektörünün tahminleneni b vektörü bazı özellikler taşımaktadır. Bu özellikler aşağıdaki başlıklarla ele alınabilir (Fox, 1997).

1.2.5.1.1. Tahminleyenin Dağılımı

Bilindiği üzere, En Küçük Kareler yönteminin tahminleneni, X sabit model matrisi ve bağımlı değişkenin gözlem değerlerini içeren Y matrisi ile ifade edildiğinde,

$$b = (X'X)^{-1}X'Y = MY \quad (1.18)$$

olarak gösterilebilir.

Burada yeni bir matris, $M=(X'X)^{-1}X'$ olarak tanımlanabilir. Böylece, b vektörünün beklenen değeri, Y 'nin beklenen değeri ile ifade edilebilir.

$$E(b) = E(MY) = ME(Y) = (X'X)^{-1}X'X\beta = \beta \quad (1.19)$$

Bu sonuç, b vektörünün, β vektörünün yansız bir tahminleyeni olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde tahminleyenin kovaryans matrisi,

$$V(b)=MV(Y)M' = ((X'X)^{-1}X') \sigma^2 I_n ((X'X)^{-1}X)' \quad (1.20)$$

ile gösterilebilir. Bu formülde, σ^2 sabit hata varyansını göstermektedir, $(X'X)^{-1}$ matrisi ise simetrik bir matris olduğu için yukarıdaki eşitlik,

$$V(b)=\sigma^2 (X'X)^{-1}X'X(X'X)^{-1} = \sigma^2(X'X)^{-1} \quad (1.21)$$

olarak gösterilebilir. Bu durumda, tahminleyenin kovaryans matrisi sadece model matrisi X' e ve hata varyansına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Sonuç olarak, eğer Y normal dağılım gösteriyorsa ve doğrusal modelin tüm varsayımları sağlanıyorsa b , beklenen değeri β ve varyansı $\sigma^2 (X'X)^{-1}$ olan normal bir dağılım göstermektedir.

$$\beta \sim N_p (\beta, \sigma^2(X'X)^{-1}) \quad (1.22)$$

1.2.5.1.2. Gauss-Markov Teorisi

En Küçük Kareler yöntemi modelinde, eğer hata terimleri beklenen değeri 0 ve sabit varyanslı bağımsız bir dağılım gösteriyorlarsa, modelin tahminleyeni b vektörü de, β vektörünün en etkin tahminleyenidir. Başka bir ifadeyle, gözlem değerlerini doğrusal fonksiyon ile ifade edilebilen tüm yansız tahminleyenler içinde b , örnekleme varyansı en küçük olan yansız tahminleyenidir. Bu yüzden, En Küçük Kareler tahminleyeni b , literatürde en iyi doğrusal yansız tahminleyen (BLUE) (BLUE teriminin açılımı Best Linear Unbiased Estimator'dır.) olarak adlandırılır. \tilde{b} en etkin tahminleyen ise,

$$\tilde{b} = (M+A)Y \quad (1.23)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, A matrisi, en etkin tahminleyenin dönüşüm matrisi ile, En Küçük Kareler yönteminin tahminleyenin dönüşüm matrisi arasındaki farkı göstermektedir. En Küçük Kareler tahminleyenin en iyi doğrusal yansız tahminleyen olduğunu göstermek için, $A=0$ olduğunu göstermek gerekmektedir (Wonnacott ve Wonnacott, 1979).

\tilde{b} , β 'nin en iyi doğrusal yansız tahminleyeni olsun. Bu durumda,

$$\beta = E(\tilde{b}) = E((M+A)Y) = E(MY) + E(AY) = E(b) + AE(Y) = \beta + AX\beta \quad (1.24)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitliğin sağlanması için $AX\beta$ teriminin, dolayısıyla A matrisinin 0 matrisi olması gerekmektedir.

\tilde{b} doğrusal yansız ve minimum varyanslı bir tahminleyen olduğu için, $V(\tilde{b})$ matrisinin köşegen üzerindeki elemanları mümkün olacak en küçük değerlere eşittirler. \tilde{b} 'nin kovaryans matrisi,

$$V(\tilde{b}) = (M+A)V(Y)(A)' = (M+A)\sigma^2 I_n (M+A)' = \sigma^2 (MM' + MA' + AM' + AA') \quad (1.25)$$

daha önce gösterildiği gibi $AX = 0$ 'dır. Bu durumda, $AM' = AX(X'X)^{-1} = 0(X'X)^{-1} = 0$ olacaktır. Dolayısıyla, bu matrisin transpozu olan MA' matrisi de 0 olacaktır.

$$V(\tilde{b}) = \sigma^2 (MM' + AA') \quad (1.26)$$

Bilindiği gibi kovaryans matrisinin köşegendeki j. elemanı, kısmi regresyon katsayısı \tilde{b}_j 'in varyansına eşittir.

$$\sigma^2(\tilde{b}_j) = \sigma^2(\sum_{i=1}^n m_{ji}^2 + \sum_{i=1}^n a_{ji}^2) \quad (1.27)$$

Bu eşitlikte tüm terimler negatif olamayacakları için, $V(\tilde{b}_j)$ değerinin olabilecek en küçük değere sahip olabilmesi için tüm a_{ji} terimlerinin 0 olması gerekmektedir. Bu durum, tüm köşegendeki elemanlar için geçerlidir. Dolayısıyla, A matrisinin tüm satırlarındaki elemanların 0 olması, başka bir ifade ile $A=0$ olması gerekmektedir. Sonuç olarak,

$$\tilde{b}_j = (M+0)Y = MY = b \quad (1.28)$$

olduğu gösterilmiştir. Böylece En Küçük Kareler Yönteminin tahminleyeninin, en iyi doğrusal yansız tahminleyen (BLUE) olduğu ispatlanmaktadır.

1.2.6. Regresyon Denkleminin Standart Hatası

anakütle verileri ile çalışıldığında, hata terimi ε_i 'nin varyansı σ^2 , hem Y 'nin hem de regresyon denkleminin değişkenliğini (varyansını) temsil ettiği için tahmin edilmesi gerekmektedir.

Bilindiği üzere, Y 'nin her bir gözlem değeri Y_i 'nin, tahmini değeri Y_i' 'den olan farkı, regresyon denkleminde olan sapmaları yani regresyon analizi ile yapılan hataları göstermektedir. Bu değerlerin kareleri toplamı, HKT (HKT teriminin açılımı Hata Kareleri Toplamı'dır. Literatürde SSE (Error Sum of Squares) olarak geçmektedir).

anakütle verileri için;

$$AHKT = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_i')^2 \quad (1.29)$$

Örnek verileri için ise;

$$HKT = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2 \quad (1.30)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu değerlerin ortalama değeri ise Regresyon denkleminin varyansını verecektir. Dolayısıyla, çoklu doğrusal Regresyon denkleminin standart hatası,

Anakütle verileri için;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_i')^2}{N}} \quad (1.31)$$

Örnek verileri için ise;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n-p}} \quad (1.32)$$

şeklinde olacaktır (Draper ve Smith, 1981). Anakütle verileriyle çalışırken, varyansı hesaplamak için ortalama alındığında hata karelerinin toplamının gözlem sayısı N'ye bölünmesi gerekmektedir. Örnek verileriyle çalışıldığında ise aynı terim serbestlik derecesi olarak bilinen ve çoklu doğrusal regresyon analizinde (n-p) değerine eşit olan terime (basit doğrusal regresyon analizinde (n-2) değerine) bölünmesi gerekmektedir. Buradaki p bağımsız değişken dahil tüm değişken sayısını göstermektedir. Bilindiği üzere ancak bu şekilde tahmin edilen standart hatanın beklenen değeri anakütle standart hatasına eşit olmaktadır. Sembollerle ifade edildiğinde, örnek varyanslarının beklenen değeri

$$E \left(\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{n} \right) = \frac{\sum (Y_i - Y'_i)^2}{N} \frac{n-p}{n} = \sigma^2 \frac{n-p}{n} \quad (1.33)$$

olarak hesaplandığında anakütle varyansının yanlış tahminlenmesi olmakta ve bu değeri olması gerekenden daha düşük tahmin etmektedir (Orhunbilge, 2000).

$$E \left(\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{n} \right) < \frac{\sum (Y_i - Y'_i)^2}{N} \quad (1.34)$$

Bu durumda (1.33) eşitliğinin her iki tarafı $\frac{n}{n-p}$ değeri ile çarpıldığında anakütle varyansının yanlış tahminlenmesi aşağıdaki formülle elde edilmektedir.

$$E \left[\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{n} \frac{n}{n-p} \right] = E \left[\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{n-p} \right] = \sum (s^2) = \sigma^2 \quad (1.35)$$

1.2.7. Regresyon Uyumunun Değerlendirilmesi

EKK tekniği uygulanarak uydurulan regresyonun istatistiksel olarak önemli olup olmadığını test etmek amacıyla varyans analizi tekniği, modeldeki katsayıların ayrı ayrı

önem kontrolleri için ise t testi kullanılır. Ancak bu yöntemler tek başlarına uydurulan modelin değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en iyi model olduğunun veya verileri gerçekten temsil eden bir model olduğunu göstermez. Çünkü model, en iyi model olmasa bile regresyon ve katsayılar önemli olabilirler.

Belirtme Katsayısı(R^2): Kullanılan X değişkenlerinin Y'deki toplam değişimi açıklayabilme oranını verir ve $0 < R^2 < 1$ dir.

Bu katsayı

$$R^2 = \text{RKT} / \text{GKT} \quad (1.36)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada RKT: varyans analiz tablosundaki regresyon kareler toplamını, GKT: genel kareler toplamını göstermektedir. R^2 'nin büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu sonucunu göstermez. Çünkü modele konu ile ilgili veya ilgisiz bir değişkenin eklenmesi R^2 'nin değerini artıracaktır.

Dolayısıyla da büyük R^2 ' si olan modeller her zaman tahmin yapmada en iyi model olmayabilir (Draper ve Smith, 1981).

1.3. Korelasyon Analizi

Regresyon analizinde değişkenler arasındaki ilişki matematik bir fonksiyonla ortaya konurken, regresyon katsayılarındaki işaretler değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü de belirtir, fakat ilişkinin derecesi hakkında bir bilgi vermez. Bu yüzden modelde yer alan bağımsız değişken veya değişkenlerin, bağımlı değişkendeki değişimleri açıklama oranının bilinmesi, modelin uygunluğu konusunda bir ölçü oluşturulacaktır (Güriş ve Çağlayan, 2000). Korelasyon analizinin amacı "Korelasyon Katsayısı" olarak bilinen bu oranın hesaplanmasıdır.

1.3.1. Basit Doğrusal Korelasyon Analizi

Basit doğrusal regresyon modeli dikkate alındığında, bağımlı değişkendeki toplam değişkenlik,

$$\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^N (Y'_i - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^N (Y_i - Y'_i)^2 \quad (1.37)$$

formülüyle elde edilebilir (Burada Y , Y 'nin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir). Buradan görüldüğü gibi, Y 'deki toplam değişkenlik (GKT) (GKT'nin açılımı, Genel Kareler Toplamı'dır.), regresyon denklemi ile açıklanan değişkenlik (RKT) (Orhunbilge, 2000) ve açıklanamayan değişkenlik (HKT) terimlerinin toplamıyla ifade edilmektedir. Eşitliğin her iki tarafı toplam değişkenliğe bölündüğünde, eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim ρ^2 ile ifade edilip, "belirlilik katsayısı" olarak bilinen ve bağımlı değişkendeki değişkenliğin, bağımsız değişken tarafından açıklanma oranını gösteren değer elde edilmektedir. Bu durumda,

$$\rho^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y'_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y'_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1.38)$$

veya;

$$\rho^2 = \frac{RKT}{GKT} = 1 - \frac{HKT}{GKT} \quad (1.39)$$

formülleriyle ifade edilir (Edwards, 1984). Belirlilik katsayısının karekökü alındığında, genel korelasyon katsayısı elde edilecektir.

$$\rho = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y'_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1.40)$$

Tüm korelasyon katsayılarının genel formülü niteliğini taşımakta olan formül, $\sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)$ değeri Y'_i değerinin hangi fonksiyonla elde edildiğine bağlı olarak basit doğrusal, eğrisel veya çoklu korelasyon katsayısı şekline dönüşmektedir. Regresyon modeli, bağımlı değişkendeki toplam değişkenliğin tümünü açıklıyorsa, $\rho=1$, hiç açıklamıyorsa $\rho=0$ olacaktır. Bu değer 1'e yaklaşması değişkenliğin, regresyon denklemiyle iyi açıklandığını ortaya koyacaktır. Doğal olarak regresyon analizinde amaç, arzu edilen büyük ρ değerlerine ulaşmaktır.

Anakütle verileri için verilen tüm bu formüller örnek verileri için de geçerli olmakta, ancak kullanılan notasyonda genellikle örnek belirlilik katsayısı r^2 ve korelasyon katsayısı ise r ile gösterilmektedir.

1.3.2. Çoklu Doğrusal Korelasyon Analizi

1.3.2.1. Çoklu Korelasyon Katsayısı

Çoklu regresyon analizinde ise belirlilik ve korelasyon katsayılarına çoklu belirlilik ve çoklu korelasyon katsayısı adı verilmektedir. anakütle verileri dikkate alındığında ve genel model için matris notasyonu kullanıldığında, bağımlı değişkendeki toplam değişkenlik, bağımsız değişkenlerle açıklanabilen ve açıklanamayan değişkenliklerin toplamından oluşacaktır (Netter, Wasserman ve Kutner, 1989).

Toplam değişkenlik

$$GKT = Y'Y - (1/N)Y'11'Y \quad (1.41)$$

Regresyonla açıklanan değişkenlik

$$RKT = \beta'X'Y - (1/N)Y'11'Y \quad (1.42)$$

Açıklanamayan değişkenlik

$$HKT = \epsilon'\epsilon = (Y - X\beta)'(Y - X\beta) = Y'Y - \beta'X'Y \quad (1.43)$$

Çoklu belirlilik katsayısı ρ^2 , bağımlı değişkendeki toplam değişkenlikte, doğrusal regresyon denklemi ile açıklanabilen kısmın oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Bu durumda,

$$\rho^2 = \frac{RKT}{GKT} = 1 - \frac{HKT}{GKT} \quad (1.44)$$

olarak ifade edilebilir. Basit korelasyon katsayısı gibi, çoklu korelasyon katsayısı da ρ ile ifade edilip Y ile Y' arasındaki ilişkiyi, yani bağımsız değişkenlerin birlikte Y' deki

etkisinin derecesini temsil etmektedir. Basit doğrusal Regresyon modelindeki korelasyon katsayısı ile ilgili tüm yorumlar çoklu doğrusal Regresyon modeli için de geçerlidir.

Basit doğrusal korelasyon analizinde olduğu gibi, anakütle verileri için elde edilen bu formüller örnek verileri söz konusu olduğunda da aynı şekilde hesaplanmakta, ancak ρ^2 ve ρ için sırasıyla r^2 ve r notasyonu kullanılmaktadır.

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1.45)$$

Regresyon analizinde, aynı bağımlı değişkendeki değişmelerin farklı Regresyon sayıları farklı olabilecek bu modelleri karşılaştırmada kullanılacak ölçüt korelasyon katsayısı olmaktadır. Ancak, r 'nin önemli bir özelliği modele yeni bağımsız değişkenler eklendikçe azalmadığı, her zaman artma eğiliminde olmasıdır. Bu yüzden bağımlı değişkenleri aynı, fakat bağımsız değişken sayıları farklı olan modellerin karşılaştırılmasında, bağımsız değişken sayısını da hesaba katan düzeltilmiş korelasyon katsayısı (adjusted correlationco efficient) \bar{r} kullanılır.

$$\bar{r} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2 \frac{n-1}{n-p}}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \frac{n-1}{n-p}}} \quad (1.46)$$

Düzeltilmiş korelasyon katsayısı ile korelasyon katsayısı arasındaki ilişki,

$$r = \sqrt{1 - (1 - r^2) \frac{n-1}{n-p}} \quad (1.47)$$

formülüyle gösterilmektedir. (Formüllerdeki p sayısı, bağımlı dahil modeldeki toplam değişken sayısını göstermektedir.) Düzeltilmiş korelasyon katsayısı için kullanılacak bir başka değer de Goldberger (Goldberger, 1991) tarafından önerilmiştir.

$$\bar{r}_G = (1 - p/n)r^2 \quad (1.48)$$

Günel (Günel, 2003), Regresyon denklemlerinin başarılarının karşılaştırılmasında, belirlilik katsayısının tek başına regresyon denkleminin özelliklerini temsil edemediğini ve örnek büyüklüğü, denklemin eğimi ve standart hatası gibi ek kriterlere gereksinim olduğunu, düzeltilmiş belirlilik katsayısı kullanıldığında ise örnek büyüklüğünün bu değeri negatif yapan eşik değerinin bilinmesi gerektiğini irdelemiştir.

1.3.2.2. Kısmi Korelasyon Katsayıları

Çoklu korelasyon katsayısı, tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamadaki gücünü yüzde olarak göstermektedir. Ancak, özellikle politika belirlemek söz konusu olduğunda bir bağımsız değişkenin, tüm diğer bağımsız değişkenler modelde kalmak kaydıyla, tek başına Y'ye olan marjinal katkısının da bilinmesi gerekmektedir. Regresyon analizinde bu değere kısmi korelasyon katsayıları adı verilmektedir. Her bir bağımsız değişken için ayrı ayrı hesaplanabilen bu değer ait olduğu bağımsız değişkenin, diğer bağımsız değişkenler sabit kalmak şartıyla, bağımlı değişkenin hangi oranda etkilediğini derece olarak göstermektedir.

Genel olarak, (p-1) adet bağımsız değişkeni bulunan bir modelde örnek verileri ile çalışılmışsa, k'inci değişkenin kısmi korelasyon katsayısı $r_{Yk,1,2,\dots,(k-1),(k+1),\dots,(p-1)}$ olarak ifade edilebilir. Bu katsayının değeri,

$$r_{Yk,1,2,\dots,(k-1),(k+1),\dots,(p-1)} = \left(\frac{r_{Yk,1,2,\dots,(p-1)}^2 - r_{Yk,1,2,\dots,(k-1),(k+1),\dots,(p-1)}^2}{1 - r_{Yk,1,2,\dots,(k-1),(k+1),\dots,(p-1)}^2} \right)^{1/2} \quad (1.49)$$

veya

$$\left(\frac{HKT(X_1, X_2, \dots, X_{(k-1)}, X_{(k+1)}, \dots, X_{(p-1)}) - HKT(X_1, X_2, \dots, X_{(p-1)})}{HKT(X_1, X_2, \dots, X_{(k-1)}, X_{(k+1)}, \dots, X_{(p-1)})} \right)^{1/2} \quad (1.50)$$

formülleri ile hesaplanabilmektedir (Netter, Wasserman ve Kutner, 1989).

Buradaki $r_{Yk,1,2,\dots,(p-1)}$ terimi çoklu korelasyon katsayısı r'yi ve $r_{Yk,1,2,\dots,(k-1),(k+1),\dots,(p-1)}$ terimi ise k. değişken hariç, diğer tüm değişkenler modele dahil edildiğinde hesaplanan çoklu korelasyon katsayısını göstermektedir.

1.4. Anakütle Verileri ile Tahmin ve Politikaların Belirlenmesi

Basit doğrusal regresyon analizi anakütle verileri ile yapılmış ise, En Küçük Kareler yöntemi ile regresyon doğrusunun parametreleri hesaplanır. Elde edilen bu denklem ile Y'nin tahmini değerleri ve bu değerlerden hareketle hata terimleri elde edilir. Bu bulgular ile öncelikle modelde, regresyon modelinin önemli özelliklerinde sözü edilen normallik, eşit varyanslılık ve otokorelasyon bulunmaması varsayımlarının geçerli olup olmadıkları uygun testler ile araştırılır. Bu varsayımlardan sapmalar söz konusu değilse, öncelikle modelin korelasyon katsayısı hesaplanır. Korelasyon katsayısı 1'e yakınsa Y'yi açıklamakta X'in yeterli olduğuna ve regresyon denkleminin Y'nin tahmini için kullanılabileceğine karar verilir. İlgilenilen konu sadece tahmin ise, X_0 'ın verilmiş bir X değeri olduğu varsayımı ile Y_0 'ın tahmini değeri,

$$Y_0' = \beta_0 + \beta_1 X_0 \quad (1.51)$$

regresyon denklemi ile elde edilir. Nokta tahmini adı verilen bu tahmini değer En Küçük Kareler yöntemi ile minimize edilmiş bir de standart hatası vardır ve bu hatanın da tahmine ilave edilmesi gerekmektedir (Orhunbilge, 2000). Bu durumda, belirli bir olasılıkla Y'nin güven aralığı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\hat{Y} = Y_0' \pm Z\sigma \quad (1.52)$$

Bilindiği üzere regresyon analizinde amaç, sadece tahmin değil aynı zamanda bağımlı değişken üzerinde gelecekle ilgili planlar yapabilmektir. Bu durumda analizde ilgi, sadece Y üzerinde politika belirlemek ise, korelasyon katsayısının hesaplanması yeterli olacaktır. Bu katsayının 1'e yakın olması durumunda, Y üzerinde saptanacak politikalarda X'deki değişimler etkili olacaktır.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde ise, tüm anakütle değerleri gözlenmiş ve analiz bu veriler ile yapılmışsa regresyon denklemi yazıldıktan sonra bölüm regresyon modelinin önemli özelliklerinde sözü edilmiş tüm varsayımların geçerlilikleri araştırılır. Hepsinin geçerli olması durumunda, modelin çoklu ve kısmi korelasyon katsayıları hesaplanır. Tüm korelasyon katsayıları 1'e yakınsa, regresyon denklemi Y'nin tahmininde

kullanılabilmektedir. Verilen $X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0(p-1)}$ değerleri için nokta tahmini Y_0' regresyon denkleminde bu değerlerin yerleştirilmesi ile hesaplanır.

$$Y_0' = \beta_0 + \beta_1 X_{01} + \beta_2 X_{02} + \dots + \beta_{(p-1)} X_{0(p-1)} \quad (1.53)$$

Basit regresyon analizine benzer biçimde tahmine standart hatanın eklenmesi ile belirli bir olasılık değeri seçilerek aralık tahmini yapılır.

$$\hat{Y} = Y_0' \pm Z\sigma \quad (1.54)$$

Tahmin dışında, Y üzerinde saptanacak politikaların belirlenmesinde, hesaplanan çoklu ve kısmi korelasyon katsayılarının değerleri önem kazanmaktadır. Tüm bu katsayıların 1'e yakınlığı, Y'nin gelecekle ilgili planlarında, tüm bağımsız değişkenlerdeki değişmelerin etkili olacağını belirlemektedir. Geliştirilecek politikalarda öncelik, doğal olarak kısmi korelasyon katsayısı en yüksek olan bağımsız değişkenden başlanarak sırasıyla diğerlerine verilecektir.

1.5. Asfalt Kaplama Betonu

Günümüzde yaşam standartlarının yükselmesi ve ekonomik kalkınma toplumların konfor, emniyet ve sürüş kalitesi talebi, yüksek maliyet nedeniyle yol üst yapılarının daha uzun ömürlü ve deformasyona karşı daha dirençli, öngörülen sürede aynı konfor seviyesinde hizmet verecek şekilde projelendirilmesi çok daha önemli hale gelmektedir. Bunun içinde karışımda kullanılacak agregası ve bitümün şartnamede istenilen özelliklerde olması asfalt betonu karışımının iyi inşa edilmesi gerekmektedir. Karayollarında farklı kaplama türleri kullanılmakla birlikte konfor açısından en iyi kaplama olarak kabul edilen asfalt betonu, bitümlü sıcak karışimli yol kaplamasıdır. İri ve ince agregası, filler ve bitümün plantlerde 140-160 °C sıcaklıkta karıştırılıp düzgün bir tabaka halinde serilip sıkıştırılarak elde edilen bir yol üst yapısıdır. Asfalt betonu kaplamaların ağırlıkça yaklaşık %95'ini agregası ve bu orana bağlı olarak bitüm oluşturmaktadır. Bu nedenle agregası granülometrisi ve bitüm oranı asfalt betonu kaplamaların fiziksel özelliklerine etki eden unsurlardır. Granülometriye bağlı olarak optimum bitüm oranının doğru tahmin edilmesi

hem asfalt betonunun fiziksel özellikleri açısından, hem de optimum bitüm oranının doğru tahmin edilmesi ile maliyetin düşürülmesi açısından önem arz etmektedir.

Asfalt betonunda bozulma kavramı, bir üst yapının tasarım süresi sonunda, trafik yüklemeleri ve çevresel etkileşim sonucunda düşmesi beklenen hizmet yeteneğinin derecesi olarak ifade edilmiş ve bu durum hizmet yeteneği kavramının izah edilmesi ve konunun daha detaylı incelenmesinin bir zorunluluk olduğunu belirtilmiştir (Çakıroğlu, 1993).

Asfalt betonu karışımlarında bitüm yüzdesi, asfalt betonunun fiziksel karakteristikleri ve kaplamanın uzun ömürlü olması açısından önemlidir. Gereğinden fazla bitüm asfalt betonunda stabilite problemlerine neden olurken, gereğinden az bitüm de asfalt betonunun durabilitesini düşürmektedir (Al, 1996). Asfalt betonunda kaplama kalınlığını tabakalara ayırarak (aşırıma, binder, bitümlü temel gibi) deformasyonlar hesaplanmalı ve toplam deformasyon miktarı göz önüne alınmalıdır. Sıcak bitümlü karışımların stabilitesi son derece karmaşık olup belirli bir değerle ifade etmek mümkün olmamaktadır. Ancak bir takım testler (Marshall, Hveem, vb) ile rölatif bir stabilite değeri tayin edilmektedir (Varol, 2000).

Bitümlü sıcak karışımların hesabında iyi bir bitümlü kaplama inşaatı yapmak için dikkat edilmesi gereken konulara değinilmiş, stabiliteyi sökülmeye mukavemet yada yük altında bükülme olarak tarif etmiştir. Agreganın granülometrisinin, şekil ve yapısının, bitümle karışımı ile birlikte bitümlü karışımın kıvamı ve sıkıştırma derecesinin stabiliteye tesir eden faktörler olduğunu belirtmek, istenilen karışımı elde etmek için hesaplamalarda yapılacak ilk işin partiküllerinde gerekli miktarda sivri köşesi bulunan bir agreganın seçilmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Sağlık ise hava, su ve trafiğin zararlı tesirlerine karşı mukavemeti olarak tarif edilmiş, su ve havanın asfalt betonuna zararlı olduğunu, agreganın bitümlü malzemeye sudan daha çok alaka göstermesi gerektiğini, aksi durumda bitümün su ve hava ile kimyasal tepkimeye gireceği ve agregaya yüzeyinde ki bitüm filminin özelliğini kaybedeceği belirtilmiş ve bunun bozulmalara sebebiyet vereceği ifade edilmiştir. Ayrıca agreganın sert, kırılmaz dayanıklı ve az boşluklu olması ve buna bağlı olarak optimum bitümün oranında agregaya yüzeyindeki film tabakasının mümkün olduğu kadar ince olması gerektiği ortaya konulmuştur (Varol, 2000).

Asfalt betonu karışımına giren kaba agregaya, ince agregaya ve mineral filler ile bitümlü malzemedeki aranan özellikler, gradasyon limitleri, işyeri karışım esasları, inşa

metodu, arazi ve laboratuvar kontrolleri ve diğler şartlar şartnamelerde verilen esaslara uygun olması gerekmektedir (Dağdelen, 1995).

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerektiğı belirtilmiş ve ancak aranan bütün koşulları sağlayan bir agreganın karayolu üstyapısında kullanılabilceğı belirtilmiştir. Agregatanelerinin şekli önemlidir, yassı düz ve uzun tanelerin yüzdesinin artması fillerin özelliğini düşüreceğı belirtilmiş ve filler malzemesinin bitümlü malzemeyle reaksiyona girmeyecek özellikte olmasına dikkat edilmesi gerektiğı vurgulanmıştır (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001).

Sıcak karışım asfalt kaplamanın stabilitesi aşırı tabakasının tasarımında bitümlü karışımın en önemli özelliğidir. Trafik altında, tekerlek izine ve yorulmalara karşı direnç yeteneğini göstermektedir. Bununla birlikte stabilite trafiğı koruyacak yeterli yüksekliğe sahip olmalı fakat gereken trafik koşullarından daha yüksek olmamalıdır. Asfalt karışımında stabilite eksikliği sökülme ve yol yüzeyinin akmasına neden olmaktadır. Akma sıcak karışım asfalt kaplamalarda gradyal oturmalarla kendini ayarlamasını sağlamakta ve çatlama olmaksızın alt yapının hareketli uyumunu sağlamaktadır. Akma stabilitenin zıttı olarak kabul edilebilir. Asfalt betonunun plastik ve elastik özelliklerinin etkisini ve trafik altında aşırı tabakalarının geri dönen-dönmeyen durumunu temsil etmektedir (Kuloğlu, 1999).

1.5.1. Alt Temel ve Temel Tabakası

Doğal zeminden meydana getirilen altyapı üzerine serilen ve genelde kırmataş, kum, çakıl, kil gibi malzemelerden oluşturulan tabakaya alt temel tabakası adı verilir. Sıkışabilme özelliğı olan malzemelerden oluşmasına dikkat edilir. En büyük tane ebadı ise 2-3 inç arasında olmalıdır. Kalınlığı, 20-50 cm olmakla birlikte yolun tipine ve önemine göre değışir. Fazla kalın olması halinde tabakalı olarak sıkıştırılır.

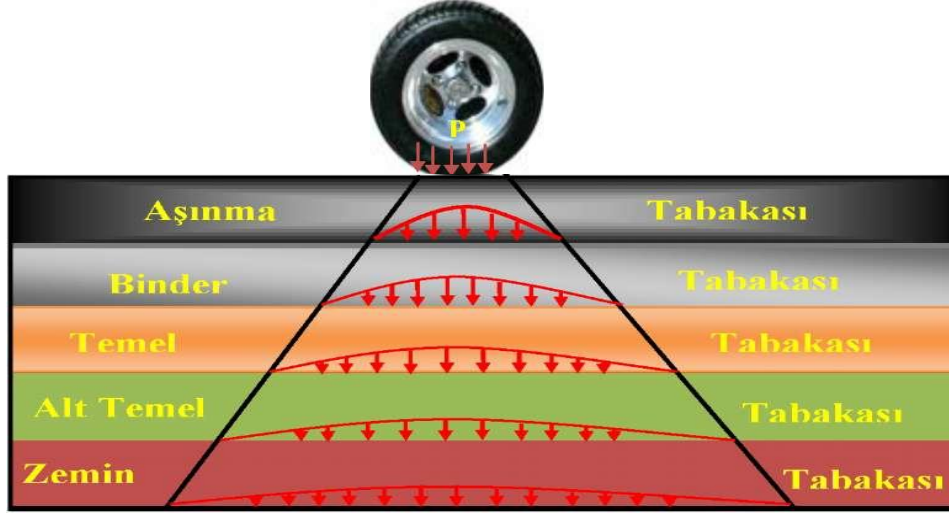
Kaplama ile alt temel tabakası arasına yerleştirilen ve trafiğın doğrudan temas etmediğı, doğal kum, çakıl, kil veya bitüm karışımları gibi malzemelerden oluşan tabaka ise temel tabakası olarak adlandırılmıştır. En büyük boyutu 1 inç, ortalama kalınlığı ise 10-20 cm arasında olmalıdır. Sıkıştırılmadan önce optimum nem oranında ıslatılırsa sıkışma işlemi daha iyi yapılabileceğı belirtilmiştir (Şiş, 2000).

Temel tabakası üzerine yapılan ve trafiğin doğrudan temas ettiği tabakadır. Kaplama tabakası, bitümlü karışımlar, beton veya parke taş gibi kaplamalardan yapılabilir. Amaç düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi oluşturmaktır. İki tabakadan oluşmaktadır. En üstteki aşırıma ve onun altındaki binder tabakasıdır. Ancak tek tabaka halinde de yapılabilir. Finisherle serim yapılması daha uygundur. Bu tür serimde karışımın homojen olarak yüzeye serilmesi sağlanmış olur (Şiş, 2000). Yollar genellikle daha geniş anlamıyla rijit ve esnek kaplamalar diye ikiye ayrılabilir.

1.5.2. Karayolu Üst Yapısı

Bir yol üstyapısı esnek ve rijit kaplamalı üst yapılar olmak üzere iki farklı tür altında incelenir. Esnek yol üst yapıları asfalt kaplamalı yol üst yapıları olarak da adlandırılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan üstyapı çeşidi asfalt kaplamalı üstyapılardır. Asfalt kaplamaların hareketli dingil yüklerinin oluşturduğu gerilmelere karşı koyabilecek şekilde inşa edilmesi gerekir. Aksi durumda kısa zaman içerisinde asfalt kaplamalarda çeşitli bozulmalar meydana gelebilir.

Karayolu üst yapısı, alt yapı ile araç tekerleklerinin temas ettiği yüzey arasında kalan kısımdır. Diğer bir tarifile düzgün bir yüzey oluşturmak amacıyla alt yapı üzerine yerleştirilen alttemel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısı üst yapı olarak isimlendirilir (Şiş, 2000). Asfalt kaplamalı yol üst yapıları farklı özelliklere sahip tabakalardan meydana gelmektedir. Asfalt kaplamayı oluşturan en üst tabaka kaplama tabakasıdır. Kaplama tabakası, aşırıma ve binder tabakası olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bazı durumlarda asfalt kaplama yalnızca aşırıma tabakasından oluşmaktadır. Binder tabakasının altında sırasıyla temel, alt temel ve taban zemini tabakaları bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Tipik Bir Yol Üstyapı Kesiti ve Gerilme Dağılımı (Çetin,2007).

Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, yol üst yapılarının en üst tabakası olan aşırma tabakası, en yüksek gerilmeye maruz kalan tabakadır.

1.5.2.1. Rijit Kaplamalar

Beton kaplamalar kum ince agrega, iri agrega ve portland çimentosu karışımının tek tabaka halinde dökülmesiyle elde edilir. Uygun biçimde projelendirilip inşa edilirse uzun ömürlü olur ve diğer tip kaplamalara göre daha az bakım gerektirir. Bir beton kaplama plağının yüklere ve çevre etkilerine dayanma gücü betonun, alt yapının ve temel tabakasının özelliklerine bağlıdır (Şiş, 2000; Umar ve Ağar, 1991).

Isı ve iklim değişikliklerinden dolayı gün boyunca veya iklimler süresince kaplama boylarında değişimler olur. Bu boy değişimlerinin etkilerini azaltmak için enine ve boyuna derzler bırakılır. Bu derzler arasında bağlantı ve yük transferi amacıyla çelik çubuklar bırakılır. Rijit kaplamalar, ülkemizde yapım zorluğu, maliyeti ve iklim değişkenlerinden fazlaca etkilenecek zarar görmesi gibi nedenlerle fazla tercih edilmemektedir. 20 yıl proje ömrü içinde 8.2 ton standart dingi yükü sayının 60 ile 75 milyondan fazla olan veya yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari vasıtaların sayısı 5000'den fazla olan yollarda ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5000'den fazla kalkış yapan havaalanlarında kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu nedenle ülkemizde beton kaplamaların kullanımının gündeme gelmesi ve yaygınlaşması beklenmektedir (Tunç, 2001).

1.5.2.2. Esnek Kaplamalar

Esnek kaplamalarda bağlayıcı olarak bitüm kullanılmaktadır. Hava şartlarına değişik etkiler göstermesine rağmen kullanımda herhangi bir zorluk göstermemektedir. Stabilitesi ise adezyon, tane sürtünmesi kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcıların özelliklerine bağlıdır (Şiş, 2000).

1.5.2.3. Yüzeysel (Sathi) Kaplamalar

Yüzeysel kaplamalar, hazırlanan temel tabakası üzerine bitümlü bağlayıcı (astar + esas bağlayıcı bitüm) sermek ve bunun üzerine de belirli ebattaki agregayı örtmek suretiyle yapılır. Önceden hazırlanan temel tabakasının yüzeyi temizlendikten sonra ince kıvamlı bir astar tabakası serilir ve yüzeyin bu astarı iyice emmesi için belirli bir süre beklenir. Bunun üzerine bir kat bitüm püskürtülür ve hemen ardından agrega serilir. Gerek duyulursa ikinci bir kat kaplama içinde astar atılması hariç aynı işlemler tekrarlanır. Asfaltın agregayı iyice kavraması için hafif demir bandajlı ya da daha uygun olarak lastik bandajlı silindirlerle sıkıştırma yapılır ve yol trafiğe açılır. Ülkemizde en çok kullanılan kaplama türü olan sathi kaplamalar, uygun malzemenin kullanılması ve alt yapının da sağlam olması halinde özellikle ağır dingil yüklerinde bile konumunu ve sağlamlığını muhafaza edebilmektedir (Şiş, 2000; Umar ve Ağar, 1991; Tunç, 2001).

1.5.2.4. Asfalt Betonlu Kaplamalar

Asfalt betonu kaplaması binder ve onun üzerine yapılan aşırıma tabakasından oluşur. Bu tip kaplama kırılmış ve elenmiş kaba agrega ve filler malzemesinin belirli granülometri limitleri arasında, işyeri karışım formülleri esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte sıcak olarak karıştırılması ile elde edilir. Asfalt betonu agrega malzemesi kırmataş veya çakıl, kum ve mineral fillerden meydana gelir. Bitümlü malzeme olarak asfalt çimentosu kullanılır (Yıldırım, 1984). Aşırıma tabakası, yolun araç tekerlekleriyle temas eden kısmıdır. Asfalt betonu kaplamalarda, ince ve filler malzeme oranları binder tabakasına göre fazladır (Tablo 1.1 ve 1.2).

Eğer kaplama yapılacak tabakanın fazla kalın yapılmaması gerekiyorsa (2-6 cm), yapılan kaplama genelde aşırıma tabakası olacak şekilde tasarım edilir ve tek tabaka

olarak serilip sıkıştırılır. Binder tabakasına göre bağlayıcısı daha fazla olan aşırma tabakası, seyir konforu açısından pürüzsüz bir şekilde inşa edilir.

Tablo 1.1. Aşırma tabakası için gradasyon limitleri (K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi 2000)

ELEK BOYU	TİP 1 %GEÇEN	TİP 2 %GEÇEN	TİP 3 %GEÇEN	TİP 4 %GEÇEN
19 mm	100	100	-	-
12,5 mm	84-100	77-100	100	100
9,5 mm	75-91	66-84	87-100	80-100
4,75 mm	57-75	46-66	66-82	55-72
2,00 mm	42-59	30-50	47-64	36-53
0,425 mm	22-35	12-28	24-36	16-28
0,180 mm	12-22	7-18	13-22	8-16
0,075 mm	4-10	4-10	4-10	4-10

1.5.2.5. Binder Tabakası

Kaplama tabakası içerisinde, aşırma tabakası altında bulunan katmandır. Aşırma tabakasına göre iri agregaları daha çoğunluktadır (Tablo 1.1 ve 1.2).

Yol Yüzeyine yapılacak kaplama 5-6 cm'den büyük yapılacak ise bu kotlamanın 2 tabaka halinde dökülmesi daha uygun olacaktır. Bu tabakalardan altta bulunan binder tabakası daha az bağlayıcı bitüme sahiptir ve aşırma tabakasına bir temel oluşturma niteliğindedir. Kaplamanın iki tabaka halinde inşa edilmesi, hem bittim sarfiyatını azaltacak, hem de iki kat halinde sıkıştırılan kaplamanın daha dayanıklı olmasını sağlayacaktır. Ancak işçilik ve zaman açısından iki kat kaplama yapılması zor olduğundan, sıcak bitümlü kaplamalar trafiği az olan yollarda özellikle şehir içi yollarda tek tabaka halinde yapılmaktadır (Şiş, 2000).

Tablo 1.2. Binder tabakası için gradasyon limitleri (K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi, 2000)

ELEK BOYU	TİP 1 %GEÇEN	TİP 2 %GEÇEN	TİP 3 %GEÇEN
25 mm	100	100	100
19 mm	82-100	80-100	77-100
12,5 mm	68-87	63-81	59-77
9,5 mm	60-79	54-72	49-66
4,75 mm	46-65	40-58	34-52
2,00 mm	34-51	28-45	23-39
0,425 mm	17-29	14-25	12-22
0,180 mm	9-18	8-16	7-14
0,075 mm	2-7	2-7	2-7

1.5.3. Asfalt Betonlu Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar

Asfalt betonunda bozulma, bir üst yapının tasarım süresi sonunda, trafik yüklemeleri ve çevresel etkileşim sonucunda düşmesi beklenen hizmet yeteneğinin derecesi olarak belirtilmiştir. Bu durumda hizmet yeteneği kavramının izah edilmesi ve konunun daha detaylı incelenmesinin gereği bir zorunluluk olduğu belirtilmiştir (Çakıroğlu, 1993).

Asfalt betonu kaplamalardaki bozulmaları üç ana grupta şekil değiştirme, kırılma (çatlama) ve ayrışma olmak üzere toplamak mümkündür. Bu bozulmaların genel nedenlerini ise temel, alt temel ve taban zemininin taşıma gücü yetersizliği, trafiğin bozucu etkileri, iklim koşulları ve asfalt betonunun özellikleri olarak sıralayabiliriz (Çetin, 1997). Asfalt betonunda oluşan bozulmaları ise aşağıdaki nedenlere bağlamak mümkündür.

a) Uygun olmayan malzeme kullanılması

- İyi seçilmemiş ve iyi kontrol edilmemiş granülometri
- Karışımda yüksek oranda yuvarlak malzeme kullanılması
- Çürük agrega kullanılması
- Kirli agrega kullanılması
- Çabuk cilalanan agrega kullanılması

- b) Asfalt betonu karışımının hatalı hazırlanması
- Asfalt yüzdesinin hatalı olması
 - Filler yüzdesinin hatalı olması
 - Granülometrinin bozuk olması
 - Yetersiz karıştırma
 - Yetersiz sıcaklık kontrolü
- c) Asfalt betonu kaplama yapımının hatalı olması
- Yetersiz sıkıştırma
 - Aşırı sıkıştırma
 - Serme-sıkıştırma sıcaklığının düşük olması
 - Yapım sırasında meydana gelen segregasyon
 - Astar veya yapıştırma tabakasının gerekli özenle yapılmaması

1.5.3.1. Şekilce Bozulma Türleri

Karayollarımız da en sık görülen bozulmalardan biri olan şekil değiştirme, genel anlamda, kaplama yüzeyinin orjinal kotuna göre değişikliğe uğramasıdır. Şekil değiştirme, alt tabakaların (temel, alt temel ve taban) hareketlerine bağlı olabildiği gibi, asfalt beton kaplamasının stabilitesinin yetersizliğinden de oluşabilmektedir. Yük altında meydana gelen deformasyonlar, geçici (elastik) deformasyonlar ve kalıcı (plastik) deformasyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Stabilite yüksek olduğu sürece toplam deformasyon az olduğu gibi bu deformasyonun geçici kısmı fazla, kalıcı kısmı çok azdır. Stabilitenin düşük olması durumunda ise durum tersine döner. Sadece kalıcı deformasyonların oluşması halinde ise stabiliteden söz edilemez. Yüksek sıcaklıklar asfaltın termoplastik özelliklerinden dolayı stabiliteyi düşürür. Yük tekrarı kalıcı deformasyonların artmasına neden olur. Yani, kalıcı deformasyonların sıcaklık etkisi ve yük tekrarı şekil değiştirmeye sebep olur (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Çetin, 1997).

Şekil değiştirmeyi oturmalar, yerel çökmeler, tekerlek izi oluşması, ondülasyonlar, kabarmalar, yığılmalar ve lastik deseni oluşması olarak yedi bölüme ayırmak mümkündür.

1.5.3.1.1. Oturmalar

Kaplama altındaki malzemenin oturması sonucu oluşur. Nedenleri ise, aşağıda sıralanmıştır.

- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- Altyapıda oturmalar,
- Yan desteklerin olmayışı (banketlerin yetersizliği),
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği,
- Yetersiz drenaj,
- Temel ve temel altı malzemelerinin zeminden gelen kille karışmasıdır.

Oturmalar, yol orta çizgisi boyunca ya da kenar şeritlerde uzunlamasına ya da enlemesine oluşur. Oturma eğrisi çok büyük olduğundan kaplama tabakası aynı şekli almaya çalışacak ve çatlamayacaktır. Ancak kaplamanın, asfalt betonu olduğu durumlarda çok katı asfalt betonu kaplamalarının, alttaki tabakaların oturmalarına uyum göstermeyeceğinden çatlama oluşması mümkün olabilecektir (Çetin, 1997; Çabuk, 1998).

Bu tip bozulmalar ancak alt tabakaların yeterli olarak projelendirilmesi ve şartnamelere uygun şekilde yapılması ile önlenir. Doğal zeminin zayıf olduğu durumlarda, bu kısmın sıkıştırılması ya da stabilizasyonu ile giderilebilir.

1.5.3.1.2. Çökmeler

Çökmeler, çatlakları içeren ya da içermeyen ve asıl kaplama sathına göre alçakta kalmış küçük çukurluklardır. Derinlikleri 2,5 cm ya da daha fazla olabilmekte ve yağmurlardan sonra içlerinde su birikmektedir. Çökmeler zamanla genişleyerek, yolun elden çıkmasına da neden olurlar. Nedenleri:

- Temel ve alt temelin yetersiz olarak sıkıştırılması,
- Kaplamanın yapım sırasında yetersiz olarak belirli bir bölgede sıkıştırılması,
- Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi,
- Temel ve alt temel malzemelerinin kille karışması,
- Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması.

Bu tip bozulmalar drenaj ve kil yükselmesi önlemlerinin yanı sıra yapım sırasında yeterli kontrol ve özenli işçilik ile önlenir (Çetin, 1997; Çabuk, 1998; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.3. Tekerlek İzi ve Oluklanmalar

Asfalt betonu kaplamalarında en sık görülen, gerek teknik ve gerekse ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen bozulma tipidir. Tekerlek izi oluşması özellikle ülkemiz gibi problemlili araziye sahip, trafiği ağır ve sıcak ülkelerde problem olmaktadır. Tekerlek izleri, üstyapıyı oluşturan tabakaların hepsinde veya bir kısmında yada sadece bitümlü tabakalarda oluşan deformasyonların birikiminden doğar. Tekerlek izi oluşmasını meydana getiren nedenleri, asfalt tabakasıyla ilgili nedenler, alt tabakalarla ilgili nedenler ve çevresel nedenler olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür (Çetin, 1997; Kırbaş, 1999).

Asfalt tabakasıyla ilgili nedenler

- Yüksek bitüm yüzdesi,
- Filler malzemesinin fazlalığı,
- Yuvarlak malzemelerin karışımda kullanımı
- Karışımın yetersiz sıkıştırılması
- Ağır trafik ve tek çizgide akan trafik nedenleriyle kaplama tabakasının fazla sıkışmasıdır

Alt tabakalarla ilgili nedenler

- Alt tabakaların kalınlıklarının yetersiz olması,
- Alt tabakanın veya tabanın konsolidasyona (oturmaya) maruz kalması,
- Doğal zeminin ve üst tabakaların yanal hareketleridir.

Çevresel nedenler:

- Ağır ve yüksek sayıda tekerrür eden yük
- Bölgenin fazla sıcak oluşudur.

Ağır taşıt trafiği, iz ve olukların oluşumundaki en önemli etkidir. Yüksek dingil yükü, yüksek lastik basıncı, yükün hızlı tekrarı ve yavaş hızdaki araçlar olumsuz etkilerdir. Genellikle ağır trafikli ve çok dalgalı arazide sorun olmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Tekerlek izi (Avcı,2009).

İz ve oluklar, aşağıdaki olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olurlar

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

1.5.3.1.4. Ondülasyon ve Yığılmalar

Yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve aralıkları yaklaşık olarak eşit olan belirli biçimde dalgaya benzeyen satıh deformasyonları olarak tanımlanırlar. Ondülasyon ve toplanmalar, plastik bir hareket sonucu oluşur. Genellikle kaplama tabakası ile ilgili stabilite eksikliğinin bu oluşumda etkisi olup, asfalt karışımının stabilite eksikliği de önemlidir.



Şekil 1.4. Yığılma (Avcı,2009).

Şekil 1.4.'de verilen yığılma türü bozulmalar ise, plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama sathında oluşan bölgesel tümsek ve şişkinliklerdir. Bunlar özellikle trafiğin durup kalktığı yerlerde, inişlerde, araçların fren yaptığı kısımlarda, keskin kulplarda ya da araçların bir engele çarpıp sıçrama yaptıkları yerlerde oluşurlar.

Nedenleri;

Ondülasyonlar ve yığılmalar, çoğunlukla yeterli bir stabilitesi olmayan asfalt kaplamalarda oluşurlar. Kaplamayı oluşturan karışımın stabilitesinin yetersiz olmasının nedenleri ise, karışımın çok fazla asfaltlı malzeme içermesi, karışımdaki ince agrega miktarının çok fazla olması, agregadaki ince ve iri danelerin köşeli olmaması ve sathlarının düzgün ve cilalı olması ya da karışımlarda çok yumuşak bir asfalt çimentosu kullanılmış olmasıdır (Çetin, 1997; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.5. Kabarmalar

Sath tabakasının lokal olarak yukarıya doğru deplasmandır. Genellikle doğal zeminin ve üst tabakaların şişmesinden oluşur. Ana nedeni don etkisidir. Ancak şişme potansiyeli yüksek killi tabanlar da kaplamada kabarmaya yol açabilirler.

Doğal zeminin şişmesi aşağıdaki durumlarda söz konusudur;

- Doğal zemindeki suyun donması ve çözülmesi, doğal zeminin, şişme karakterine sahip olmasından
- Temel ve granüler temel tabakalarındaki şişme ise yalnızca kendilerini oluşturan malzemelerin donmaya karşı duyarlı oldukları durumda şişmeye neden olur.

Bu tür problemlerin önlenmesi için üstyapı projelendirilmesinde don tesirinin olmayacağı bir biçimde yol güzergahının geçirilmesi, şişme potansiyeli olan tabanlarda üstyapı inşa edilecek ise eğer drenaj, stabilizasyon gibi önlemler düşünülmelidir.

1.5.3.1.6. Lastik Deseni Oluşumu

Taşıtların lastik desenlerinin kaplama yüzeyine çıkmasıdır. Desen oluşmasını tam anlamıyla bir bozulma olarak nitelendirmek güçtür. Fakat meydana geldiği bölgede bir anormallik olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Ağır taşıtların uzun süreli park etmelerinden oluşursa, stabilite yetersizliğine bağlanabilir. Hareketli taşıtlar oluşturuyorsa,

o kesimde kuma olduğunu ifade eder. Lastik deseni oluşmasının önlenmesi için yüksek stabiliteli karışımlar kullanmak kumayı önleyici önlemler almak gerekmektedir (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.7. Çatlamlar

Asfalt kaplamalardaki çatlaklar, başlıca tekil çatlaklar ve timsah sırtı veya kümes teli olarak adlandırılan çatlaklar olmak üzere çeşitli türde ve şekilde oluşurlar. Esnek üstyapılardaki çatlaklar, trafikle ilgili olarak veya trafikle ilgili olmaksızın ortaya çıkabilirler. Trafikle ilgili çatlama, tek veya birçok dingil yükü geçişi yada dingil yüklerinin aşırı tekrarı sonucu ortaya çıkar. Buna ilaveten, araçların ani hızlanma veya yavaşlamaların yol açtığı yatay kuvvetler de çatlama neden olabilirler. Trafikten başka, sıcaklıktaki değişimler, emici agregaların kullanımı, asfalttaki uçucu madde buharlaşması, ayrıca nem miktarındaki değişimler, çimento veya kireç ile stabilize edilmiş tabakalarda kür esnasındaki hacim değişimleri (büzülme = rötre) gibi bazı dış etkenler de çatlama yol açabilirler. Bu etkenler tek başlarına veya trafik etkileri ile birleşerek üstyapının çatlama neden olabilirler.

Ağır dingil yüklerinden hariç, taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamaları da çatlama yol açabilmektedir. Çatlamlar trafik yüklerine bağlı olmaksızın sıcaklık ve nem değişimi ile olabilirler. Bu etkiler tek başlarına veya dingil yükleri ile birleşerek kaplamayı çatlatabilir ve değişik çatlama tipleri görülebilir (Çetin, 1997; Çabuk, 1998; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.7.1. Timsah Sırtı Çatlaklar

Timsah sırtı veya kümes teline benzeyen, birçok küçük bloklar oluşturacak şekilde birbiriyle ilişkili çatlaklardır (Şekil 1.5.). Genellikle stabil olmayan taban zemini ve temel tabakalarının üzerine inşa edilmiş kaplamalardaki aşırı deformasyon sonucu oluşurlar. Yeraltı suyu ve yüzey sularının doygun hale gelmesi bu oluşumda önemli bir rol oynar. Bu tür çatlaklar, genelde büyük bir alanı kapsamazlar fakat kaplamanın taşıma kapasitesinden daha ağır trafik yükleri sonucu bazen daha geniş bir alana yayılmış olabilir. Timsah sırtı çatlaklar, yüzey yaması veya koruyucu tabakalar (seal coat) uygulanarak onarım yapılabilir. Ağır taşıt trafiği yüzünden meydana gelen çatlaklarda ise, bu kesimlerin üzeri

takviye tabakası serilerek sıkıştırılır. Düşük sıcaklıklarda, karışımın gevrekliği ve kırılgenlik böyle çatlakların oluşumunu kolaylaştırır. Timsah sırtı çatlakların genel nedeni, yukarıda sayılan etkenlere bağlı olarak ortaya çıkan aşırı defleksiyonlardır. Katılığın (rijitliğin) artması nedeniyle asfalt oksidasyonu çatlamaı kolaylaştırır. Bunu önlemek için, bağlayıcı içeriği yüksek tutulmalı, ayrıca suya ve havaya karşı geçirimsizlik sağlanmalıdır (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Çetin, 1997; Kırbaş, 1999).



Şekil 1.5. Timsah Sırtı Çatlak (Avcı,2009).

1.5.3.1.7.2. Yorulma Çatlakları

Yorulma çatlakları, dingil yüklerinin aşırı tekrarına bağlı yorulma ve temel zeminin yetersiz taşıma gücüne sahip olması nedenleriyle oluşurlar (Şekil 1.6.). Bu çatlaklar daha çok taşıtların tekerlek geçişleri dahilinde ortaya çıkan ve üstyapı eksenine paralel olup, uzunlukları birkaç dm. ile onlarca metre arasında değişen ince çatlaklar biçiminde başlayarak, zamanla tekrarlanmak suretiyle küçük bloklar serisi şeklinde, birbirine bağlı timsah sırtı çatlaklara dönüşen çatlaklardır. Bu tür çatlaklar bazen bütün üstyapı yüzeyini kaplarlar.

Asfalt oksidasyonunun, bitümlü karışımın yorulma özellikleri üzerinde belirli bir etkisi vardır. Oksidasyon, karışımın katılığını (rijitliğini) artıran kohezyonu artırır. Bu durum tekerlek izi oluşumunu minimuma indirmekle beraber, özellikle ince bitümlü üstyapılı yüzeylerde yorulma çatlaklarının oluşumunu kolaylaştırır. Karışımın yorulma özelliklerini iyileştirmek için, onun iyi sıkıştırılması, (düşük boşluk yüzdesi), sert bağlayıcı

kullanılması ve bağlayıcı içeriğinin optimumdan biraz daha yüksek (% 1 civarında) tutulması gereklidir. Yoğun granüloometreli karışımlar da yorulma bakımından daha iyidirler (Kırbaş, 1999).



Şekil 1.6. Yorulma Çatlağı (Avcı,2009).

1.5.3.1.7.3. Büzülme (Rötne) Çatlakları

Üstyapının tüm genişliği veya bir kısmında, bazı durumlarda da tekerlek geçişlerinde, 5-20 m. değişken aralıklı ve periyodik olarak tekrarlanan enine yönde ince çatlaklar şeklinde başlayıp, daha sonra zamanla gelişerek ağ (mozaik - timsah sırtı) şekline dönüşen çatlaklardır. Bunların timsah sırtı yorulma çatlaklarından farkı, birbirine bağlı blokların genellikle keskin köşeli veya dik açılı ve geniş olmasıdır (Kırbaş, 1999).

Timsah sırtı çatlamlar şeklinde ortaya çıkan çatlamlardandır. Timsah sırtı ve yorulma çatlaklarından farkı, blokların büyük olması ve çatlakların çıkış noktalarında daha önce oluşmuş çatlaklarla dik açı oluşturmasıdır. Çatlakların genişliği oluşma zamanı hakkında fikir verir, dolayısıyla en geniş çatlaklar ilk oluşan çatlaklardır. Büzülme çatlakları asfalt betonunun kendi içinde yada temel veya tabandaki hacim değişimleri sonucunda oluştuğu belirtilmiştir (Çetin, 1997; Çabuk, 1998; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.7.4. Kenar Çatlakları

Genellikle banketlerin sağladığı yanal destek yetersizliği nedeniyle kaplama kenarından yaklaşık 30 cm kadar içeride oluşan boyuna çatlaklar ile banket arasındaki enine çatlaklardan meydana gelir. Bir diğer neden de, çatlayan kısmın altında bulunan

malzemede oluşan oturma ve çökmedir (Şekil 1.7.). Malzemedeki oturma ve çökme ise yetersiz drenaj, don kabarmaları veya civardaki zeminin büzülmesi gibi nedenlerle meydana gelir. 3 mm'den daha dar kenar çatlakları iyice kapatılmaz. Daha geniş çatlaklar ise asfalt emülsiyonlu akıcı harç ile veya ince-kum sıvı asfalt karışımı ile doldurulabilirler (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Çabuk, 1998).



Şekil 1.7. Kenar Çatlakları (Avcı,2009).

1.5.3.1.7.5. Yansıma Çatlakları

Bunlar, alttaki üstyapısında bulunan çatlak şeklini yansıtan, asfalt takviye tabakalarındaki çatlaklardır. Bu tür çatlaklar genellikle, portland çimentosu betonu ve çimento veya kireçle stabilize edilmiş temeller gibi rijit ve yarı rijit tabakalar üzerine yapılan asfalt betonu üstyapılarda oluşurlar. Yansıma çatlakları, yüzey dağılmasının kaynağı olabilirler. Takviye tabakası altında yer alan üstyapıda ki yatay ve düşey hareket nedeniyle oluşurlar. Bu harekete, trafik, sıcaklık değişimleri nedeniyle genleşme ve büzülme, yüksek kil içerikli altyapılardaki nem kaybı veya sıralanan bu etkenlerin bileşimi yol açar. Yansıma çatlakları, kalın bir yüzey tabakası (min 10 cm.) yaparak veya üstyapı dahi ve yüzey tabakası arasında bir çatlak tahliye tabakası (açık granülometreli bir karışım) oluşturarak önlenbilirler (Çabuk, 1998).

1.5.3.1.7.6. Kayma Çatlakları

Kayma, yanal hareket veya bir üstyapı tabakasının diğerine göre göreceli yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Genellikle asfalt üstyapı agrega temel tabakası üzerinde

veya asfalt yüzey tabakası asfalt binder tabakası üzerinde kayar. Kaplama yüzeyi üzerinde çoğunlukla motorlu taşıt tekerleklerinin itme tesiri yönünü belirten ay şeklindeki çatlaklardır. Bu çatlaklar, bazen de iniş eğimli bir yolda fren uygulandığı zaman tekerleklerin itme gücü tersi yönünde belirir. Kayma çatlakları genel olarak, tekerleklerin yüzey üzerindeki itkisi yönündeki noktada, parabolik şekillidirler. Bazen, özellikle iniş kesimlerinde itki tersine döner ve çatlaklar çıkış eğimli noktada meydana gelirler. Kayma çatlaklarına, yüzey tabakası ve alttaki tabaka arasındaki bağlantı eksikliği neden olur. Düşük gerilme direncine sahip asfalt betonu karışımlarda kayma çatlakları daha kolay oluşurlar. Kayma çatlakları, yol kaplaması ile bunun altındaki tabakalar arasında toz, yağ, su ve benzeri gibi yapışmayı önleyen malzemenin bulunmasından kaynaklanır. Bozulan kesimlerin sökülüp yeniden yapılması büyük masraf gerektirmektedir (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Çetin, 1997; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.8. Ayrışmalar

Agrega tanelerinin iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile kaplamadan koparak ayrılmasıdır. Ayrışma, asfalt betonu kaplamalı karayollarımız da çok sık görülen bir bozulmadır. Ayrışmaya yol açan nedenler:

- a. Bağlayıcının (asfaltın) mekanik etkiyle kopması,
- b. Karışım kalitesinin düşük olması,
 - Düşük asfalt yüzdesi
 - Çok az veya çok fazla filler yüzdesi
 - Kirli ve zayıf agrega kullanılması.
- c. Yüzey tabakasının ince olması,
- d. Granüler alt temel ve temele tabandan kil yükselmesi,
- e. Drenaj yetersizliği,
- f. Yetersiz sıkıştırma,
- g. Nemli ve soğuk havada yapımı,
- h. Plentte (karışımın hazırlandığı santral) asfaltın aşırı ısıtılması,
- i. Yapım sırasında segregasyon oluşması,
- j. Ayrışmayı kolaylaştıracak derecede kuma oluşması,
- k. Kimyasal maddelerin (özellikle tuz ve yağların) etkisi,
- l. Yüzey tabakasının alt tabakaya iyi yapışmaması,

m. Su ve kil etkisi ile soyulma

Bu nedenlerin hiçbiri tek başına ayrışmayı başlatmaz. Ayrışma bunlardan bir kaçının bir arada bulunması halinde trafiğin mekanik etkisiyle başlar. Ayrışma olayı zamanla artar. Kaplamanın ömrünü kısaltır ve yolun seyir konforuyla seyir güvenliğini azaltır. Başlıca ayrışma tipleri aşağıda verilmiştir (Çetin, 1997; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.8.1. Çanak Şekilli (Folluk) Çukurlar

Yaklaşık olarak 25-75 cm çapında dairesel, folluğu andıran oyuklardır. Yukarıda sayılan nedenlerden ilk altısı bu tip bozulmaların oluşumunda önemli rol oynar. Folluk tipi oyuklar kaliteli bağlayıcı ve karışım kullanılması, trafiğin gerektirdiği üst yapının inşası, drenaj, özenli yapım özellikle yeterli sıkıştırma ile önlenebilir (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Çetin, 1997; Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.8.2. Sökülmeler

Mıdır tanelerinin yerlerinden ayrılmasıyla, satıhtan aşağıya yada kenardan içe doğru gelişen bozulmalardır. Yapım sırasındaki sıkıştırma eksikliği, yağışlı ve soğuk havada yapım, kirli veya dağılan agrega kullanımı karışımdaki asfalt içeriğinin düşük olması ve asfalt karışımının aşırı ısıtılması sökülme tipi bozulmaların olası nedenleridir. Asfaltın, oksidasyon, polimerizasyon gibi nedenlerle yaşlanması, sökülmenin oluşumunda önemli rol oynar. Sökülme direnci asfaltta bir dayanıklılık ölçüsüdür.

Tabaka halinde sökülme, yüzey tabakasının ince olması, alt tabaka ile yüzey tabakası arasında yapıştırma tabakası kullanılmaması ve yapıştırmanın yetersiz olması nedeni ile oluşan bozulmalardır. Daha ziyade derz çatlakları civarında oluşur (Kırbaş, 1999).

1.5.3.1.8.3. Soyulma

Agrega danelerini saran ince asfalt filminin su, kil ve trafiğin mekanik etkisi ile agregadan ayrılması ve dolayısıyla agrega tanelerinin çıplak kalması durumudur. Soyulma, sürekli gronülometreli, pratik anlamda geçirimsiz kaplamalarda çok az görüldüğünden, asfalt betonu kaplamalı karayollarımızda bugün için büyük bir sorun değildir.

Bu tür bozulma, temiz ve kuru agregalar, iyi yapıştırıcı özelliklere sahip ve yüksek vizkoziteli (sert) asfaltların kullanımı ve asfalt içeriğinin yüksek tutulması ile en aza indirilir. Yapılan araştırmalar portland çimentosu, kireç ve bazı kimyasal maddeler gibi bir takım katkı maddeleri soyulma direncini artırdığını ifade etmektedir (Çetin, 1997; Çabuk, 1998; Kırbaş, 1999).

Kayganlık, kaplamanın taşıtların aşındırma etkisi ya da kasma nedeni ile kayma direncinin azalması, başka bir deyişle, sürtünme katsayısının düşmesidir. Özellikle kaplamanın ıslak olması halinde ve yüksek hızlarda seyir güvenliğini büyük ölçüde azaltması nedeni ile önemli bir bozulma tipidir. Kayganlık daha ziyade yüzeydeki agregaların cilalanması ile oluşur. Ancak kasma gösteren kesimlerde kaygan olabilir.

1.5.3.1.8.4. Cilalanma

Agregaların aşınarak pürüzlülüklerini kaybetmesidir. Özellikle kalkerden elde edilenler agregalar, başlangıçta köşeli ve pürüzlü olsalar da taşıtların aşındırma etkisiyle pürüzlülüklerini kaybederek cilalı bir hal alırlar. Kaplama ile taşıtların lastikleri arasındaki sürtünme katsayısı, özellikle kaplamanın ıslak olması halinde düşer ve 60-80 km/s'den yüksek hızlarda kaymalara neden olabilir. Yüzey tabakalarında kullanılacak agregaların cilalanma özellikleri bakımından dikkatle seçilmesi gerekir.

1.5.3.1.8.5. Kasma

Karışım içindeki asfaltın sıcaklık etkisi ile yükselerek yüzeye çıkması ve yüzeyde oldukça kalın bir asfalt filmi oluşturması durumudur. Kasma sonucu yüzeydeki agregalar tamamen asfalt filmi ile kaplandığından sürtünme katsayısı düşmektedir (Şekil 1.8.).

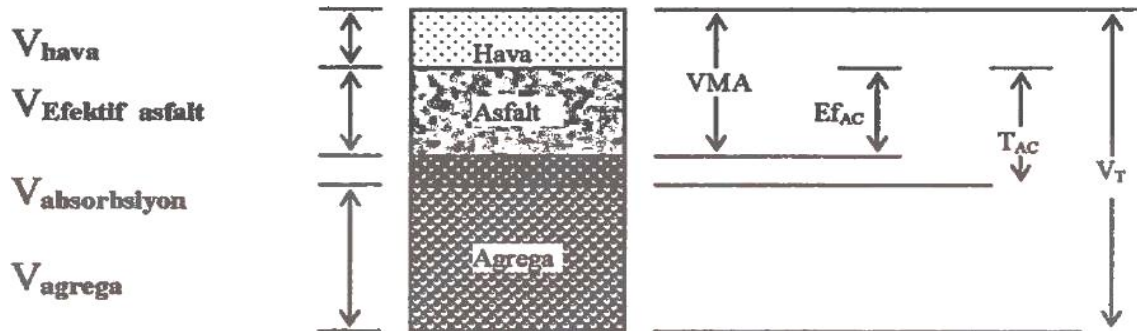


Şekil 1.8. Kusma (Avcı,2009).

Kusma daha ziyade asfalt yüzdesi yüksek karışımlarda ve sıcak havalarda ortaya çıkar. Çok ağır dingil yükleri altında da asfalt yüzeye çıkabilir. Asfalt yüzdesi optimum olmakla beraber, karışımda boşluk yüzdesi çok düşükse, sıcak havalarda genişleyen ve boşluk bulamayan asfalt yine yüzeye çıkma eğilimi gösterecektir. Çok kalın serilen astar veya yapıştırma tabakaları da kusmaya sebep olabilir. Karayollarımızın bakım görmüş kesimlerde sık görülen kusma, bağlayıcı ve boşluk yüzdeleri konusunda dikkatli olmak sureti ile önlenabilir (Ilıcak, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001; Çabuk, 1998; Kırbaş, 1999).

1.5.4. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

Bilindiği üzere bitümlü sıcak karışımlar, hava bitüm ve agregadan oluşmaktadır. Şekil 1.9'daki gibi bir kombinasyonda gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.9. Bitümlü Sıcak Karışım Kompozisyonu (Yıldız.2003).

Asfalt betonu tasarımı, kırılmış ve elenmiş kaba agregaya ince agregaya ve mineral fillerin belli gradasyon limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak yeterli temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak ve projesindeki plan, profil ve enkesitlere uygun olarak asfalt betonu kaplama yapılmasından ibarettir.

Asfalt betonu karışımına giren kaba agregaya, ince agregaya ve mineral filler ile bitümlü malzemedede aranan özellikler, gradasyon limitleri, işyeri karışım esasları, inşa metodu, arazi ve laboratuvar kontrolleri ve diğer şartlar şartnamelerde verilen esaslara uygun olmalıdır (Dağdelen, 1995).

1.5.4.1. Agregaya

100 mm 'ye kadar olan sert taştan kırılıp elenerek elde edilmiş, tane büyüklüğü tarif edilebilen kaya parçacıklarına, agregaya denir. Asfalt ve beton üretiminin hammaddesidir. Sıcak asfalt karışımının yaklaşık olarak ağırlıkça % 95'lik, hacimce ise % 85'lik bölümünü agregaya oluşturmaktadır. Agreganın tipi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi özellikleri bitümlü sıcak karışımın yorulma ve tekerlek izi açısından performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir.

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar teşkil eder. Dolayısıyla yol tasarım süresi boyunca agregalara hayati rol düşmektedir. Bu nedenle kullanılan agregalarda aranan temel özellikler vardır. Yapılan tasarımın özelliğine göre agregalarda aranan özellikler de farklı olacaktır.

Yol tabakası, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan meydana gelmektedir. En üst kısmı oluşturan ve en önemli katmanlardan biri olan aşırıma tabakası, yol güvenliği açısından önemli parametrelerden birini meydana getirir. Yolun servis süresini güvenli bir şekilde tamamlaması ve arzu edilen özelliklerini uzun süre koruması için kullanılan agregaların, sürtünme katsayılarının yüksek olması ve servis ömrü boyunca cilalanmaya karşı yüksek dayanım sağlaması istenir.

1.5.4.1.1. Agregaların sınıflandırılması

1) Elde Ediliş Şekline Göre Sınıflama

a) Doğal agrega (Doğal taş agregası): Doğal taş agrega; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

b) Yapay agrega (Sanayi ürünü agrega): Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. (Yapay taş veya yapay kum da denir.)

2) Dane Boyutlarına Göre Sınıflama

a) İnce Agregada (4mm altı)

Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.

Kırma kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Yapay kum: İzabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumundan oluşur.

b) İri Agregada (4mm üstü): 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kırmataş (mıcır): Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Yapay taş: Yüksek fırın cüruf taşırından yapılır.

c) Taş unu (Filler): 0,25 mm altı tanelerden meydana gelir.



Şekil 1.10. Taştozu (0- 5 mm) arası (Avcı,2009)



Şekil 1.11. 1 No agrega (5- 12mm) arası (Avcı,2009)



Şekil 1.12. 2 No agrega (12- 22mm) arası (Avcı,2009)



Şekil 1.13. 3 No agrega (22- 32mm) arası (Avcı,2009)



Şekil 1.14. 4 No agrega (22- 70mm) arası (Avcı,2009)

1.5.4.1.2. İdeal Agrega Standartları

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, dane şekli, dane dayanımı, aşırıma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Dane Dağılımı: Agreganın dane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir.

Dane Şekli: Agrega danelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Danenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan danelere şekilce kusurlu daneler denir. Şekilce kusurlu daneler (yassı veya uzun daneler) oranı, 8 mm 'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır.

Dane Dayanımı: Agrega taneleri, istenilen özellikli bir yolun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır.

Dona Dayanıklılık: Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az

miktarda dona duyarlı daneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olamayan yörelerde bu özellik aranmaz.

Zararlı maddeler: Asfaltın (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, asfalt dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılıp ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır. Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar.

Yıkanabilir Maddeler: Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

1.5.4.1.3. Agregada Granülometrisi

Bir agreganın granülometri eğrisi aşağıdaki özellikleri gösterir:

- Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir.
- Eğrinin %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması agreganın iri olduğunu gösterir.
- Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgisi ile çakışması, o bölgede bulunmadığı anlamına gelmez.
- Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatları farkı, agregada yığmında o iki elek arasında kalan malzeme % sini verir.
- Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında dane boyu dane yok demektir. Bu tür granülometriye sahip olan agregalara "kesikli" granülometreli agregalar denir.

1.5.4.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm (Bitümen) deyiminin orijini ise Sanskritçe'dir. Sanskritçe'de zift (Pitch) anlamındaki Jatu, "Mamul Zift" anlamındaki "Jatu-Krit" den gelmektedir, Latince'de bunun karşılığı "Zifte Ait" anlamındaki "Guitu-men" sözcüğü oijn olup, diğer bir deyimle

"kaynamış zift" anlamındaki Pixumen sözcüğü giderek Bitümen şeklinde İngilizce ve Fransızca dilinde benimsenmiş ve kullanıla gelmiştir (Ürünay, 1974).

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya projenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin de bir kombinasyonu olup çok defa bunların gaz, sıvı, yan-katı veya katı olabilen, metal-dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır. Bitümlü bağlayıcılar esas olarak iki kısma ayrılırlar, asfaltlar ve katranlar. Çeşitli tip bitümlü bağlayıcılar arasında kökenlerine ve hazırlama yöntemlerine göre önemli farklar vardır (Varol, 2000).

1.5.4.2.1. Bitüm

Petrol; gaz, sıvı ve katı halde bulunan hidrokarbonlara verilen genel addır. Sıvı hidrokarbonlara ham petrol, gaz halindekilere doğal gaz, katı olanlara ise bileşimlerine göre asfalt-parafin veya bitüm adı verilmektedir.

Bitüm ham petrolden elde edilir. Ham petrolün genelde deniz canlıları ve bitkisel madde kalıntılarının okyanus tabanındaki çamur ve kaya parçalarıyla karışmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Milyonlarca yıl boyunca bu organik maddeler ve çamur, yüzlerce metre kalınlığında katmanlar halinde birikmiş ve üzerlerindeki katmanların muazzam ağırlığıyla alt katmanlar tortul kayalar haline gelmiştir. Organizma ve bitkisel maddelerin ham petrolün hidrokarbonları haline dönüşmesinin nedeni yer kabuğundan gelen sıcaklık, üst tortul tabakaların yaptığı basınç, bakteriyel oluşum ve radyoaktif etkilerin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Petrolün oluştuğu tortular, tortul kayalar üzerinde birikirken ilave basınçların etkisiyle sıkıştırılan petrol, bu gözenekli kayaların içerisinden yana ve üste ilerlemiştir. Gözenekli kayaların yeryüzüne doğru uzandığı yerlerde petrol dışarıya sızmış ve daha önce bahsettiğimiz birikintileri oluşturmuştur. Şans eseri, petrol ve gazın büyük bir çoğunluğu gaz ve petrol rezervleri oluşturacak şekilde geçirgen olmayan başka bir kaya altında kalan gözenekli kayalar içerisinde hapsolmuştur.

Petrol, sismik yöntemler kullanılarak yeri belirlenene ve etrafındaki geçirgen olmayan kayalar delinerek çıkartılıncaya kadar bu rezervlerde kalmıştır.

Dünyadaki petrol üretimi ABD, Orta Doğu, Karayip ülkeleri ve Rusya olmak üzere dört ana bölgede yapılmaktadır. Ham petroller fiziksel ve kimyasal özellikleriyle

birbirlerinden farklılıklar gösterirler, Fiziksel olarak viskoz siyah sıvılardan, akışkan, saman renkli sıvılara kadar değişkenlik gösterirler. Kimyasal olarak petrol parafinik, naftenik veya aromatik olabilir. En fazla görülen ise parafinik ve nafteniğin çeşitli kombinasyonlarıdır.

Dünyada 1500 civarında, birbirinden farklı ham petrol elde edilmektedir. Çıkarılan ürünün kalite ve verimi göz önüne alındığında bunların yalnızca birkaç tanesi bitüm üretimi için uygundur, İngiltere'de bitüm çoğunlukla ya Orta Doğu ya da Güney Amerika'da üretilen ham petrolden imal edilmektedir.

İngiliz Standartı (BS 3690)'na göre bitüm "Temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloroetilen içerisinde çözünebilen, uçucu olmayan ve ısıtıldığında gittikçe yumuşayan, viskoz bir sıvı veya katı bir maddedir. Rengi siyah veya kahverengi olup su geçirmez ve yapışkandır (adezyon özelliği). Petrolün rafinaj işlemi sırasında elde edildiği gibi doğal bir birikinti olarak veya içerisinde mineral maddelerle birlikte doğal bir şekilde ortaya çıkmış asfaltın bir bileşiği olarak da bulunabilmiştir" şeklinde tanımlamaktadır (Whiteoak, 2004).



Şekil 1.15. Bitümün Genel Görüntüsü (Avcı,2009).

1.5.4.2.2. Bitümün Kalitesi

Yollarda her geçen gün gittikçe artan toplam dingil yükleri ve daha yüksek performans talebi, üstyapıların uzun süreli davranışın tahminini zorunlu kılmıştır. Bir üstyapının performansı, tasarım, uygulama ve kullanılan malzemenin kalitesinin de dahil

olduğu bir çok faktöre bağlıdır. Bitüm, karışım içerisinde hacimce küçük bir yer tutmasına karşın, dayanıklılık ve bitümlü karışıma viskoelastik özellik kazandırması sebebiyle karışımlarda çok önemli bir role sahiptir (Robertus, Mulder ve Koole, 1995).

Esas olarak, bitümün yol üzerinde tatmin edici bir performans göstermesi aşağıda sıralanan dört özelliğin kontrol edilmesiyle sağlanabilir:

Reoloji; hizmet sıcaklıkları altında bitümün reolojisi, penetrasyon ve penetrasyon endeksi ile uygun biçimde nitelendirilmektedir.

Kohezyon (yapışkanlık); penetrasyon cinsi bitümlerin kohesif mukavemeti düşük sıcaklıklardaki düktilitesi ile karakterize edilir. Bu deneyde üç parça bitüm su banyosuna daldırılır ve kopuncaya kadar dakikada 50 mm'lik sabit bir hızla çekilir. Numunenin kopmadan hemen önceki uzunluğu düktilitesi olarak saptılır. Deney sıcaklığı bitümün penetrasyonuna bağlı olarak ayarlanır; örneğin 80 pen ile 100 pen için 10 °C, 60 pen ile 70 pen için 13 °C ve 40 pen ile 50 pen için 17 °C'dir. Bu koşullar altında, deneyin farklı kohezyona sahip bitümleri ayırt edebildiği görülmüştür (Robertus, Mulder ve Koole, 1995).

Adezyon; bitümün adezyon karakteristikleri Marshall deneyi ile belirlenir. Deneyde belirli bir agrega, gradasyon ve bitüm kullanılarak sekiz Marshall numunesi üretilir. Numuneler ortalama boşluk oranı eşit olacak şekilde iki adet 4'lü gruba ayrılır. Birinci grup standart Marshall yöntemi kullanılarak deney hemen yapılır, ikinci grup numunelerin ise boşluklarının suyla mümkün olduğunca doğgun hale gelmesi için 0 °C ile 1 °C arasındaki bir sıcaklıktaki su altında vakumlanır. Bu işlemden sonra, numuneler 60 °C'deki su banyosunda 48 saat boyunca bekletilir. Daha sonra da bu dört numunenin Marshall stabilitesi belirlenir. Bu numunelerin stabilitesinin, standart Marshall yöntemi kullanılarak test edilmiş numunelerin stabilitesine oranına, Tutulan Marshall (re-tained Marshall) Stabilitesi adı verilir. Her iki laboratuvar deneyi ve uygulamadaki performansından, bitümün fonksiyonel özellikleri ile kimyasal yapısı arasındaki önemli bağlantılar belirlenmiştir. Bu alışma, bitümün moleküler ağırlık dağılımı ve kimyasal bileşiminin dengesiz olması halinde, bitümün kohezyon ve adezyon özelliklerini olumsuz etkileyebilecek bir heterojenlik ortaya çıkarabileceğini göstermiştir (Robertus, Mulder ve Koole, 1995). Dayanıklılık; bitümün hizmet ömrü boyunca kohezyon ve adezyon özelliklerini koruyabilmesi yeteneği şeklinde açıklanabilir.

1.5.4.2.3. Bitümlerin Sınıflandırılması

1.5.4.2.3.1. Asfalt Çimentoları

Yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. Akıcı hale gelebilmesi için ısıtılması gereken asfalt çimentosu AÇ sembolü ile gösterilir. Asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılır. Asfalt çimentosunun kıvamlılığını belirleyen penetrasyonu 10-300 arasında değişir. Asfalt çimentosu sıvı petrol asfaltları ve asfalt emülsiyonlarının ana maddesidir.

Asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine göre şu sınıflara ayrılırlar:

Tablo 1.3. Asfalt çimentoları penetrasyon dereceleri

10-20	Penetrasyonlu AÇ
20-30	Penetrasyonlu AÇ
30-40	Penetrasyonlu AÇ
40-50	Penetrasyonlu AÇ
60-70	Penetrasyonlu AÇ
75-100	Penetrasyonlu AÇ
120-150	Penetrasyonlu AÇ
150-200	Penetrasyonlu AÇ
200-300	Penetrasyonlu AÇ

Bu çeşitli penetrasyondan derecelerinin elde edilmesi petrolün arıtılması sırasında belirli koşulların yerine getirilmesi ile mümkün olur (Varol, 2000; Yağız, Işıksalan, Akkol ve Keçeciler, 1967).

1.5.4.2.3.2. Okside Asfalt (Blown Asfalt)

Arıtma işlemi sonunda ele geçen kalıntı içerisinde hava geçirerek yarı, katı asfaltlara yeni özellikler kazandırabilir. 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.

Okside asfaltlar genellikle kaplamalarda kullanılmaz. Daha özel amaçlar için yalıtım işlerinde, elektrik, otomobil veya boya sanayinde kullanılır (Varol, 2000).

1.5.4.2.3.3. Sıvı Petrol Asfaltları

Bunlar çabuk kür alan RC sınıfı, orta hızda kür olan MC sınıfı veya yavaş kür alan SC sınıfı sıvı petrol asfaltları olmak üzere üçe ayrılırlar. Ayrıca her sınıf da kendi arasında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılır. RC, MC ve SC harflerinden sonra konulan sayılar o tipin kinematik viskozitesinin alt sınırını gösterir. Bu sayılar asfaltın kıvamlığının artması yani viskozitesinin yükselmesi ile büyür. Örneğin bir MC-30 sıvı petrol asfalt, MC-3000'e göre çok daha ince ve akıcıdır.

Tablo 1.4. Sıvı petrol asfaltı tipleri

Yavaş Kür Olanlar	Orta Hızda Kür Olanlar	Çabuk Kür Olanlar
-	MC-30	-
SC-70	MC-250	RC-70
SC-250	MC-250	RC-250
SC-800	MC-800	RC-800
SC-3000	MC-3000	RC-3000

Ayrıca sıvı petrol asfaltları asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakalarının yüzeyinde kür malzemesi olarak kullanılırlar (Varol, 2000; Birlikler, 1998).

1.5.4.2.3.3.1. Çabuk Kür Olan (RC) Sıvı Petrol Asfaltları

Asfalt çimentosu ile kaynama noktası düşük olan, yani kolay uçan bir çözücü (örneğin, benzin veya nafta) karıştırılır. Bu sınıftaki sıvı petrol asfaltlarının kıvamlılık derecesi, asfalt çimentosuna katılan çözücünün miktarına bağlıdır. Örneğin RC-70 yapmak için yaklaşık %55 asfalt çimentosuna, %45 oranında çözücü katmak gerekirken, RC-3000 için %85 asfalt çimentosuna %15 çözücünün karıştırılması gerekecektir. Viskozite, katları çözücünün miktarı ile değişeceğinden, RC sınıfındaki sıvı petrol asfaltlarından en düşük viskozitede olanı, yani en akıcı olan RC-70, en yüksek viskoziteli olanı yani en kıvamlısı RC-3000'dir. RC sınıfı asfaltlar yolda kullanıldıkları zaman çözücüleri süratle uçarak geride asfalt çimentosu bırakırlar (Varol, 2000; Umar ve Açar, 1991; Birlikler, 1998).

1.5.4.2.3.3.2. Orta Hızda Kür Olan (MC) Sıvı Petrol Asfaltları

Asfalt çimentosu ile orta derecede uçucu bir çözücünün (örneğin gazyağı) karıştırılması ile elde edilir. Bu sınıftan bir asfalt yola püskürtüldüğü veya agrega ile karıştırıldığı zaman (RC) sınıfında olduğu kadar çabuk kür olmaz. Bunların viskoziteleri MC-30 dan MC-3000'e kadar değişir. Bunlar ya asfalt çimentosunun kaynama noktası yüksek bir yağ ile karıştırılmasından veya doğrudan doğruya ham petrolün damıtılmasından elde edilirler (Varol, 2000; Umar ve Açar, 1991; Birlikler, 1998).

1.5.4.2.3.4. Asfalt Emülsiyonları

Geniş anlamda emülsiyon, birbiri içerisinde çözilemeyen iki sıvıdan birinin diğeri içerisinde küçük küre tanecikleri halinde homojen olarak dağıtılmasıdır. Asfalt emülsiyonları da asfalt çimentosu küreciklerinin su içinde dağılmasından oluşur. Bitümün su içerisinde dağıtılması 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 bazı katkı maddeleri kullanılır. Bu katkı maddelerine emülgatör (emülsiyon verici madde) denir. Emülgatör, asfalt küreciklerin çevresini bir film halinde sararak onların kendi aralarında birleşik çözümlerine engel olurlar.

Yol üst yapılarında kullanılan asfalt emülsiyonları emülgatörün cinsine bağlı olarak şu sınıflara ayrılırlar.

- Anyonik Asfalt Emülsiyonları
- Katyonik Asfalt Emülsiyonları

Bir asfalt emülsiyonu agrega ile karıştırıldığı veya bir yolun yüzeyine püskürtüldüğünde emülsiyon kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agregaların üzerine yığılırlar. Bu arada serbest kalan su da buharlaşır. Yol üst yapılarında kullanılan asfalt emülsiyonları kesilme hızlarına göre;

- Çabuk kesilen (RS)
- Orta hızda kesilen (MS)
- Yavaş kesilen (SS) olmak üzere üçe ayrılırlar.

Asfalt emülsiyonlarının viskozitelerine göre türleri Tablo1.5'de verilmiştir (Varol, 2000; Umar ve Açar, 1991; Birlikler, 1998).

Tablo 1.5. Asfalt emülsiyonların viskozitelerine göre türleri

Çabuk Kesilenler (RS)	Orta Hızda Kesilenler (MS)	Yavaş kesilenler (SS)
RS-1	MS-1	SS-1
RS-2	MS-2	SS-1h
CRS-1	CMS-2	CSS-1
CRS-2	CMS-2h	CSS-1h

1.5.4.2.4. Katran

Katran başlıca kömürün ve odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Bu şekilde elde edilen katrana ham katran denir. Genellikle katran bu şekli ile değil, arıtıldıktan sonra kullanılır. Kaplamalarda 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. Damıtma için kömür, özel imbiklerde birkaç saat 1000°C’da ısıtılır. Bu işlem sırasında bir takım gazlar çıkar ve kömür, kok haline gelir. Çıkan gazlar bu buharlar soğutulursa ham katran yoğunlaşarak ayrılır. Bu şekilde elde edilen ham katranın içinde benzol gibi kıymetli çözücüler, bir takım boya ve plastik ana maddeleri ile kimyasal maddeler bulunur. Bu nedenle bunlar ayrılmadan ham katran kaplamalarda kullanılmaz. Ham katran içinde çok miktarda su bulunduğundan suyun uzaklaştırılması gerekir.

Bu ikinci damıtma işleminde, ham katran önce ısıtılarak suyu giderilir. Bu arada bir miktar benzol de elde edilir. Daha ileri ısıtma ile, kaynama noktaları farklı bir takım yağlar elde edilir. Damıtma işlemine göre 360 °C ye kadar devam edilirse geride sadece zift kalır. Bu oldukça sert bir maddedir ve kaplamada kullanılamaz. Bu nedenle damıtma daha erken kesilir ve zifte oranla yumuşak bir katran elde edilir ya da damıtma zift elde edilene kadar sürdürülür. Bu zifte yine damıtmadan elde edilen hafif veya ağır yağlardan (naftalin yağı, yıkama yağı, antrasen yağı) uygun oranlarda katılarak istenilen kıvamda yol katranı elde edilir.

RT Sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre; RT-1, RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, RT-6, RT-7, RT-8, RT-9, RT-10, RT-11, RT-12, RTCB-5 ve RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar. Burada da sıvı petrol asfaltlarının sınıflandırılmasında olduğu

gibi numara büyüdükçe kıvamlılık artar. Bu sınıflardan RT-1, RT-2, RT-3 ve RT-4 sınıfına giren katranlar özellikle astar uygulamalarında ve sathi kaplamalarda; RT-5 ve RT-6 sınıfına giren katranlar genellikle sathi kaplamalar, yolda yapılan karışım tipi (rodmiiks) kaplamalarda; RT-7, RT-8 ve RT-9 sınıfına giren katranlar genellikle sathi kaplamalar, yolda yapılan karışım tipi kaplamalar, tesislerde hazırlanan karışımlar ve koruyucu tabakalarda; RT-10, RT-11 ve RT-12 sınıfına giren katranlar genellikle yüzeysel kaplamalar, tesislerde hazırlanan karışımlar, penetrasyon tipindeki uygulamalar, çatlak doldurma işlemleri ve koruyucu tabakalarda; RTCB-5 ve RTCB-6 sınıfına giren katranlar da genellikle yama işlemleri ve sathi kaplamalar ile uygulamanın düşük sıcaklıklarda ve çabuk sertleşmenin istendiği hallerde kullanılır. Asfalt emülsiyonunda olduğu gibi katranlarda su ile karıştırılarak katran emülsiyonları yapılabilir (Varol, 2000; Umar ve Ağar, 1991; Birlikler, 1998).

1.5.4.3. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Aranılan Özellikler

Değişik iklim şartları ve trafiğin etkisi nedeniyle asfalt betonu karışımların ömürleri diğer mühendislik yapılarına göre daha azdır. Bu nedenle, asfalt betonu karışımların dış tesirler altında bozulmadan hizmet verebilmesi için değişik özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar;

1.5.4.3.1. Stabilite

Stabilite terimi mukavemet ile yakından ilgili olup bitümlü sıcak karışımlardan imal edilen yol kaplamalarının trafik yükü altında oluşacak deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak adlandırılır. Yani bitümlü sıcak karışımın stabilitesi ne kadar düşük olursa trafik yükleri altında oluşabilecek deformasyonda o kadar fazla olacaktır. Ancak çok düşük stabilite ne kadar istenmez ise çok yüksek stabilitede o kadar zararlıdır. Çünkü çok yüksek stabiliteli (yani çok sert veya rijit veya gevrek) bitümlü karışımlar gerilmelere maruz kaldığında fleksibil davranış gösteremeyip kaplamada çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların stabilitesine etki eden hususlar kayma mukavemeti, ısı ve eylemsizlik direnci olarak göz önüne alınır (Şiş, 2000; Umar ve Ağar, 1991; Tunç, 2001; Dağdelen, 1995).

1.5.4.3.1.1. Karışımın Kayma Mukavemeti

Bitümlü sıcak karışımların kayma mukavemeti, Formül 1.55.'deki gibi tanımlanabilir. Burada Φ agrega taneleri arasındaki sürtünmeden ve kilitlenmeden kaynaklanan içsel sürtünme açısıdır, c ise kohezyon olup agrega ile asfalt arasındaki adezyon yani bağ kuvvetini ifade etmektedir. Dolayısıyla içsel sürtünmeden agrega ve kohezyondan ise asfalt sorumlu olmaktadır. Asfalt karışımların stabilitesi başlıca;

- Statik veya çok yavaş hızlarda, agreganın sürtünme direnci
- Yüksek hızlarda asfaltın kohezyonu ve kütleli viskozluk

$$\varepsilon = c + \sigma \tan\Phi \quad (1.55)$$

tarafından belirlenir. İçsel sürtünme direnci (veya agrega taneleri arasındaki sürtünme) ne kadar yüksek olursa deformasyona karşı direnç de o kadar fazla olacaktır, özellikle yüksek ısılarda ve yavaş trafik hızlarında (veya uzun yükleme süresinde) stabilitenin sağlanmasından tek sorumlu olan agreganın içsel sürtünme direncidir. Ancak düşük ısılarda ve hızlı yüklemelerde (veya çok kısa etki süresinde) kohezyonun etkisi oldukça büyüktür. Agreganın içsel sürtünme direnci;

- Tanelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kırılmışlığı arttıkça
- Karışımın boşluğu azaldıkça önemli bir artış göstermektedir.

Kohezyon, agregayla asfalt arasındaki adezyon kuvvetini ve asfaltın deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade eder. Kohezyon genel olarak;

- Agreganın absorpsiyonu ve porozluğu arttıkça
- Asfalt miktarı arttıkça (optimum asfalt yüzdesine kadar)
- Asfaltın viskozluğu arttıkça veya penetrasyonu düştükçe
- Asfaltın ısısı azaldıkça
- Yükleme hızı arttıkça
- Karışım ve serme-sıkıştırma ısısı arttıkça
- Filler/asfalt oranı azaldıkça

önemli bir artış göstermektedir (Şiş, 2000; Umar ve Açar, 1991; Tunç, 2001; Dağdelen, 1995).

1.5.4.3.1.2. Isının Etkisi

Isının stabilite üzerindeki etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Karışım ısısı arttıkça agreganın asfalt absorpsiyonu artacağından agrega/asfalt adezyonu artarak karışımın stabilitesi artmaktadır. Zira karışım ısısı arttıkça asfaltın viskosluğu azalmakta ve dolayısıyla agrega daha kolay asfaltı absorbe ederek daha güçlü adezyon ile daha yüksek stabilite elde edilmektedir.

- Karışım ısısı arttıkça asfaltın viskosluğu düşmekte karışımın sıkışmaya karşı direnci azalmakta ve dolayısıyla daha kolay ve daha iyi sıkışma ile karışımın yoğunluğu artacağından dolayı daha yüksek stabilite elde edilmektedir. Bu iki nedenden ötürü karışım ve sıkıştırma ısıları şartnamede belirtilen minimum değerlerden az olmamalı, soğuk ve özellikle rüzgarlı havalarda asfalt kaplama inşaatı kesinlikle yapılmamalıdır.

- Asfalt termoplastik malzeme oluşu nedeniyle ısı arttıkça viskosluğu azalmaktadır. Özellikle yaz aylarında asfalt ısıyı absorbe ederek deformasyon direnci büyük ölçüde azalmaktadır. Gerçekten de kaplamada teker izi, lastik paterni, ondülasyonlar, ötelenme vb. kalıcı deformasyonların oluşumunda yüksek hava ısısı en önemli sebeplerden biridir.

- Düşük ısılarda asfaltın viskosluğu artarak sertleşir. Sertleşme aşırı artarsa trafik yükleri altında oluşan çatlaklar kaplamanın kütleli ayrışmasına ve dolayısıyla stabilitesinin düşmesine neden olur. Esnek kaplamalarda çok sık karşılaşılan düşük ısı çatlakları asfaltın sertleşmesinden kaynaklanmaktadır.

- Isı arttıkça karışımın kohezyonu azalarak stabiliteside azalmaktadır (Varol, 2000; Umar ve Ağar, 1991; Tunç, 2001).

1.5.4.3.1.3. Eylemsizlik Direnci

Eylemsizlik direnci, bitümlü karışım kütlelerinin trafik yükleri altında yer değiştirmeye (ötelenmeye) karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Genel olarak;

- Yükün miktarı azaldıkça
- Yükleme hızı arttıkça
- Kaplamanın kalınlığı arttıkça eylemsizlik direnci artmaktadır.

Sonuç olarak;

- Agreganın pürüzlülüğü ve köşeliliği arttıkça

- Agreganın yoğunluğu (kompasitesi) arttıkça
- Asfalt miktarı optimumda veya optimumun bir miktar altında iken karışımın yoğunluğu (sıkıştırma) arttıkça

- Karışımın boşluk oranı azaldıkça
- Agreganın penetrasyonu azaldıkça yani katılaştıkça
- Isı azaldıkça ve yükleme hızı arttıkça
- Kaplama kalınlığı arttıkça

bitümlü sıcak karışımların stabilitesi de artmaktadır.

Stabilite, bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olduğundan kalıcı deformasyonların tespit edilmesi gerekir. Bunun için de karışımın düşük rijitliği yani yüksek ısılarda veya uzun süreli (veya yavaş hızlardaki) gerilmeleri göz önüne alınır. Bitümün rijitliği 5×10^6 (N/m²)'den daha az ise karışımın davranışı elastik davranışından daha karmaşıktır. Zira karışımın yüksek rijitlik modülü, bitüm rijitliğinin ve agrega içindeki boşluk miktarının bir fonksiyonu iken düşük rijitlik modülü ise bitüm rijitliğinin, agrega içindeki boşluk miktarının, agreganın (biçim, gradasyon, yüzey yapısının kilitleme, vb.), kompaksiyonun (boşluk miktarı, kompaksiyon metodu, vb.) ve yanal deplasmanın fonksiyonudur. Görüldüğü gibi, kalıcı deformasyonu yaratan düşük rijitlik, yüksek ısı ve uzun süreli yükleme şartlarına ilaveten daha karmaşık şartlara bağlı olarak değişmektedir.

Kaplama kalınlığını tabakalara ayırarak (aşırma, binder, bitümlü temel gibi) deformasyonlar hesaplanmalı ve toplamı deformasyon miktarı göz önüne alınmalıdır. Sonuç olarak, sıcak bitümlü karışımların stabilitesi son derece karmaşık olup belirli bir değerle belirleyebilmek mümkün olamamaktır. Ancak birtakım testler (Örneğin; Marshall, Hveem, vb.) ile relatif bir stabilite değeri tayin edilmektedir (Varol, 2000; Tunç, 2001; Yağız, Işıksalan, Akkol ve Keçeciler, 1967).

1.5.4.3.2. Rijitlik

Bitümlü sıcak karışımlar viskoelastik malzemeler olup mekanik özelliklerini belirlemek için "Rijitlik Modülü" kullanılmaktadır. Rijitlik modülü, elastik malzemelerin elastikiyet modülüne benzemekle beraber ısı ve yükleme hızına bağlı olarak Formül 1.56 ile saptanır. Dolayısıyla rijitliğe etki eden faktörler,

$$S(t,T)= \sigma/\varepsilon \quad (1.56)$$

- Isı (T)
- Yükleme süresi (t) veya hızı

olup karışıma giren malzemelerin temel özellikleri ikinci derecede rol oynamaktadır. Rijitlik, bitümlü sıcak karışımların yükleme süresi (veya hızı) ve ısı etkisi altında gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin ifadesidir. Yani rijitlik genel olarak;

- Yükleme süresi azaldıkça (veya yükleme hızı arttıkça)
- Isı azaldıkça
- Karışım yoğunluğu arttıkça
- Asfaltın penetrasyonu azaldıkça artacaktır.

Rijitlik modülü son yıllarda geliştirilen testler ve bunların önerdiği test cihazları ile tayin edilebilmektedir. Ancak standart Marshall testi ile de karışımın rijitlik modülü hakkında bilgi edinilebilir (Varol, 2000; Tunç, 2001; Dağdelen, 1995).

1.5.4.3.3. Dayanıklılık (Durabilite)

Bitümlü sıcak karışımların durabilitesi, trafik ve çevre şartlarının aşırılama etkisine karşı koyması (direnc göstermesi) olarak tarif edilir. Yani asfaltın özelliklerinin değişmesi (yaşlanma-sertleşme), agrega tanelerinin kırılması, ufalanması ve asfaltın soyulması gibi etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Dayanıklılık genel olarak;

- Yüksek asfalt oranı
- Sert asfalt (düşük penetrasyonlu) ve kalın film tabakası
- Yüksek soyulma direnci
- İyi sıkışma (düşük boşluk oranı ve permabilite)
- Yoğun gradasyon

ile artış gösterir. Yukarıdaki şartlar sağlanırsa geçirimsizlik artarak karışımın içine daha az hava ve su gireceğinden durabilite de artacaktır. Zira hava ve su asfaltın oksidasyonunu hızlandırarak asfaltın sertleşmesine (yaşlanmasına) neden olur. Asfalt film tabakası ne kadar kalın olursa zaman içindeki setleşmesi o kadar az olacaktır. Asfalt miktarının optimuma kadar artması ile karışım içerisindeki boşluklar azalarak stabilite artarken su ve hava az gireceğinden dolayı asfaltın yaşlanması geciktirilerek durabilite artırılmış olur. Bitümlü sıcak karışımların aşınması asfaltın sertleşmesi ile hızlanır. Çünkü asfaltın

sertleşmesi ile soyulma ve çatlaklar artar. Asfalt miktarı azaldıkça agregalar arasındaki bağ kuvveti azalacağından trafik etkisi ile agregalar karışımdan koparak kaplama yüzeyinde bozulmalara neden olur. Ancak asfalt miktarı fazla olursa sıcak havalarda kuma-terleme ile kaplamanın kayma direnci azalmaktadır. Bitümlü sıcak karışımların aşınması ağır taşıt trafiğinin hacmi ile artar. Bu nedenle, ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda yüksek durabiliteli bitümlü sıcak karışımlar imal edilmesi gerekir. Ayrıca yüksek standartlı yollarda, ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda, tırmanma şeritlerinde, durma ve kalkmaların yoğun olduğu kavşak, otobüs durağı gibi yerlerde stabilitesi ve durabilitesi yüksek bitümlü sıcak karışımlar kullanılmalıdır (Varol, 2000; Tunç, 2001; Dağdelen, 1995).

1.5.4.3.4. Fleksibilite (Esneklik)

Bitümlü sıcak karışımların fleksibilitesi, zeminin ve temel tabakasının uzun dönemli oturma durumunda bu çökmelere uyum sağlayabilme kabiliyetidir. Eğer kaplama sıkışabilen bir kil üzerine inşa edilirse farklı oturmalar kaplamaya yansıtacağından çatlamlar oluşacaktır. Ayrıca yol ekseni yarma ve dolgulardan geçtiğinden yarmalarda prekonsolidasyondan ötürü az oturma fakat dolgularda ise drenaj, yetersiz sıkışma vb. nedenlerden ötürü fazla oturma oluşabilmektedir. Eğer kaplama uzun dönemde oluşan bu farklı oturmalara uyum sağlayacak şekilde esneklik gösterebilirse oturma çatlakları da büyük ölçüde azalacaktır. Fleksibilite genel olarak:

- Asfalt içeriği arttıkça
- Relatif açık gradasyonlu karışıma sahip olundukça

artış gösterir. Ancak kaplamanın fleksibilitesi artarsa stabilitesi azalmaktadır. Düşük fleksibilitli karışımlarda oluşan aşırı çatlamlar kütlelerin parçalanmasına dolayısıyla da kaplamanın stabilitesinin düşmesine neden olur. Ayrıca zeminde don kabarması olursa alttan yukarı doğru kaplamada gerilmeler oluşacaktır. Eğer kaplamanın fleksibilitesi yeterli olursa kaplamada çatlama olmadan sadece geçici deformasyon oluşur. Daha önce de bahsedildiği gibi, aşırı deformasyona uğrayabilen bitümlü sıcak karışımların yorulma mukavemeti de düşüktür. Dolayısıyla fleksibilitesi yüksek bitümlü sıcak karışımlarda yorulma çatlakları oluşabilecektir. Zaten bitümlü karışımların rijitliği arttıkça yorulma mukavemeti de artmaktadır. Çeşitli deney metotlarıyla elde edilen esneklik modülü değerleri, üst yapı tasarımı veya üst yapı değerlendirmesi ve analizi için bilgi vermesinin

yanı sıra, malzemelerin birbirine göre değerlendirilmesini sağlar (Dağdelen, 1995; Şiş, 2000; Umar ve Açar, 1991; Tunç, 2001).

1.5.4.3.5. Geçirimsizlik

Bitümlü sıcak karışımlarda geçirimsizlik, kaplamanın içine hava ve suyun nüfus etmesinin bir ölçüsüdür. Kaplamadaki boşluk miktarı ile boşlukların irtibatı, kaplamanın üstünden altına kadar su, hava ve su buharının geçmesi için gerekli koridorları oluşturur. Geçirimsizlik arttıkça hava, suyun etkisi ile asfaltın yaşlanması hızlanır ve soyulma mukavemeti azalır ve donma-çözülme tekerrürü ile agreganın parçalanmasına neden olur. Geçirimsizlik genel olarak;

- Asfalt miktarı arttıkça
- Agregada gradasyonunun ve karışımın yoğunluğu arttıkça
- Sıkıştırma (özellikle yoğurma etkili pnömatik tip sıkıştırıcılarla) arttıkça

artış gösterir. Kaplamanın geçirimsizliği bitümlü karışımlardaki boşluk oranının minimum veya hiç olmaması ile sağlanır. Ancak bitümlü karışımlarda;

- Agregada taneleri arasında asfalt için minimum %12-14 boşluk bırakılması,
- Agregada taneleri arasındaki boşluğun bitümlü temelde ortalama %55'i binder tabakasında ortalama %70 ve aşınma tabakasında ise ortalama %80'i asfaltla doldurulması,

stabilite için gereklidir. Bitümlü sıcak karışımların minimum boşluk oranı;

- Asfaltın sıcak havalarda genleşmeden ötürü terleme ve kuma ile kaplama yüzeyine çıkmasını önlemek

• Trafik yükleri altında sıkışmaya müsaade ederek segradasyona engel olmak için gereklidir. Bitümlü sıcak karışımların maksimum boşluk oranı;

- İçsel sürtünme açısının azalmasını önlemek

• Geçirgenliği azaltarak asfaltın sertleşmesini azaltmak için gereklidir. Bitümlü temel tabakalarında boşluk oranı %5-9, binder tabakasında %4-6 ve aşınma tabakasında ise %3-8 arasında olmasının şart koşulmasının nedeni geçirimsizliği sağlamak ve yoğunluğun artması içindir (Varol, 2000; Dağdelen, 1995; Umar ve Açar, 1991; Tunç, 2001).

1.5.4.3.6. Kayma Direnci

Kayma direnci, araçların frenleme sırasında emniyetle durabilmesi ve kurlarda merkezkaç kuvvetinden ötürü savrulmaması için teker ile kaplama arasında gerekli sürtünme kuvvetini ifade eder. Kayma direnci genel olarak,

- Düşük asfalt miktarı
- Cilalanma direnci yüksek agrega
- Kırmataş ve pürüzlü yüzeyli agrega
- Açık ve kaba gradasyonlu karışım

ile artmaktadır. Fakat kaplamanın yüzey düzgünlüğü arttıkça sürüş konforu artmakta Mat kayma direnci önemli ölçüde azaltılmaktadır. Agrega boyutunun kayma direnci üzerinde çok önemli rol oynamadığı yol testinde görülmüştür. Optimum asfalt miktarından daha fazla konulacak asfalt hem stabiliteyi düşürür hem de terleme-kusma ile kaplama yüzeyine çıkan asfaltın oluşturduğu film tabakası ile kayma direncini azaltır. Özellikle cilalanmış agrega ve kusma-terleme ile yol yüzeyinde oluşan film tabakası yağışlı havalarda ve hızlı yollarda önemli tehlike arz etmektedir. Bu nedenle, aşırı tabakalarında kullanılacak agregaların cilalanma direncinin yüksek olması ve asfalt miktarının da optimum veya optimumdan bir miktar az olması gerekir. Makadam ve sathi kaplamalı yolların her ne kadar sürüş konforu az ve teker gürültüsü fazla olsa da kayma dirençleri çok yüksektir. Bitümlü sıcak karışımlardan yapılan esnek kaplamaların pürüzsüz ve çok düzgün yüzeylerinden ötürü özellikle yağışlı havalarda keskin kurlarda ve dik eğimli kesimlerde sürüş emniyeti azalmaktadır. Böyle kesimler için aşırı tabakası üzerine aşırı direnci yüksek, tek boyutlu ve silisli kırmataş agrega serilip silindirler ile kaplamaya gömülmesi (Chipping) veya aşırı tabakası üzerine sathi kaplama uygulaması ile kayma direncinin artırılması sağlanmaktadır (Tunç, 2001; Dağdelen, 1995).

1.5.4.3.7. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın serim ve sıkıştırma esnasında gösterdiği kolaylığın ölçüsü olarak tanımlanır. İşlenebilirlik genel olarak;

- Kaba agrega miktarı arttıkça
- Maksimum tane boyutu arttıkça
- Kırmataş agrega kullanıldıkça

- Agreganın yüzeyinin pürüzlülüğü ve kırılmışlık arttıkça
- Karışım ıslığı düşükçe
- Asfalt penetrasyonu düşükçe (katılaştıkça)
- Asfaltın viskosluğu arttıkça
- Filler miktarı aşırı arttıkça
- Ara boyutlu malzeme miktarı aşırı arttıkça azalmaktadır.

İşlenebilirliği düşük olan karışımların serme ve özellikle sıkıştırma esnasında birtakım güçlükler oluşmaktadır. Hatta bu sebepten ötürü yeterli sıkışma sağlanamadığından karışımın stabilitesi azalmaktadır. Düşük işlenebilirliğe sahip olan karışımlar ile genellikle homojen olmayan kaplamalar elde edilmektedir. Bunun yanı sıra işlenebilirliği çok yüksek olan karışımlar, genellikle içsel sürtünmesi az olan dere malzemesi agregalar ve yüksek penetrasyonlu asfaltlar ile üretildiklerinden stabilite de düşük olmaktadır. İşlenebilirliği düşük olan karışımların sıkıştırılmaları sırasında silindirin bandajları altında çok az çökme gösterdiklerinden yeterli sıkıştırma elde edilemediği gibi kaba agreganın karışım içine gömülmesi az olduğundan yüzey pürüzlülüğü de fazla olmaktadır. Ayrıca işlenebilirliği düşük olan karışımlarda tabaka kalınlığına homojen bir sıkıştırma elde edilememekte ve özellikle yüzeyde daha az sıkışma olmaktadır. Dolayısıyla trafik etkisi ile yüzeyde çok çabuk kopmalar oluşarak kaplamanın bozulmasına neden olmaktadır. Karışımdaki ince agreganın kırılmış olması işlenebilirliği düşürmekte Mak deformasyon direncini artırmaktadır. Esasen işlenebilirlik, karışımdaki agreganın yer değiştirmeye (iç hareketlilik) karşı gösterdiği dirençtir. Bu nedenle agreganın biçimi, kırılmışlığı, yüzey alanı, yüzey yapısı, vb. hususlar ile asfaltın viskosluğu işlenebilirlik üzerinde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla;

- Asfaltın kohezyonu (filler miktarından kaynaklanan)
- Agreganın içsel sürtünme açısı
- Karışımın viskosluğu (filler miktarından ve asfaltın viskosluğundan kaynaklanan) agreganın yer değiştirmeye direncine etki etmektedir (Varol, 2000; Dağdelen, 1995; Tunç, 2001; Yağız, Işıksalan, Akkol ve Keçeciler, 1967).

1.5.4.3.8. Yorulma Mukavemeti

Bitümlü sıcak karışımların yorulma mukavemeti, kaplamada çatlamlar oluşmadan tekerrür eden yükler etkisinde eğilmeye (yani kalıcı olmayan deformasyonların

oluşmasına) müsaade etme yeteneğidir. Bir başka deyişle, kaplamanın sahip olduğu çekme mukavemetinin altında etkiyen trafik yüklerinin maksimum tekerrür sayısına tekabül eden mukavemet değeridir. Yani kaplamanın çekme mukavemeti altındaki gerilmelere karşı çatlamadan ne kadar direnç gösterebileceğinin belirlenmesi gerekir. Yorulma mukavemeti;

- Rijitlik arttıkça
- Gradasyon ve yoğunluk arttıkça
- Asfalt penetrasyonu arttıkça (yumuşadıkça)
- Asfalt miktarı arttıkça
- Kaplama kalınlığı arttıkça
- Eğilme gerilmesi azaldıkça

artış göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımların diğer mekanik özelliklerinde olduğu gibi, kaplamaların yeterli sıkışması yorulma mukavemetini de artıran önemli bir özelliktir. "Yorulma bozulması" terimi, taşıt yüklerinin tekrarı sebebiyle asfalt betonunda oluşan bozulmalar için kullanılır. Heukelom ve Klomp; çevresel etkiler sonucunda sürekli değişimlerin yığılımlı olarak toplanıp, uygulanan gerilmenin gerilme dayanımına eşit olmasını sağlayan durumlar olarak tanımlamışlardır (Heukelom ve Klomp, 1967)

Deocan ise yorulma ifadesini; asfaltlı malzemelerde şartlara bağlı olarak gittikçe ilerleyen, lokal ve sürekli olan değişiklikler olarak ifade etmiştir. Bu değişikliklerin belirli nokta veya noktalarda değişken gerilmeler ve deformasyonlar oluşturacağını bunun yeterli yüklemelerden sonra çatlak veya komple bir kırığa sebep olacağını belirtmiştir (Deocan, 1965). Tablo 1.6'da bitümlü sıcak karışımların temel özelliklerine etki eden parametreler toplu halde verilmiştir.

Tablo 1.6. Bitümlü sıcak karışımların temel özelliklerine etki eden parametreler (Yıldız,2003).

KARIŞIM ÖZELLİĞİ	Miktar		Katılık		Yoğunluk		Agrega Tipi				Yoğunluk (Sıkışma)		Isı		Yükleme Hızı		Karışım Kalınlığı				
	Fazla	Az	Katı	Yumuşak	Çok Yoğun	Az Yoğun	Köşeli	Püzürlü	Poroz	Yuvarlak	Cıvalı	Az Poroz	Çok	Az	Çok	Az	Yüksek	Düşük	Çok	Az	
STABİLİTE		Optimum [1]	✓		✓		✓					✓			✓		✓		✓		
RÜJİTLİK	[2]		✓		✓		✓					✓			✓		✓		✓		
DAYANIKLILIK	✓		✓		✓		✓					✓			[4]		✓		✓		
YORULMA	✓			✓	✓		✓					✓		[6]		✓		✓			
ESNEKLİK	✓			✓	✓				✓				✓		✓		—	—			✓
GEÇİRİMSİZLİK	✓		✓		✓					[5]		✓			[7]		—	—	✓		
KAYMA DİRENCİ		✓	✓			✓	✓					✓			✓		—	—	—	—	
İŞLENEBİLİRLİK		[3]		✓		✓			✓			—	—	✓		—	—				✓

1.6. Marshall Test Yöntemi

Kaplama karışımlarının tasarımında Marshall metodu kavramı «Mississippi State Highway Department» en eski Bitüm Mühendisi Bruce Marshall tarafından formüle edilmiştir. "U.S. Corps of Engineers" A.B.D istihkam sınıfı kuruluşu geniş araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla test yöntemine belirli biçimler ekleyip karışım tasarım kriterlerini geliştirmiştir. Marshall Test Metodu "American Society for Testing and Materials" (ASTM) Amerikan deney ve materyal topluluğu tarafından standartlaştırılmıştır. Marshall test metodu, ASTM D1559'da Marshall aleti kullanılarak

bitümlü karışımın plastik akmaya karşı direnci olarak tarif edilmiştir. Marshall test metodu TS 3720'de de mevcut olup, ASTM de belirtilen test metoduyla esas olarak aynıdır. Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyu 25 mm (1 inç) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış asfalt çimentosu kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar tasarımı için tasarlanmıştır (Cooper, 1994; Brown, 1990).

Şartnamede belirtilen fiziksel özelliklere sahip agreganın yine şartnamede belirtilen gradasyon limitleri dahilinde agrega gruplarının hangi oranlarda karıştırılacağı belirlendikten sonra karışımın asfalt miktarının tayin edilmesi gerekir. Bu amaçla gerek ülkemizde gerekse dünyada halen kullanılmakta olan "Marshall Metodu" ele alınacaktır. Diğer mühendislik malzemelerinin tasarımında olduğu gibi, asfalt kaplama karışım tasarımında amaç, inşaat bitiminden sonra istenilen özellikleri sağlayacak malzemelerin seçimi ve karışım oranlarının belirlenmesidir. Asfalt kaplama karışım tasarımının amacı:

1. Sağlam (Durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli asfalt miktarını,
2. Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlilikte karışım stabilitesini,
3. Sıkıştırılmış nihai karışımında trafik tarafından oluşturulacak çok az miktardaki sıkışmaya kasma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın imkan verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu,
4. Segregasyona uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği verecek ekonomik bir karışımın ve agrega gradasyonunun belirlenmesi olarak tanımlanmıştır.

Asfalt kaplama karışımlarının tasarımında deney yöntemlerinin detaylarına çok dikkat edilmesi ve yazılı talimatlara aynen uyulması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca bitümlü sıcak karışım tasarım deneyleri ile şartname talepleri arasındaki ilişkinin de iyi bilinmesi gerektiği belirtilmiş ve şartnamede belirtilen değerlere uygunluk göstermesi gerektiği ifade edilmiştir. Karışım tasarımı metodu olarak Marshall ülkemizde büyük ölçüde uygulanmış ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır (Dağdelen, 1995).

Bitümlü sıcak karışımlarda daha önce bahsettiğimiz problemleri gidermek için, değişiklik yapılabilecek birkaç olasılık şöyle sıralanmıştır,

- Kaplama tasarımının geliştirilmesi
- Üst yapı malzemelerinin ve üst yapıların şartname özelliklerinin gözden geçirilmesi
- İnşaat süresindeki kalite kontrolün iyileştirilmesi

- Bağlayıcının geliştirilmesi

Bütün bu olasılıkların tümünün bir arada gerçekleşmesi doğal olarak performansı olumlu yönde etkileyecektir. Fakat değişik durumlar karşısında karışım özelliklerinin değiştirilmesi için karışım tasarım geliştirmek veya bitüm miktarı ile oynamak yeterli olur gibi görünmekteyse de günümüzde yapılan çalışmaların çoğu bitümlü bağlayıcılarda katkı kullanımı yeni olasılıklar ve seçenekler ortaya koymuştur.

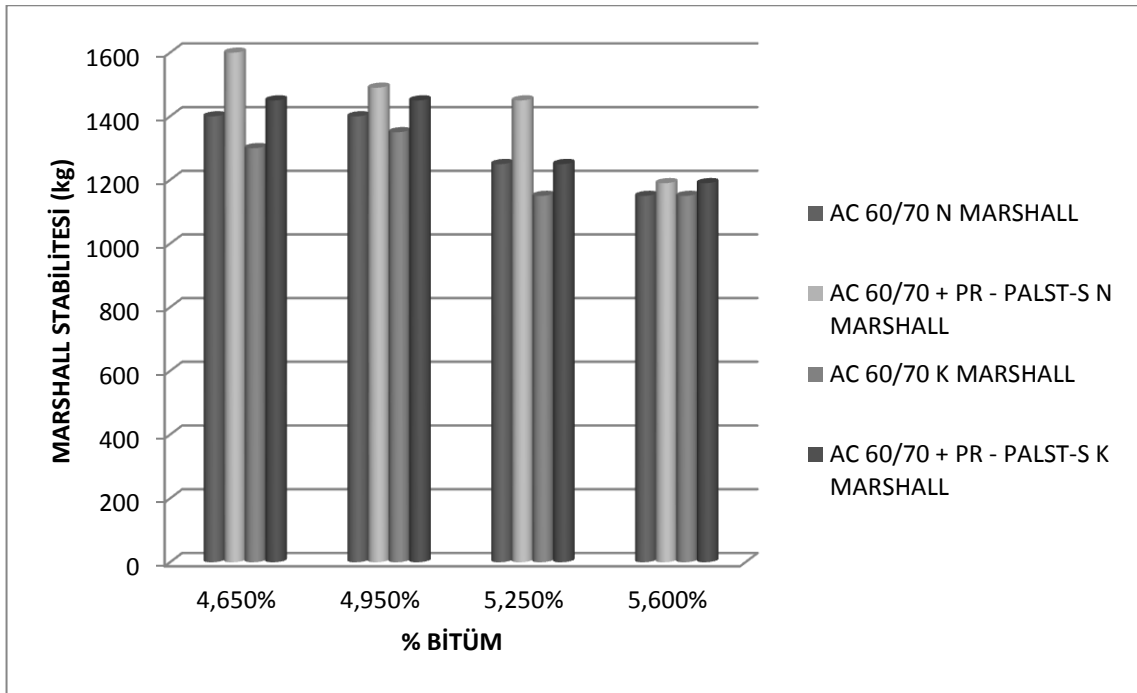
Son yıllarda kullanımı oldukça artan modifiye bitümler, modifiye konusundaki çalışmalar ve yayınlarda farklı tip katkı maddelerinin mukayesesinden katkı maddesi olarak bitümün kimyasına uygun düşen polimerlere ilginin arttığı, hatta bitüm katkı maddeleri sınıflandırılırken polimer esas alınarak polimer katkı maddeleri ve polimer olmayan katkı maddeleri şeklinde sınıflandırıldığı görülmüştür. Türkiye karayolları ağındaki bazı yollarda özellikle aşırı yüklenmiş ağır trafik ve sıcak iklim koşulları sonucu oluşan ve özellikle yağışlı havalarda seyahat güvenliğini önemli ölçüde düşüren plastik deformasyonlar, soğuk iklim koşullarında oluşan termal çatlaklar gibi bozulmalar ile yüzey pürüzlülüğünün sağlanması gibi sorunlar nedeniyle sürüş konforu ve trafik güvenliği azalmıştır. Yüksek bakım ve onarım maliyetini düşürmek için Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan bir genelge ile bazı yollarda yol üst yapısının aşırı tabakalarında modifiye bitüm kullanılmasına karar verilmiş ve modifiye bitüm şartnamesi hazırlanmıştır.

1997 yılında KGM tarafından yapılan bir çalışmada gradasyon limitlerine uygun bir gradasyon seçilmiş olup bu gradasyonda karışımın optimum bitümde, optimum bitümün üstünde ve optimum bitümün altında değişik bitüm yüzdelerinde hazırlanan numunelerin normal ve koşullandırılmış Marshall stabiliteleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmada bitümlü bağlayıcı olarak AC 60/70 kullanılmış ve modifiye edici madde olarak da karıştırma plent - mikserde ilave edilebilen karışımın % 0.6'sı oranında FR-PLAST-S isimli polimer kullanılmıştır. Bu şekilde hazırlanan karışımların performans değerleri incelenmiştir (Önal, Aray ve Orhan, 1998). Karışım tasarım değerlerini ve deney sonuçlarını içeren Tablo1.7'da verilmiş ve deney sonuçlarına göre çizilen grafik Şekil 1.16'de verildiği gibidir.

Tablo 1.7. Tasarım kriterleri

Bitüm %'si	4.95
Hac. Özgül. Ağ.	2.445
Maks. Teo. Öz. Ağ.	2.530
Boşluk (%)	3.35
VMA(%)	13.5
Asf. Dolu. Boşluk (%)	75.2



Şekil 1.16. Marshall Stabilitesi-Bitüm Yüzdesi (58).

Grafikte görüldüğü üzere yapılan çalışmadan şu sonuçlar çıkarılması mümkündür. Katkı kullanımı stabilite değerlerinde artış sağlamıştır. Ayrıca koşullandırma sonucunda (60 °C suda 72 saat bekletme) stabilite değerlerinde önemli derecede düşüş görülmemektedir. Normal numunelerde bitüm artışı ile, stabilite değerlerinin şartnamede istenilen kriterlerin (min 900 kg) altına düşmemiştir.

Karışım tasarımı ile belirlenen optimum bitüm miktarından daha fazla normal bitüm kullanılması durumunda karışımların plastik deformasyonlara karşı hassasiyetinin hızla arttığı ancak bu hassasiyetin Marshall stabilitesi ile tespit edilemediği görülmektedir. Karışıma polimer ilave edilmesi durumunda karışımın plastik deformasyona karşı direnci

büyük ölçüde artmasına rağmen fazla bitüm kullanımı durumunda dahi tekerlek izi oluşumu açısından karışım performansında büyük bir kayba yol açmadığı belirtilmiştir (Önal, Aray ve Orhan, 1998).

Akış için stabilite oranı olarak hesaplanan ve böylece belirli test koşulları altında deformasyon için yaklaşık yük oranını temsil eden Marshall Oranı, malzemenin serviste (kullanımda, hizmette) kalıcı deformasyon direnç ölçüsü olarak kullanılabilir (Shell, 2004). Bu oran; karışım sertliğinin, kayma gerilmesi direncinin ve kalıcı deformasyonun göstergesidir (Haddadi, Ghorbel, ve Laradi, 2008; Hınıslioğlu ve Ağar, 2004; Hitch ve Russell, 1977; Nijboer, 1957).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç

Bu araştırmanın amacı değişik sıkıştırma enerjileri (45, 50, 55, 60, 65, 70, 75) ile üretilen sıcak asfalt briketlerine ait stabilite, akma ve Marshall oranı değerlerinin belirlenmesi, MS Excel programı kullanılarak numunelere ait değerlerle MQ arasında bağıntılar kurmak ve bu bağıntıların sonuçlarının kontrolünü yapmaktır.

2.2. Kapsam

Yukarıda verilen amaca ulaşmak için bu bölümde özellikleri verilecek olan agrega ve bitüm kullanılarak Marshall tokmağı ile değişik sıkıştırma enerjilerinde (45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 darbe) sıkıştırılan yedi farklı karışım hazırlandı. Her karışım türünden dokuzar briket üretildi. Daha sonra hazırlanan örnekler Marshall stabilite deneyi yapılarak akma ve stabilite değerleri bulunmuştur. Değişik sıkıştırma enerjileri ile hazırlanan örneklerin Marshall oranı değerleri de hesaplanarak, yedi karışım bu üç parametre üzerinden değerlendirilmiştir.

2.3. Malzeme

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemeler, malzemelerin özelliklerini tayin etmede kullanılan deneyler, malzeme özellikleri ve karışım tasarımına ait bilgiler verilmiştir. Ayrıca hazırlanacak karışımlara uygulanacak deneyler ve bu deneylerde kullanılan deneysel program ve ölçütlerde bu bölümde verilmiştir.

Çalışmada kullanılacak agregaların temini için araştırma yapılmış ve agreganın Trabzon-Gümüşhane Devlet yolunun 29+000 Km'sinin 200 m sağında bulunan Çatak taş ocağından temin edilmesi uygun görülmüştür. Buradan kayaç örneği alımı sırasında homojenliği sağlamak amacıyla, aynı kayaç aynasının ayrılmamış kısımları kullanılmıştır. Araştırmada bitümlü bağlayıcı olarak, Kırıkkale Rafinerisi kaynaklı Polat Yol Yapı A.Ş.'den temin edilen 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır.

Seçilen asfalt çimentosu, agregalar ve karışım tasarımı için uygulanan test yöntemleri ile ilgili standartlar aşağıda özetlenmiştir.

2.3.1. Asfalt Çimentosuna Uygulanan Deneyler

Asfalt çimentosuna uygulanan ve aşağıda ifade edilen deneyler Polat Yol Yapı AŞ., DSİ 22. Bölge Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.3.1.1. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi TSE 118 standardı ile yapılır. Asfalt çimentosu, oda sıcaklığında yarı katı durumdadır. Viskozitesini düşürmek için ısıtıldığı zaman bile kıvamlılığını Furol viskozitesi cinsinden tespit etmek pratik değildir. Kıvamlılıkla ilgilenilme nedeni, asfaltın yol sıcaklığındaki bağlama yeteneğini veya bağlayıcılık gücünü saptamaktır. Asfalt çimentosunun kıvamlılığı arttıkça karışım içerisindeki agregaları birbirine daha kuvvetle bağlayacağı doğaldır.

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir. Deney yapılırken penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen 25 °C sıcaklıkta olmalıdır. İstenen ağırlıkta (genellikle 100 gr) numune yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır. Genellikle 5 sn'lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabın kenarından ve birbirinden 1'er cm'lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetraklorür, trikloretilen, benzin) ıslatılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (ASTM D5-97 2003).



Şekil 2.1. Penetrometre Aleti (URL.1).

2.3.1.2. Yumuşama Noktası Deneyi

TSE 120 standardı ile yürütülür. Biri blown asphalt diğeri yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentosu olmak üzere iki tane yarı katı asfalt numunesi alındığında bunların 25 °C'deki penetrasyonları birbirinin aynı olsun. Eğer bu asfaltlar 45 °C'ye kadar ısıtılarak penetrasyon deneyine tabi tutulursa, artık penetrasyonlarının aynı olmadıkları ve asfalt çimentosunun çok daha yumuşak olduğu görülür. Her iki örnek daha da fazla ısıtılırsa kıvamlılıktaki fark daha belirgin olur. Örneğin, 120 °C'de asfalt çimentosu çok akıcı bir sıvı haline geldiği halde blown asphalt 175 °C'de hemen hemen hiçbir akıcılık göstermez. 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 değişmelerinden blown asfalta göre daha fazla etkilenmektedirler. Asfaltların bu özelliklerine "ısıya karşı duyarlık" denir. Değişik ham petrolerden üretilmiş asfaltların ısı değişmelerine karşı olan duyarlılıkları farklıdır. Fakat bu fark blown asfaltları ile normal olarak kaplamalarda kullanılan asfalt çimentoları arasındaki farka göre oldukça küçüktür. Asfaltların sıcaklık değişmelerine karşı olan duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve en basit yöntem yüzük ve bilye yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır. Yumuşama noktası; bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilye bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılmasıyla yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır.

2.3.1.3. Düktilite Deneyi

TSE 119 standardı ile tanımlanmıştır. Düktilitenin kelime anlamı "uzama" veya "çekilebilme" demektir. Asfalt çimentolarının önemli özelliklerinden biridir. Düktilite yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değeri 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. Düktilite kısaca; asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanabilir. Bir asfalt çimentosunun düktilitesini ölçmek için standart bir kalıba o asfalt çimentosundan bir örnek dökülür. Sonra, örnek düktilite cihazındaki yerine konur. Su banyosu 25 °C'ye ayarlanmış olmalıdır. Asfalt briketi bu sıcaklıkta 5+0,25 cm/dakika hızla çekilir. Örnek belli bir uzamadan sonra kopar. Kopma anındaki uzama miktarının cm cinsinden karşılığı düktilite değeridir.

2.3.1.4. Çözünürlük Deneyi

TSE 1090 ile tanımlanır. 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; karbon sülfür, karbon tetraklorür, benzen, triklor etilen çözücülerinden biri kullanılır. Bu çözücüler 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 ve petrol kökenli asfaltlar için, benzen ise katran esaslı bitümlü maddeler için kullanılır.

2.3.1.5. 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 bilinmesinin, malzemenin uygulama aşaması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemli bir yeri vardır.

2.3.1.6. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

TSE 1087 birim hacim ağırlık deneyini ifade eder. Asfalt çimentosunun birim hacim ağırlığı, 25 °C’de hacmi bilinen bir miktarının ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilen orandır.

2.3.2. Agregata 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 dirençlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu özelliklerinin hepsinin her zaman bilinmesine gerek yoktur. Örneğin, temel tabakasında kullanılacak bir agregaya cilalanma deneyinin uygulanması gereksizdir.

Yukarıda adı geçen bütün deneylerin, agregaların değerlendirilmesinde güvenilir olabilmesi için denenecek örneklerin çok özenle alınmış temsili örnekler olması gerekir. Aksi halde o örnek için yanıltıcı değerler bulunabilmektedir.

Bu kısımda ifade edilen deneyler; Polat Yol Yapı AŞ, DSİ 22. Bölge Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.3.2.1. Elek Analizi

Elek analizi deneyi ASTM E 11-87 ile tanımlanan deney yöntemi olup, nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın tane büyüklüğü dağılımının tespit edilmesini kapsar. Elek analizi yapılacak malzemelerin boyutları taş ve kömür gibi çok büyük parçalardan, boya maddeleri ve kil gibi çok ince malzemelere kadar değiştiği, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olduğu için, bütün malzemelere uygulanabilecek tek bir elek deneyi yönteminden söz etmek olanaklı değildir.

2.3.2.2. Los Angeles Aşınma Deneyi

ASTM C131 standardına sahiptir. Bu deney, agregaların darbe etkisinde 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 dönecek şekilde yapılmıştır. Agrega örneğini silindir içine koyabilmek için özel bir kapak vardır. Bu kapak, silindirin iç yüzeyine tamamen uyacak şekilde sıkıca kapatılabilmektedir. İç yüzde silindir eksenine paralel olmak üzere 9 cm genişliğinde ve silindir boyunca uzanan yeter kalınlıkta ve deformasyon yapmayacak şekilde iç yüzeye yerleştirilmiş çelik raf çıkıntısı bulunur. Bu raf, örnek koyma deliğinden dönme doğrultusunda en az 127 cm uzaklıktadır. Aşırı yükleri yaklaşık olarak 4.68 cm çapında dökme demir veya çelik kürelerdir. Her birinin ağırlığı 390 ile 445 gram kadardır.

Örnek en büyük tane boyutuna ve Tablo 2.1.'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 2.1.'de verilen sınıflardan birine göre tartılır.

Tablo 2.1. Aşınma deneyi örnek sınıflaması.

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 Aşırıya Deneyinde kullanılacak küre sayıları ve yükleme ağırlıkları Tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Aşınma deneyinde kullanılan küre sayıları

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

Hazırlanan deney örneği ve aşındırıcı yükler aşırma 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. Örnek makineden çıkarılarak 1.70 mm (No 12) eleğinden elenir, bu elek üzerinde kalan kısım yıkanır. 110 °C'lik etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulur ve tartılır. Daha sonra aşırma kaybı ilk ağırlığa göre hesaplanır.

2.3.2.3. Hava Etkilerine Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi)

ASTM C88 standardına göre yürütülür. Bu deney yöntemi, agregaların doymuş 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.

Bu 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. Bu sırada 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.

Sağlamlık deneyi, kaba agregaya uygulandı. Kaba agregaya 3/4; 3/8 ve No 4 eleklerinden elenir. Her elek arasındaki malzeme yıkanır, 110 °C'lik etüvde kurutulur. Örneğin her elek üzerinde kalan miktarı esas örneğin %5'inden az olmamak üzere Tablo

2.3.'de verilen miktarlarda tartılır. İki kısımdan ibaret olan boyutlarda örnekler aynı kaba konulur (Şengül, 2006).

Tablo 2.3. Sağlamlık deneyinde uygulanan miktar

Dane Boyu (mm)		Ağırlık (gram)	
9.5 - 4.75		300	
19 -9.5	12.5 -9.5	330	1000
	19 - 12.5	670	

Belirtilen miktarlarda tartılan örnek 18 saat süreyle oda sıcaklığında çözelti içerisinde bırakılır. Bu süre sonunda örnek çözültiden çıkarılarak 15 dakika süzülür, 100 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Etüvden çıkarılınca oda sıcaklığına kadar soğutulur. Bu süreç beş kez tekrarlanır. Son olarak, etüvden çıkan örnek tamamen temizleninceye kadar yıkanır. Malzeme Tablo 2.4.'de verilen eleklerden elenir.

Tablo 2.4. Donma kaybı için kullanılan elek

Agrega Boyutu (mm)	Donma Kaybı Eleği (mm)
19 -9.5	8
9.5 -4.75	4

Deneyden sonra, her bir elek üzerinde kalan malzeme ağırlığı ile deneyden önceki ağırlık arasındaki fark donma kaybını, bu kaybın ilk ağırlığa oranı donma kaybı yüzdesini verir.

2.3.2.4. Cilalanma Direnci Deneyi

BS 813 ve TS EN 1341 Cilalanmış Kaymaya/Kızaklamaya Karşı Direnç Değerlerinin Ölçülmesi standartları cilalanma deneyini tanımlar. Bu deneyin amacı, kaplama tabakasında kullanılacak agregaların trafik etkisi altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuarda kısa bir zamanda tespit etmektir. Yolun yüzeyinin cilalanan bir agregadan yapılmış olması, yolun kaymaya karşı direncini azaltan başlıca faktörlerden biridir. Agreganın cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç

arasındaki ilişki trafik koşulları, kaplamanın tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Yoldaki koşullara benzer fakat hızlandırılmış bir cilalanma elde etmek için bir makine geliştirilmiştir.

Deney iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda agrega örnekleri cilalanma makinesinde kauçuk bir tokmak ve aşındırıcı tuz-su karışımı etkisinde hızlandırılmış cilalanma işlemine tabi tutulmaktadır. İkinci kısımda ise cilalanan agrega örneklerinin ıslak sürtünme katsayısı değerleri İngiliz sürtünme pandülü cihazı ile tespit edilmektedir.

2.3.2.5. 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. 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.

2.3.2.6. Yassılık Deneyi

Bir malzemenin yassı kabul edilebilmesi için, deneye alınan herhangi bir agrega danesinin kalınlığının, nominal boyutunun 0.6'sından küçük olması gerekir. Yassı danelerden oluşan bir yapı, trafik yükü altında stabil değildir. Yassı daneler yük altında kolaylıkla kırılır ve karışımın mukavemeti azalır (Lee, 1936). BS 812 standart numarası ile literatürde yerini bulmuştur. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam örnek ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney 6.3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemeye uygulanır.

1500 gram örnek ile deney yapıldı. Deneyin yapıldığı elekler ve alınan miktarlar Tablo 2.5.'de görülmektedir.

Tablo 2.5. Yassılık deneyi elekleri

Elekler (")	Kalan (%)	1500 g için miktar (g)
3/4-1/2	10	188
1/2-3/8	20	375
3/8-No 4	50	938

Belirlenen miktarlar; 14 mm,10 mm ve 6.3 mm'lik yassılık eleklerinden elenerek yassılık indeksi hesaplandı.

2.3.3. Asfalt Betonu 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, Polat Yol Yapı A.Ş. Araklı Şantiyesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.3.3.1. Marshall Deneyi

Marshall deneyi, TCK şartnamelerinde tanımlanan ve kullanılan stabilite deneyidir. TS 3720 ve ASTM D1559 standardına göre uygulanan deneyin yapılması sırasında her bir bitüm yüzdesinde üç adet standart briket hazırlanır. Marshall cihazı yardımıyla, bitümlü karışımın plastik akmaya karşı stabilitesi elde edildikten sonra hesaplamaya geçilir. Asfalt çimentosu yüzdesine bağımlı olarak asfalt briketlerin pratik birim ağırlık, stabilite, asfaltla dolu boşluk, boşluk yüzdesi ve akma değerleri belirlenir. Bulunan değerler şartname değerleri ile kontrol edilerek optimum asfalt yüzdesi hesaplanır (Lee, 1936).

“Ülkemizde ve diğer birçok ülkede bitümlü kaplama karışımlarının tasarımında kullanılan Marshall metodu, maksimum dane boyutu 2,54 cm (1 inç) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan sıcak karışımlara uygulanır.

Marshall metodu ile hazırlanan sıcak karışım tasarımı aşağıdaki işlem sırasına göre yapılır.

- Agrega gradasyonunun belirlenmesi
- Agrega ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi

- Agregaya ve bitüm miktarlarının hesabı
- Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar
- Stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

Briketlerin hazırlanması ve ilgili hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir (Cleven, 2000).

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

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

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

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

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 boşaltılır ve ısıtılmış bir spatula ile iç kısımlarından 10 kez, çevresinden 15 kez çabukça darbelenerek sıkıca yerleştirilir. Sonra 45.7 cm (18 inç) yükseklikten serbest düşüş yapan sıkıştırma tokmağı ile numunenin ön ve arka yüzüne tasarım trafik sınırlandırmasına göre belirlenen sayıda darbe uygulanarak sıkıştırma yapılır.

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

8. Numune kalıptan krika ile çıkarılır ve düzgün bir yüzey üzerine konulur, numuneler, normal olarak bir gece soğumaya bırakılır.

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 alınır ve bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak Marshall deney formuna kaydedilir (Şengül, 2006).

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.

$$V = B - C$$

V = Briketin hacmi

B = Briketin havadaki ağırlığı

C = Briketin sudaki ağırlığı

Briketlerin yoğunluk ve boşluk analizleri; Briketin hacim özgül ağırlığı (Dp), briketin havadaki ağırlığının hacmine oranıdır.

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (2.1)$$

Dp = Briketin hacim özgül ağırlığı

A = Briketin havadaki ağırlığı

V = Briketin hacmi

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

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

$$D_t = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.2)$$

Dt = Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı

Wa = Agreg ağırlığına göre bitüm yüzdesi

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b = 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 (Şengül, 2006).

Bitüm absorpsiyonu ve efektif bitüm yüzdesi;

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{ef} \times G_{sb}} \times G_b \quad (2.3)$$

$$P_{be} = W_a - P_{ba}$$

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

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı

G_b = Bitümün 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.

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

Eğer karışım kompozisyonu agregalar ağırlığının % si olarak bulunmuşsa,

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + W_a} \times 100 \quad (2.4)$$

Karışım kompozisyonu normal bitüm yüzdesi olarak bulunmuşsa,

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

$VMA = \text{Agregalar arası boşluk yüzdesi}$

$D_p = \text{Briketin hacim özgül ağırlığı}$

$G_{sb} = \text{Agreganın hacim özgül ağırlığı}$

Stabilitenin akma oranı Marshall oranı olarak tanımlanmakta, karışımın rijitliğinin ve asfalt betonunun deformasyona karşı direncinin bir göstergesi olmaktadır. MQ 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 (Zoorob ve Suparma, 2000; Dobertus, Mulder ve Koole, 1995; Little ve Petersen, 2005).



Şekil 2.2. Marshall stabilite aleti (URL.2).

Aletin kelepçeleri arasına yerleştirilen numuneler basınca maruz bırakıldı. Briketlerin deforme olmasını (akmasını) sağlayan stabilite-yük değeri tespit edildi ve gerekli dönüşüm yapılarak (2,62 ile çarpılarak) stabilite değerleri "kg" cinsine çevrildi. Buradaki akma miktarı da diğer göstergedeki okundu. Bu göstergedeki her bir birim 0.001 inç'e karşılık geldiğinden gerekli dönüşüm yapılarak (0.0256 ile çarpılarak) akma değerleri "mm" cinsinden tespit edildi.

Optimum bağlayıcı yüzdesinin belirlenmesi; Briketlerin, yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra, D_p -Wa, V_f -Wa, V_h -Wa, Stabilite-Wa, Akma-Wa, VMA-Wa grafikleri çizilerek ilk dört grafikten elde edilen bitüm yüzdesi değerlerinin ortalaması alınarak karışım tasarımının optimum bitüm yüzdesi bulunur.

$$\text{Optimum Bitüm \% 'si} = \frac{D_p \text{ için } W_a + V_f \text{ için } W_a + V_h \text{ için } W_a + \text{Stabilite için } W_a}{4} \quad (2.5)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Bu araştırmada % 4 hava boşluğunu veren bitüm yüzdesi optimum bitüm içeriği olarak belirlenmiştir. Çalışmada, şartnamelere uygun olan granülometri seçilmesinin ardından Marshall deney sıkıştırma enerjisi (Otomatik Marshall tokmağı) kullanılarak briketler üretildi. Tespit edilen gradasyona göre hazırlanan briketlerin incelenmesinde yer alan parametreler hesaplandı. Karıştırma sıcaklığı, agregalar için 145-150 °C, bitüm için 150 °C olarak uygulandı. Bitüm, kuru agregaya ağırlılığının yüzdesi cinsinden 4-6.5 aralığında 0.5 artımla altı farklı oranda kullanıldı. Karıştırma sıcaklığına gelen asfalt çimentosu ve agreganın mikserde karıştırılması sırasında, sürekli standart ısı sağlayabilen termostatlı ısıtıcıda mikser kabı 150 °C'ye kadar ısıtıldı. Daha sonra, ısıtılmış mikser kabına önceden hazırlanmış ve istenilen sıcaklığa gelmiş agregaya kayıp olmayacak şekilde boşaltıldı. Agregaya karıştırıldı. Karıştırılan agreganın ortasına spatula ile açılan oyuğa istenilen bitüm dökülerek üzeri bir miktar agregaya ile kapatıldı (şengül, 2006).



şekil 2.3. Asfalt numunesi karıştırma mikseri (URL.3)

Mikserde (Özellikleri; HOBART, Hz:50, Hp:1/6, RPM: 1425, AMP: 1,67, Temp:4 C AMB) karışım işlemi, karışım homojen oluncaya kadar sürdürüldükten sonra mikser kabının ısısı tekrar kontrol edilerek hazırlanan sıkıştırılmamış karışım istenilen ısıdaki kalıba döküldü. Sıkıştırma sıcaklığı 143 °C olarak uygulandı. Kalıbın iç yüzeyi 15, ortası

da 10 defa şişlendi. Kalıbın altına ve üstüne filtre kağıdı konuldu. Standart aletin sıkıştırma tokmağı 45,7 cm yüksekten düşerek ön ve arka yüze 75 darbe uygulandı. Sıkıştırılan briketler bir gün sonra kalıplardan çıkarılarak kumpasla üç yerinden ölçüldü. Yükseklikler kaydedildi, havadaki ve sudaki ağırlıkları tespit edildi.

2.3.4. Malzeme Özellikleri

2.3.4.1. Agregada Özellikleri

Agregalara uygulanan deney sonuçları Tablo 2.6.'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, agregaların üst yapı malzemesi olarak oldukça elverişli oldukları görülmektedir.

Tablo 2.6. Kaba ve ince agregada özellikleri

Kaba Agregada		
Özellikler	Deney Yöntemi	Sonuç
Los Angeles Aşırımı Kaybı (%)	TS - 3694 (ASTM C - 131)	12.4
Yassılık İndeksi (%)	BS - 812 Kısım - 105	14.3
Su Absorpsiyonu (%)	TS - 3526 (ASTM C - 127)	0.8
Donma Deneyi (%)	(ASTMC-88)	1.1
İnce Agregada		
Özellikler	Deney Yöntemi	Sonuç
Plastisite indeksi	TS - 1900	(N.P.)Plastik Değil

Üç grup agregadan alınan örneklerle yapılan 15 elek analizi sonucunun oluşan dane boyutu dağılımı Tablo 2.7'de sunulmaktadır.

Tablo 2.7. Dane boyutu dağılımı

Elek Açıklığı		3/4- 1/2 % Geçen	1/2-N0:4% Geçen	No:4- 0 % Geçen
(mm)	İnce			
19.1	3/4	100		
12.7	1/2	34.6	100	
9.52	3/8		91.1	
4.76	No:4		0.1	100
2	No:10		0.9	63.5
0.42	No:40			28.7
0.177	No:80			19.3
0.075	No:200			13.6

Üç grup agreganın dane boyutu dağılımı esas alınarak saptanan aşırıma tabakası Tip-1'e uygun gradasyon veren karışım oranları; (3/4"-1/2") grubu ağırlıkça %20, (1/2"-No:4) grubu ağırlıkça %33, (No:4-0) grubu ağırlıkça %47 şeklindedir. Tablo 2.8.'de verilen TCK Aşırıma Tabakası Tip 1 Şartnamesine uygun agrega karışımı kullanılmasına karar verilmiştir. Agreganın granülometrisi eğrisi Şekil 2.4.'de verilmektedir.

Tablo 2.8. Seçilen agreganın gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen sınır değerleri

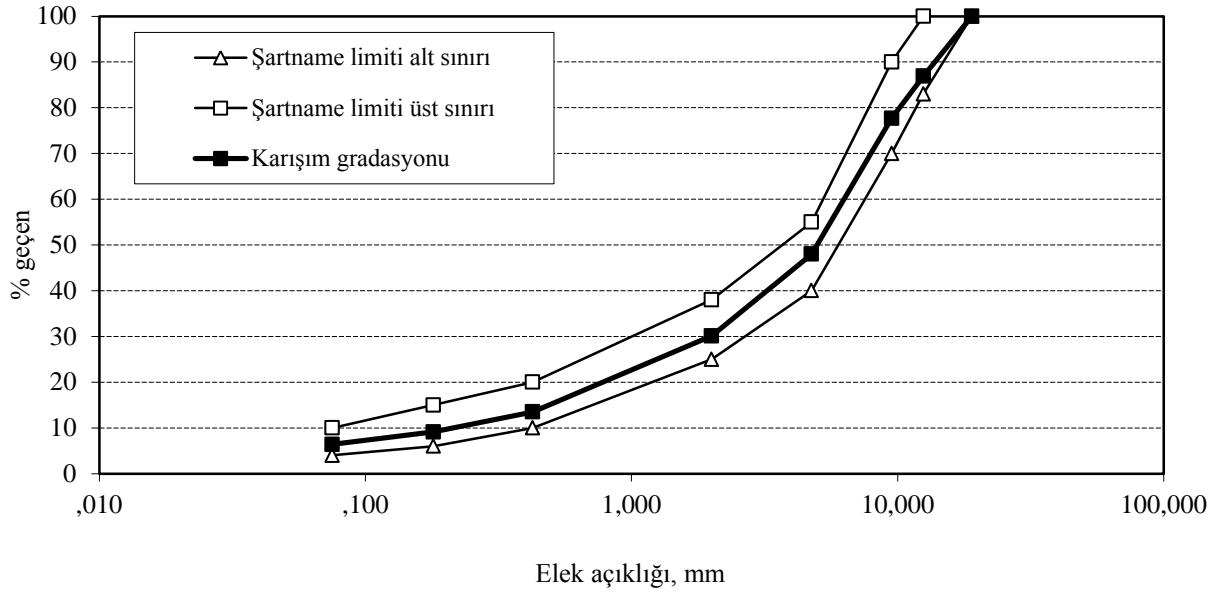
Elek Açıklığı		Karışım (% Geçen)	Tolerans limitine göre (% Geçen)	Şartname limiti
(mm)	İnç			
19.1	3/4	100	100- 100	100- 100
12.7	1/2	86.9	82.9- 90.9	83- 100
9.52	3/8	77.7	73.7- 81.7	70- 90
4.76	No:4	48	44.0- 52.0	40- 55
2.00	No:10	30.1	27.1- 33.1	25- 38
0.42	No:40	13.5	10.5- 16.5	10- 20
0.177	No:80	9.1	6.1- 12.1	6- 15
0.075	No:200	6.4	4.4-8.4	4- 10

Yukarıda verilen karışım gradasyonu esas alınarak Marshall Yöntemine göre optimum bitüm saptanmasına yönelik karışımlarda aşağıdaki dağılım kullanılmıştır.

Kaba agreganın yüzdesi (No:4 üzeri) → 52.0

İnce agreganın yüzdesi (No:4- No:200 arası) → 41.6

Filler yüzdesi (No:200'den geçen) → 6.4 alınmıştır.



Şekil 2.4. Agrega Granülometrisi Eğrisi

Şekil 2.4.'de belirtilen gradasyona uygun olarak hazırlanan agrega karışımlarının kaba ince ve filler olmak üzere yapılan özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 2.9'de verilmiştir.

Tablo 2.9. Kaba ve ince agrega özgül ağırlıkları

	Kaba	İnce
Hacim Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	2.723	2.703
Zahiri Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.782	2.800

Filler Özgül Ağırlığı ise 2.885 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

2.3.4.2. Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı Kırıkkale Rafinerisi kaynaklı 65 penetrasyonlu asfalt çimentosudur. Asfalt çimentosu Polat İnşaat Araklı Şantiyesinden temin edilmiştir.

Tablo 2.10. Bitümlü bağlayıcı (AC 65) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları

Penetrasyon, 25 °C, 100 gr, 5 s (1/10 mm)	65
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	1.027
Parlama Noktası (°C)	210
Düktilite, 25 °C, 5 cm/min	+100
Yumuşama Noktası (°C)	52

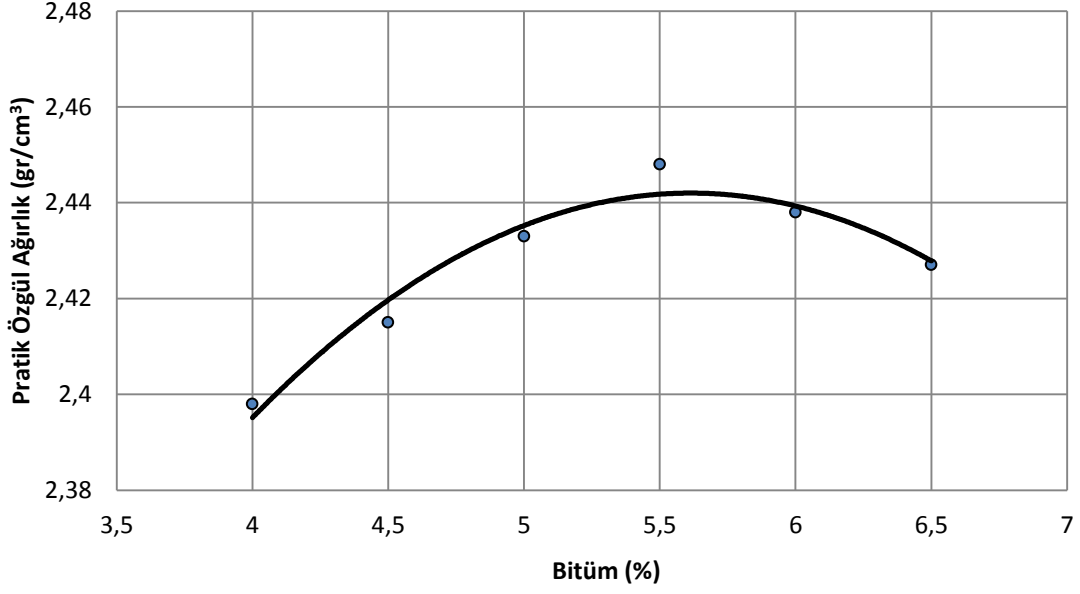
2.1.4.3. Karışım Özellikleri

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 altı farklı oranda olmak üzere her asfalt çimentosu yüzdesinden 3 adet briket üretildi. Sıkıştırma işlemi briketlerin ön ve arka yüzlerine 75 darbe olarak uygulandı. Karıştırma, 145 °C sıcaklıkta yapıldı. Briketlerin alt ve üst kısımlarına filtre kağıdı konuldu. İşlem sonucunda briketler soğumaya bırakıldı. Yeterli soğuma sağlandıktan sonra kalıplarından çıkarıldı. Hem briketlerin fiziksel özellikleri hem de Marshall deneyi verileri sonuçları tespit edilerek Tablo 2.11’de sunulmuştur.

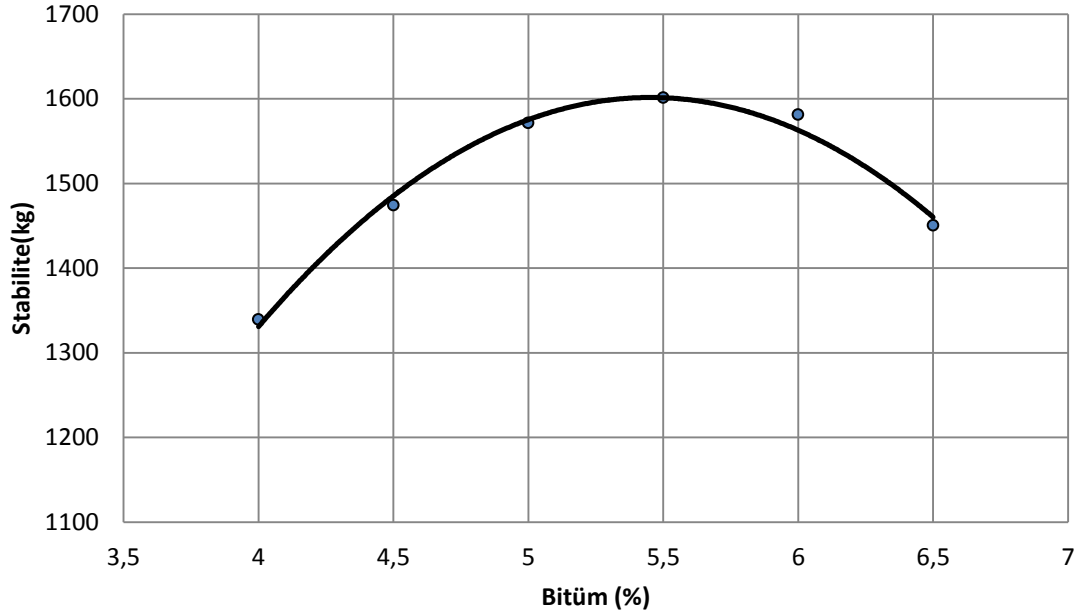
Tablo 2.11. Asfalt betonu tasarımı Marshall deneyi sonuçları

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık Wk	Havadaki Ağırlık (gr) A	Sudaki ağırlık (gr) C	Doğgun Yüzey Kuru Ağırlık (gr) B	Hacim (cm ³) B-C	Pratik Özgül Ağırlık Dp	Max Teorik Özgül Ağırlık Dt	Boşluk % Vh	VMA % VMA	Asfaltla Dolu Boşluk % Vf	Briket Yüksekliği (mm)				Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü	Düzeltilmiş stabilite (kg)
	Wa	Wb											H1	H2	H3	ORT				
1	4.00	3.85	141	1196.0	703.7	1202.0	498.3	2.400	2.592	7.49	15.4	51.2	64.1	64.0	64.1	64.07	2.20	1365	0.985	1345
2	4.00	3.85	140	1196.1	703.3	1202.3	499.0	2.397					64.8	64.9	64.9	64.87	2.40	1380	0.965	1332
3	4.00	3.85	141	1195.9	702.7	1201.8	499.1	2.396					64.3	64.1	64.7	64.37	2.40	1370	0.978	1340
								2.398									2.33			1339
4	4.50	4.31	142	1201.8	709.1	1206.7	497.6	2.415	2.573	6.14	15.2	59.5	64.0	64.1	64.0	64.03	2.80	1490	0.988	1472
5	4.50	4.31	141	1201.7	708.6	1206.8	498.2	2.412					64.3	64.1	64.2	64.20	2.75	1500	0.983	1475
6	4.50	4.31	140	1201.5	709.5	1206.4	496.9	2.418					63.9	64.0	63.9	63.93	2.60	1490	0.990	1475
								2.415									2.72			1474
7	5.00	4.76	140	1207.4	713.9	1209.8	495.9	2.435	2.555	4.76	14.9	68.1	63.7	63.7	63.6	63.67	3.20	1580	0.995	1572
8	5.00	4.76	140	1207.3	713.5	1209.7	496.2	2.433					63.5	63.6	63.6	63.57	3.30	1570	0.998	1567
9	5.00	4.76	141	1207.5	713.0	1209.5	496.5	2.432					63.5	63.4	63.4	63.43	3.20	1570	1.003	1575
								2.433									3.23			1571
10	5.50	5.21	142	1213.1	719.1	1214.2	495.1	2.450	2.537	3.50	14.8	76.3	63.1	63.0	63.1	63.07	3.40	1590	1.010	1606
11	5.50	5.21	140	1213.2	718.2	1214.4	496.2	2.445					63.3	63.2	63.2	63.23	3.60	1585	1.008	1598
12	5.50	5.21	141	1213.3	718.7	1214.1	495.4	2.449					63.3	63.2	63.3	63.27	3.55	1590	1.005	1598
								2.448									3.52			1601
13	6.00	5.66	141	1218.8	719.9	1220.0	500.1	2.437	2.519	3.23	15.6	79.3	63.1	63.2	63.2	63.17	3.90	1540	1.008	1552
14	6.00	5.66	140	1219.0	721.1	1221.1	500.0	2.438					62.9	62.8	62.8	62.83	3.80	1525	1.018	1552
15	6.00	5.66	140	1218.9	720.6	1220.6	500.0	2.438					63.0	62.9	62.9	62.93	3.70	1525	1.015	1548
								2.438									3.80			1551
16	6.50	6.1	140	1224.1	719.9	1225.5	505.6	2.421	2.502	3.0	16.3	81.7	62.4	62.3	62.3	62.33	4.20	1410	1.030	1452
17	6.50	6.1	142	1224.0	721.4	1225.1	503.7	2.430					63.1	63.0	63.0	63.03	4.30	1430	1.013	1449
18	6.50	6.1	140	1223.9	720.8	1224.3	503.5	2.431					62.1	62.1	62.2	62.13	4.30	1400	1.035	1449
								2.427									4.27			1450

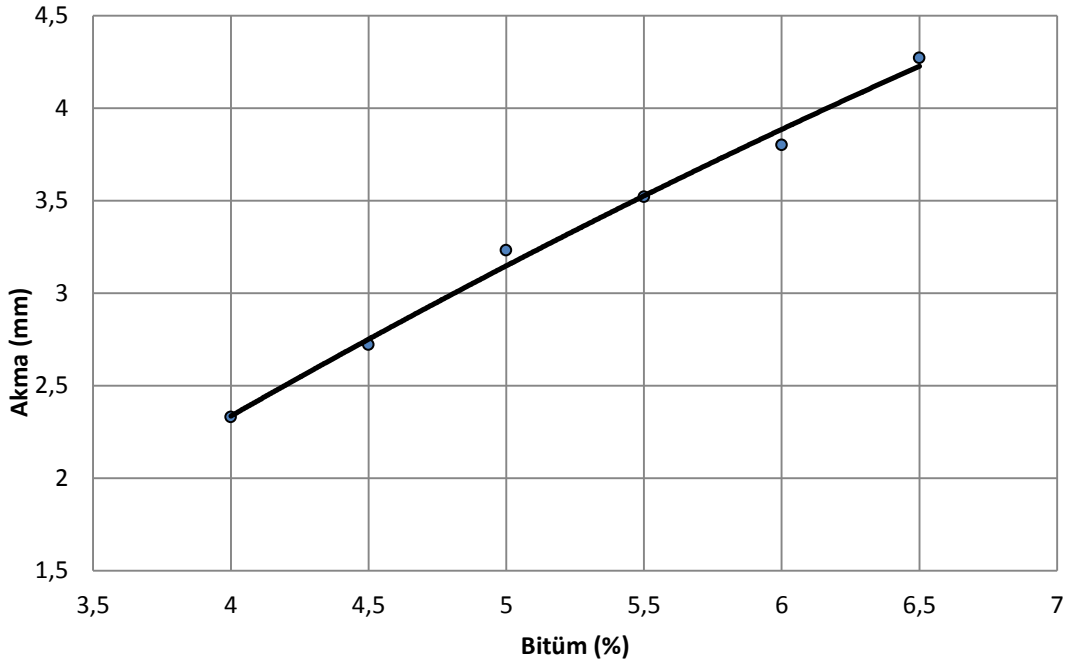
Saptanan karışım gradasyonu ve Marshall yöntemi ile briketlerin yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra, Tablo 2.11.'den yararlanarak hazırlanan Dp-Wa grafiği Şekil 2.5'de, Stabilite-Wa grafiği Şekil 2.6'de, Akma-Wa grafiği Şekil 2.7'de, Asfalt Dolu Boşluk-Wa grafiği Şekil 2.8'de, Boşluk-Wa grafiği Şekil 2.9'de, VMA-Wa grafiği Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



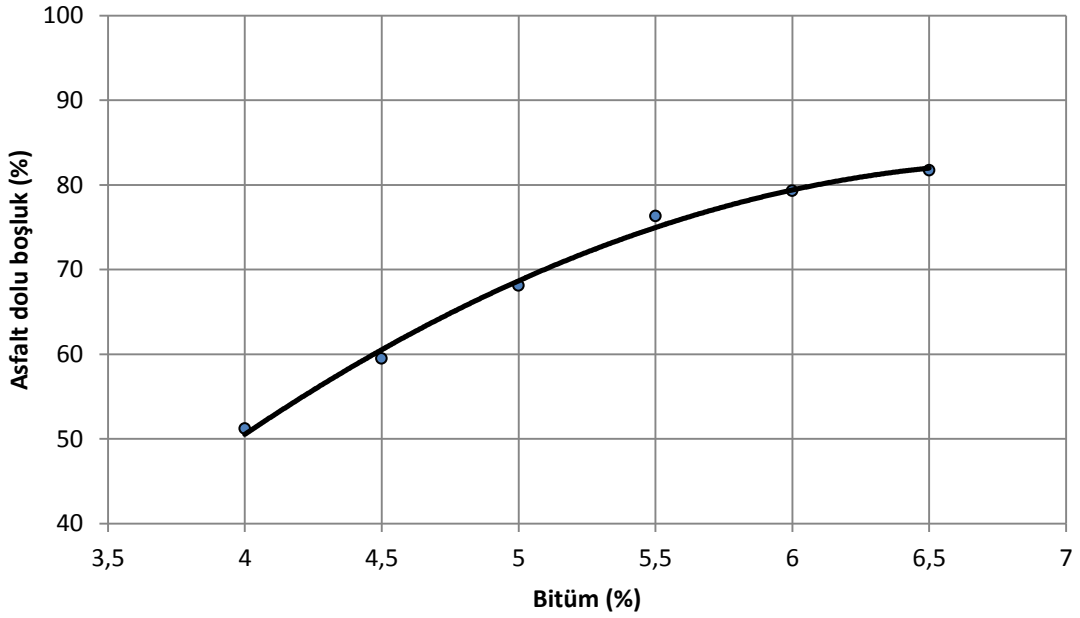
Şekil 2.5. Pratik Özgül Ağırlık - Bitüm Yüzdesi Grafiği



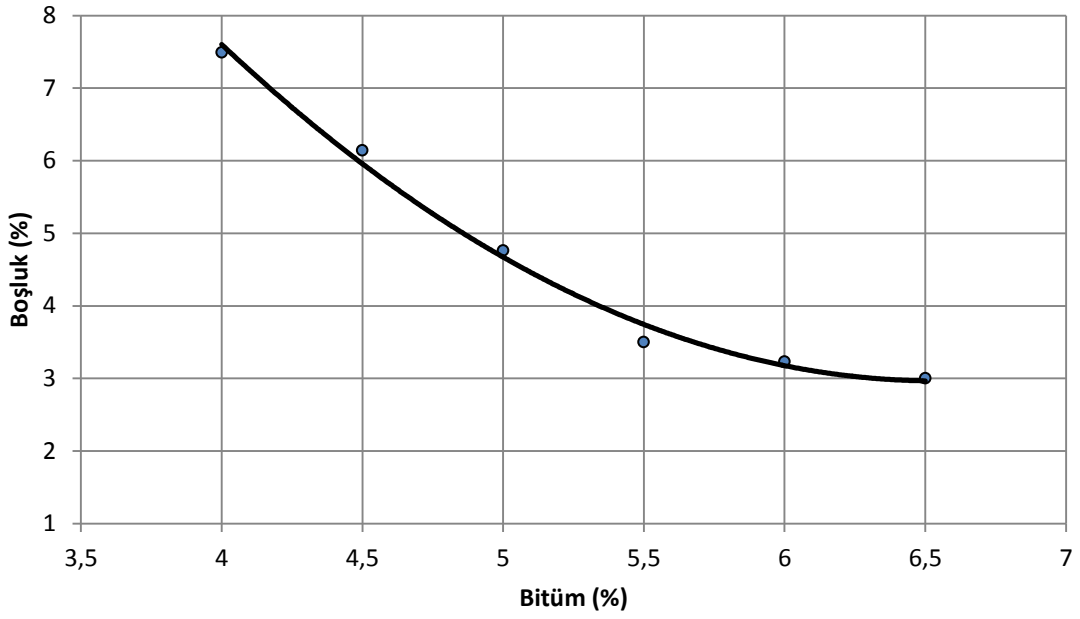
Şekil 2.6. Stabilite - Bitüm Yüzdesi Grafiği



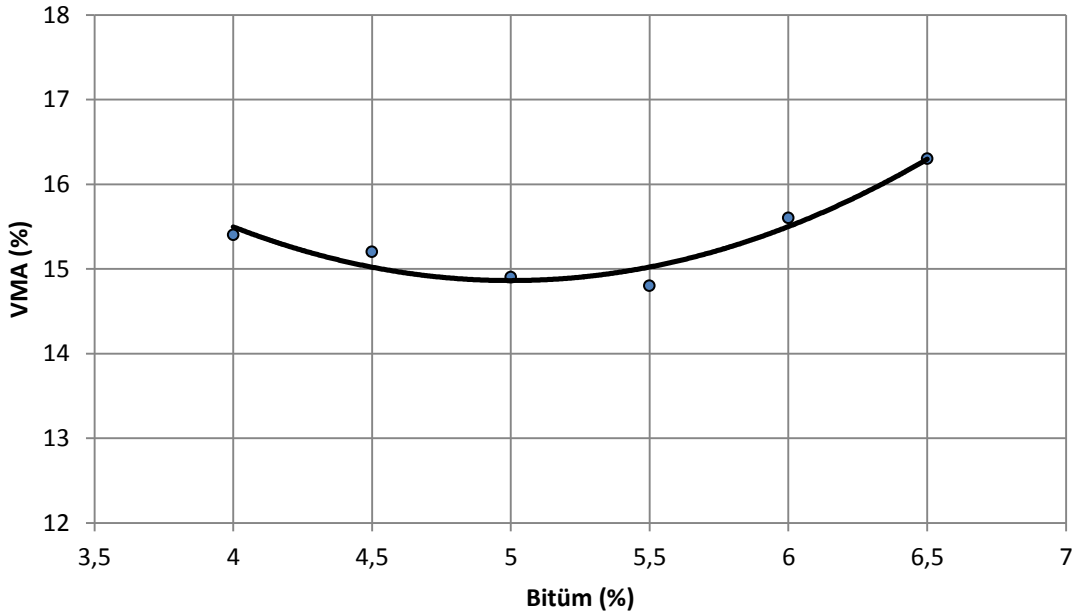
Şekil 2.7. Akma - Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 2.8. Asfalt Dolu Boşluk - Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 2.9.Boşluk - Bitüm Yüzdesi Grafiği



Şekil 2.10.VMA - Bitüm yüzdesi grafiği

Yapılan tasarımda bitüm yüzdesini bulmak için oluşturulan Boşluk Yüzdesi-Bitüm yüzdesi grafiğinde, %4 boşluk miktarını veren bitüm içeriği optimum bitüm yüzdesi olarak alınmış ve 5,25 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen optimum bitüm miktarı ve diğer deney sonuçları Tablo 2.12’de özetlenmiştir.

Tablo 2.12. Optimum bitüm miktarı ve karşılık gelen parametreler

Optimum bitüm miktarı (%)	5.25
Stabilite (kg)	1570
Pratik yoğunluk (gr/cm ³)	2.438
Boşluk yüzdesi (%)	4
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (%)	71.5
Akma (mm)	3.3
VMA (%)	14.8

2.4. Yöntem

Yukarıda verilen amaca ulaşmak için önceki bölümde özellikleri verilen agrega ve bitüm kullanılarak Marshall tokmağı ile değişik darbe sayılarında (45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 darbe) sıkıştırılan yedi farklı karışım hazırlandı. Her karışım türünden dokuzar briket üretildi. Özgül ağırlıkları arasında %20 den büyük fark olan briketler elenerek yerlerine yenileri hazırlandı. Üretilen briketlerin Marshall deneyi öncesi görüntüleri Şekil 2.11.’de, briket özellikleri de Tablo 2.13.-Tablo 2.19.’da verilmiştir. Daha sonra hazırlanan örneklere Marshall stabilite deneyi yapılarak akma ve stabilite değerleri bulunmuştur. Yedi değişik darbe sayısı ile hazırlanan örneklerin Marshall oranı değerleri de hesaplanarak, bu üç parametre üzerinden değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 2.11. Farklı sıkıştırmalar sonucu oluşturulan briketler

Tablo 2.13. Kırkbeş darbe ile sıkıştırılan Marshall briket değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb											
1	5,25	4,99	141	62,2	1163,2	672,1	1165,2	493,1	2,359	2.546	7,3	17,7	58,5
2	5,25	4,99	142	62,0	1161,3	671,9	1163,1	491,2	2,364		7,1	17,5	59,3
3	5,25	4,99	142	63,5	1173,1	680	1175,4	495,4	2,368		7,0	17,4	59,8
4	5,25	4,99	140	63,2	1168,8	674,8	1171,3	496,5	2,354		7,5	17,9	57,9
5	5,25	4,99	141	61,8	1154,6	667,1	1157,8	490,7	2,353		7,6	17,9	57,7
6	5,25	4,99	141	62,0	1157,9	669,7	1159,8	490,1	2,363		7,2	17,6	59,1
7	5,25	4,99	142	63,7	1174,8	681,5	1179,0	497,5	2,361		7,3	17,6	58,9
8	5,25	4,99	141	63,3	1169,2	680,5	1174,9	494,4	2,365		7,1	17,5	59,4
9	5,25	4,99	140	63,6	1171,3	683,1	1178,8	495,7	2,363		7,2	17,6	59,1

Tablo 2.14. Elli darbe ile sıkıştırılan Marshall briketlerin deney öncesi değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb											
1	5,25	4,99	141	62,9	1165,1	675,6	1167,6	492,0	2,368	2.546	7,0	17,4	59,8
2	5,25	4,99	140	61,8	1161,5	672,8	1162,7	489,9	2,371		6,9	17,3	60,3
3	5,25	4,99	140	62,5	1163,7	674,7	1165,1	490,4	2,373		6,8	17,2	60,6
4	5,25	4,99	141	62,6	1163,2	674,6	1165,2	490,6	2,371		6,9	17,3	60,3
5	5,25	4,99	142	61,5	1158,8	673,3	1160,8	487,5	2,377		6,6	17,1	61,2
6	5,25	4,99	141	61,7	1161,8	673	1163,4	490,4	2,369		6,9	17,4	60,0
7	5,25	4,99	140	62,8	1163,9	675,7	1166,2	490,5	2,373		6,8	17,2	60,6
8	5,25	4,99	140	64,0	1169,3	677,5	1172,2	494,7	2,364		7,2	17,6	59,2
9	5,25	4,99	139	63,8	1169,1	677,4	1171,1	493,7	2,368		7,0	17,4	59,8

Tablo 2.15. Ellibeş darbe ile sıkıştırılan Marshall briketlerin deney öncesi değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb											
1	5,25	4,99	139	63,43	1167,6	677,1	1169,3	492,2	2,372	2.546	6,8	17,3	60,5
2	5,25	4,99	140	62,37	1157,8	671,5	1158,8	487,3	2,376		6,7	17,1	61,0
3	5,25	4,99	140	64,17	1171,9	681,6	1174,2	492,6	2,379		6,6	17,0	61,5
4	5,25	4,99	141	64,57	1178,8	683,1	1180,5	497,4	2,370		6,9	17,3	60,1
5	5,25	4,99	140	62,10	1161,8	673,9	1163,3	489,4	2,374		6,8	17,2	60,7
6	5,25	4,99	141	62,77	1157,7	673,4	1159,4	486,0	2,382		6,4	16,9	61,9
7	5,25	4,99	142	63,67	1168,5	678,4	1170,6	492,2	2,374		6,8	17,2	60,7
8	5,25	4,99	141	62,53	1157,5	672,2	1159,2	487,0	2,377		6,6	17,1	61,1
9	5,25	4,99	141	62,37	1157,2	673,8	1159,0	485,2	2,385		7,0	17,4	59,8

Tablo 2.16. Altmış darbe ile sıkıştırılan Marshall briketlerin deney öncesi değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb	Wk	ORT	A	C	B	B-C	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf
1	5,25	4,99	140	63,83	1173,1	685,4	1174,8	489,4	2,397	2.546	5,9	16,4	64,3
2	5,25	4,99	140	62,53	1153,0	673,6	1155,4	481,8	2,393		6,0	16,5	63,7
3	5,25	4,99	139	62,97	1159,1	676,1	1161,3	485,2	2,389		6,2	16,7	63,0
4	5,25	4,99	141	61,87	1151,2	671,6	1153,3	481,7	2,390		6,1	16,6	63,2
5	5,25	4,99	141	63,03	1166,4	679,7	1168,6	488,9	2,386		6,3	16,8	62,5
6	5,25	4,99	140	62,37	1156,1	675,9	1158,2	482,3	2,397		5,9	16,4	64,3
7	5,25	4,99	139	62,47	1156,8	673,8	1159,0	485,2	2,384		6,4	16,8	62,3
8	5,25	4,99	140	62,73	1157,5	674,9	1159,4	484,5	2,389		6,2	16,7	63,0
9	5,25	4,99	140	62,27	1156,3	675,3	1157,9	482,6	2,396		5,9	16,4	64,1

Tablo 2.17. Altmışbeş darbe ile sıkıştırılan Marshall briketlerin deney öncesi değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb	Wk	ORT	A	C	B	B-C	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf
1	5,25	4,99	142	62,37	1163,5	681,3	1164,9	483,6	2,406	2.546	5,5	16,1	65,8
2	5,25	4,99	141	64,27	1170,7	684,6	1172,4	487,8	2,400		5,7	16,3	64,8
3	5,25	4,99	142	62,47	1179,1	689,4	1181,3	491,9	2,397		5,9	16,4	64,3
4	5,25	4,99	140	63,87	1174,7	687,4	1176,2	488,8	2,403		5,6	16,2	65,3
5	5,25	4,99	140	62,27	1163,4	681,4	1165,5	484,1	2,403		5,6	16,2	65,3
6	5,25	4,99	141	64,57	1177,6	689,7	1179,1	489,4	2,406		5,5	16,1	65,8
7	5,25	4,99	139	62,43	1167,2	681,2	1168,8	487,6	2,394		6,0	16,5	63,8
8	5,25	4,99	139	61,87	1157,2	676,2	1158,6	482,4	2,399		5,8	16,3	64,6
9	5,25	4,99	140	64,67	1168,1	684,8	1169,9	485,1	2,408		5,4	16,0	66,1

Tablo 2.18. Yetmiş darbe ile sıkıştırılan Marshall briketlerin deney öncesi değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb	Wk	ORT	A	C	B	B-C	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf
1	5,25	4,99	140	62,97	1166,0	682,7	1168,3	485,6	2,401	2.546	5,7	16,3	65,0
2	5,25	4,99	140	62,57	1164,5	683,1	1166,1	483,0	2,411		5,3	15,9	66,7
3	5,25	4,99	139	62,77	1169,0	686,9	1170,8	483,9	2,416		5,1	15,7	67,5
4	5,25	4,99	141	64,17	1170,3	685,4	1172,6	487,2	2,402		5,7	16,2	65,1
5	5,25	4,99	141	63,57	1168,2	685,0	1170,3	485,3	2,407		5,5	16,0	66,0
6	5,25	4,99	142	63,70	1169,6	687,2	1172,5	485,3	2,410		5,3	15,9	66,5
7	5,25	4,99	139	64,10	1171,9	686,5	1174,2	487,7	2,403		5,6	16,2	65,3
8	5,25	4,99	140	63,87	1169,8	685,7	1171,5	485,8	2,408		5,4	16,0	66,1
9	5,25	4,99	140	63,80	1167,4	685,6	1169,6	484,0	2,412		5,3	15,9	66,8

Tablo 2.19. Yetmişbeş darbe ile sıkıştırılan Marshall briketlerin deney öncesi değerleri

Briket No	Bitüm Yüzdesi (gr)		Sıcaklık	Briket yüksekliği (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Pratik Özgül Ağırlık	Max Teorik Özgül Ağırlık	Boşluk %	VMA %	Asfaltla Dolu Boşluk %
	Wa	Wb											
1	5,25	4,99	142	63,07	1166,9	692,1	1170,1	478,0	2,441	2.546	4,1	14,9	72,3
2	5,25	4,99	141	62,73	1163,7	690,2	1165,8	475,6	2,447		3,9	14,7	73,4
3	5,25	4,99	141	62,97	1164,8	696,2	1171,0	474,8	2,453		3,6	14,4	74,8
4	5,25	4,99	140	63,87	1172,0	696,6	1175,2	478,6	2,449		3,8	14,6	73,8
5	5,25	4,99	139	63,47	1170,1	695,5	1171,9	476,4	2,456		3,5	14,3	75,4
6	5,25	4,99	141	62,27	1160,2	688,5	1163,6	475,1	2,442		4,1	14,8	72,5
7	5,25	4,99	140	63,17	1166,1	692,7	1171,0	478,3	2,438		4,2	15,0	71,7
8	5,25	4,99	140	62,97	1163,5	689,4	1165,5	476,1	2,444		4,0	14,8	72,8
9	5,25	4,99	141	63,67	1170,0	694,7	1172,4	477,7	2,449		3,8	14,6	73,9

3. BULGULAR ve İRDELEME

3.1. MARSHALL ORANINA AİT BULGULAR VE İRDELEMELER

Marshall tokmağı ile 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 darbe vurularak sıkıştırılmış asfalt briketlerinin, Marshall stabilite cihazında deney tabi tutulduktan sonraki akma ve stabilite değerleri Tablo3.1.-Tablo3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kırk beş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü TSE-3720	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	62,2	45	1120	1,030	1154	1,7
2	62,0		1110	1,038	1152	1,65
3	63,5		1143	1,000	1143	1,8
4	63,2		1135	1,008	1144	1,8
5	61,8		1100	1,043	1147	1,85
6	62,0		1110	1,038	1152	1,6
7	63,7		1155	0,995	1149	1,6
8	63,3		1145	1,005	1151	1,8
9	63,6		1150	0,998	1148	1,7
Ortalama			Stabilite/ Akma=656,00		1149	1,72

Tablo 3.2. Elli darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket Yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü TSE-3720	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	62,9	50	1336	1,015	1356	2,5
2	61,8		1302	1,043	1358	2,30
3	62,5		1315	1,025	1348	2,3
4	62,6		1320	1,023	1350	2,4
5	61,5		1300	1,053	1369	2,45
6	61,7		1300	1,046	1360	2,6
7	62,8		1327	1,018	1351	2,5
8	64,0		1370	0,988	1354	2,5
9	63,8		1365	0,993	1355	2,4
Ortalama			Stabilite/ Akma= 543,74		1354	2,44

Tablo 3.3. Ellibeş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket Yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü TSE-3720	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	63,43	55	1495	1,003	1499	3,0
2	62,37		1475	1,028	1516	3,1
3	64,17		1515	0,983	1489	2,9
4	64,57		1540	0,973	1498	3,0
5	62,10		1465	1,035	1516	2,9
6	62,77		1485	1,018	1512	3,0
7	63,67		1500	0,995	1493	3,1
8	62,53		1470	1,025	1507	3,1
9	62,37		1460	1,028	1501	3,0
Ortalama			Stabilite/ Akma= 494,65		1504	3.0

Tablo 3.4. Altmış darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket Yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü TSE-3720	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	63,83	60	1665	0,993	1653	3,9
2	62,53		1630	1,025	1671	3,7
3	62,97		1660	1,013	1682	3,7
4	61,87		1620	1,040	1685	3,8
5	63,03		1662	1,013	1684	3,8
6	62,37		1630	1,028	1676	3,7
7	62,47		1630	1,025	1671	3,8
8	62,73		1645	1,020	1678	3,9
9	62,27		1635	1,030	1684	3,9
Ortalama			Stabilite/ Akma= 432,07		1676	3.80

Tablo 3.5. Altmışbeş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket Yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü TSE-3720	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	62,37	65	1650	1,028	1696	4,3
2	64,27		1740	0,980	1705	4,4
3	62,47		1660	1,025	1702	4,3
4	63,87		1720	0,990	1703	4,4
5	62,27		1645	1,030	1694	4,6
6	64,57		1750	0,973	1703	4,6
7	62,43		1655	1,028	1701	4,6
8	61,87		1635	1,040	1700	4,6
9	64,67		1750	0,970	1698	4,5
Ortalama			Stabilite/ Akma= 377,30		1700	4.48

Tablo 3.6. Yetmiş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket Yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	62,97	70	1620	1,013	1641	3,7
2	62,57		1595	1,023	1632	3,5
3	62,77		1600	1,018	1629	3,5
4	64,17		1650	0,983	1622	3,6
5	63,57		1630	0,998	1627	3,5
6	63,70		1635	0,995	1627	3,7
7	64,10		1660	0,985	1635	3,6
8	63,87		1650	0,990	1634	3,8
9	63,80		1640	0,993	1629	3,7
Ortalama			Stabilite/ Akma= 450.31		1631	3.62

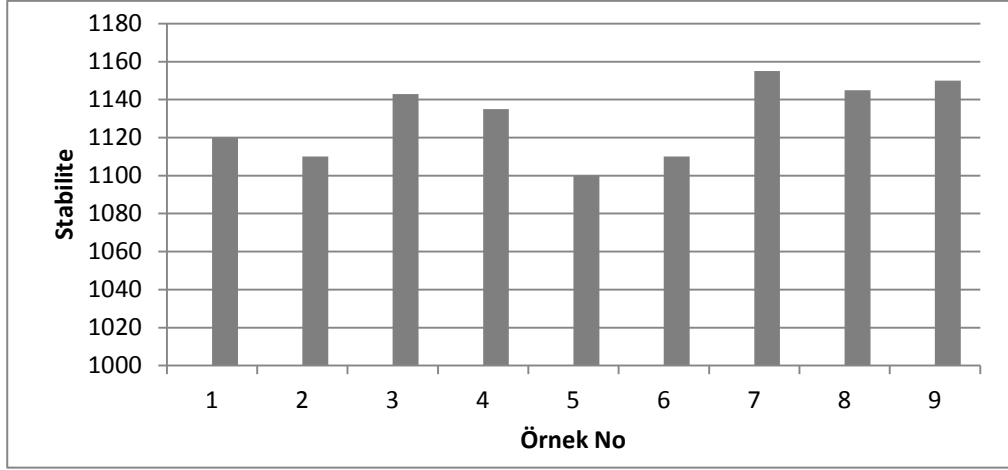
Tablo 3.7. Yetmişbeş darbe ile sıkışan briketlerin stabilite ve akma değerleri

Briket No	Briket Yüksekliği (mm)	Darbe Sayısı	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü	Düzeltilmiş stabilite (kg)	Akma (mm)
	ORT					
1	63,07	75	1533	1,010	1548	3,42
2	62,73		1528	1,020	1559	3,35
3	62,97		1535	1,013	1555	3,35
4	63,87		1565	0,990	1549	3,4
5	63,47		1555	1,000	1555	3,2
6	62,27		1525	1,030	1571	3,2
7	63,17		1542	1,008	1554	3,45
8	62,97		1536	1,013	1556	3,4
9	63,67		1567	0,995	1559	3,25
Ortalama			Stabilite/ Akma= 462,56		1556	3.34

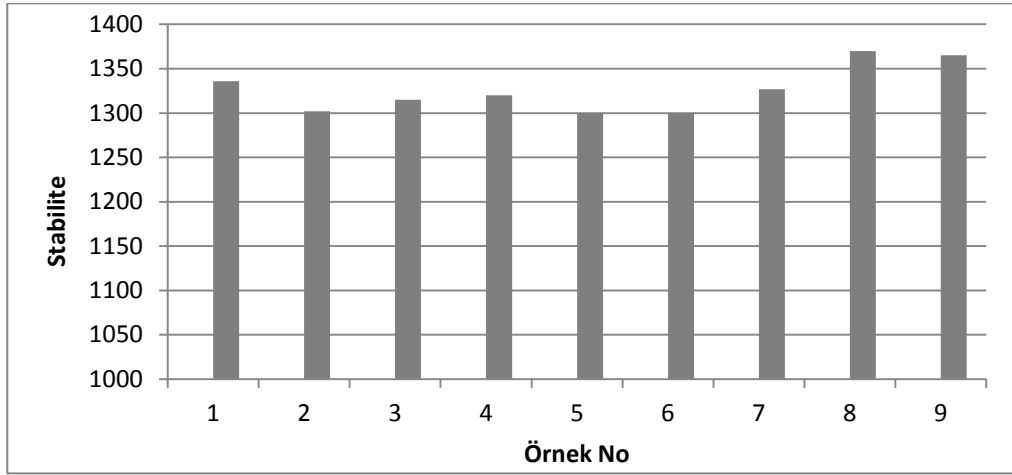
3.1.1. Farklı Oranlarda Sıkıştırılan Briketlerin Stabilite ve Akma Değerleri

Farklı darbe sayısı ile sıkıştırılmış briketlerin stabilite, akma ve stabilite/akma değerleri sonuçları ve Tablo 3.1.-3.7.'den yararlanılarak şekillerle Şekil 3.1.-Şekil 3.24. ayrıca gösterilmiştir.

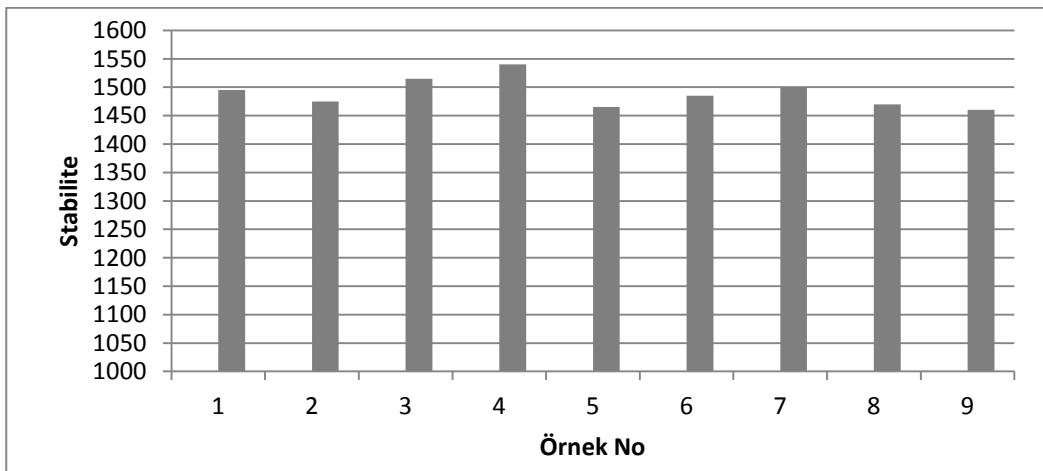
Farklı darbelerle sıkıştırma işlemine tabi tutulmuş olan briketlerin stabilite değerlerine bakıldığında (Şekil 3.8.) altmışbeş darbe ile sıkıştırma işleminde stabilitenin en yüksek değerleri verdiği görülmektedir. Yine akma değerlerine bakıldığında (Şekil 3.16.) altmışbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerde akma oranının en yüksek olduğu görülmektedir. Stabilite/ Akma oranlarına bakıldığında (Şekil 3.24.) ise en küçük değerleri altmışbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin verdiği görülmektedir.



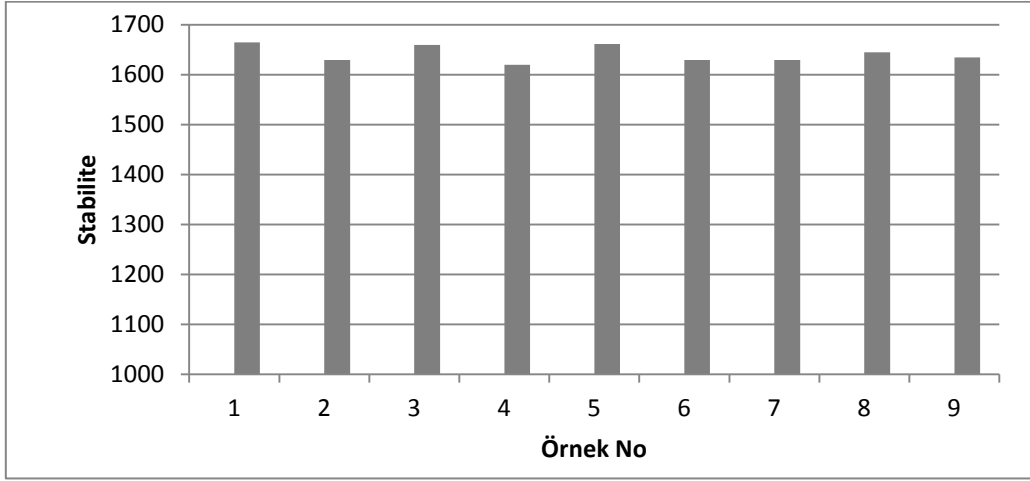
Şekil 3.1. Kırkbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri



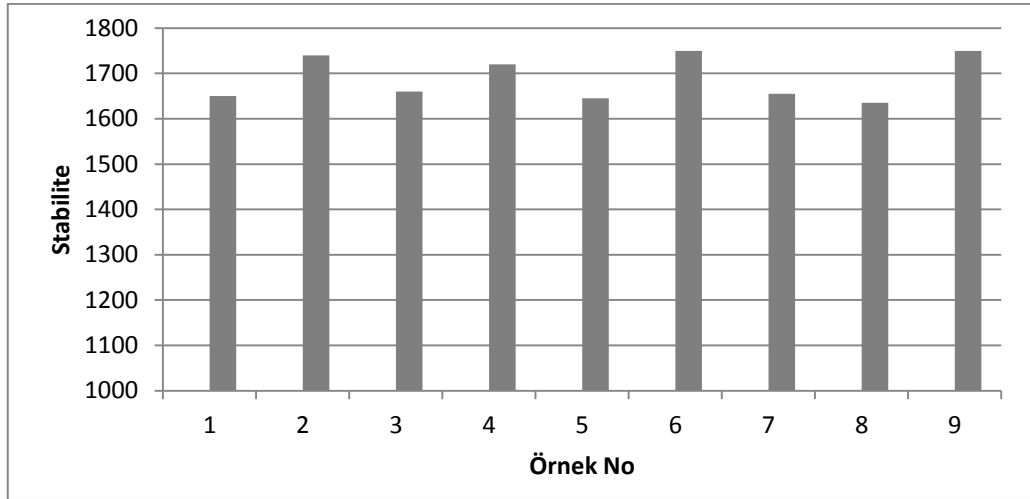
Şekil 3.2. Elli darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri



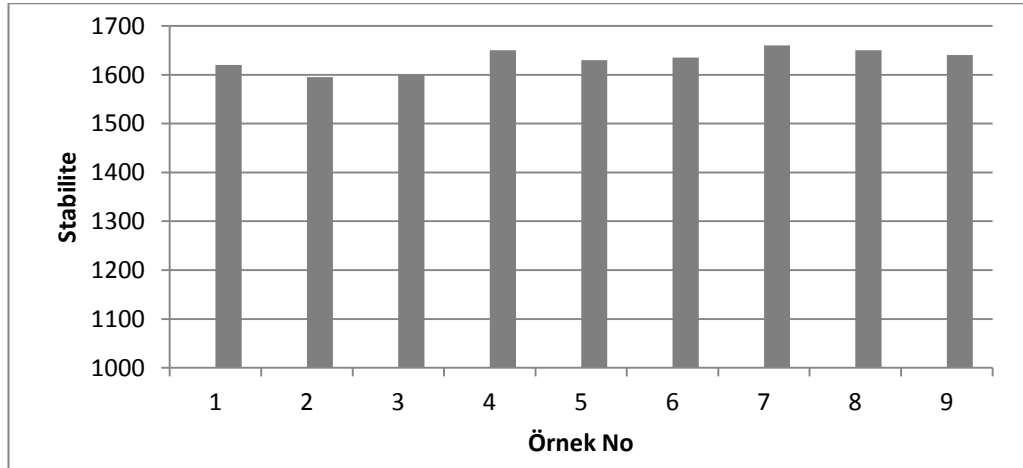
Şekil 3.3. Ellibeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri



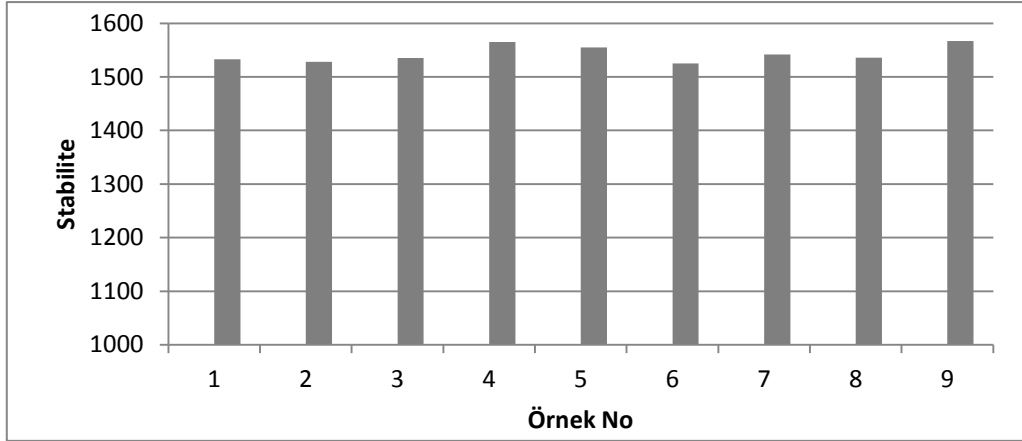
Şekil 3.4. Altmış darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri.



Şekil 3.5. Altmışbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri.

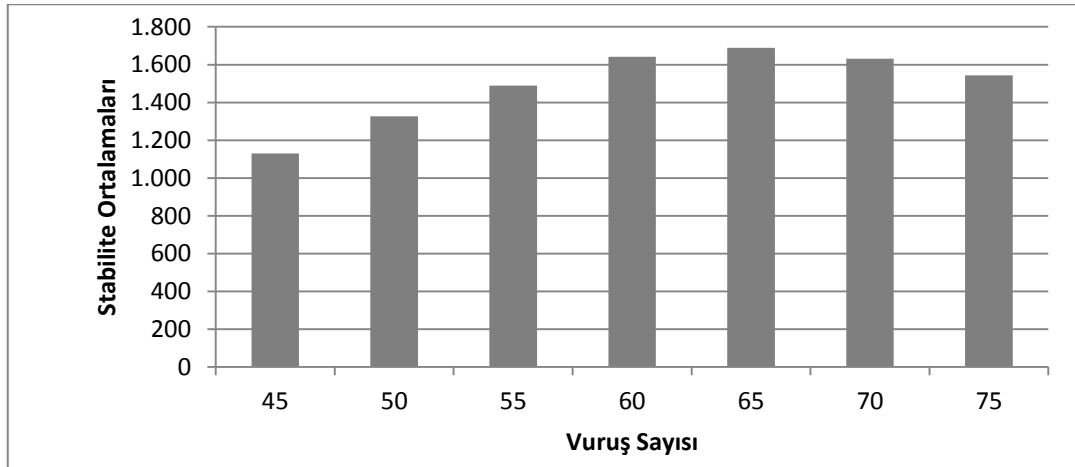


Şekil 3.6. Yetmiş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri



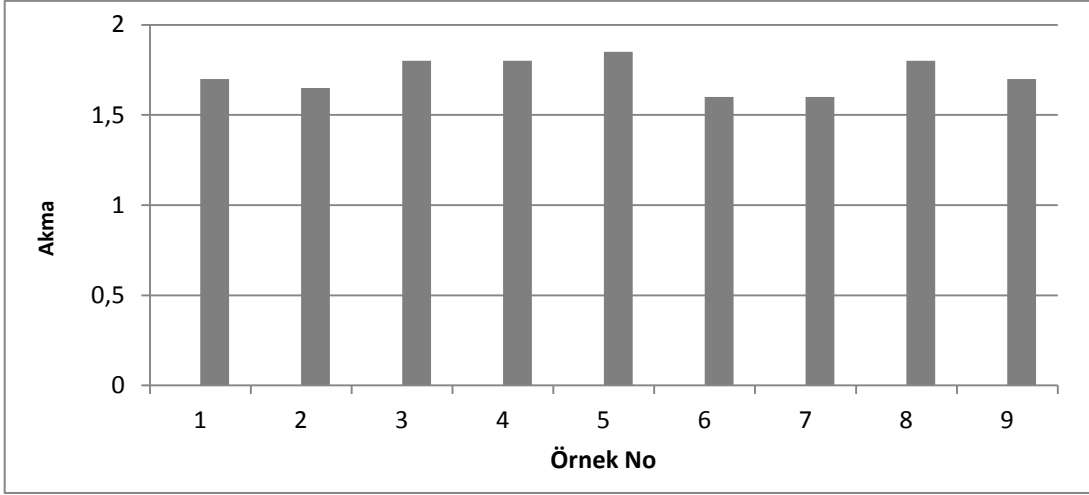
Şekil 3.7. Yetmişbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri.

Farklı sıkıştırma enerjileriyle sıkıştırılan briketlerin stabilite değerlerinin ortalamaları okunarak Şekil 3.8.'de verilmiştir.

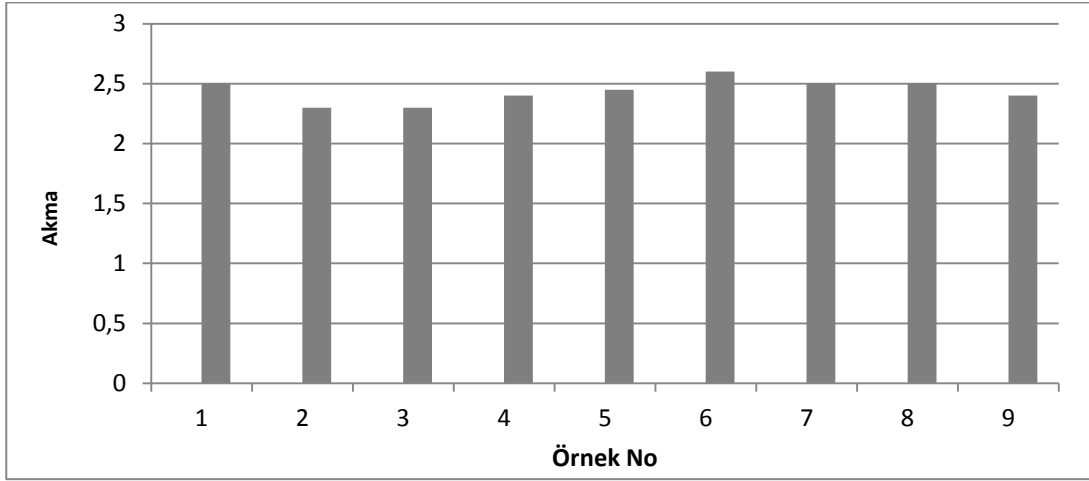


Şekil 3.8. Farklı darbelerle sıkıştırılan briketlerin stabilite değerleri ortalamaları.

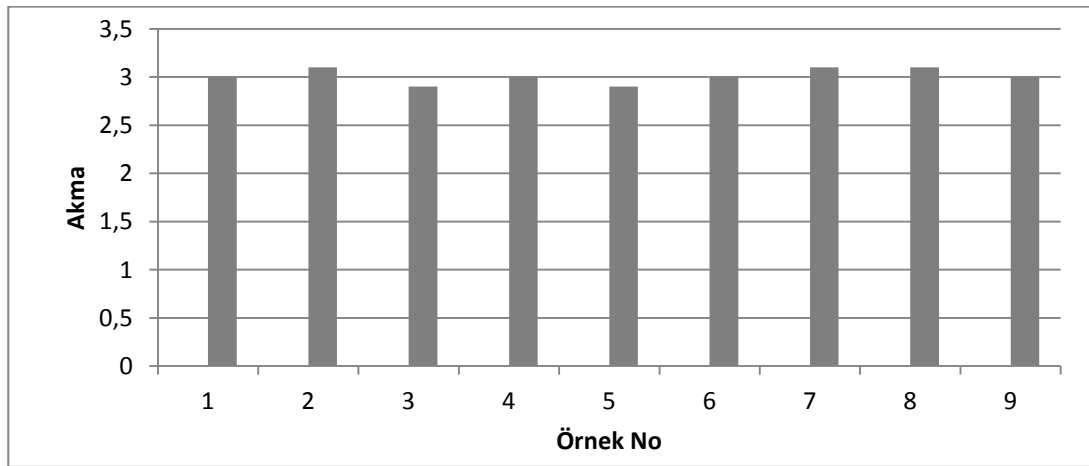
Şekil 3.8 incelendiğinde kırkbeş darbe ile sıkıştırılan karışımların minimum stabilite değerini verdiği, buna karşın altmışbeş darbe ile sıkıştırılan karışımların ise en büyük stabilite değerini verdiği görülmüştür. Bununla birlikte altmış ve yetmiş darbe ile sıkıştırılan karışımların stabilite değerlerinde altmışbeş darbe ile sıkıştırılan karışımların stabilite değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Stabilite değerleri ortalama olarak küçükten büyüğe doğru sıraladığında ise, 45 darbeli, 50 darbeli, 55 darbeli, 75 darbeli, 70 darbeli, 60 darbeli ve 65 darbeli karışımlar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmaktadır.



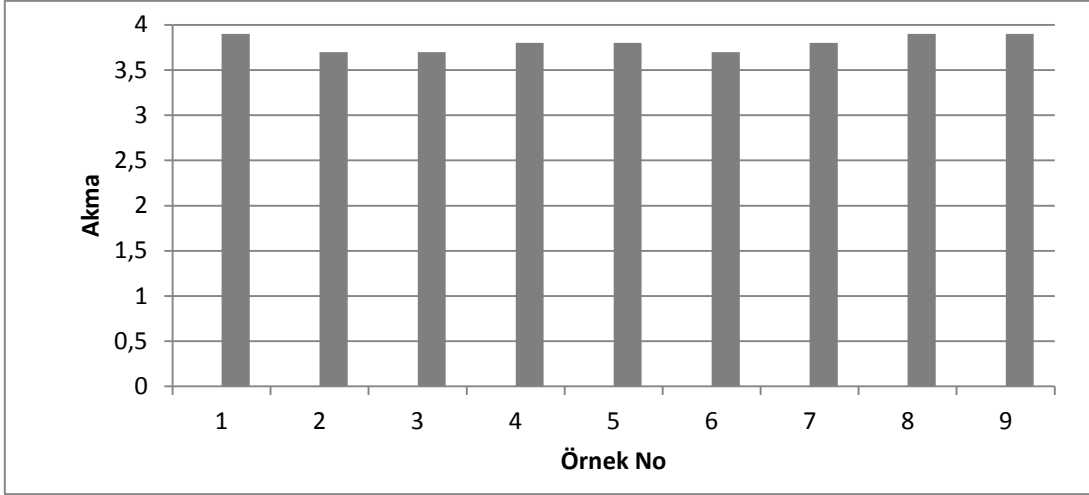
Şekil 3.9. Kırkbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri.



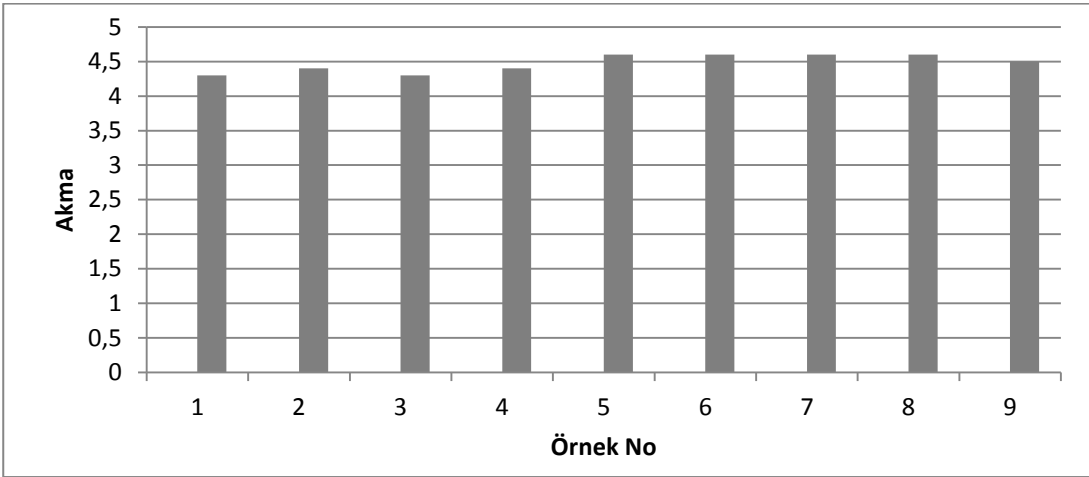
Şekil 3.10. Elli darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri



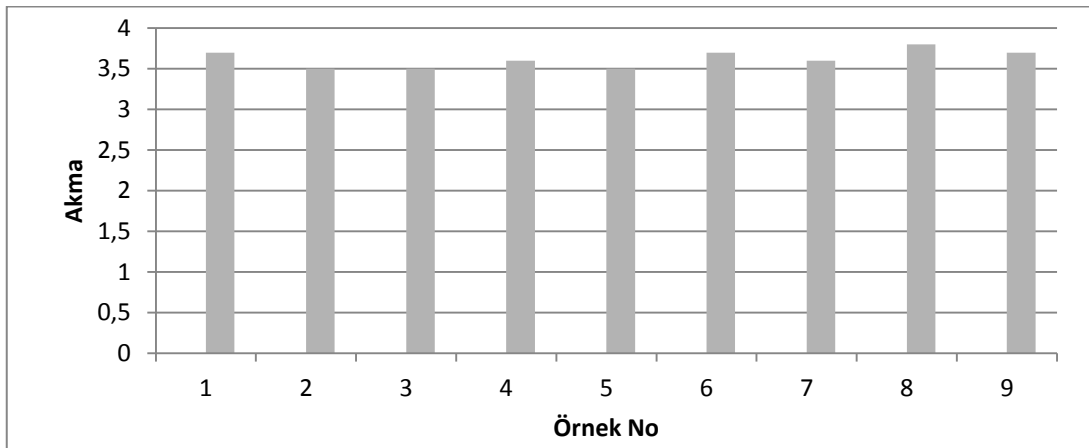
Şekil 3.11. Ellibeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri.



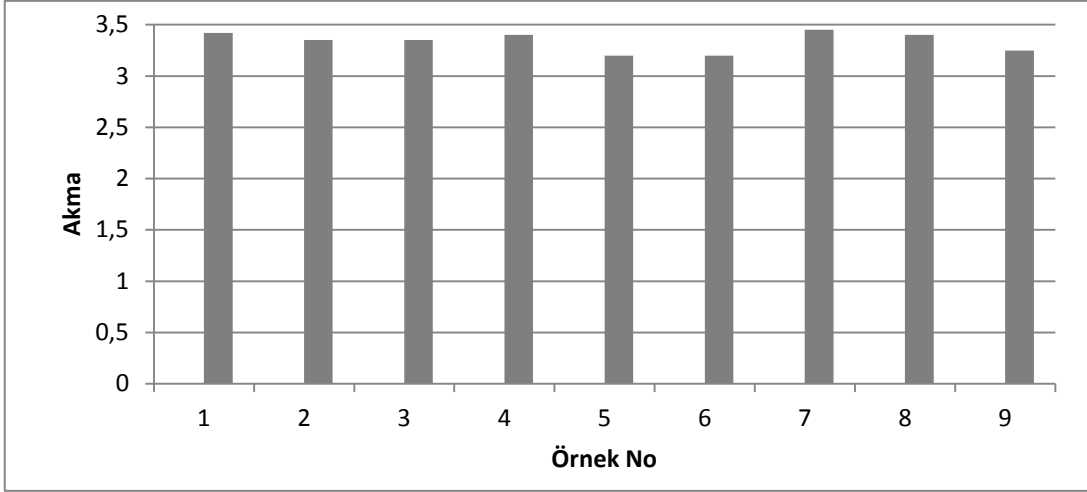
Şekil 3.12. Altmış darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri.



Şekil 3.13. Altmışbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri.

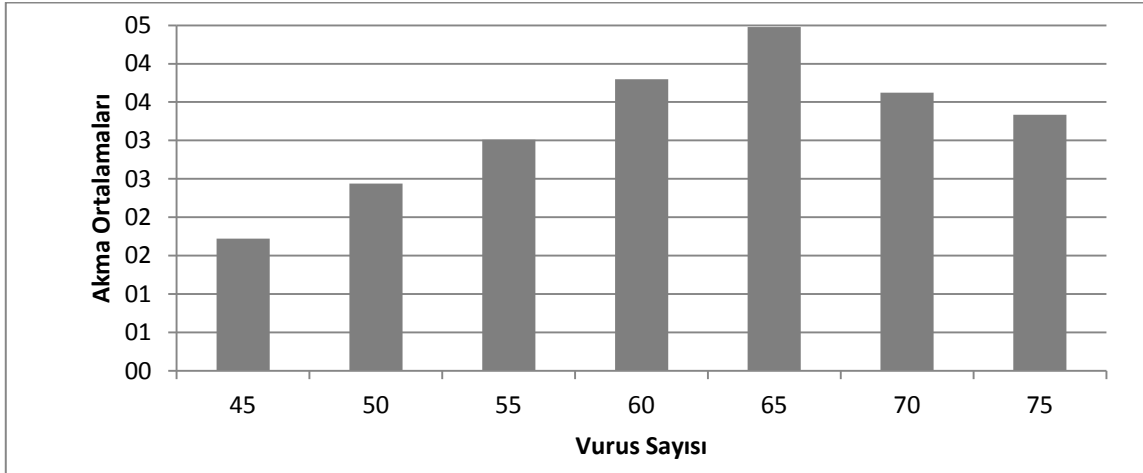


Şekil 3.14. Yetmiş darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri.



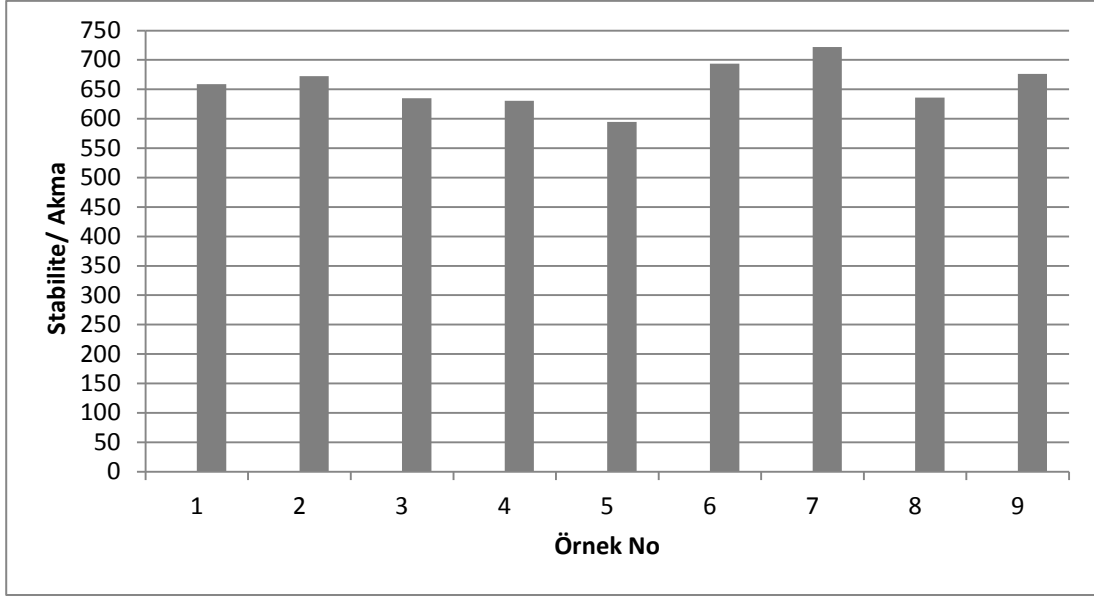
Şekil 3.15. Yetmişbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin akma değerleri.

Farklı sıkıştırma enerjileriyle sıkıştırılan briketlerin akmalarının ortalamaları okunarak Şekil 3.16.'de verilmiştir.

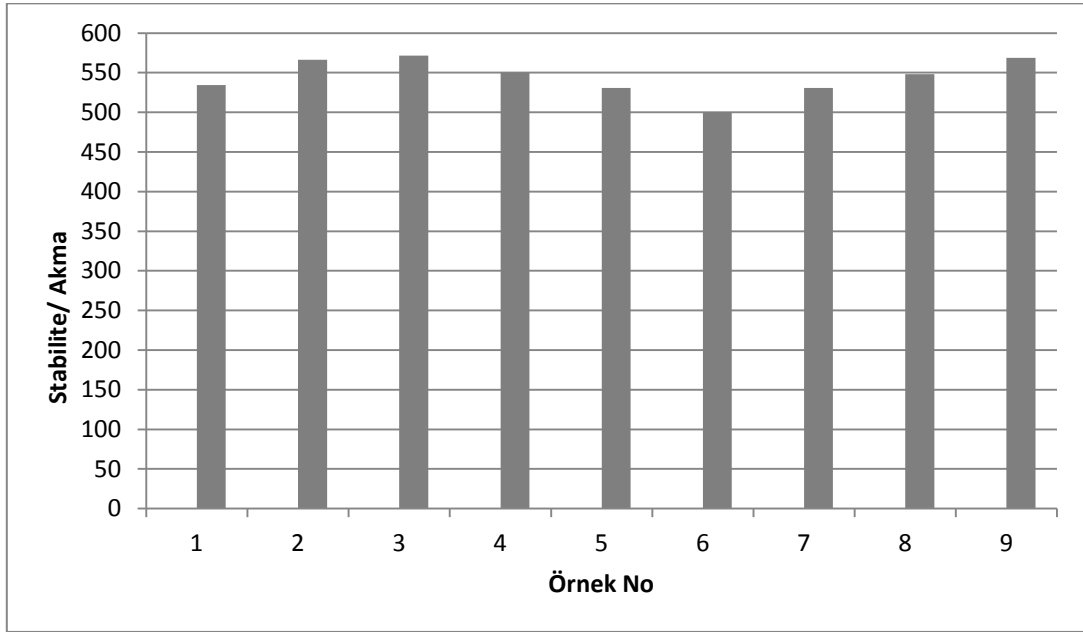


Şekil 3.16. Farklı darbelerle sıkıştırılan briketlerin akma değerleri ortalamaları.

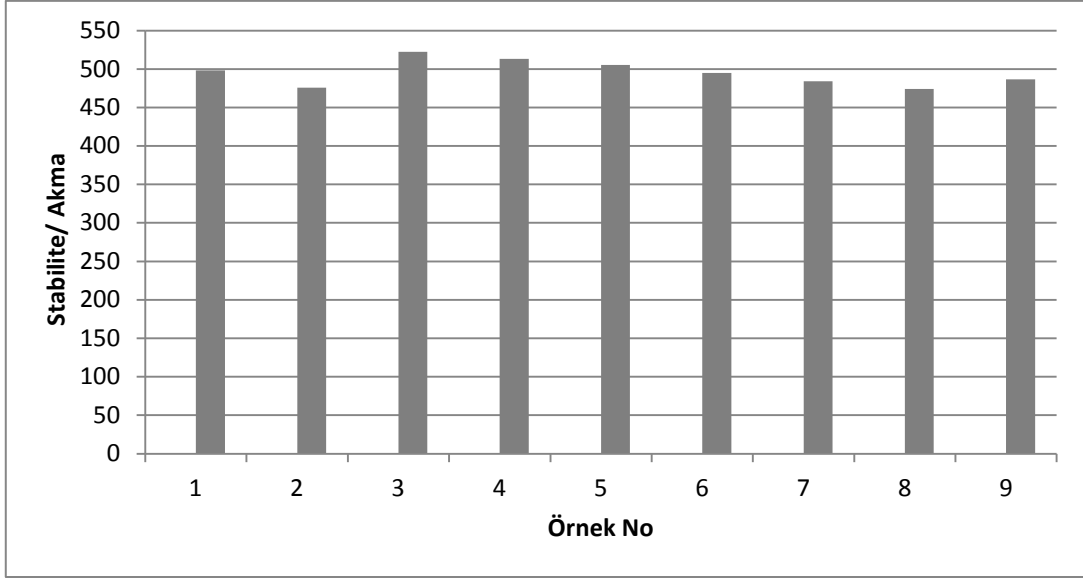
Şekil 3.16. incelendiğinde kırkbeş darbe ile sıkıştırılan karışımların minimum akma değerini verdiği, buna karşın altmışbeş darbe ile sıkıştırılan karışımların ise en büyük akma değerini verdiği görülmüştür. Bununla birlikte altmış ve yetmiş darbe ile sıkıştırılan karışımların akma değerlerinde birbirine yakın olduğu görülmüştür. Akma değerleri ortalama olarak küçükten büyüğe doğru sıraladığında ise, 45 darbeleri, 50 darbeleri, 55 darbeleri, 75 darbeleri, 70 darbeleri, 60 darbeleri ve 65 darbeleri karışımlar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmaktadır.



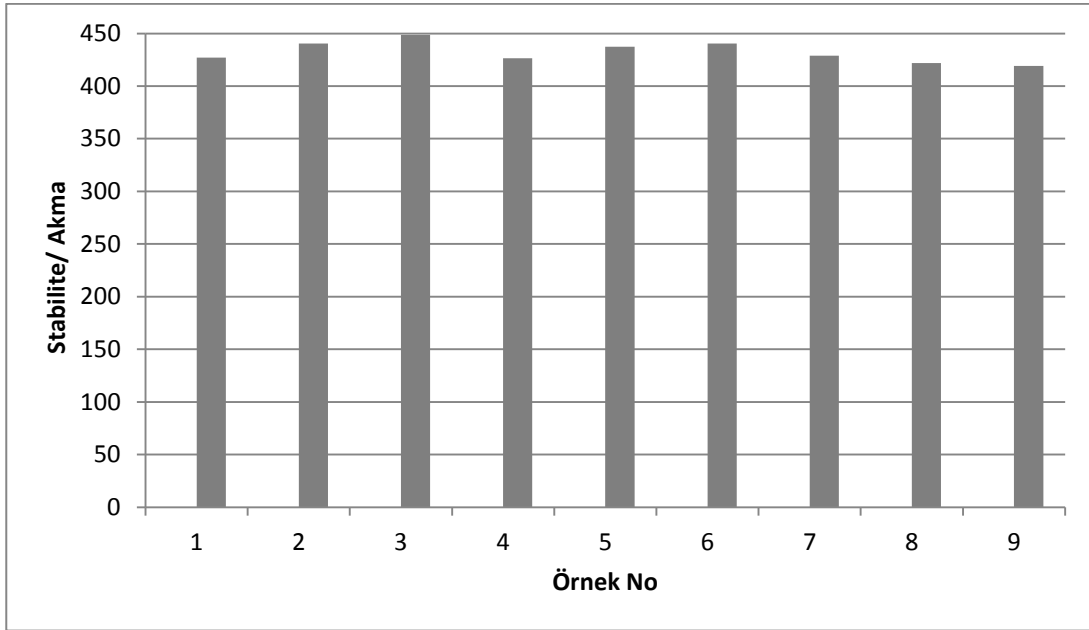
Şekil 3.17.. Kırkbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.



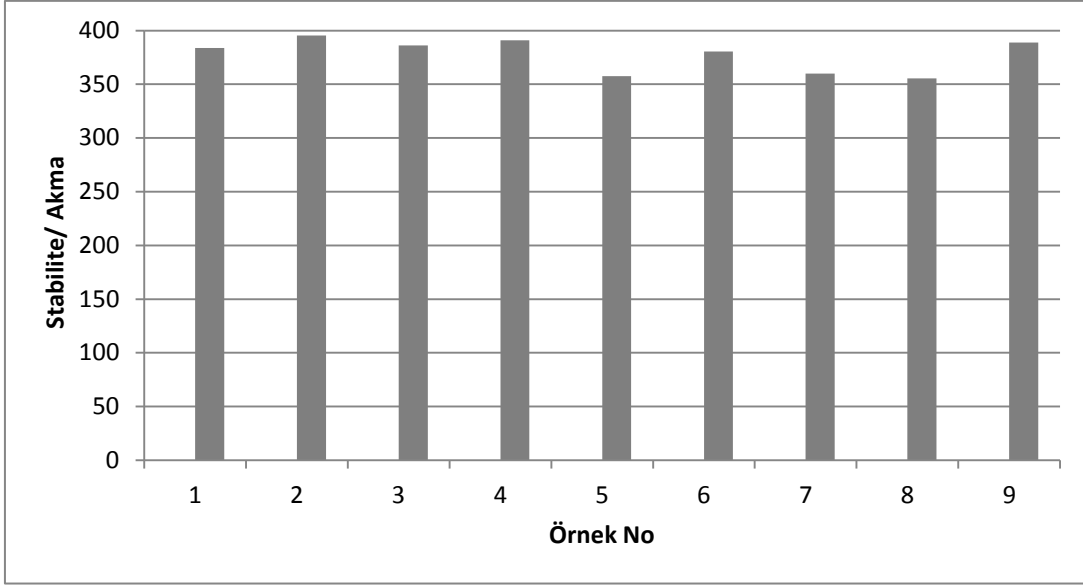
Şekil 3.18. Elli darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.



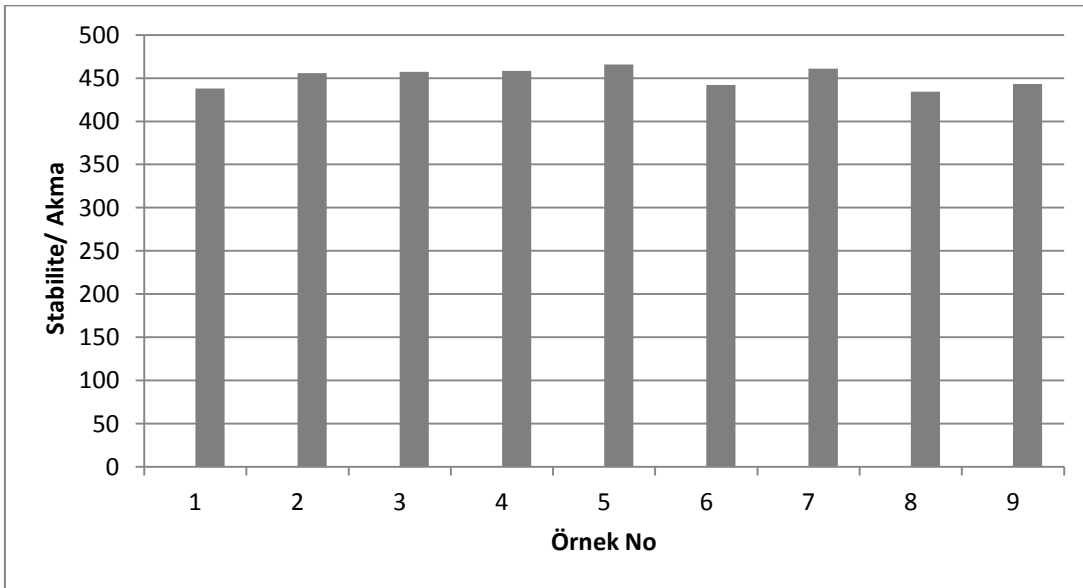
Şekil 3.19. Ellibeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.



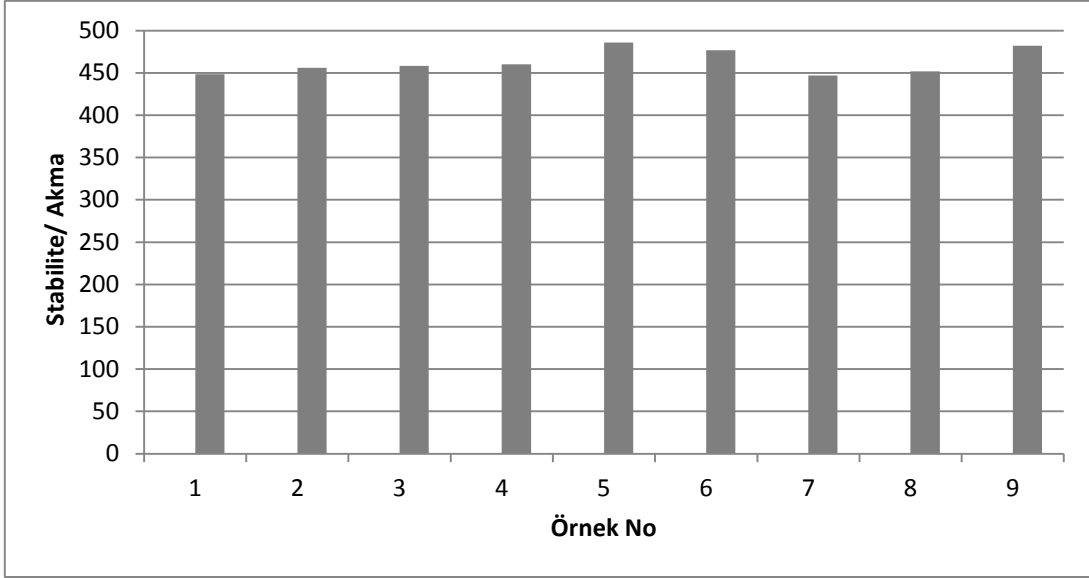
Şekil 3.20. Altmış darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.



Şekil 3.21. Altmışbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.

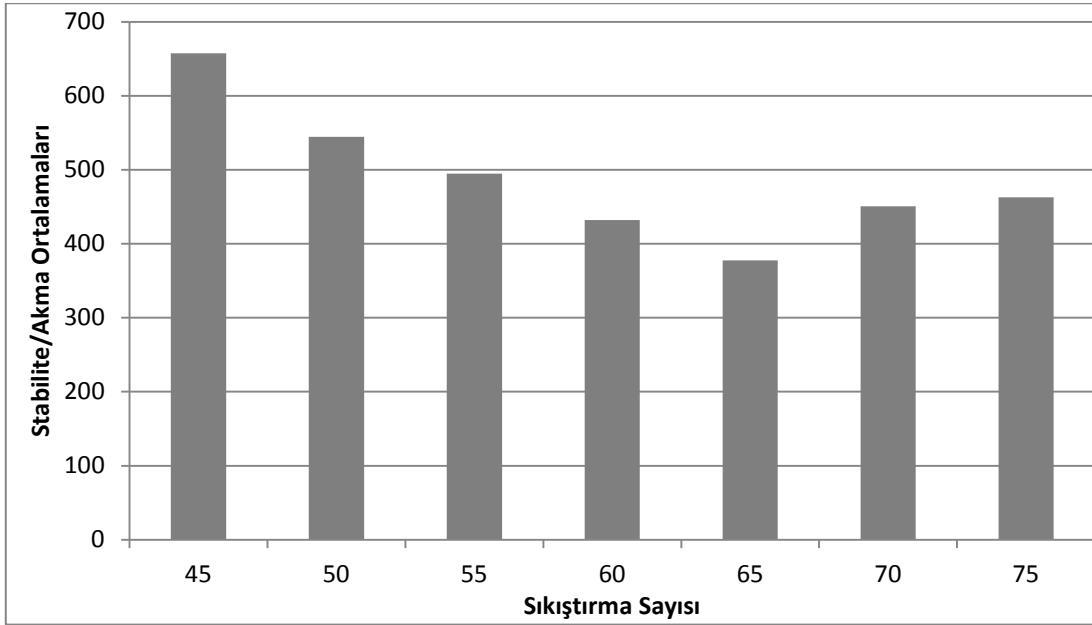


Şekil 3.22. Yetmiş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.



Şekil 3.23. Yetmişbeş darbe ile sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma değerleri.

Farklı sıkıştırma enerjileriyle sıkıştırılan briketlerin stabilite/akma ortalamaları okunarak Şekil 3.24.'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Farklı darbelerle sıkıştırılan briketlerin stabilite/ akma ortalama değerleri.

Şekil 3.24. incelendiğinde altmış beş darbe ile sıkıştırılan karışımların minimum stabilite/akma değerini verdiği, buna karşın kırkbeş darbe ile sıkıştırılan karışımların ise en

büyük stabilite/akma değerini verdiği görülmüştür. Bununla birlikte altmış ve yetmiş darbe ile sıkıştırılan karışımların stabilite/akma değerlerinde birbirine yakın olduğu görülmüştür. Aynı durum yetmişbeş ve ellibeş darbe ile sıkıştırılan karışımlar içinde söylenebilir. Stabilite/akma değerleri ortalama olarak küçükten büyüğe doğru sıraladığında ise, 65 darbeli, 60 darbeli, 70 darbeli, 75 darbeli, 55 darbeli, 50 darbeli ve 45 darbeli karışımlar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmaktadır.

3.2. Regresyon Analizine Ait Bulgular ve İrdemeler

Bu çalışmanın amacı; farklı sıkıştırma enerjileri (45-50-55-60-65-70-75 vuruş ile sıkıştırılan) ile üretilen numunelerin 7 gruptan ve her gruptan 8 adet olarak alınan 56 numunenin Vuruş sayısı, Ortalama Yükseklik (H_{ort}), Pratik Özgül Ağırlık (D_p), Asfaltla Dolu Boşluk ($\%V_f$) değerleri kullanılarak her bir değer için ayrı ayrı Stabilite/Akma değerlerini veren regresyon grafikleri ve formülleri, ve tüm değerler kullanılarak Stabilite/Akma değerlerini veren korelasyon formülünü oluşturmak, oluşturulan bu formüllerde aynı şekilde üretilen ve test için ayrılan 7 gruptan ve her gruptan 1 adet olarak alınan 7 adet numunenin Vuruş sayısı, H_{ort} , D_p , V_f değerleri yerine koyularak bulunan Stabilite/Akma değerlerinin, gerçek Stabilite/Akma değerleri ile olan ilişkisini incelemek ve hata oranını belirlemektir.

Bu amaçla yapılan çalışmalarda öncelikle farklı sıkıştırma enerjisi ile üretilen her gruptan bir numune test numunesi olarak seçilmiştir. Geri kalan numunelerin Stabilite/Akma değerleri numunelerin Vuruş sayısı, H_{ort} , D_p , V_f değerleri ile Regresyon yöntemi kullanılarak ayrı ayrı formülize edilmiş ve elde edilen formülde test için ayrılan numunelerin değerleri kullanılarak tahmini Stabilite/Akma değerleri bulunmuştur. Bulunan bu tahmini Stabilite/Akma değerleri ile gerçek Stabilite/Akma değerleri karşılaştırılmış ve hata oranları bulunmuştur.

Tablo 3.8. Eğitim seti değerleri

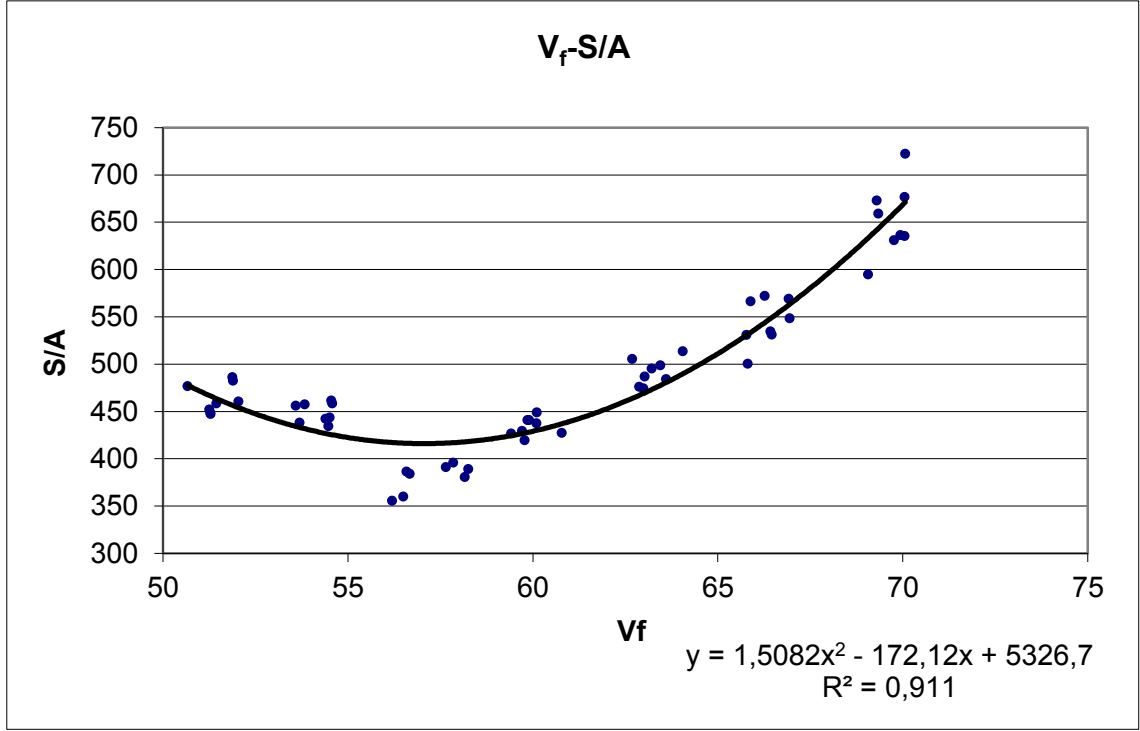
Numune No	Vuruş Sayısı	H _{ort}	D _p	V _f	Stabilite/Akma
1	45	62,2	2,359	69,3	658,8
2	45	62,0	2,364	69,3	672,7
3	45	63,5	2,368	70,1	635,0
4	45	63,2	2,354	69,8	630,6
5	45	61,8	2,353	69,1	594,6
6	45	63,7	2,361	70,1	721,9
7	45	63,3	2,365	69,9	636,1
8	45	63,6	2,363	70,1	676,5
9	50	62,9	2,368	66,4	534,4
10	50	61,8	2,371	65,9	566,1
11	50	62,5	2,373	66,3	571,7
12	50	61,5	2,377	65,8	530,6
13	50	61,7	2,369	65,8	500,0
14	50	62,8	2,373	66,5	530,8
15	50	64,0	2,364	66,9	548,0
16	50	63,8	2,368	66,9	568,8
17	55	63,43	2,372	63,4	498,3
18	55	62,37	2,376	62,9	475,8
19	55	64,57	2,370	64,1	513,3
20	55	62,10	2,374	62,7	505,2
21	55	62,77	2,382	63,2	495,0
22	55	63,67	2,374	63,6	483,9
23	55	62,53	2,377	63,0	474,2
24	55	62,37	2,385	63,0	486,7
25	60	63,83	2,397	60,8	426,9
26	60	62,53	2,393	59,9	440,5
27	60	62,97	2,389	60,1	448,6
28	60	61,87	2,390	59,4	426,3
29	60	63,03	2,386	60,1	437,4
30	60	62,37	2,397	59,9	440,5
31	60	62,47	2,384	59,7	428,9
32	60	62,27	2,396	59,8	419,2
33	65	62,37	2,406	56,7	383,7
34	65	64,27	2,400	57,9	395,5
35	65	62,47	2,397	56,6	386,0
36	65	63,87	2,403	57,7	390,9
37	65	64,57	2,406	58,2	380,4
38	65	62,43	2,394	56,5	359,8

Tablo 3.8.nin devamı

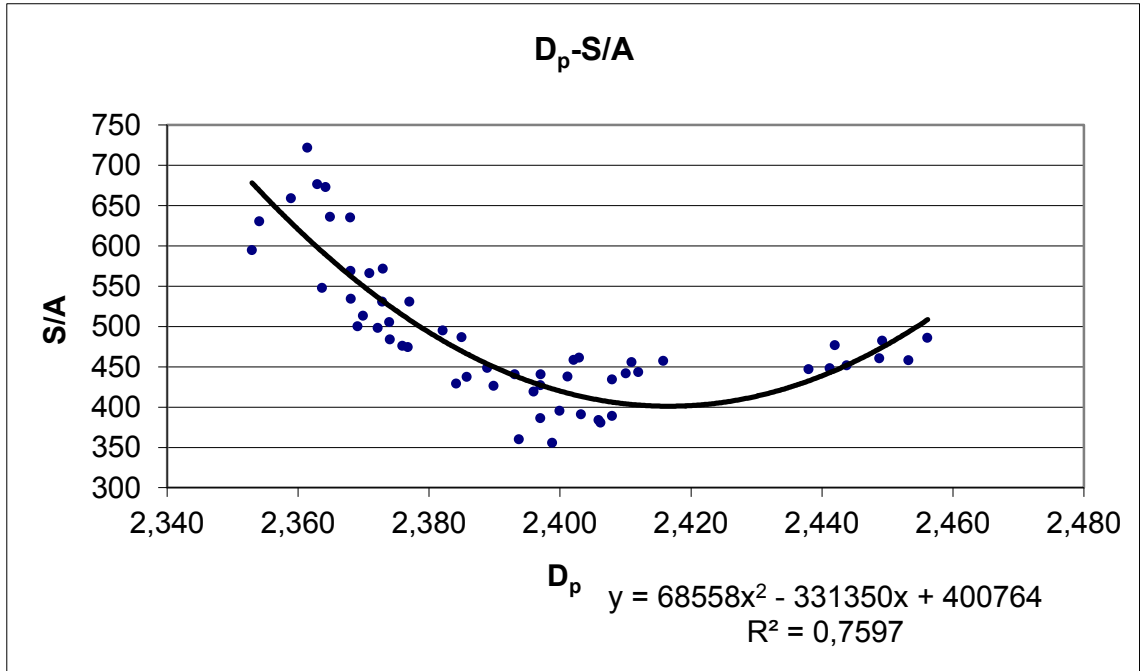
39	65	61,87	2,399	56,2	355,4
40	65	64,67	2,408	58,3	388,9
41	70	62,97	2,401	53,7	437,8
42	70	62,57	2,411	53,6	455,7
43	70	62,77	2,416	53,8	457,1
44	70	64,17	2,402	54,6	458,3
45	70	63,70	2,410	54,4	441,9
46	70	64,10	2,403	54,6	461,1
47	70	63,87	2,408	54,5	434,2
48	70	63,80	2,412	54,5	443,2
49	75	63,07	2,441	51,3	448,2
50	75	62,97	2,453	51,4	458,2
51	75	63,87	2,449	52,0	460,3
52	75	63,47	2,456	51,9	485,9
53	75	62,27	2,442	50,7	476,6
54	75	63,17	2,438	51,3	447,0
55	75	62,97	2,444	51,3	451,8
56	75	63,67	2,449	51,9	482,2

Tablo 3.9. Test seti değerleri

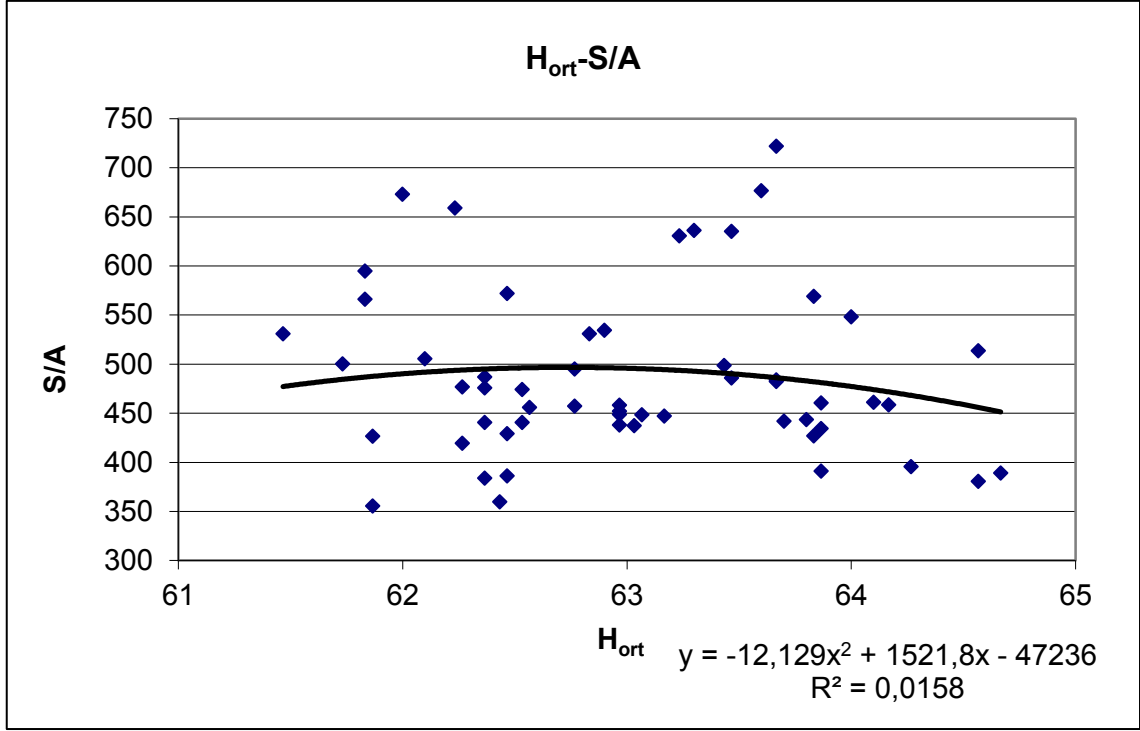
Numune No	Vuruş Sayısı	H _{ort}	D _p	V _f	Stabilite/Akma
1	45	62,0	2,363	69,3	693,8
2	50	62,6	2,371	66,3	550,0
3	55	64,17	2,379	64,0	522,4
4	60	62,73	2,389	60,0	421,8
5	65	62,27	2,403	56,6	357,6
6	70	63,57	2,407	54,3	465,7
7	75	62,73	2,447	51,1	456,1



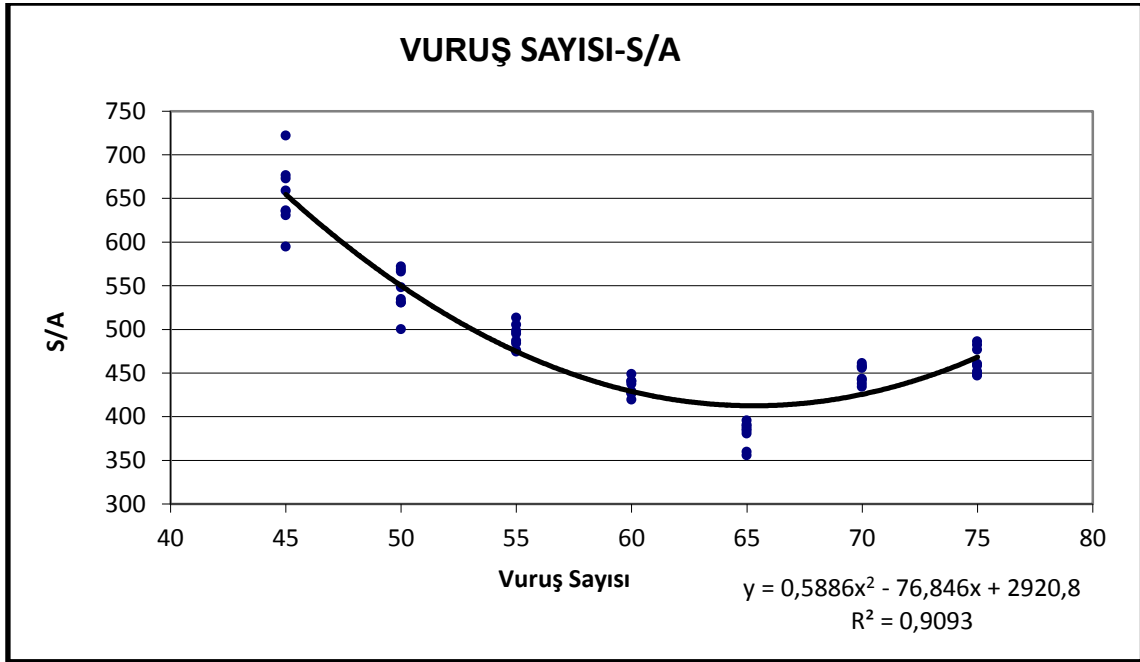
Şekil 3.25. V_f-Stabilite/Akma değerleri grafiği ve Regresyon formülü



Şekil 3.26 D_p-Stabilite/Akma değerleri grafiği ve Regresyon formülü



Şekil 3.27. H_{ort}-Stabilite/Akma değerleri grafiği ve Regresyon formülü



Şekil 3.28. Vuruş Sayısı-Stabilite/Akma değerleri grafiği ve Regresyon formülü

4. SONUÇLAR

V_f -Stabilite/Akma eğitim seti değerleri kullanılarak elde edilen regresyon grafiği ve formülünde test setine ait değerler yerine koyulduğunda bulunan değerler ve hata oranları değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1. V_f değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deneysel sonuçları ve Hata oranları

Numune No	Vuruş Sayısı	V_f	Formül Sonuçları	Deneysel Sonuçları	Hata (%)
1	45	69,3	641,74	693,8	7,50
2	50	66,3	544,57	550,0	0,99
3	55	64,0	487,99	522,4	6,59
4	60	60,0	428,72	421,8	1,64
5	65	56,6	416,37	357,6	16,43
6	70	54,3	427,89	465,7	8,12
7	75	51,1	468,90	456,1	2,80

D_p -Stabilite/Akma eğitim seti değerleri kullanılarak elde edilen Regresyon grafiği ve formülünde test setine ait değerler yerine koyulduğunda bulunan değerler ve hata oranları değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 4.2. D_p değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deneysel sonuçları ve Hata oranları

Numune No	Vuruş Sayısı	D_p	Formül Sonuçları	Deneysel Sonuçları	Hata (%)
1	45	2,363	599,09	693,8	13,64
2	50	2,371	541,77	550,0	1,50
3	55	2,379	495,97	522,4	5,06
4	60	2,389	451,13	421,8	6,96
5	65	2,403	411,47	357,6	15,06
6	70	2,407	405,32	465,7	12,97
7	75	2,447	461,94	456,1	1,28

H_{ort} -Stabilite/Akma eğitim seti değerleri kullanılarak elde edilen Regresyon grafiği ve formülünde test setine ait değerler yerine koyulduğunda bulunan değerler ve hata oranları değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 4.3. H_{ort} değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deneysel sonuçları ve Hata oranları

Numune No	Vuruş Sayısı	H_{ort}	Formül Sonuçları	Deneysel Sonuçları	Hata (%)
1	45	62,0	492,30	693,8	29,04
2	50	62,6	497,92	550,0	9,47
3	55	64,17	473,36	522,4	9,39
4	60	62,73	498,26	421,8	18,13
5	65	62,27	495,61	357,6	38,59
6	70	63,57	489,85	465,7	5,18
7	75	62,73	498,26	456,1	9,24

Vuruş Sayısı-Stabilite/Akma eğitim seti değerleri kullanılarak elde edilen Regresyon grafiği ve formülünde test setine ait değerler yerine koyulduğunda bulunan değerler ve hata oranları değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 4.4. Vuruş Sayısı değerlerine göre Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deneysel sonuçları ve Hata oranları

Numune No	Vuruş Sayısı	Formül Sonuçları	Deneysel Sonuçları	Hata (%)
1	45	654,	693,8	5,64
2	50	550,00	550,0	0,00
3	55	474,79	522,4	9,12
4	60	429,00	421,8	-1,71
5	65	412,65	357,6	-15,39
6	70	425,72	465,7	8,59
7	75	468,23	456,1	-2,65

Ayrıca bu çalışma kapsamında eğitim setindeki briketlere ait tüm değerler (Vuruş sayısı, H_{ort} , D_p , V_f kullanılarak SPSS 15.0 programında çözülmüş ve tahmini Stabilite/Akma değerini veren korelasyon formülü elde edilmiştir. SPSS 15.0 programı çıktıları Ek.1 ve Ek.2'de verilmiştir.

Programın verdiği değerlerle yazılan formül; $Y = 133,4598 * \text{Vuruş sayısı} - 122,7 * H_{ort} - 1621,5 * D_p + 219,3632 * V_f - 9135,41$ şeklinde elde edilir.

Test briketlerine ait tüm değerler bu formülde yerine konulduğunda elde edilen değerler ve hata oranları;

Tablo 4.5. SPSS 15.0 programından elde edilen formül ile elde edilen Stabilite/Akma değerlerinin Formül sonuçları, Deneysel sonuçları ve Hata oranları

Numune No	Vuruş Sayısı	H _{ort}	D _p	V _f	Formül Sonuçları	Deneysel Sonuçları	Hata (%)
1	45	62,0	2,363	69,3	628,75	693,8	9,37
2	50	62,6	2,371	66,3	558,68	550,0	-1,58
3	55	64,2	2,379	64,0	506,84	522,4	2,98
4	60	62,7	2,389	60,0	455,32	421,8	-7,95
5	65	62,3	2,403	56,6	410,27	357,6	-14,73
6	70	63,6	2,407	54,3	405,03	465,7	13,03
7	75	62,7	2,447	51,1	427,16	456,1	6,35

Farklı sıkıştırma enerjileri (45-50-55-60-65-70-75 vuruş ile sıkıştırılan) ile üretilen numunelerden alınan belirli sayıdaki eğitim seti numunelerinin Vuruş sayısı, H_{ort}, D_p, V_f değişken değerleri kullanılarak her bir değer için ayrı ayrı Stabilite/Akma değerlerini veren regrayon grafikleri ve formülleri belirlendi. Test için ayrılan numunelere ait Vuruş sayısı, H_{ort}, D_p, V_f değişken değerleri elde edilen formüllerde yerine koyularak bulunan Stabilite/Akma değerlerinin gerçek Stabilite/Akma değerleri ile olan ilişkisinin incelenmesi ve hata oranının belirlenmesinin amaçlandığı araştırmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Bütün sıkıştırma enerjilerinde karışımların akma, stabilite ve akma/stabilite değerleri belirlenmiştir. 45 ile 65 darbe arasında sıkıştırmanın artmasıyla akma değerinin de arttığı görülmüştür. Fakat akmadaki yüzde artış azalmaktadır. Yani azalan oranda artış söz konusudur. 65 darbeden sonra ise akma değeri azalan oranda küçülmektedir.

Stabilite değerleri de akmaya benzer olarak 65 darbeye kadar sürekli azalan oranda artmakta olup bu değerden sonra da artan oranda azalmaktadır. En büyük akma ve stabilite değerleri 65 darbeyle sıkıştırılan karışımlarda sırasıyla 4.6 mm ve 1750 kg olarak elde edilmiştir. En küçük akma ve stabilite değerleri de 45 darbe ile sıkıştırılan karışımlarda 1.65 mm ve 1110 kg olarak belirlenmiştir.

Marshall oranı (akma/stabilite) 65 darbe ile sıkıştırılan karışımların minimum stabilite/akma değerini verdiği, buna karşın 45 darbe ile sıkıştırılan karışımların ise en

büyük stabilite/akma değerini verdiği görülmüştür. Bununla birlikte 60 ve 70 darbe ile sıkıştırılan karışımların stabilite/akma değerlerinde birbirine yakın olduğu görülmüştür. Aynı durum 75 ve 55 darbe ile sıkıştırılan karışımlar içinde söylenebilir.

7 farklı sıkıştırma enerjileri ile üretilen briketlerden (her sıkıştırma enerjisi grubundan 8 adet olmak üzere) alınan 56 adet eğitim grubu briketleri kullanılarak elde edilen bağıntılar ve gerçek veriler ile test grubu briketlerine ait değerlerin (her sıkıştırma enerjisi grubundan 1 adet olmak üzere alınan 7 adet) elde edilen bağıntıda yerine koyulması sonucu elde edilen değerler arasındaki R^2 değerleri ve hata oranları tespit edilmiştir.

Asfalt Dolu Boşluk %'si (V_f) ile Marshall Oranı (Stabilite/ Akma) arasında

$$Y = 1,508x^2 - 172,1x + 5326 \quad (4.1)$$

şeklinde bir bağıntının olduğu ve bu bağıntı ile gerçek veriler arasında $R^2=0.911$ derecesinde korelasyonun olduğu görülmüştür. Bağıntı kullanılarak elde edilen değerlerle deney değerleri karşılaştırıldığında, değerlerin yakın sonuçlar vermediği ve hata oranlarının yüksek ve değişiklik arz ettiği belirlenmiştir.

Pratik Özgül Ağırlık (D_p) ile Marshall Oranı (Stabilite/ Akma) arasında

$$Y = 68558x^2 - 33135x + 40076 \quad (4.2)$$

şeklinde bir bağıntının olduğu ve bu bağıntı ile gerçek veriler arasında $R^2=0,759$ derecesinde korelasyonun olduğu görülmüştür. Bağıntı kullanılarak elde edilen değerlerle deney değerleri karşılaştırıldığında, değerlerin yakın sonuçlar vermediği ve hata oranlarının yüksek ve değişiklik arz ettiği belirlenmiştir.

Ortalama Briket Yüksekliği (H_{ort}) ile Marshall Oranı (Stabilite/ Akma) arasında

$$Y = -12,12x^2 + 1521,x - 47236 \quad (4.3)$$

şeklinde bir bağıntının olduğu ve bu bağıntı ile gerçek veriler arasında $R^2=0,015$ derecesinde korelasyonun olduğu görülmüştür. Bağıntı kullanılarak elde edilen değerlerle deney değerleri karşılaştırıldığında, değerlerin yakın sonuçlar vermediği ve hata oranlarının yüksek ve değişiklik arz ettiği belirlenmiştir.

Vuruş Sayısı ile Marshall Oranı (Stabilite/ Akma) arasında

$$Y = 0,588x^2 - 76,84x + 2920 \quad (4.4)$$

şeklinde bir bağıntının olduğu ve bu bağıntı ile gerçek veriler arasında $R^2=0,909$ derecesinde korelasyonun olduğu görülmüştür. Bağıntı kullanılarak elde edilen değerlerle deney değerleri karşılaştırıldığında, değerlerin yakın sonuçlar vermediği ve hata oranlarının yüksek ve değişiklik arz ettiği belirlenmiştir.

Tüm değişken değerleri kullanılarak oluşturulan SPSS 15.0 programı ile elde edilen bağıntı

$$Y=133,4598*Vuruş Sayısı-122,7*H_{ort}-1621,5*D_p+219,3632*V_f-9135,41 \quad (4.5)$$

şeklinde dir. Bağıntı kullanılarak elde edilen değerlerle deney değerleri karşılaştırıldığında, elde edilen değerlerin yakın sonuçlar vermediği ve hata oranlarının yüksek ve değişiklik arz ettiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, regresyon analizi yöntemi kullanılarak bulunan bağıntılara bağlı elde edilen Marshall Oranı (Stabilite/Akma) değerleriyle, Karayolları Teknik Şartnamesine göre üretilen asfalt numunelerine ait Marshall Oranı (Stabilite/Akma) değerleri karşılaştırılarak regresyon analiziyle elde edilen bağıntıların kullanılabilirliği test edilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi neticesinde Vuruş sayısı, H_{ort} , D_p , V_f değişken değerlerinin bulunan bağıntılarda kullanılması ile belirlenen MQ değerleri ile üretilen asfalt numunelerine ait gerçek MQ değerleri arasında farklılıklar olduğu ve hata oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek korelasyon katsayısını veren bağıntı $R^2=0.911$ değeri ile Asfalt Dolu Boşluk %'si (V_f) değişkenleri, en düşük korelasyon katsayısını veren bağıntının $R^2=0,015$ değeri ile Ortalama Briket Yüksekliği (H_{ort}) değişkenleri kullanıldığında elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda; Regresyon analizi yöntemi ile elde edilen bağıntıların kullanılmasıyla elde edilecek olan MQ değerleri ile gerçek MQ değerleri arasındaki farklılıklar nedeni ile söz konusu bağıntıların uygulamada kullanılmasının uygun olmayacağı kanaatine varılmıştır. Bu konu hakkında daha sonra yapılabilecek çalışmalarda örnek numune sayısının artırılması uygun olacaktır. Geliştirilebilecek bir bilgisayar yazılımı kullanılması sonucunda elde edilecek bağıntıların vereceği değerler, gerçek değerlere yakın ve hata oranı düşük değerler olabilir.

5. KAYNAKLAR

- Aksoy, A., 2001, Asfalt Kaplamalarda Kireç Taşı Petrografisi-Soyulma ilişkisi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Al, E.T., 1996, The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, Manuel Series No:4 (MS-4). Edition.
- Avcı, E., 2009, Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplam Tabakası Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta s.28-57.
- Berry, W.D., 1993, Understanding Regression Assumptions, Newbury Park, CA, Sage Publications, Inc., p.5.
- Birliker, R.Y., 1998, Bitümlü Karışımlara Eklenebilecek Katkılar İle Bu Tip Bitümlü Karışımların Araştırılması ve Bir Yorulma Eğrisi Tahmin Modeli, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.45-78.
- Brown, S., July 1990, The Sheel Bitümen Handbook, University of Nottingham, pp.45-60.
- Chatterjee, S. ve Hadi, A.S., 1988, Sensitivity Analysis in Linear Regression, New York: John Wiley & Sons.
- Cleven, A.M., 2000, Investigation of the Properties of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures, Master of Science in Civil Engineering, Michigan Technological University.
- Cooper, K.E., 1994, The Fundamental Properties of Bituminous Materials and Their Measurement, From The Construction Materials Group Symposium Fundamental Properties of Bituminous Materials Held Jointly The Institute of Asphalt Technology and The Institution of Highways and Transportation in London, England, pp.2-8.
- Çakıroğlu, M., 1993, Doğu Karadeniz Bölgesine Uygun Trafik Tahmin Modelinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s.47-55.
- Çetin, A., 1997, Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, s.35-42.
- Çetin, S., 2007, Afyon Karahisar Bölgesi Volkanik Kayaçlarının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, s.2.

- Çömlekçi, N., 1994, Temel İstatistik, Bilim Teknik Yayınevi, ISBN 9789755400389, İstanbul, 502s.
- Çubuk, K.M., 1998, Katkı Maddesi Olarak Diatomit'in, Bitümlü Sıcak Karışımların Davranışları Üzerine Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.2-4.
- Dağdelen, E., 1995, Isının Asfalt Betonunun Fiziksel özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.45-48.
- Deacon, J.A., 1965, Fatigue of Asphalt Concrete, Graduate Report, The Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Berkeley, pp.7-12.
- Draper, N.R. and Smith, H., 1981, Applied Regression Analysis, New York, John Wiley&Sons, p.86.
- Edwards, A.L., 1984, Introduction to Linear Regression and Correlation, second edition, New York, W.H. Freeman and Company, 137p.
- Ertek, T., 2000, Ekonometriye Giriş, Beta Basım Yayın, ISBN 9789754865479, İstanbul, 446s.
- Fahamet, A., 2002, Ekonometri, Ekin Kitabevi Yayınları, ISBN 975-7338-93-1, Bursa, 742s.
- Fox, J., 1997, Applied Regression Analysis, Linear Models and Related Methods, California, Sage Publications, pp.216-217.
- Goldberger, A., 1991, A Course in Econometrics, Cambridge, Harvard University Press, p.178.
- Günel, A., 2003, Regresyon Denkleminin Başarısını Ölçmede Kullanılan Belirleme Katsayısı ve Kritiği, Doğu Üniversitesi Dergisi, Cilt IV, Sayı 2, s.133-140.
- Güriş, S. ve Çağlayan, E., 2000, Ekonometri Temel Kavramlar, Der Yayınevi, Yayın No:282, ISBN 9753532105, İstanbul, s.807.
- Haddadi, S., Ghorbel, E. and Laradi, N., 2008, Effects of the manufacturing process on the performances of the bituminous binders modified with EVA, Construction and Building Materials 22, pp.1212–1219
- Heukelom, W. and Klomp, A.J.G., August 1967, The Behavior of Asphalt Pavements under Variable Repeated Loads, University of Michigan Ann Arbor, pp.4-8.
- Hınıslioğlu, S. ve Ağar, E., 2004, Yüksek yoğunluklu polietilen atığın asfalt betonu karışımlarında bitüm katkı maddesi olarak kullanılması, Materials Letters, s.267-271,

- Hitch, L.S. and Russell, R.B.C., 1977, Bituminous Bases And Surfacing For Low-Cost Roads In The Tropics, p.46
- Ilıcak, M., Tayfur, S., Özen, Halit., Sönmez, İ. ve Eren, K., 2001, Asfalt ve uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul, s.1-3.
- Kırbaş, H., 1999, Asfalt Kaplamalarda Bozulma Sebepleri ve Oluşan Yüzeysel Soyulmalar İle Çatlakların Modern Malzemelerle Onarım Yöntemleri, Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Kütahya, s.3-5.
- Kleinbaum, D.G. ve Kupper, L.L., 1978, Applied Regression Analysis And Other Multivariable Methods, Boston, Duxbury.
- Kuloğlu, N., November 1999, Effect of Astragalus on Characteristics of Asphalt Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 283-286
- Lee, A.R., 1936, Adhesion In Relation To Bituminous Road materials, Journal Of The Society Of Chemical Industry, pp.23-97.
- Little, D.N. and Petersen, J.C., 2005, Unique effects of hydrated lime filler on the performance- related properties of asphalt cements: physical and chemical interactions revisited, Journal of Materials in Civil Engineering, pp.207-218.
- Long, J.S., 1997, Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables, California, Sage Publications, Inc., p.18.
- Mardikyan, S., 2005, İlişki Analizinde Varsayımlardan Sapmaların Belirlenmesi ve Çözümlemesine Yönelik Bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, s.8.
- Myers, D., 1990, Older adults and Disaster. Unpublished Disaster Mental Health Training Material. Monterey. C.A.
- Netter, J., Wasserman, W. And Kutner, N.H., 1982, Applied Linear Regression Models. Illinois, Irwin, p.450.
- Orhunbilge, N., 1999, Zaman Serileri Analizi Tahmin ve Fiyat İndeksleri, Avcıol Basım, İstanbul, s.2.
- Orhunbilge, N., 2000, Örneklemeye Yöntemleri ve Hipotez Testleri, Avcıol Basım, İstanbul, s.26-27.
- Önal, A. ve Karaca, S., 1990, Asfalt Beton Karışım Dizayn Metotları., K.G.M.Yayınları, Ankara, s.20-32.
- Önal, A., Aray, Ş. ve Orhan, F., 1998, Polimer İle Modifiye Edilmiş Sıcak Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, s.1-8.

- Robertus, C., Mulder, E.A. and Koole, R.C., September 1995, SBS modified bitumen for heavy duty asphalt pavements. Second International Conference on Roads and Airfield Pavement Technology, Singapore.
- Rousseuw, P.J. and Zomeron Van B.C., 1990, Unmasking Multivariate Outliers and Leverage Points, J. Am. Statist. Assoc. 85, pp.871-880.
- Ryan, T.P., 1997, Modern Regression Methods, New York, John Wiley&Sons, Inc., p.1.
- Şengül, C.E., 2006, Asfalt Kaplamalarda Tekerlek İzinde Oturma Ve Su Hasarı Problemlerinin Azaltılması İçin Sönmüş Kireç Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şengül, C.E., Aksoy, A. ve İskender, E., October 11-13 2006, Permanent Deformation Resistance Evaluation With Marshall Quotient approach, Seventy International Congress On Advances In Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey.
- Şiş, A., 2000, Şartname Sınırlarındaki Agrega Granülometrisinin Asfalt Betonunun Fiziksel özelliklerine ve Optimum Bitüm Oranına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.35-55.
- Tunç, A., 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN 9789944772167, İstanbul, s.120-125, s.165-178, s.250-255.
- Umar, F. ve Ağar, E., 1991, Yol Üst Yapısı, İstanbul Teknik Üniveristesi Yayını, İstanbul, s.146-165.
- URL.1, <http://startestcihazlari.com/a4cd09d472c98f89d5106e7aec6ad6cf.jpg>
- URL.2, <http://www.alfalab.eu/images/stories/urunler/asfalt/marshall-stabilite.jpg>
- URL.3, <http://www.eylullab.com/userfiles/urunresimleri/Otomatik-Manuel%20Asfalt-%C3%87imento%20Mikseri.jpg>
- Ürünay, N., 1974, Bitüm ve Bitümlü Yalıtım Örtüleri, Ankara, s.2-6.
- Varol, H., 2000, Bitümlü Sıcak Kaplamalı Üst Yapıların Yapım Kriterlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.45-60, s.65-78.
- Wonnacott, R.J. and Wonnacott, H.T., 1979, Econometrics, New York, Wiley, pp.428-430.
- Yağız, F., Işıksalan, C., Akkol, G. ve Keçeciler, A.F., 1967, Bitümlü Malzemeler, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara, s.35-46.

- Yıldırım, B., 1984, Yol İnşaatı, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, Elazığ, s.1-5.
- Yıldız, K., 2003, Marshall Dizayn Metodu İle Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.45.
- Zoorob, S.E. and Suparma, L.B., 2000, Laboratory Design and Investigation of The Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt), J Cem Concr Compos; 22: pp.233–242.

EKLER

SPSS 15.0 PROGRAMI ANALİZ SONUÇLARI

```

REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT VAR00005
/METHOD=ENTER VAR00001 VAR00002 VAR00003 VAR00004 .

```

Regression

Notes

Output Created		10-APR-2011 18:42:54
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	56
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any variable used.
Syntax		REGRESSION /MISSING LISTWISE /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10) /NOORIGIN /DEPENDENT VAR00005 /METHOD=ENTER VAR00001 VAR00002 VAR00003 VAR00004
Resources	Elapsed Time	0:00:00,08
	Memory Required	2284 bytes
	Additional Memory Required for Residual Plots	0 bytes
	Processor Time	0:00:00,06

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	VAR00004, VAR00002, VAR00003, VAR00001 ^b	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: VAR00005

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,857 ^a	,735	,714	45,48967

a. Predictors: (Constant), VAR00004, VAR00002, VAR00003, VAR00001

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	292483,24	4	73120,811	35,336	,000 ^a
	Residual	105534,81	51	2069,310		
	Total	398018,05	55			

a. Predictors: (Constant), VAR00004, VAR00002, VAR00003, VAR00001

b. Dependent Variable: VAR00005

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-9135,407	1697,425		-5,382	,000
	VAR00001	133,460	45,228	,15,830	2,887	,006
	VAR00002	-122,700	43,693	-,1176	-2,808	,007
	VAR00003	-1621,496	1664,399	-,521	-,974	,335
	VAR00004	219,363	68,301	,15,835	3,212	,002

a. Dependent Variable: VAR00005

ÖZGEÇMİŞ

1 Ekim 1980 yılında Trabzon'da doğdum. İlkokul öğrenimini Gümüşhane ve Trabzon, Orta ve Lise öğrenimini Trabzon'da tamamladım. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde üniversite öğrenimine başladım. 2004 yılında lisans eğitimimi tamamladıktan sonra 2004-2008 yılları arasında özel firmalarda mühendis olarak görev aldım. 2008 yılında Gümüşhane Bayındırlık ve İskan İl Müdürlüğünde memuriyete başladım. 2011 yılı itibari ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü Yapı Denetim Daire Başkanlığı Denetim Şubesine atandım. Halen aynı birimde görev yapmaktayım.