

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI ÇEVRE ŞARTLARINA MARUZ KALAN ASFALT
BETONUNUN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

İLHAN ARSLAN

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI ÇEVRE ŞARTLARINA MARUZ KALAN ASFALT
BETONUNUN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

İlhan ARSLAN

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**OCAK 2012
DÜZCE**

İlhan ARSLAN tarafından hazırlanan “Farklı Çevre Şartlarına Maruz Kalan Asfalt Betonun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ercan ÖZGAN
Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Hüsnü GERENGİ
Tez Danışmanı*, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Seyhan FIRAT
Teknoloji Fak. İnşaat Müh. Böl. Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan ÖZGAN
Yapı. Eğit. ABD, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK
Teknoloji Fak. İnşaat Müh. Böl. Düzce Üniversitesi

Tarih: 18/01/2012

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

* İkinci Danışman

TEZ BİLDİRİMİ

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

İlhan ARSLAN

ÖNSÖZ

Çalışma konusunun belirlenmesinden başlayıp tamamlanıncaya kadar geçen süre içerisinde bilgi, görüş ve desteğini esirgemeyen aynı zamanda karşılaştığım her sorunu aşabilme yeteneği kazandıran danışman hocam Doç. Dr. Ercan ÖZGAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın literatür araştırmasında ve asfalt laboratuvarı çalışmalarımnda her türlü desteği sağlayan Arş. Gör. Sercan SERİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının kimyasal kısmı ile ilgili çalışmalarda hiçbir desteğini esirgemeyen ikinci danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Hüsnu GERENGI'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çözeltilerin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayan Düzce Üniversitesi Kaynaşlı MYO. Öğr. Gör. Haydar GÖKSU'ya, Kimya Mühendisi Zeynep Çağla MERAL'e, Kaynaşlı MYO İletken Polimer ve Korozyon Araştırma Laboratuvarı personeline teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2012.03.HD.036 No'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda bana yardımcı olan DÜ BAP personeline teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman ve hertürlü durumda büyük bir sabırla maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen bu günlerimi borçlu olduğum aileme saygı ve sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ocak 2012

İlhan ARSLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÖZ	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI	2
1.2. ÇALIŞMADA İZLENEN YOL	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. ESNEK ÜST YAPILAR.....	6
2.1. RİJİT ÜST YAPILAR	9
2.3. ESNEK ÜSTYAPILARIN MARUZ KALDIĞI ÇEVRESEL ETKİLER ...	10
2.3.1. İklim Etkileri.....	11
2.3.2. Trafiğin Etkisi	12
2.3.3. Kimyasal Etkiler	15
2.3.3.1. Kar Ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Kimyasallar.....	15
2.3.3.2. Asit Yağmurları.....	17
2.4. KARAYOLU ESNEK ÜST YAPISINDA OLUŞAN BOZULMALARIN NEDENLERİ	18
2.4.1. Proje Hataları.....	18
2.4.2. Yapım Hataları	18
2.4.3. Bakım Hataları	18
2.5. KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPISINDAN BEKLENEN FİZİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLER	19
2.5.1. Stabilite	19

2.5.2. Durabilite.....	20
2.5.3. Geçirimsizlik	21
2.5.4. İşlenebilirlik	21
2.5.5. Esneklik	22
2.5.6. Yorulmaya Karşı Direnç.....	22
2.5.7. Kayma Direnci.	22
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	24
4. MALZEME.....	31
4.1. AGREGA.....	31
4.1.1. Agreganın Karışımlarında Kullanılan Mineral Filler Malzeme Ve Önemi	33
4.1.2. Kullanılan Elekler	34
4.2. İDEAL AGREGA STANDARTLARI	34
4.2.1. Dane Dağılımı.....	35
4.2.2. Dane Şekli.....	35
4.2.3. Dane Dayanımı	35
4.2.4. Dönme Dayanıklılık	35
4.2.5. Zararlı Maddeler	35
4.3. AGREGALARIN SINIFLANDIRILMASI	36
4.4. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR	36
4.4.1. Bitüm.....	36
4.4.2. Asfalt Çimentoları	37
4.4.3. Bitümün Kalitesi	38
4.5. KULLANILAN KİMYASALLAR.....	39
5. METOT	40
5.1. AGREGA DENEYLERİ.....	40
5.1.1. Su Emme.....	40
5.1.2. Yoğunluk Ve Bağıl Yoğunluk Tayini	40

5.1.3. İnce Madde Oranı Tayini.....	41
5.1.4. Organik Madde Oranı Tayini.....	41
5.1.5. Parçalanma Direncinin Tayini	42
5.1.6. Agregaların Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Tayini	42
5.1.7. Gevşek Birim Hacim Ağırlık	42
5.1.8. Sıkışık Birim Hacim Ağırlık	42
5.1.9. Mineral Filler Özgül Ağırlığı	43
5.2. BİTÜM DENEYLERİ.....	43
5.2.1. Penetrasyon Deneyi	43
5.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	43
5.2.3. Duktilite Deneyi	44
5.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi	44
5.2.5. Parlama Noktası Deneyi	44
5.3. ASFALT BETON NUMUNELERİN ÜRETİMİ	44
5.4. OPTİMUM BİTÜM MİKTARININ BELİRLENMESİ	47
5.4.1. Ön Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi	47
5.4.2. Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi	48
5.4.3. Laboratuvar Ortamında Numunelerin Üretimi	50
5.5. KİMYASAL DENEYLER	52
5.5.1. Asitler	52
5.5.1.1. Hidroklorik Asit (HCl).....	52
5.5.1.2. Nitrik Asit (HNO ₃)	54
5.5.1.3. Sülfürik Asit (H ₂ SO ₄)	55
5.5.2. Baz (NaOH)	55
5.5.3. Tuzlar	56
5.5.3.1. Sodyum Klorür (NaCl)	56
5.5.3.2. Kalsiyum Klorür (CaCl ₂).....	57

5.5.4. Saf Su	57
5.5.5. pH Değerlerinin Ölçülmesi	58
5.6. ASFALT BETON DENEYLERİ	59
5.6.1. Ultrases Ölçümlerinin Yapılması	59
5.6.2. Marshall Deneyi	60
6.BULGULAR Ve DEĞERLENDİRME	62
6.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI	62
6.1.1. Parçalanma Direncinin Tayini	62
6.1.2. Agregaların Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Tayini	62
6.1.3. Gevşek Birim Hacim Ağırlık	63
6.1.4. Sıkışık Birim Hacim Ağırlık	63
6.1.5. Mineral Filler Özgül Ağırlığı	63
6.2. BİTÜM DENEYLERİNİN SONUÇLARI	63
6.3. OPTİMUM BİTÜM MİKTARININ BELİRLENMESİ.....	67
6.4. ÖN OPTİMUM BİTÜM İÇİN ÜRETİLEN NUMUNELERİN MS	
VE AKMA ANALİZLERİ.....	68
6.4.1. Ön Optimum Bitüm Yüzdesi İçin Üretilen Numunelerin	
MS Analizleri	68
6.4.2. Ön Optimum Bitüm Yüzdesi İçin Üretilen Numunelerin Akma Değerleri	
Analizleri	69
6.5. BİTÜM DENEYLERİNİN SONUÇLARI	70
6.6. ASFALT BETONU DENEY SONUÇLARI	70
6.6.1. Marshall Deneyi.....	70
6.6.2. Ultrases Deneyi.....	72
6.7. KİMYASAL DENEY SONUÇLARI	74
6.7.1. pH Değerlerinin Ölçülmesi.....	74

6.7.1.1. Asidik Ortamların pH Değişim Grafiği	74
6.7.1.2. Tuz Ortamların pH Değişim Grafiği.....	75
6.7.1.3. Bazik Ortamın pH Değişim Grafiği	76
6.7.1.4. Saf Su Ortamının pH Değişim Grafiği.....	76
6.8. . KOROZİF ORTAMLARA GÖRE ASFALT BETON NUMUNELERİN FİZİKSEL ve MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ.....	77
6.8.1. Referans Numuneler İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri	79
6.8.2. 1 Mol NaCl İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri	80
6.8.3. 4 Mol NaCl İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri	82
6.8.4. 1 Mol HCl İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri	83
6.8.5. 1 Mol CaCl ₂ İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri.....	85
6.8.6. 2 Mol HCl İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri.....	86
6.8.7. 0,5 Mol H ₂ SO ₄ İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri	89
6.8.8. Saf su İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri.....	89
6.8.9. 1 Mol HNO ₃ İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri.....	91
6.8.10. 3 Mol NaCl İçin Deney Sonuçları Ve Analizleri	92
6.8.11. 1 Mol NaOH için deney sonuçları Ve Analizleri.....	94
6.9. KOROZİF ORTAMLAR İÇİN MS'LERİN ANALİZİ	95
6.10. KOROZİF ORTAMLAR İÇİN KÜTLE KAYIPLARI ANALİZİ	96
6.10.1. Deneylerden Önceki Kütleler	96
6.10.2. Deneylerden Sonraki Kütle Kaybı	97
6.11. ULTRASES HIZLARI İLE İLGİLİ ANALİZLER.....	98
6.11.1. Deneylerden Önceki Ultrases Hızları.....	98
6.11.2. Deneylerden Sonraki Ultrases Hızları	98
7. SONUÇLAR Ve ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1	: Çalışmanın akış şeması	4
Şekil 2. 1	: Karayolu tabakaları	5
Şekil 2. 2	: Tipik esnek üstyapı en kesitleri	8
Şekil 2. 3	: Malzeme davranışları	9
Şekil 2. 4	: Tuzun zararlı etkilerine maruz kalmış yoldan bir görünüm	16
Şekil 4. 1	: Elenmiş agregalar	34
Şekil 5. 1	: Dünyada bitümlü sıcak karışım üretimi	45
Şekil 5. 2	: Avrupa’da asfalt üretimi	45
Şekil 5. 3	: Agregada elek analizi	46
Şekil 5. 4	: Ön denemelerle belirlenen ağırlığa göre hazırlanmış agregada örneği	46
Şekil 5. 5	: Sıcak karışım için hazırlanmış olan agregada karışımları	46
Şekil 5. 6	: Birim ağırlık – % Bitüm grafiği	49
Şekil 5. 7	: Marshall stabilitesi–% Bitüm grafiği	49
Şekil 5. 8	: Boşluk yüzdesi –% Bitüm grafiği	49
Şekil 5. 9	: Bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu yüzdesi-%Bitüm grafiği	49
Şekil 5. 10	: Akma değeri –asfalt çimento yüzdesi grafiği	50
Şekil 5. 11	: Karışım için hazırlanmış agregada ve bitüm	51
Şekil 5. 12	: Bitüm ilave edilmiş agregada	51
Şekil 5. 13	: Hazırlanan agregada ve bitümün mikserde karıştırılması	51
Şekil 5. 14	: Elde edilen karışımın marshall kalıplarına yerleştirilmesi	51
Şekil 5. 15	: Tokmağa yerleştirilmiş kalıp	51
Şekil 5. 16	: Numunenin sıkıştırılması	51
Şekil 5. 17	: Üretilen Marshall numuneleri	52
Şekil 5. 18	: Yola dökülen HCl’i seyreltme çalışmaları	53
Şekil 5. 19	: Karayoluna devrilmiş HCl tankeri	53
Şekil 5. 20	: Asfalt beton numunelerin üzerine 1 Mol HCl çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu	54
Şekil 5. 21	: Asfalt beton numuneler üzerine 2 Mol HCl çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu	54
Şekil 5. 22	: Asfalt beton numuneler üzerine 1 Mol HNO ₃ çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu	55
Şekil 5. 23	: Asfalt beton numuneler üzerine 0,5 M H ₂ SO ₄ çözeltisinin dökülmesi	55
Şekil 5. 24	: Asfalt beton numuneler üzerine 1 Mol NaOH çözeltisinin dökülmesi	56
Şekil 5. 25	: 1 Mol NaCl ile asfalt beton numunelerin aynı ortama konulması	56
Şekil 5. 26	: 3 Mol NaCl ile asfalt beton numunelerin aynı ortama konulması	56
Şekil 5. 27	: 4 Mol NaCl ile asfalt beton numunelerin aynı ortama konulması	57
Şekil 5. 28	: Asfalt beton numuneler üzerine 1 Mol CaCl ₂ dökülmesi	57
Şekil 5. 29	: Saf su içerisindeki asfalt beton numuneler	57
Şekil 5. 30	: Numunelerin kimyasal deneylerden sonraki genel görünüşü	58
Şekil 5. 31	: pH ölçümlerinin yapılması	59
Şekil 5. 32	: Ultrases deney seti	59
Şekil 5. 33	: Ultrases ölçümünün yapılması	59
Şekil 5. 34	: Su banyosu ve içindeki numuneler	60

Şekil 5. 35	: Numunelerin kırılması	61
Şekil 6. 1	: Grup bazında MS değerlerinin karşılaştırılması	65
Şekil 6. 2	: Grup bazında akma değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 6. 3	: Yapılan deneylerin sonunda elde edilen Marshall ve akma sonuçları grafiği	71
Şekil 6. 4	: Gruplar bazında karşılaştırmalı MS değerleri	71
Şekil 6. 5	: Gruplar bazında karşılaştırmalı akma değerleri	72
Şekil 6. 6	: Ultrases deneyi sonuçları	73
Şekil 6. 7	: 0,5 M H ₂ SO ₄ 'in pH değişimi	74
Şekil 6. 8	: HCl asit ortamlarının pH değişimi.....	74
Şekil 6. 9	: 1 M HNO ₃ 'in pH değişimi.....	75
Şekil 6. 10	: NaCl ortamlarının pH değişimleri	75
Şekil 6. 11	: 1 M CaCl ₂ 'ün pH değişimi	75
Şekil 6. 12	: 1 M NaOH in pH değişim	76
Şekil 6. 13	: Saf su ortamının pH değişimi	76
Şekil 7. 1	: Toluenin nitrolanma reaksiyonu	101
Şekil 7. 2	: Reaksiyon sonucunda numunelerde oluşan kütle kayıpları	102

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Çeşitli ülke standartlarında yer alan dingil yükleri ve toplam taşıt ağırlıkları ile ilgili sınırlar	13
Çizelge 2.2	: Ağır dingil yükleri sonucu yol ekonomik ömründe görülen azalma	14
Çizelge 2.3	: Düşük stabilitenin sebepleri ve sonuçları	20
Çizelge 2.4	: Düşük durabilitenin sebepleri ve sonuçları	20
Çizelge 2.5	: Geçirgenliğin sebepleri ve sonuçları	21
Çizelge 2.6	: Düşük işlenebilirliğin sebepleri ve sonuçları	22
Çizelge 2.7	: Düşük yorulma direncinin sebepleri ve sonuçları	22
Çizelge 4.1	: Kullanılan elekler ve açıklık çapları	34
Çizelge 4.2	: Kullanılan kimyasallar ve miktarları	39
Çizelge 5.1	: Aşınma tabakası için gradasyon	45
Çizelge 5.2	: Seçilen agrega gradasyonu	45
Çizelge 5.3	: Gruplar bazında optimum bitüm yüzdesi için MS ve akma değerleri	48
Çizelge 5.4	: Optimum bitüm yüzdesi için ortalama değerler	49
Çizelge 6.1	: Ortalama su emme, bağıl yoğunluk, ince madde, organik madde oranı tayini sonuçları	62
Çizelge 6.2	: Parçalanma direncinin tayini	62
Çizelge 6.3	: Agregaların dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayini	63
Çizelge 6.4	: Gevşek birim hacim ağırlık	63
Çizelge 6.5	: Sıkışık birim hacim ağırlık	63
Çizelge 6.6	: Mineral filler özgül ağırlığı	63
Çizelge 6.7	: MS, bitüm miktarı ve akma değerleri için tanımlayıcı istatistik değerleri	64
Çizelge 6.8	: MS, bitüm miktarı ve akma değerleri arasındaki korelasyon katsayıları	64
Çizelge 6.9	: MS için Varyans Analizi	64
Çizelge 6.10	: MS için Duncan testi	65
Çizelge 6.11	: Optimum bitüm %'si için akma değerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri	66
Çizelge 6.12	: Akma değeri için Varyans Analizi	66
Çizelge 6.13	: Akma değeri için Duncan testi sonuçları	66
Çizelge 6.14	: Optimum bitüm %'si için tanımlayıcı istatistikler	67
Çizelge 6.15	: Elde edilen değerlerin değişkenler ile ilişkisi	68
Çizelge 6.16	: MS için Varyans ve Çoklu Lineer Regrasyon Analizi sonuçları	68
Çizelge 6.17	: Akma için Varyans ve Çoklu Lineer Regrasyon Analizi sonuçları	69
Çizelge 6.18	: Bitümün temel fiziksel özellikleri	70
Çizelge 6.19	: Elde edilen MS ve akma değerleri	70
Çizelge 6.20	: MS için tanımlayıcı değerler	71
Çizelge 6.21	: Akma için tanımlayıcı istatistikler	71
Çizelge 6.22	: Numunelerin deneyler öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları	72
Çizelge 6.23	: Ultrases değerleri için tanımlayıcı istatistikler	73
Çizelge 6.24	: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	73
Çizelge 6.25	: Asit ortamların pH ölçüm sonuçları	74
Çizelge 6.26	: Tuz ortamlarının pH ölçüm sonuçları	75
Çizelge 6.27	: 1 M NaOH ortamının pH ölçüm sonuçları	76

Çizelge 6.28 : Saf su ortamının pH ölçüm sonuçları	76
Çizelge 6.29 : Asfalt betonu grupların fiziksel ve mühendislik özellikleri ortalama değerleri.....	77
Çizelge 6.30 : Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	78
Çizelge 6.31 : Referans numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	79
Çizelge 6.32 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	80
Çizelge 6.33 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	80
Çizelge 6.34 : 1 M NaCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	81
Çizelge 6.35 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	81
Çizelge 6.36 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	81
Çizelge 6.37 : 4 M NaCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	82
Çizelge 6.38 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	82
Çizelge 6.39 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	83
Çizelge 6.40 : 1 M HCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	84
Çizelge 6.41 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	84
Çizelge 6.42 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	84
Çizelge 6.43 : 1 M CaCl ₂ içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	85
Çizelge 6.44 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	86
Çizelge 6.45 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	86
Çizelge 6.46 : 2 M HCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	87
Çizelge 6.47 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	87
Çizelge 6.48 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	87
Çizelge 6.49 : 0,5 M H ₂ SO ₄ içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	88
Çizelge 6.50. : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	89
Çizelge 6.51. : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	89
Çizelge 6.52. : Saf su içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	90
Çizelge 6.53 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	90
Çizelge 6.54 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	90
Çizelge 6.55 : 1 M HNO ₃ içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	91
Çizelge 6.56 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	92
Çizelge 6.57 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	92
Çizelge 6.58 : 3 M NaCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	93
Çizelge 6.59 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	93
Çizelge 6.60 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	93
Çizelge 6.61 : 1 M NaOH içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri	94
Çizelge 6.62 : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler	94
Çizelge 6.63 : İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları	95
Çizelge 6.64 : MS için Varyans homojenliği testi.....	95

Çizelge 6.65 : Gruplar bazında MS karşılaştırma testi	95
Çizelge 6.66 : MS'lerde ki değişim için Duncan çoklu karşılaştırma testi	96
Çizelge 6.67 : Deney öncesi kütleler için Varyans homojenlik testi	96
Çizelge 6.68 : Gruplar bazında karşılaştırma	96
Çizelge 6.69 : Deneyler öncesinde kütleler için Duncan çoklu karşılaştırma testi	97
Çizelge 6.70 : Deney sonrası kütleler için Varyans homojenlik testi	97
Çizelge 6.71 : Gruplar bazında karşılaştırma	97
Çizelge 6.72 : Deneyler sonrası kütleler için Duncan çoklu karşılaştırma testi	97
Çizelge 6.73 : Deneyler öncesi Ultrases değerleri için Varyans homojenlik testi	98
Çizelge 6.74 : Gruplar bazında karşılaştırma	98
Çizelge 6.75 : Ultrases değeri için Duncan çoklu karşılaştırma testi	98
Çizelge 6.76 : Deneyler sonrası Ultrases değerleri için Varyans homojenlik testi	98
Çizelge 6.77 : Gruplar bazında karşılaştırma	98
Çizelge 6.78 : Deneylerden sonra Ultrases geçiş hızları için Duncan çoklu karşılaştırma testi	99
Çizelge 6.79 : Asfalt beton numune gruplar için agrega granülometrisi ve fiziksel ve mühendislik özelliklerindeki ortalama değişimler	99

SEMBOL LİSTESİ

AASTHO	: Amerikan Devlet Karayolu Memurları Derneği
AC	: Asfalt çimentosu
ASTM	: American Society for Testing and Material
CaCl₂	: Kalsiyum klorür
Cl	: Klor
CMA	: Kalsiyum magnezyum asetat
EN	: Europeane Norm
H₂SO₄	: Sülfürik asit
HNO₃	: Nitrik asit
H₂CO₃	: Karbonik asit
HCl	: Hidroklorik asit
HO₂	: Hidroperoksil
HSO	: Sülfürüz asit
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
M	: Mol
MS	: Marshall Stabilitesi
MgCl₂	: Magnezyum klorür
N	: Esnek üst yapılarda 4, Rijit üst yapılarda 12 olarak alınmaktadır
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
NO_x	: Azot oksitler
P	: g/m ² olarak gerekli tuz miktarı.
pH	: Potansiyel hidrojen
Pp	: Pratik dingil yükü
PRA	: Public Road Administration
Ps	: Standart dingil yükü
r	: kg/m ² olarak kar ağırlığı.
SO₂	: Sodyum dioksit
SO₃	: Sodyum trioksit
SO_x	: Kükürt oksitler
t	: 0°C altındaki yerin ısısı.
TS	: Türk Standartları

**FARKLI ÇEVRE ŞARTLARINA MARUZ KALAN ASFALT BETONUNUN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

İlhan ARSLAN

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2012

ÖZ

Karayolları, yapım ve servis ömrü boyunca farklı çevre şartlarına maruz kalan yapılardır. Bu şartlar; iklimin etkisi, trafiğin etkisi ve kimyasal etkiler olarak sıralanabilir. Bu çalışmada, karayolu esnek üstyapısının maruz kaldığı kimyasal etkiler araştırılmıştır. Bu kapsamda Karayolları Genel Müdürlüğü teknik şartnamesine uygun olarak laboratuvar ortamında üretilen Marshall Stabilite (MS) numuneleri kullanılmıştır. Üretilen bu numunelerle farklı konsantrasyonlardaki asit (HCl, HNO₃, H₂SO₄), tuz (NaCl, CaCl₂), baz (NaOH) çözeltileri ve saf su ile aynı ortama konularak 28 gün sonraki mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Diğer taraftan kimyasal etkilere maruz bırakılmamış olan referans numuneler üzerinde de mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır. Kimyasal etkilere maruz bırakılan numunelere ait deney sonuçlarıyla referans numunelere ait deney sonuçları karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklar ve değişimler incelenmiştir. Deneyler devam ederken, kimyasal ortamların numuneler üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek için ayrıca kimyasal ortamların pH değerleri de ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, asfalt beton numunelerin referans numune hariç ortalama MS değerlerinin en düşük 440 kg ve en yüksek MS değerinin ise 835 kg olduğu görülmüştür. En düşük MS değerinin 0,5 M H₂SO₄ ortamına maruz kalan numunelerde olduğu, bu numunelerin ortalama pratik yoğunluğunun (Dp) 2,32 g/mm³ olduğu, ortalama boşluk oranının %12,5 olduğu, agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doluluk oranının %87,32 olduğu, ortalama akma oranının 13,7 mm, ortalama pH değerinin 1,09 olduğu ve agrega kütlesinde ağırlıkça %2,57 oranında bir kayıp olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler : Karayolu, çevre şartları, asfalt betonu, korozyon, marshall stabilitesi

Sayfa Adedi : 110

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ercan ÖZGAN

**INVESTIGATION OF ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT
CONCRETE EXPOSED DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS
(M.Sc. Thesis)**

İlhan ARSLAN

**DUZCE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

Highways are structures that are exposed to different environment conditions throughout construction and service life. We can order these conditions such as climate effect, chemical effect and traffic effect. In this study, chemical effects, which flexible superstructure of highway exposed to, have been investigated. In this scope, Marshall Stability models which have been produced in laboratory in conformity with the technical contract of Highway General Directorate. By putting these produced models in an environment that is consist of different concentrations of acid (HCl, HNO₃, H₂SO₄), salt (NaCl, CaCl₂), base (NaOH) solutions and pure water, engineering features of them have been clarified . On the other hand, some experiments have been made on the reference models, which have not been exposed to chemical effects, to clarify their engineering characteristics. Comparing results of models that have been exposed to chemical effects and results of reference models, differences and alterations between them have been studied. As experiments going on, to observe effects of chemical environment on models the pH values of chemical environments have been measured. as a conclusion of studied experimental operations, except the reference model, it has been observed that the minimum MS is 440 kg , the maximum MS is 835 kg for average value of asphalt concrete. Also, it has been observed that minimum MS was from the models exposed to 0,5 M H₂SO₄, practical density (Dp) of these models was 2,32 g/mm³, average ratio of blank was %12,5, the ratio between blank in the aggregate and fullness of connective was %87,32, average ratio of flowing was 13,7 mm, average pH value was 1,09 and the loss of aggregate mass a ratio of %2,57 gravitationlly.

Science Code :

Key Words : Highway, environmental condition, asphalt concrete, korosion, Marshall Stability

Page Number :110

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ercan ÖZGAN

1.GİRİŞ

Ulaşım alt sistemleri; genel olarak karayolu, demir yolu, deniz yolu, hava yolu, boru hatları vb. şeklinde ifade edilebilir. Ulaşım alt sistemlerinin gelişimi ülkelerin ulaşım politikalarına bağlı olarak değişmekle birlikte ülkelerin gelişmişlik düzeyleri bu ulaşım alt sistemlerinin orantılı olarak kullanılmasıyla tanımlanabilmektedir. Günümüzde karayolu ulaşımı gerek seyahat için gerekse yük taşımacılığında büyük bir paya sahiptir. Türkiye'nin konumu itibariyle kıtalar arası geçiş güzergahında olması ülkemiz için karayollarının daha farklı bir konuma gelmesine ortam hazırlamaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'de karayolu taşımacılığının payı 1970'de yük taşımacılığında %61, yolcu taşımacılığında %91 iken, 2003 yılında yük taşımacılığında %92, yolcu taşımacılığında %95 olup günümüzde ise bu oran daha da yükselmiştir. Bu yüzden yapılan üstyapı projelerinde genel amaç yapının uzun ömürlü olmasıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Karayolları sonsuz uzunlukta yapılar oldukları için proje aşamasından imalata ve bakım onarım aşamasına kadar titizlikle çalışılması gereken yapılardır. Karayolları genel olarak alt temel, temel ve kaplama tabakaları şeklinde inşa edilen tabakalı yapılar olup, bu yapılar esnek üst yapı olarak adlandırılmaktadır. 20 yıllık trafik artışı dikkate alınarak tasarlanan esnek üst yapılar geçtikleri güzergah boyunca farklı çevresel etkilere de maruz kalabilmektedirler.

Ülkemiz özel coğrafi konumu nedeniyle farklı bölgelere ayrılmış olup bu bölgelerdeki iklim şartları, gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları, yağış durumları, kar-yağmur etkisi gibi birçok özellik bölgeden bölgeye çok farklılık göstermektedir.

Bu durumlar göz önüne alındığında soğuk bölgelerde inşa edilecek karayolu ile sıcak bölgelerde inşa edilecek karayolunun farklı olması beklenir. Aynı şekilde sanayi bölgelerinde, hava kirliliğinin yoğun görüldüğü bölgelerde ve korozif ortamların olduğu yerlerde inşa edilecek karayollarının bu özel durumlara göre inşa edilmesi beklenir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çok yüksek sıcaklıklara maruz kalabilen bir karayolu üst yapısı, Doğu Anadolu Bölgesinde donma-çözünme etkisine, sanayi bölgelerinde asit, baz ve tuz gibi kimyasal etkilere, deniz kenarlarında ise deniz suyunun etkisine maruz kalabilmektedir.

Kışın soğuk bölgelerde özellikle kar yağışının ve don olayının yoğun olarak görüldüğü yerlerde don etkisini azaltmak amacıyla tuzlama çalışmaları yapılmaktadır. Tuzlama çalışmalarında don olayını önlemek için kullanılan tuzun suyla oluşturduğu çözelti karayoluna zarar verebilmektedir.

Tuz, don olan yol yüzeyinde trafik ve yol güvenliğini artırmak için kullanılmakla birlikte kimyasal bir madde olması nedeniyle özellikle yol yüzeyine de olumsuz etkileri olabilmektedir.

Özellikle sanayi bölgelerinde ve hava kirliliğinin yoğun olarak görüldüğü bölgelerde zehirli gazlar havada asılı olarak bulunabilmektedir. Bu gazlar rüzgâr etkisiyle bir yerden başka yere de taşınabilir. Yine bu gazlar iklimin etkisiyle havada çeşitli reaksiyonlara girerek asit yağmurları şeklinde karayollarına etki edebilmektedir. Sanayi bölgelerinde kullanılmak üzere bir yerden başka bir yere taşınan kimyasal maddeler taşıma esnasında oluşan problemlerden dolayı (kaza, sızıntı, boşalma) karayollarına zarar verebilmektedir. Karayolu yapımı oldukça maliyetli bir inşaat imalatı olup yolun hizmete açılmasıyla birlikte ortaya çıkan bakım onarım maliyetleri de toplam maliyet içinde önemli bir paya sahiptir.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

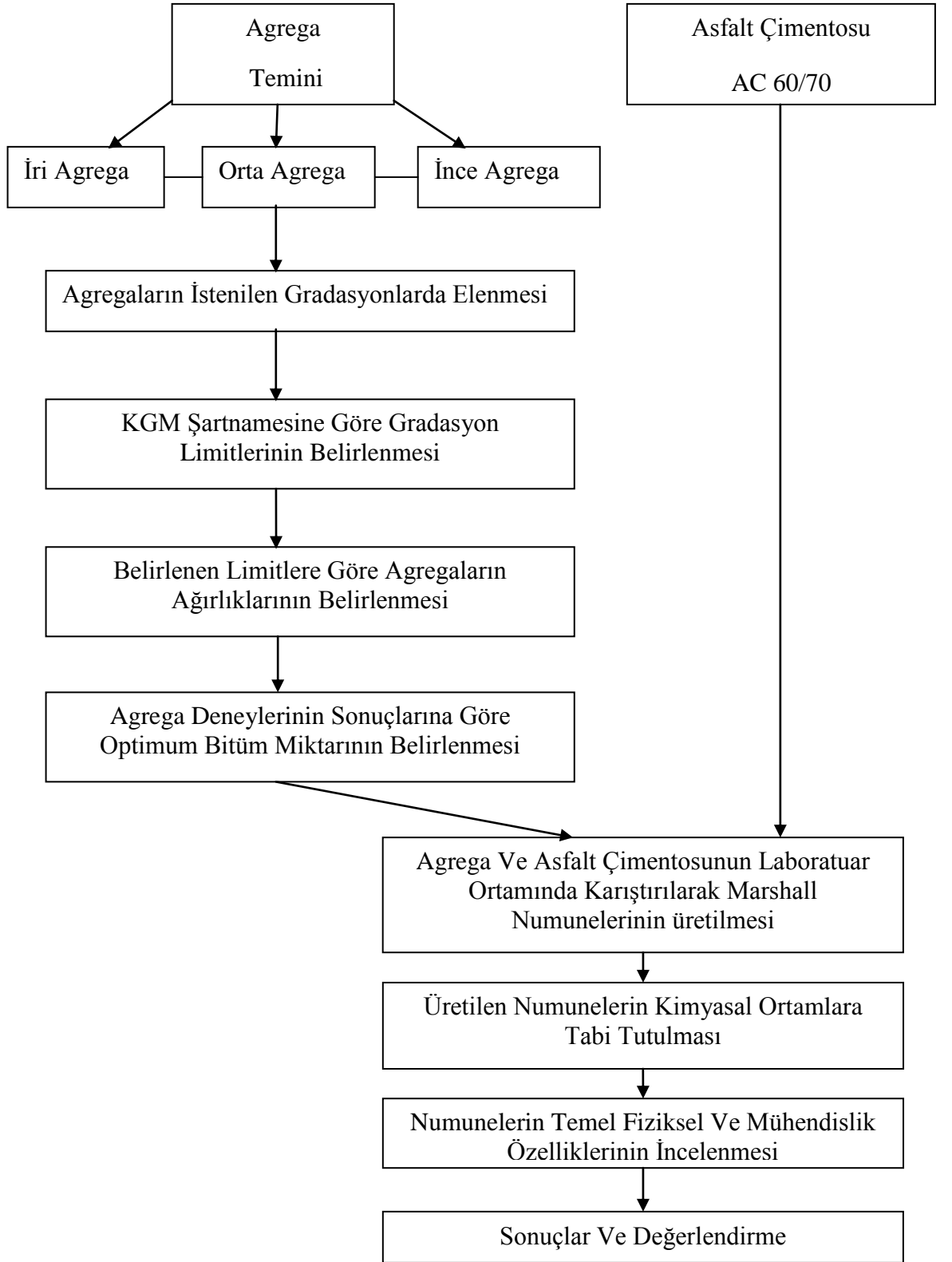
Son yıllarda karayoluna etki eden çevre şartları konusunda araştırmalar yapılmış olup bu çalışmalar daha çok iklim ve trafik etkileri olarak sınırlandırılmıştır. Karayollarında iklim ve trafik etkisiyle birlikte çevresel ve kimyasal etkilerde görülmektedir. Değişen ve gelişen dünyada teknolojinin ilerlemesi, sanayinin hızla gelişmesi havanın ve çevrenin kirlenmesini beraberinde getirmiştir.

Karayollarına iklimin etkisi, sıcaklık değişimi ve don olayları olarak görölürken trafik etkileri ise taşıt yükünün gereğinden fazla olması veya ağır taşıtlar için tonaj sınırının aşılması durumunda görölebilmektedir. Kimyasal etkiler ise iklimin doğal bir sonucu olarak etki edebileceği gibi bu etki lokal olarak da görölebilir. Kimyasal etkiler, hava kirliliğinin yoğun olarak göröldüğü yerlerde asit yağmurları şeklinde olabilmektedir.

Bu çalışmada asit, baz, tuz ve saf su ortamları gibi farklı çevre şartlarına maruz bırakılan asfalt betonlarının bazı mühendislik özellikleri laboratuvar şartlarında deneysel olarak araştırılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan asit, baz ve tuz çözeltileriyle yapılan deneysel çalışmalar kapsamında 4 farklı asit, 4 farklı tuz, 1 baz ve saf su olmak üzere 4 farklı ortama konulan Marshall numunelerinin temel fiziksel özellikleri ile bazı mühendislik özellikleri incelenmiştir. Laboratuvarında, karayolları esnek üst yapı kaplama tabakasının zarar görebileceği doğal ortamlar oluşturularak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler hiçbir korozyon ortamına maruz bırakılmamış olan referans numunelerin sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, yukarıda ifade edilen korozyon ortamlara maruz kalan asfalt betonlarının bazı mühendislik özelliklerinin büyük oranda bozulduğunu göstermiştir. Bu nedenle karayolu esnek üst yapıların tasarımında çevresel etkilerin, iklimsel özelliklerin, sanayi etkisi ve hava kirliliği gibi faktörlerin göz önüne alınması gerektiği ve bu faktörlere göre asfalt betonu üretilmesinin önemli olduğu görölmüştür.

1.2. ÇALIşMADA İZLENEN YOL

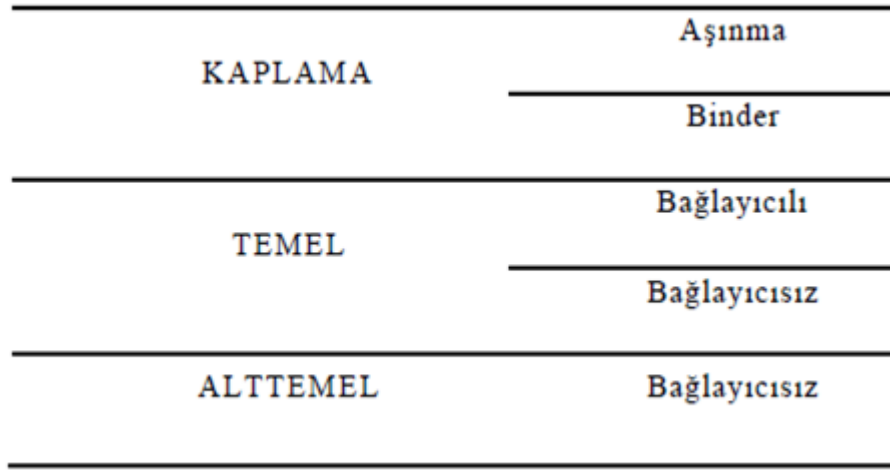
Bu çalışmada, yukarıda belirtilen amaca yönelik olarak Düzce yöresine ait agregalardan kaba, orta ve ince agregalar kullanılmış olup bitüm olarak da AC 60/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Alınan bu agregalar laboratuvar ortamında aşınma tabakası için kullanılacak agrega boyutlarına göre eleklerde elenerek istenilen gradasyon değerlerine uygun hale getirilmiştir. İstenilen değerlerde Marshall numuneleri elde etmek için öncelikle agrega özellikleri göz önüne alınarak ön optimum bitüm miktarının belirlenmesi için 15 adet Marshall numunesi üretilmiş ve bu numunelerin sonuçlarıyla optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Optimum bitüm yüzdesi kullanılarak laboratuvar ortamında KGM şartnamesine uygun olarak 77 adet Marshall numunesi üretilmiştir



Şekil 1.1: Çalışmanın Akış Şeması

2. KURAMSAL TEMELLER

Karayolu üst yapısı, düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafik yüklerini alt yapının taşıyabileceği değerlere indirmek, alt yapıyı dış etkenlerden korumak amacıyla alt yapı üzerine inşa edilen ve Şekil 2.1’de gösterildiği gibi kaplama, temel ve alt temelden oluşan tabakalı bir yol yapısıdır (Ilıcalı, 2001).



Şekil 2.1: Karayolu tabakaları (Özen, 2004).

Taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırıcı etkilerine karşı koymak yolun gövdesine sızan yüzeysel su miktarlarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine kaplama tabakası yapılmaktadır.

Üstyapılar bu tabakada kullanılan malzemenin özelliğine göre,

- 1.Esnek üstyapı (bitümlü bağlayıcı kullanılır).
- 2.Rijit üstyapı (bağlayıcı olarak çimento kullanılır) adlarını alırlar (Özen, 2004).

2.1. ESNEK ÜST YAPILAR

Bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara “Esnek üstyapı” denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan trafik yüklerini, kaplama, temel ve alt temel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi; adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, esnek üstyapıların görevidir. Esnek üstyapılar, genelde şehirlerarası yollarda, havaalanlarında ve şehir içi yollarda kullanılmaktadır. Asfalt betonunun istenilen özelliklerde, alt temel tabakalarının da öngörülen şartlarda yapılması durumunda kaplamanın daha uzun süre hizmet etmesi sağlanmış olur (İlcalı, 2001). Karayollarında yaygın olarak uygulanan esnek üstyapıların kaplama tabakalarında kullanılan bitümlü karışımlar, yol inşaatında önemli bir yer tutmakta ve maliyeti büyük ölçüde etkilemektedir. Yol kaplamalarında, sıcak karışımlar içinde en çok kullanılan asfalt betonu kaplamalardır. Asfalt betonu kaplama, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belirli tane dağılımı 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 serilip sıkıştırılarak elde edilen bir yol kaplamasıdır. Asfalt betonu kaplama genel olarak aşınma tabakası ve binder tabakası olarak iki tabaka halinde yapılır (Anon, 1994).

Esnek üst yapılar; taban zemini üzerine serilmiş, granüler alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü kaplamanın serilmesi şeklinde yapılmaktadır. Esnek üst yapılar, noktasal trafik yükünü fazla deformasyon yapmadan, taşıyacak şekilde hazırlanmış olan ve taban yüzeyine dağıtacak şekilde projelendirilmiş üstyapı çeşididir.

Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı maddeyle işlem görmüş olan belirli granülometrideki malzemedir. Ana görevi, üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da

koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Alttemel ise, trafik yüklerinin taban üzerine yayılımını sağlamak, ince taneli altyapıların temel tabakasına nüfuz etmelerini önlemek, ayrıca su ve don tesirlerine karşı direnimsizlik sağlamak, tampon bölge görevi yapmak için tesviye yüzeyi üzerine serilen tabakadır (İlçali, 2001a).

Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üst yapı şekli olup, bağlayıcısız alttemel veya temel malzemeleri üzerinde trafiğe bağlı olarak bitümlü sıcak karışımla teşkil edilmiş tabakalardan veya bitümlü sathi kaplamadan oluşmaktadır. Stabilitesi, agregaların kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve kohezyona bağlıdır. Esnek üstyapılarda taban üzerindeki bütün tabakaların (alttemel, temel tabakaları dâhil) asfalt karışımlarla teşkil edildiği üstyapı tipine kalıcı üst yapılar (Perpetual Pavement) denilmektedir (Avcı, 2009).

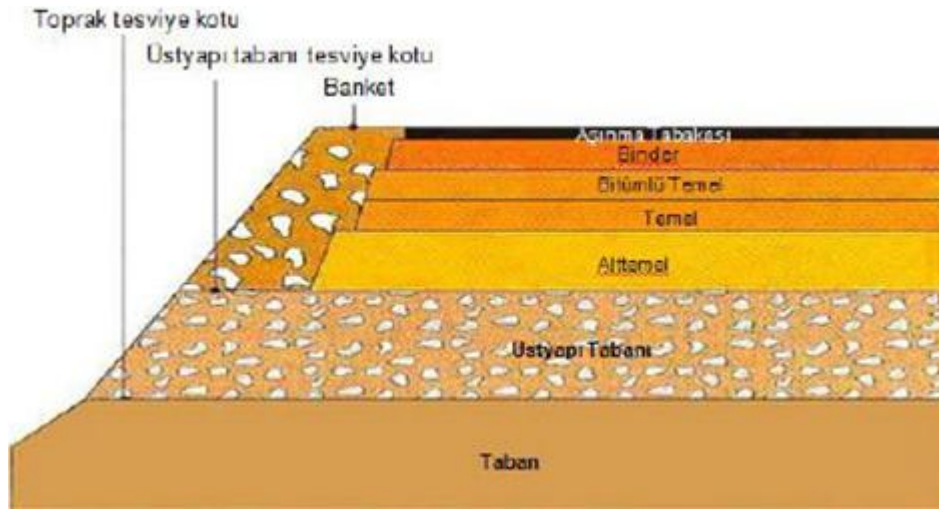
Bir karayolu üstyapısı, trafiği güvenli olarak ve ekonomik bir şekilde taşımak zorundadır. Güvenli olarak taşıma, araç tekerleği ile üst yapı yüzeyindeki sürtünme ile sağlanır. Ekonomi ise yapım sırasında kullanılan malzemelerle, işletme ve taşıt maliyetleriyle ilişkilidir (Avcı, 2009).

Bir esnek üstyapı, aşınma tabakası, temel tabakası ve alttemel tabakalarında oluşan tabakalı bir sistemdir ve üstyapının üst kısmından taban zeminine inildikçe, kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, kaliteleri düşer. Bu tabakalanma durumunu belirleyen proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımı gibi kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Bir esnek üstyapıda en üstteki tabaka, aşınma tabakasıdır. Trafiğin emniyetli ve konforlu geçişini sağlayan kısım, gerekli kayma dayanımını sağlamanın yanında trafiği minimum işletme maliyetinde akıtacak düzgünlükte ve rahatlıkta bir yüzey tabakası sağlayan aşınma tabakasıdır. Ayrıca, aşınma tabakalarının, taşıtlarda su sıçramasını ve yol yüzeyindeki küçük havuzcukların oluşmasını önlemek için drenaj tesislerine de sahip olması gereklidir. Aşınma tabakasında binder tabakasına göre daha ince bir malzeme kullanılır.

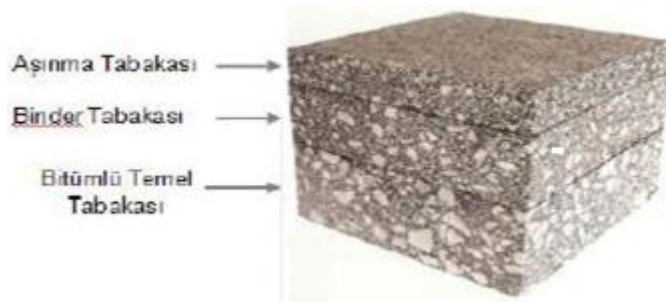
Aşınma tabakasının altında üstyapının oturduğu doğal zemini, yani taban zeminini koruyan temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla zeminin yükünü taşıma gücü sınırları içerisinde yaymaktadır. Temel tabakası, duruma göre çimentolu

veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir karayolu üstyapısı, tabakalı bir sistem olduğundan çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Çünkü tabakalar farklı davranış gösteren malzemelerden meydana gelmektedir. Alttemel ve temel tabakalarını oluşturan granüler malzemeler nonlineer elastik davranış gösterirler. Aşınma tabakasında ise özellikle sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan visko-elastik davranış gösteren bitümlü karışımlar kullanılmaktadır (Avcı, 2009). Tipik esnek üst yapı en kesitleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.2. a ve b).



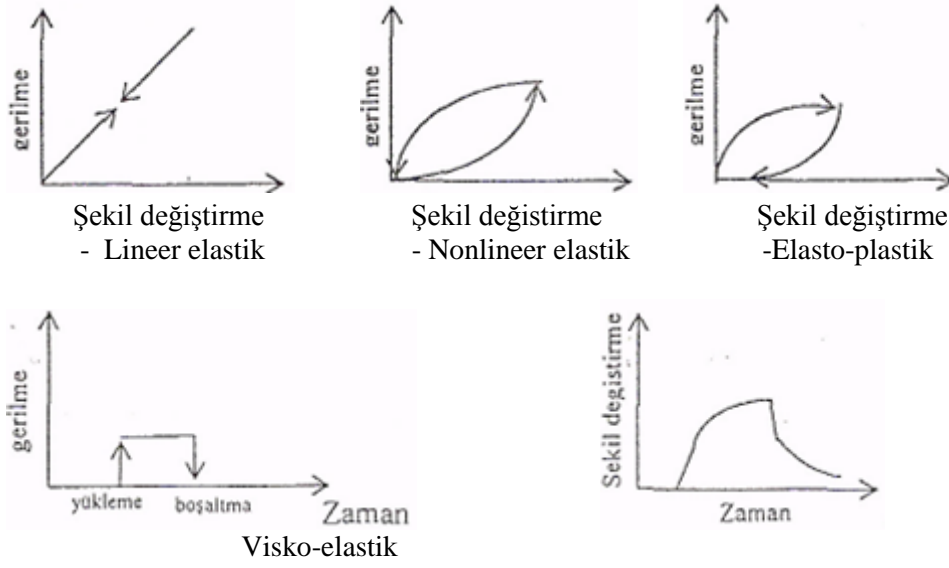
(a)



(b)

Şekil 2.2. (a,b): Tipik esnek üst yapı en kesitleri (Avcı, 2009)

Farklı davranışlar gösteren malzemelerle ilgili gerilme-şekil değiştirme grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Malzeme davranışları (Avcı, 2009).

- Lineer elastik malzemeler; bu malzemelerde yük-şekil değiştirme arasındaki bağıntı doğrusaldır. Birim alana etki eden yük miktarı arttıkça şekil değiştirme artarken, etki eden yük miktarı azaldıkça buna bağlı olarak şekil değiştirmenin azaldığı malzemelerdir.
- Nonlinear elastik malzemeler; bu malzemelerde gerilme ve şekil değiştirme farklı eğriler üzerinde meydana gelir, yükleme eğrisinin başlangıcı ile şekil değiştirme eğrisinin sonu çakışırsa ve bu eğriler zamana bağlı değilse bu tür şekil değiştirmeler nonlinear elastik malzemelerdir.
- Elasto- plastik malzemeler; bu malzemelerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri farklıdır ve gerilme başlangıcı ile şekil değiştirme sonu çakışmaz.
- Visko-elastik malzemeler; yükleme sonucunda meydana gelen şekil değiştirme zamanla sifıra iniyorsa bu tür malzemeler visko-elastik davranış gösterirler.

2.2. RİJİT ÜST YAPILAR

Bu tip üstyapılarda; granüler alttemel veya temel zemini üzerine grobeton serilerek, bunun üzerine de donatılı veya donatısız beton plaklar yerleştirilmektedir. Bu şekilde yapılan rijit üstyapılarda, plaka boyutları ve donatı miktarları yolun proje süresi boyunca üzerinden geçecek trafik sayısına ve taban zemininin dayanıklılığına bağlı olarak değişmektedir (Karakoç, 2006).

2.3. ESNEK ÜST YAPILARIN MARUZ KALDIĞI ÇEVRESEL ETKİLER

Karayolu esnek üstyapılarında görülen bozulmalar daha çok, trafik yükleri ve iklim koşullarından kaynaklanan gerilmeler sebebiyle oluşmaktadır. Meydana gelen bu bozulmalar yolun hizmet performansı ile sürüş konforunu düşürmenin yanında, can ve mal kayıplarına yol açabilmekte, dolayısıyla ülke ekonomisinde olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer taraftan bozulan karayolu bir süre sonra kullanılamaz hale gelebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, karayolu üstyapı teknolojilerinin geliştirilerek, yollarda oluşabilecek bozulmaların engellenmesi ve yol kalitesinin artırılması bir zorunluluk haline gelmiştir (Umar ve Ağar, 1985).

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

Asfalt betonu kaplamalardaki bozulmalar; şekil değiştirme, kırılma (çatlama) ve ayrışma olmak üzere üç ana grupta toplanmış ve bu bozulmaların genel nedenleri ise temel, alt temel ve taban zeminin taşıma gücü yetersizliği, trafiğin bozucu etkileri, iklim koşulları ve asfalt betonunun özellikleri olarak sıralanmıştır. Asfalt betonunda meydana gelen bozulmaların nedenleri ve çözüm önerileri ise ayrıca belirtilmiştir (Çetin, 1997).

Asfalt betonu karışımına giren kaba agrega, ince agrega ve mineral filler ile bitümlü malzemede aranan özellikler, gradasyon limitleri, işyeri karışım esasları, inşaa metodu, arazi ve laboratuvar kontrolleri ile diğer şartların şartnamelerde verilen esaslara uygun olması gerektiği vurgulanmıştır (Dağdelen, 1995).

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerektiği belirtilmiş ve ancak aranan bütün koşulları sağlayan bir agreganın karayolu üst yapısında kullanılabilmesi belirtilmiştir. Agregata tane şeklinin önemli olduğu, yassı, düz ve uzun tanelerin yüzdesinin artmasının fillerin özelliğini düşüreceği belirtilmiş ve filler

malzemesinin bitümlü malzemeye reaksiyona girmeyecek özellikte olmasına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (İlcalı ve diğ., 2001).

Karayolu esnek üstyapıları sonsuz uzunlukta olup karmaşık bir yapıya sahiptirler. Esnek üstyapıların bu özelliklerinden dolayı karşılaştıkları sorunlar, ortamlar ve etki eden faktörler farklılık göstermektedir. Ancak bu faktörler genel olarak; iklimin etkisi, trafiğin etkisi ve kimyasal etkiler olarak ifade edilir.

2.3.1. İklimin Etkileri

Çevre ve iklim koşulları, üstyapı bozukluklarının analizinde dikkate alınan önemli bir konudur. Bu koşulların, üstyapının davranışını ziyadesiyle etkilediği, yapılan araştırmalar sonucunda açık bir şekilde belirlenmiştir. Yağışsız ve kurak bir bölgede, iyi sonuç veren üst yapı tipi, yağışlı bir bölgede çevre ve iklim koşullarından dolayı daha kısa hizmet ömrüne sahip olmaktadır. Koşulların uygun olmadığı durumlarda (yağışlardan, don çözümlerinden dolayı taban zeminlerinin suya doymuş hale gelmesi gibi) trafik yükünün yola verdiği zarar, uygun koşullar altında vereceği zarardan daha büyüktür (Umar ve Ağar, 1985).

Sıcaklığın düşmesi durumunda bitümlü kaplama tabakası büzölmek istemekte buna karşılık temel tabakası kaplama ile arasındaki sürtünmeye bağlı olarak bu hareketi önlemeye çalışmakta ve bu esnada kaplama tabakasında çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Esnek üstyapıdaki asfaltın hacimsel genişleme katsayısının, karışım içindeki mineral agreganın hacimsel genişleme katsayısından daha büyük olması, sıcaklık düşmesiyle, agrega daneleri arasındaki asfalt filminde, çekme gerilmelerinin doğmasına neden olabilmektedir (Umar ve Ağar, 1985).

Sıcaklık düşüşü, zemini ve zemin suyunu etkilediğinden, zemin boşluklarındaki suyun donuncaya kadar soğumasıyla, önce buz kristalleri daha sonra buz mercikleri ve sonuçta ise don kabarması olayı oluşmaktadır. Don kabarması nedeni ile bitümlü kaplama tabakasında oluşan çekme gerilmeleri, kaplamanın mukavemetini aşarak çatlakların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, üstyapının oturduğu taban zeminin dona karşı duyarlılığı, yolun inşa edileceği bölgenin; donma indeksi, don

penetrasyon derinliği ve hidrolik koşullar gibi hususlar değerlendirilerek üstyapıda dona karşı önlemin gerekli olup olmadığı araştırılmalıdır (Umar ve Ağar, 1985).

Bitümlü bağlayıcıların vizkoziteleri sıcaklığa doğrudan bağlıdır. Çok soğuk veya çok sıcak ve daha da önemlisi günlük sıcaklık farklarında büyük değişmelerin olduğu bölgelerde, betonun yapı ve özellikleri nedeniyle doğacak ani gerilmelerin dikkate alınması gerekmektedir. Plaklarda sıcaklık farklarından doğan bu gerilme ve deformasyonlar, bir ölçüde genişleme derzleri ile karşılanmakta, ayrıca plak altında imal edilecek bir kaplama altı tabakası da bu konuda yararlı olmaktadır (Karakoç, 2006).

Genelde uzun süre soğuk iklim koşullarına maruz kalan yollarda oluşan düşük sıcaklık çatlakları, özellikle Kanada, ABD ve İskandinav ülkelerinde sık görülen bir karayolu üstyapı bozukluğudur. Bu çatlaklar ülkemizde daha çok, uzun süre soğuğa ve kara maruz kalan doğu bölgelerimizde görülmektedir.

Soğuk iklim koşulları nedeniyle, üstyapıda oluşan çekme gerilmeleri, çekme dayanımını aştığında düşük sıcaklık çatlakları meydana gelir. Bu çatlaklardan sızan sular, çatlakları zamanla derinleştirmekte ve asfalt karışımının erken bozulmasına yol açarak üstyapıya büyük zararlar vermektedir. Ayrıca, çatlaklardan sızan su, altyapı malzemesinin ufalanmasına ve bu nedenle yollarda çöküntülerde yol açabilmektedir (Seçginli, 2007).

2.3.2. Trafiğin Etkisi

Karayolu üzerinde seyreden taşıtların ağırlıkları, dingil sayılarına göre değişen büyüklüklerde, tekerlek bandajları aracılığı ile kaplama sathına iletilmektedir. Taşıtların hızlanma ve frenleme evrelerinde, bandajla kaplama arasındaki sürtünmeye bağlı olarak oluşan yatay yükler üstyapıyı etkilemektedir. Dingil yükleri, üst yapı kalınlığının saptanmasında göz önüne alınan önemli faktörlerden biridir. Dingil yükleri arttıkça, üst yapı kalınlığının artırılması ve/veya daha kaliteli malzeme kullanılması gerekmektedir (Seçginli, 2007).

Projelendirmede göz önünde tutulması gereken parametrelerden biri de o yol üzerinde seyredecek trafiğin yük etkisidir. Taşıt yüklerinin gerek tekerrür sayısı gerekse tonaj itibariyle düşük alınması veya artışıdaki tahminlerde hataya düşülmüş olması

durumlarında, hesaplanmış olan geometrik boyutların yetersiz kalması, öngörülenin üzerindeki yüklemeler ve bunun doğuracağı gerilmeler sonunda beton plakta çatlamalar oluşmaktadır. Çizelge 2.1.'de çeşitli ülkelerde uygulanan dingil yükü limitleri verilmiştir (Karakoç, 2006).

Çizelge 2.1: Çeşitli ülke standartlarında yer alan dingil yükleri ve toplam taşıt ağırlıkları ile ilgili sınırlar (Mercedes Benz,1989)

	Dingil Yükü (ton)			Taşıt Ağırlığı (ton)			
	Direksiyon Dingili	Tek Dingil	Tandem	Tandem Dingili	3 Dingilli	Yarı Römorklu Katar	Römorklu Katar
Almanya	10	10	11-20	17	24	40-44	40
Avusturya	10	10	16	16	22	38	38
Bulgaristan	6	10	13-20	16	26	38	42
Belçika	10	10	19-20	19	26	44	44
Danimarka	10	10	16-20	18	24	48	48
Finlandiya	8	10	18	17	25	44	48
Fransa	13	13	21	19	26	40-44	56
Hollanda	10	11	11.05.2019	20	30	50	40
İngiltere	9-2	10.5	10.5-20.34	17	24-39	38	50
İsveç	10	10	16	17	29	37.5-51.4	32.52
İsviçre	10	10	18	16	19	28	37.5-51.4
İtalya	12	12	20	18	24	40-44	40-44
Macaristan	10	10	16	20	24	40	40
Norveç	10	10	16	20	26	45	50
Polonya		8-10	14.5	16	24	38	33
Romanya		10	16	16	22	38	38
Türkiye	13	13	19	19	26	42	42
Yugoslavya	10	10	16	18	24	40	40
Yunanistan	7	10-13	20	19	26	38	38

Karayolunun üstyapı kalınlıkları, seçilen standart dingil yükünün belli zaman içinde tekerrürüne bağlı olarak boyutlandırılmaktadır. Ülkemizde olduğu gibi birçok ülkede de standart dingil yükü 8.2 ton, yol ömrü ise 20 yıl olarak alınmaktadır. Yapılan sayımlara bağlı olarak bu süre içindeki dingil tekerrürü dikkate alınarak üst yapı kalınlıkları hesaplanmaktadır.

Hesaba esas standart dingil yükü üzerindeki yüklemelerin karayoluna verdiği hasar aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Liddle, 1963).

$$\text{Hasar} = \frac{(P_p)^n}{P_s} \quad (2.1)$$

Bu formül, AASTHO (Amerikan Devlet Karayolu Memurları Derneği) tarafından 1950’li yıllarda geniş kapsamlı deneylerle elde edilmiş olup günümüzde halen bu formül kullanılmaktadır. Burada;

P_p: Pratik dingil yükü

P_s: Standart dingil yükü

n: Esnek üst yapılarda 4, Rijit üst yapılarda 12 olarak alınmaktadır (Umar ve Açar, 1985).

Örneğin 10 ton standart dingil yüküne göre boyutlandırılmış bir üst yapıdan tekerrür sayısı değişmeden 14 ton pratik dingil geçirilmesi halinde,
Hasar=14⁴ / 10 = 3.85 olarak hesaplanır.

Bu bağlamda, günde 1000 adet 10 tonluk dingil geçeceği kabulüne göre 20 yıllık bir ekonomik ömür için projelendirilmiş ve inşa edilmiş bir yoldan günde 1000 adet 14 tonluk dingil yükü geçerse, 20 yıllık yolun ömrü 20/3.85 = 5.20 yıla düşecektir. 8 tonluk dingil yüküne göre ekonomik ömürleri 20 yıl olarak hesap edilen yollarımızdan, 8 tonun üzerindeki tonajların geçmesiyle, bu ekonomik ömrü kaç yıla kadar indirdikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Karakoç, 2006).

Çizelge 2.2 : Ağır dingil yükleri sonucu yol ekonomik ömründe görülen azalma.

Geçen Araç Sayısı (adet)	Dingil Yükü (ton)	Yolun Ömrü (yıl)	Dingil yükü artışı referans dingil yüküne göre (kat olarak)	Yol Ömründeki Azalma (%)
1000	8	20	1.0	
1000	9	11,9	1,125	40,5
1000	10	7,5	1,25	62,5
1000	11	5	1,375	75
1000	12	3,4	1,5	83
1000	13	2,4	1,625	88
1000	14	1,7	1,75	91,5
1000	15	1,3	1,875	93,5

Dingil yükünün 8 ton ve tekerrür sayısının 1000 olduğu durumda esnek üst yapının servis ömrü 20 yıl iken, tekerrür sayısı sabit tutulup, dingil yükü 11 tona çıkarıldığında yolun servis ömrü %75 azalırken, dingil yükünün 15 ton olduğu durumlarda bu oran %93’e kadar çıkabilmektedir.

2.3.3 Kimyasal Etkiler

Karayolları servis ömrü boyunca birçok zararlı etkilere maruz kalmaktadır. Bunlardan birisi de kimyasal etkilere dir. Kimyasallar özellikle kış aylarında don etkisini azaltmak için yoğun olarak kullanılır. Bunlara tuzların verdiği zararlarda diyebiliriz. Asitler ise karayollarına atmosferde bulunan zararlı gazların yağmur suyuyla birleşmesiyle oluşan asit yağmurları olarak etki edebilirler. Sanayi bölgelerinde kullanılmak üzere bir yerden başka bir yere taşınan kimyasal maddelerde taşıma esnasında oluşan kazalar, sızıntı vb. sebeplerden dolayı karayollarına etki edebilmektedir. Kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasalların etkisini; Kalsiyum Klorür ve Magnezyum Klorür'ün (CaCl_2 ve MgCl_2) etkisi, Kalsiyum, Magnezyum, Asetat (CMA)'ın etkisi ve Sodyum Klorür (NaCl)'ün etkisi şeklinde ifade edilebilir.

2.3.3.1. Kar Ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Kimyasallar

Kar ve buz ile mücadelede etkili bir çözüm bulmak, değişkenlerin çokluğundan dolayı kolay değildir. Farklı hava durumları, üstyapı sıcaklığı, üstyapı tipi, ortam sıcaklığı, trafik hacmi, taşıt hızları, rüzgar yönü ve hızı, yağış tipi, topografya, göl veya okyanus etkisi, güneş görmeyen kısımlar bu faktörler arasında sayılabilir. Bu etkenlerin çeşitliliğinden dolayı kar ve buz mücadelesinde farklı kimyasallar değişik yöntemlerle kullanılmaktadırlar. En çok kullanılan kimyasallar CaCl_2 , MgCl_2 , CMA ve NaCl 'dür ve özellikleri maddeler halinde açıklanmıştır (Kuloğlu ve Kök, 2005).

a) Kalsiyum Klorür ve Magnezyum Klorür (CaCl_2 ve MgCl_2)

Kalsiyum Klorür ve Magnezyum Klorür su içinde hızlı ve kolay bir şekilde erirler. -29°C sıcaklığa kadar olan düşük sıcaklıklarda bile uygulanabilirler. Bütün buz eritici tuzlar iyonlarına ayrışarak kar ve buz eritirler. "Cl" iyonunun genel olarak çevreye ve betona zarar verdiği bilinmektedir. " CaCl_2 " ve " MgCl_2 " bir "Ca" ve "Mg" iyonuna karşılık iki Cl iyonu serbest bırakır. Bu sayede kar ve buz eritmekte daha hızlı ve etkili fakat çevreye daha zararlı olmaktadır. Ayrıca " CaCl_2 " ve " MgCl_2 " uygulandıktan sonra yol yüzeyinde temizlenmesi zor ve kaygan özellikte bir kalıntı bırakırlar (Kuloğlu ve Kök, 2005).

b) Kalsiyum, Magnezyum, Asetat (CMA)

İçme suyu, beton ve bitkiler açısından en güvenli buz eritici kimyasal olmakla birlikte korozif değildir. Yağıştan önce uygulanması buzun yüzeye yapışmasını etkili bir

biçimde önlemektedir. CMA'nın yol yüzeyini kaplaması nem riskini ve yüzey hasarlarını azaltmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda etkili olmamakla birlikte kaya tuzuna göre 30 kat daha pahalıdır (Kuloğlu ve Kök, 2005).

c) Sodyum Klorür (NaCl)

Tuzun başlıca buz çözücü olarak kullanılmasının nedeni en çok bulunabilen ve en ucuz buz çözücü olmasıdır. Tuz, karada ve denizlerde bol miktarda bulunmaktadır. En çok kullanılan, madenlerden çıkarılan kaya tuzudur. Deniz suyundan güneş ışınlarıyla buharlaşan sular tuz da kullanılmaktadır. Her yıl Amerika'da 15 milyon, Kanada'da ise 4-5 milyon ton tuz kullanılmaktadır. Günümüzün hareketli toplumunda, kar ve buz nedeniyle oluşan tehlikeli durumları en kısa zamanda ortadan kaldırmak ve kış mevsimlerinde gerekli olan hareketliliği garanti altına almak için yolları açık tutmak zorunludur. Tüm bunlar ise buz çözümünü zorunlu kılmaktadır. Tuz bazen tek başına kullanılsa da, en genel kullanımı kar süpürücülerle bir arada olanıdır (Anonim, 2007).

Tuz, kaplama yapısına çeşitli şekillerde olumsuz etkiler yapabilir. Tuzlu su kaplama kenarlarında veya oluşan çatlaklarda farklı donma kabarmalarına neden olarak asfalt kaplamayı hasara uğratabilir (Şekil 2.4). Beton yollarda, klor iyonları çatlaklardan donatıya ulaşırlarsa donatıyı paslandırabilir ve yüzeyde ufalanmalara neden olabilir. Tuz, bitümün oksidasyonuna dolayısıyla yaşlanmasına da sebep olabilir. Toprak geçirgenliği veya arazi eğimi gibi faktörlere dayanarak, sodyum ve klorür iyonları ağaç ve bitki köklerine doğru akabilir. Bu iyonlar ağaçların dallarında ve yapraklarında oluşurlar ve toksin hale gelebilirler (Anonim, 2006). Ayrıca, Magnezyum klorürdeki magnezyum, beton yollarda çimentoyla reaksiyona girebilir ve kaplamayı zayıflatabilir (Anonim, 2003).



Şekil 2.4: Tuzun zararlı etkilerine maruz kalmış yoldan bir görünüm (Varış, 2007).

Public Road Administration Norveç'te tuzlu suyun kullanılabilirliğini araştırmak için bir çalışma yapmıştır. Tuzlu su, hızlı reaksiyon oluşturması, uygulama hızının artması, tuz miktarının azaltılması, temizlenmiş yolda hızlı bir kuruma sağlaması açısından incelenmiştir. Tuzlu su uygulamasının, don ihtimalinden önce ve ince buz tabakaları üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Roar ve Knut, 1993).

2.3.3.2. Asit Yağmurları

Kükürt ve Azot dioksitlerin atmosferdeki nemle birleşerek sülfürik ve nitrik asitli yağmur, kar ya da dolu oluşturması biçiminde kirliliğe verilen genel addır. Bu tür yağmurda tanecikler siste asılı olarak süspansiyon oluşturabilir ya da en kuru halde birikebilirler.

Asit yağmurlarının verdiği ileri sürülen zararın bir bölümünün aslında bazı doğal nedenlerden kaynaklandığı yapılan araştırmalar sonucunda anlaşılmışsa da, petrol ve kömür yanmasından oluşan kükürt dioksit ile otomobil motorlarından çıkan azot oksidin, asit yağmuru sorununu büyük ölçüde arttırdığı bilinmektedir.

2 ile 7 gün arasında havada asılı kalabilen bu kirleticiler, atmosferde çeşitli kimyasal ve fiziksel reaksiyonlara uğrayarak, zamanla çok uzaklara taşınabilmekte, atmosferdeki su partikülleri ve diğer bileşenlerle tepkimeye girerek sülfürüz asit (HSO), sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) gibi kirletici maddelerin oluşumuna neden olmaktadır. Çeşitli yanma olayları sonucu havaya karışan SO_2 , SO_3 , NO_x gibi gazlar yağışla birleşip asit meydana getirebilmekte ve bunların yeryüzüne yağması ile asit yağmurları oluşmaktadır. Bunların yeryüzüne geri dönüşleri kuru ve yaş asit depolanması sonucu olmaktadır (Anonim, 2011h). Asit yağışları, geçmişte sadece sınırlı bölgelerin sorunu olarak insanların sağlığını tehdit eder gibi görünürken, günümüzde geniş alanları etkisi altına almıştır. Asit yağmurlarının sınırı yoktur. Asit yağmurları, hangi ülkeden kaynaklanırsa kaynaklansın, çevredeki diğer ülkeleri de etkiler (Selvi, 2007).

Ayrıca asit yağmurları yeryüzüne ve yeryüzünde bulunan birçok yapıya zarar vermektedir. Asit yağmurları, agrega ve bitümlü sıcak karışımdan elde edilen karayolları üzerinde de korozif ortam oluşturarak karayolunun deforme olmasına sebep olabilmektedir.

2.4. KARAYOLU ESNEK ÜST YAPISINDA OLUŞAN BOZULMALARIN NEDENLERİ

Karayolu esnek üst yapısında oluşan bozulmaların birçok nedeni olmakla birlikte bunlar kısaca; proje hataları, yapım hataları ve bakım hataları şeklinde ifade edilebilir.

2.4.1. Proje Hataları

Zemin etütlerinin yeteri kadar sağlıklı yapılmaması, büyük ölçüde dolgu ve yarmaların teşkili, tabii zeminin hesap dışı yüklenmesi, şevlerin dik kesilmesi, hendek ve sanat yapılarının uygun yer ve boyutta yapılmaması, drenaj eksikliği sonucu meydana gelen bozulmalar, üstyapı projelendirilmesinde yanlış hesaplamalar yapılması sonucu meydana gelen bozulmalar ve proje hataları sonucu olmaktadır (Karakoç, 2006).

2.4.2. Yapım Hataları

Taşıma gücü zayıf zemin iyileştirilmeden yol gövdesinin oluşturulması, uygun dolgu malzemesi seçilmemesi, drenaj sisteminin yetersiz olması, asfalt tabaka kalınlıklarının şartnameye göre yapılmaması, kaplama malzemesi olarak kullanılan agrega ve bitümlü malzemenin yanlış seçimi ve kalitesizlikleri, yetersiz yada aşırı sıkıştırma, düşük hava sıcaklığında veya yağışlı havada imalat, kalitesiz işçilikte yapım hataları olarak sayılabilir (Karakoç, 2006).

2.4.3. Bakım Hataları

Bakım hataları, yolun gövdesi, kaplama tabakası, sanat yapıları ve diğer tesislerin zaman içerisinde çeşitli nedenlerle bozulmaya başladıktan sonra bunların onarımlarındaki gecikmeler neticesinde oluşan hatalar ve uygun yapılmayan kar ve buz mücadeleleridir. Drenaj sistemleri, hendek ve kanallar ile sanat yapıları sık aralıklarla kontrol edilmeli, kanallar, drenaj boruları ve menfezler tıkanmış ise durumu düzeltmek için gerekli çalışmalar yapılmalıdır (Karakoç, 2006).

2.5. KARAYOLU ESNEK ÜST YAPISINDAN BEKLENEN FİZİKSEL Ve MEKANİK ÖZELLİKLER

Esnek üstyapının, yukarıda belirtilen etkilere karşı uzun süre dayanabilmesi ve performansını koruyabilmesi için bazı koşulları sağlaması istenmektedir. Esnek üstyapı dizayn edilirken dikkate alınması gereken bazı özellikler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

1. Stabilite
2. Durabilite (dayanıklılık)
3. Geçirimsizlik
4. İşlenebilirlik
5. Esneklik
6. Yorulmaya karşı direnç
7. Kayma direnci (Önal ve Kahramangil, 1993)

2.5.1. Stabilite

Stabilite, malzemenin düşey ve yatay trafik yükleri altında oluşan basınç, çekme ve kayma gerilmelerine karşı göstermiş olduğu dirençtir (Ilıcalı, 2001).

Karışımın stabilitesi, agregalar arasındaki içsel sürtünmeye ve bağlayıcının kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arasındaki içsel sürtünme; agregaların şekilleri ve yüzey dokuları ile ilgilidir. Kohezyon ise, yükleme hızı (trafik hızı) ve asfalt bağlayıcının viskozitesi arttıkça artar, kaplamanın sıcaklığı arttıkça azalır (Asphalt Institute, 1996).

Esnek üstyapıdaki bağlayıcı miktarının artmasıyla stabilite değeri de artar; fakat bu artış devamlı olarak gerçekleşmez. Belli bir maksimum değerden sonra bağlayıcı miktarı arttıkça stabilite değeri düşüş gösterir (Çizelge 2.3).

Aşırı yüksek stabilite değerlerine sahip asfalt karışımlarında (esnek yapılarını belirli ölçülerde kaybedeceklerinden), aşırı trafik yükü altında çatlama meydana gelebilir. Bu nedenle, bir asfalt karışımı dizayn edilirken, tespit edilen stabilite değerlerinin o

karışımın uygulanacağı yerdeki trafik ve iklim koşullarına uygun olmasına dikkat edilmelidir.

Çizelge 2.3: Düşük stabilitenin sebepleri ve sonuçları (Kurtis, 2003)

DÜŞÜK STABİLİTE	
Sebepler	Sonuç
Karışım gereğinden fazla asfalt yüzdesi	Tekerlek izi oluşumu ve kasma
Karışım aşırı miktarda kum yüzdesi	Sıkıştırma sırasında yumuşama ve sıkıştırma zorluğu
Yuvarlak agrega, kırılmamış ya da az kırılmış agrega yüzeyi	Tekerlek izi oluşumu

2.5.2. Durabilite

Esnek üstyapının, oksidasyona ve karışımdaki agregaların parçalanmaya karşı koyabilme kabiliyetine “durabilite” adı verilir. Genellikle sıcak karışımın durabilitesi, maksimum bağlayıcı miktarı, karışım sağlam agrega kullanmak ve maksimum geçirimsizlik sağlayacak biçimde sıkıştırmak şeklinde üç faktörle sağlanmaktadır (IDTM, 2002).

Karışımdaki bağlayıcı miktarı arttıkça durabilete artmaktadır. Çünkü agregaları saran asfalt film kalınlığı ne kadar yüksek olursa, karışımın yaşlanmaya karşı direnci de o kadar artar. Böylece kaplamanın orijinal halde kalma süresi uzamaktadır. Ayrıca karışımdaki bağlayıcının miktarının artırılması sonucunda, karışımdaki hava boşlukları azalacak ve sonuçta kaplamanın içine su ve hava girişi zorlaşacaktır (Kigguende ve Robert, 1998). Durabilitedeki düşüş çeşitli sebeplere bağlı olup bunlar sebep ve sonuç ilişkisi şeklinde aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4: Düşük durabilitenin sebepleri ve sonuçları (Kurtis, 2003)

DÜŞÜK DURABILİTE	
Sebepler	Sonuç
Karışım gereğinden az asfalt yüzdesi	Agrega tanelerinin yerlerinden ayrılması ile yüzeyden aşağıya doğru ve kenarlardan içe doğru gelişen bozulma (Sökülme)
Karışım yüksek hava boşluğu yüzdesi	Karışımın erken yaşlanması ve bu yüzden çatlak ve ayrılmaların olması.
Karışım, suya hassas agregaların kullanımı	Bağlayıcının, agrega yüzeyinden soyulması.

2.5.3. Geçirimsizlik

Asfalt betonunun içine, hava ve su girişine karşı gösterdiği dirence “geçirimsizlik” denir ve karışımın içindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkilidir. Hava boşluğu, kaplamaya su ve havanın girişine neden olsa da, bu boşlukların sayısından çok, boşlukların karakterleri, geçirimsizlik için daha önemlidir. Bu karakteristik özellikler, boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile bağlantı seviyeleri ve bunların kaplama yüzeyine ulaşım ulaşımadıkları olarak ifade edilebilir (Kurtis, 2003). Asfalt betonunda, geçirgenliği artıran sebepler ve sonuçlar aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5: Geçirgenliğin sebepleri ve sonuçları (Kurtis, 2003)

GEÇİRGEN KARIŞIM	
Sebepler	Sonuçlar
Karışım gereğinden az asfalt yüzdesi	Sökülme
Karışım yüksek hava boşluğu yüzdesi	Su ve hava kaplamaya kolayca girerek, oksidasyona ve agregaların parçalanmasına neden olur.
Yetersiz sıkıştırma	Kaplamaya su girer ve dayanım azalır.

2.5.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında karşılaşılan kolaylık olarak ifade edilebilir. İşlenebilirlik, karışım dizayn parametrelerinde, agregaların kökeninde ve/veya gradasyonda yapılacak değişikliklerle yükseltilebilir (Johnson, 2000).

Yüksek oranda kaba agrega içeren sert sıcak karışımlar, taşıma sürecinde segregasyona eğilimlidirler ve bu tip karışımları sıkıştırmak oldukça zordur. Bunları işlenebilir hale getirmek amacıyla, karışıma ilave ince malzeme ve/veya bağlayıcı katılmaktadır. Elde edilen yeni karışımın da gerekli tüm dizayn kriterlerini mutlaka sağlaması gereklidir (Gardiner ve Brown, 2000). Çeşitli sebeplerle işlenebilirlik düşebilir. Düşük işlenebilirliğin sebepleri ve sonuçları aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6: Düşük işlenebilirliğin sebepleri ve sonuçları (Kurtis, 2003)

DÜŞÜK İŞLENEBİLİRLİK	
Sebeup	Sonuç
Büyük miktarda kaba agrega	Sıkıştırımda zorluk
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmış agregalar, durabilite eksikliği, sıkıştırmak için fazla sert karışım
Karışımında çok miktarda kum	Sıkıştırma esnasında karışımın hareketi
Karışımında, az miktarda ince agrega	Karışım çok geçirgen
Karışımında, yüksek miktarda ince agrega	Karışım çok kuru, yetersiz durabilite

2.5.5. Esneklik

Bitümlü tabakaların, yolun alt tabakasındaki çökmelerden kaynaklanabilecek deformasyonlara çatlamaadan karşı koyabilme yeteneğine “esneklik” adı verilmektedir. Esnekliğin yetersizliği yolda çatlamalara neden olur. Kararlı ve esnek bir bitümlü karışımın elde edilebilmesi için, yazın kıvamını koruyabilen, kışın ise kırılğan hale gelmeyen bir bağlayıcı gereklidir (Umar ve Ağar, 1985).

2.5.6. Yorulmaya Karşı Direnç

Yorulma, karışımın tekrarlı dingil yüklerinden kaynaklanan tekrarlı eğilmelere karşı koyabilme yeteneği olarak ifade edilebilir. Gerek yetersiz sıkıştırma, gerekse dizayn hatalarından dolayı yüksek hava boşluğuna sahip kaplamaların yorulma ömürleri, bu nedenlerle şiddetle düşmektedir. Kaplamanın, yaşlanması sonucu sertleşmesi de, yorulmaya karşı direnimini azaltmaktadır (Harold ve diğ., 1995). Yorulmaya karşı direnci düşüren sebepler ve sonuçlar aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7: Düşük Yorulma Direncinin Sebepleri ve Sonuçları (Kurtis, 2003)

DÜŞÜK YORULMA DİRENCİ	
Sebeup	Sonuç
Karışımında gerekenden az asfalt yüzdesi	Yorulma çatlakları
Karışımında yüksek hava boşluğu yüzdesi	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları
Yetersiz sıkıştırma	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları
Yetersiz üst yapı kalınlığı	Erken yaşlanma ve buna bağlı yorulma çatlakları

2.5.7. Kayma Direnci

Asfalt karışımın, tekerlekle yol yüzeyi arasında oluşan sürtünme direncine “kayma direnci” adı verilir (Ilıcalı, 2001). Bitüm muhtevası açısından zengin karışımlarda ileriki

zamanda, kusma meydana gelme ihtimali olduđundan kayma direnci dűşebilir. Bu durum trafikte güvenlik açısından sakıncalar dođurabilir (Seçginli, 2007).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Nixon ve Foster (1996), karla mücadele konusunda ayrıntılı bir araştırma yürütmüşlerdir. Günümüzde kullanılan kimyasallar, kum ve kar sürme makinelerinden bahsedilmiş, bunların avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Tuzun üstyapıya ve çevreye verdiği zararlarla birlikte, tuz yerine geçebilecek tamamen zararsız, ucuz bir yöntemin henüz bulunmadığının altı çizilmiştir. Detaylı bir araştırma yapmak amacıyla hazırlanan anketler Iowa'daki il ve ilçelerin hepsine yollanmıştır. Böylece tüm eyaletin kış mücadelesi çalışmalarını hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir. Son olarak ta buz çözücü ve buzlanmayı önleyicilerdeki en son teknolojilerden ve hava bilgi sistemlerinden bahsedilmiştir. Karla mücadelede başarılı olabilmek için bazı strateji önerilerinde bulunulmuştur.

Kar yağışı ve buzlanma, yolu kullanan trafiği seyir güvenliği bakımından olumsuz yönde etkileyen ve dolayısıyla yoldan beklenen hizmet düzeyini büyük ölçüde düşüren en önemli etkenlerden biridir. Kar yağışı ve buzlanmanın etkili olduğu kesimlerde, yol ile taşıt tekerlekleri arasındaki sürtünmenin azalması, trafiğin normal seyrini zorlaştırmakta, can ve mal kayıplarının görüldüğü trafik kazalarına neden olmaktadır. Karayolunda seyir güvenliğinin sürekliliği ve beklenen hizmet düzeyinin sağlanması için, kar yağışı ve buzlanmanın etkili olduğu kesimlerde, kar ve buz kontrolü çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Kar yağışı ve buzlanmanın görüldüğü iklim koşullarına sahip birçok ülkede, karayollarından sorumlu kurumlar, kış bakımı çerçevesi içerisinde kar ve buz kontrolü programları geliştirmişlerdir (Ağar ve Kutluhan, 2005).

Kışın yollarda trafik ve yol güvenliğinin sağlanabilmesi için buz çözücü kimyasallar kullanılmaktadır. Kullanılan en genel kimyasal tuzdur ve genellikle işlenmiş madeni kaya tuzundan elde edilir. Sıkça kullanılan bir başka kimyasal ise CaCl_2 (Kalsiyum Klorür) olup deniz suyundan elde edilir. Alternatif buz çözücü kimyasallar üzerinde araştırmalar devam etmektedir (Anonim, 1996).

NaCl ve CaCl₂, 2/1 ve 1/1 oranlarında karıştırılarak kullanılabilir. Bu şekilde CaCl₂'ün çok düşük sıcaklıklarda etkili olmasından, NaCl'ün ise ucuz olması özelliğinden faydalanılmaktadır. NaCl, likit CaCl₂ ile çözelti haline getirilerek kullanılması durumunda reaksiyon zamanı artmakta ve daha düşük sıcaklıklarda etkili olmaktadır. NaCl'ün gerek CaCl₂ ile gerekse su ile önceden ıslatılması, bu kimyasalın yol yüzeyine yapışıp trafik etkisi ile yoldan uzaklaşmasını engeller. Gustafson (1993), yaptığı çalışmada, NaCl'e karşı ekonomik bir alternatifin olmadığını belirtmiştir.

Kış aylarında donan ve/veya karla kaplanan yolları açmak için genellikle NaCl (sodyum klorür) ve bazen de CaCl₂ tuzları kullanılır. Bu tuzlar sonuçta suların (dere, çay vb.) tuz konsantrasyonunu artırır. Sulardaki tuz konsantrasyonunun artması, içme sularının yanında sulama sularını ve sudaki yaşamı da büyük oranda etkilemektedir. Buzu eriten ve onu yoldan uzaklaştıran başka kimyasal maddeler de vardır. Fakat bunların hepsi tuzdan pahalı olup kendilerine özgü kimyasal problemleri bulunmaktadır. Son yıllarda pek çok ülkede tuz yerine kalsiyum magnezyum asetat (CMA) ve üre kullanılmaya başlanmıştır. Tuzdan çok daha pahalı olduğu için CMA bazı ülkelerde yalnız köprü ve hassas bölgelerde kullanılmaktadır. Yollarda buzlanmanın önlenmesi için üre kullanımı sonucunda yol kenarındaki bitkiler aşırı büyümekte ayrıca canlılar için zararlı olan NH₃ iyonu oluşmaktadır. Bu değerlendirmeler sonucunda görüleceği gibi tuzun yerine geçebilecek veya tuzun çevreye verdiği zararı en aza indirecek ucuz bir malzemeye ihtiyaç vardır. Aslında böyle bir malzemeye kara ikliminin hüküm sürdüğü bütün ülke ve yörelerde ihtiyaç duyulmaktadır. Buna göre buzlanma mücadelesinde kullanılacak malzemenin ucuz ve bol bulunur olması yanında çevreye zarar vermeme, düşük sıcaklıklarda buzlanmayı önleme ve karayollarında kolaylıkla kullanılabilme özelliklerini taşıması gerekir (Yörükoğulları, 2005).

Tuz rezervlerinin fazla olması, depolama ve uygulama kolaylığı nedeniyle kar ve buz mücadelesinde en çok kullanılan kimyasaldır. NaCl -10 °C sıcaklığa kadar pratik bir şekilde kullanılabilir. Eritme özelliği bakımından uzun sürede en fazla etkiye sahiptir (Kuloğlu ve Kök, 2005).

Sodyum Klorür (NaCl), yollarda buz önleyici katı kimyasal olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. NaCl karşımıza üç çeşit olarak çıkmakta olup kaya tuzu madenlerinden elde edilen tuza “kaya tuzu”, deniz veya göl suyunun buharlaştırılmasıyla oluşan tuza “solar tuz”, derinlerdeki yer altı suyunun vakumlanmasıyla üretilen tuz ise çok saf olup “solüsyon veya vakum tuzu” olarak isimlendirilmektedir. ABD’deki otoyollarda en çok kullanılan tuz kaya tuzu olup buna rağmen ABD’nin bazı batı eyaletleri, solar tuzu da ithal ederek kullanmaktadırlar (FHWA, 1996).

NaCl ve CaCl₂ beton kaplamalı yollara zarar veren tuzlar olup beton yüzeyinin soyulmasına neden olmaktadır. Hava katkısız betonlarda suda eriyen tuzlar kurduğunda kristalleşerek boşluk çeperlerinde basınç yaratırlar. Bu basınç beton yüzeyinin kabarmasıyla birlikte oyukların ve çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kullanılan tuzun miktarı ve uygulanma sıklığı beton yüzeyinin bozulmasını artırır. Beton yüzey üzerinde %2’lik NaCl çözeltisi bile betona büyük zarar verilebilir. Hava katkılı betonlar buz çözücü maddelere karşı normal betonlara göre daha fazla duyarlıdır. ABD’de yapılan bir araştırmaya göre bir ton tuzun çevreye verdiği zararı gidermenin maliyeti 800 \$’dır. Bu maliyete, tuzun yer altı sularına verdiği zarar ve dolaylı olarak sağlık giderleri dâhil edilmemiştir. Tuz yerine çevreye zarar vermeyen bir malzemenin kullanılmasının Amerika ekonomisine katkısı yaklaşık yılda 100 milyon \$ olacaktır. Bu katkı tüketilen tuz miktarı ve kışın açık tutulmaya çalışılan yol uzunluğu ile artış gösterecektir. Yurdumuzda ise buzlanma mücadelesinde kullanılan tuz miktarının 100 bin ton civarında olduğu tahmin edilmektedir (Yörükoğulları, 2005).

İngiltere’de, yoğunluğu yaklaşık 0,06 g/cm³ olan taze kar’ın 1 cm kalınlığı ve 0 °C’nin altındaki her derecesi için m²’ye 5 g tuz dökülmektedir. Fransa’da bu miktar P=16.t.r formülüyle hesaplanmaktadır. P: g/m² olarak gerekli tuz miktarı, t: 0 °C altındaki yerin ısısı, r: kg/m² olarak kar ağırlığıdır. 3 cm kalınlığındaki 1 m² karı eritmek için İngilizlere göre 75 g, Fransızlara göre ise 144 g tuz gerekmektedir. Ülkemizde taze karı eritmek için m²’ye 5 g tuz dökülmektedir (Kuloğlu ve Kök, 2005).

Doğal olarak tuz etkisine maruz kalan deniz kıyısındaki yollar ile kış mevsiminde don etkisini azaltmak ya da önlemek amacıyla tuzlanan yollar, kaplamanın içine nüfuz eden

su ve tuza maruzdurlar. Yollarda kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasallar, kar ve buzu eriterek yol yüzeyinde bir çözelti oluştururlar. Bu çözeltilerin, kaplamanın geçirgenlik özelliğinden dolayı esnek kaplamalar üzerinde çeşitli etkileri olabilmektedir (Kuloğlu ve Kök, 2005).

Gelişmiş ülkelerde artık geleneksel yöntemlerden çıkılarak, modern yöntemlerle kar ile mücadele yapılmaktadır. Bu kapsamda, kar'ın yağmasından sonra müdahale değil de kar yağmadan önce ya da yağış esnasında mücadele başlatılmaktadır. Böylece, çalışma hem insan gücü açısından verimli olmakta, hem de yapılan çalışma hedefine ulaşmaktadır. Elbette bu çalışmalar yürütülürken, iyi bir hava tahmin ekibinin olması gerekmektedir. Sert kışlar geçiren Rusya'da buzun önlenmesine yönelik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Rusya'da, çevreye ve kaplamaya verdiği zarardan dolayı sodyum klorürden vazgeçilmiş olup sadece sıvı kalsiyum klorür kullanılmaktadır. Kar ile dolmuş yola kimyasal uygulanması yeterli olamamaktadır. Bu sebeple önce bu kar kürünmekte, ardından kimyasal uygulanmaktadır. Kar kürüyücü bıçaklarda asfaltın zarar görmemesi için 10-15 cm kalınlığında lastik bulunmaktadır (Anon, 2004).

Michigan Ulaştırma Departmanı için yapılan çalışmada (Anon, 1993), buz çözücü çalışmalardan ve malzemelerden (özellikle tuz ve kum) bahsedilmiştir. CMA, $CaCl_2$, kum vd. gibi karayollarında buzlanma ile mücadelede kullanılan tuza alternatif oluşturabilecek malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Bu malzemelerin büyük bir kısmı zaten kullanılıyor olmasına rağmen, özellikleri ve etkileri tam olarak anlaşılmalıdır. Etilen glikol, üre ve metanol zayıf performansları, çevre ve insanlara olan etkileri sebebiyle diğer malzemelerle karşılaştırılmamıştır.

David ve Max (1993), Ontario'da yaptığı çalışmasında CMA'nın daha fazla kullanılması durumunda buzdan erimiş pürüzsüz bir yüzey oluşturmada tuz ile kıyaslanabilir olduğunu tespit etmiştir. Bu çalışmada, CMA'nın daha uzun fırtınalarda nispeten daha etkili olduğu, performansının tuza göre sıcaklık, nemlilik, uygulama zamanı ve trafik hacminden daha fazla etkilendiği ve CMA'nın ıslatılması ya da çözeltisinin kum ile karıştırılmasının özellikle kuru, soğuk ve rüzgârlı havalarda performansını iyileştirdiği belirtilmektedir.

Tapio ve diğ., (1993) Finlandiya’da yaptığı çalışmasında buz kontrol işleminde arazi çalışmalarını test etmiştir. Bu çalışmada, %23’lük ve %25’lik NaCl kullanılmıştır. Sobo 20 metodu ile uygulamadan sonra yol üstünde kalan kalıntıların daha ne kadar etkili olabileceğini araştırmıştır. Ayrıca test, likit NaCl ve CaCl₂ nin karıştırılması ile de yapılmıştır. Farklı serpm hızlarında ve farklı oranlarda ıslatılmış tuz ile çalışılmıştır. Yol yüzeyinde kalan kalıntı hususunda NaCl ve CaCl₂ nin ne kadar iyi oldukları arasında bir fark oluşmamıştır. Tuz kalıntıları ilk 200 taşıttan sonra eksilmiştir. Dağıtma araçlarının 30-40 km/sa hızla 5-7 m arasındaki bir genişlikte dağıtma yaptıkları zaman en iyi sonucun elde edildiğini belirtmiştir.

Genel olarak buz çözücü kimyasallar suyun donma noktasını düşürmektedir. Yağıştan önce kimyasalların uygulanması bu açıdan çok daha etkili olmaktadır. Eritme işleminde CaCl₂ ısı üretirken NaCl havadan ve buz tabakasının altındaki kaplamadan ısı aldığı için kaplamanın ısısı daha düşük olur. Erimenin ardından tekrar buz oluşması ve bunu eritmek için tekrar tuz uygulanması, donma çözülme etkilerinden dolayı kaplamada ek gerilmeler oluşturur (Kuloğlu ve Kök, 2005).

Kışın yolların yüzeyini temiz kaplama haline getirmek genellikle buz çözücü kimyasallar gerektirir. Kullanılan en genel kimyasal tuzdur ve genellikle işlenmiş madeni kaya tuzundan elde edilir. Sıkça kullanılan bir başka kimyasal ise CaCl₂ (kalsiyum klorür) olup doğal deniz suyundan elde edilir. Alternatif buz çözücü kimyasallar üzerindeki araştırmalar ise devam etmektedir (Anon, 1996).

“Asit yağışı” terimi, yağmur, kar, sis-bulut, çığ veya kuru partiküllerde asidik komponentlerin depolanması anlamında kullanılır. Asit yağışları, “asit presipitasyonu” ve “asit depozisyonu” gibi terimlerle de ifade edilmektedir, dolayısıyla üç terminoloji de aynı konuyla ilişkilidir. Asit depozisyonunun kuru ve yaş olmak üzere iki tipi vardır. Kuru depozisyon, asidik gaz ve partikülleri ifade eder. Yaş depozisyon ise, yağmur, kar ve çığı ifade eder (Özdemir, 2005).

Doğal yağış, atmosferdeki karbon dioksit ve eser miktardaki gazların yağmur suyunda çözünmesi nedeniyle azda olsa asidiktir. Yağmur suyunda çözünen bu gazlar

çoğunlukla karbonik asit gibi zayıf asitleri (H_2CO_3) daha az miktarlarda da sülfürik asit (H_2SO_4), nitrik asit (HNO_3) ve organik asitleri (formik asit gibi) oluştururlar. Bu nedenle CO_2 konsantrasyonu dengede olan temiz bir atmosferde yağmur suyunun pH'ının 5,6 olması beklenir. Doğal olarak atmosferde bulunan kükürt ve azot gazlarının asitleri nedeniyle kirletilmemiş yağmur suyunun pH'ı 5,2 ile 5,6 arasındadır. Asit yağmuru; pH'ı 5'ten küçük olan yağışlar olarak tanımlanmaktadır. Asit yağışları, kükürt oksit (SO_x) ve azot oksit (NO_x) gibi kirletici gazlar nedeniyle oluşur. Bu gazlar nem (H_2O), hidroksil radikali (OH) ve güneş ışığıyla kimyasal olarak reaksiyona girerek mikroskobik sülfürik (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) damlacıklarını oluşturur (Selvi, 2007).

Atmosferdeki kükürt ve azot oksitler doğal ya da insan kaynaklı olabilirler. Kükürt oksitlerin en büyük doğal kaynağı volkanik patlamalar, deniz aerosolleri ve atmosferdeki sülfür gazlarının oksidasyonudur. Azot oksitler için en büyük doğal kaynaklar, topraktaki mikroorganizma faaliyetleri, şimşekler ve atmosferik amonyağın oksidasyonudur. Doğal orman yangınları da hem kükürt hem de azot oksitlerin kaynağıdır. Günümüzde fosil yakıtların kullanımı ve bazı insan faaliyetleri atmosferdeki kükürt emisyonunu arttırmıştır. İnsan kaynaklı en önemli miktardaki kükürt emisyonu (%70) kömür yakılan termik santrallerdir. Bunun yanında demir-çelik, çinko, nikel ve bakır cevherleri işleyen fabrikalardan, petrokimya-gübre endüstrilerinden, fosil yakıtlardan enerji elde edilen tüm sanayi tesislerinden atmosfere SO_2 verilmektedir. Tüm SO_2 emisyonunun yaklaşık %10'u volkanlar, okyanuslar, plankton ve bitki çürümesi gibi doğal olaylardan; %69,4'ü endüstriden, %3,7'si ise ulaşımdan kaynaklanmaktadır (Selvi, 2007).

Azot emisyonlarının en büyük kaynağı motorlu araçlar, çeşitli endüstriyel fabrikalar, yüksek sıcaklıklarda yakma işlemleri bulunan prosesler ile kimya endüstrilerinin ürünleri tarafından ve daha az bir kısmı yine termik santrallerden salınmaktadır. Topraktaki bakteriyel hareketler, orman yangınları ve volkanlar tüm NO_x 'in yaklaşık %5'ini oluşturmakta iken; ulaşım araçları %43 ve endüstriyel yakma prosesi ise %32 oranında sorumludur (Özdemir, 2005).

Çeşitli metal, beton ve kireçtaşı yapılar da üzerlerine düşen asit yağışları nedeniyle tahrip olurlar (Özdemir, 2005).

Asit yağışları aynı zamanda insan yapımı materyal ve yapılara da zarar verir. Kirlenmemiş yağışlara maruz kalındığında insan yapımı ürünler yavaşça deforme olurlar, fakat asit yağışları bu süreci hızlandırır. Asit yağışları nedeniyle; yeraltındaki kurşun ve bakır boruları, kabloları ve asit su içindeki temellerde yapısal hasar oluşabilir, yüzeydeki bina, köprü ve araçlar hasar görebilir, heykel ve taşlardaki oymalar, anıtlar özelliklerini kaybedebilir. Asit depozisyonu pek çok materyali değişik derecelerde etkiler. Kireçtaşı ve mermer hassasken; granit bazlı taşlar, paslanmaz çelik ve alüminyum asidik bileşiklere daha dirençlidir. Duyarlı materyaller ise, karbon-çelik, nikel, çinko, bakır, boya, seramikler, bazı plastikler, kâğıt, deri, kauçuk ve kumaşlardır. Ayrıca, tarihi binalar yapıları nedeni ile modern binalara göre asit yağışlarına daha duyarlıdır (Selvi, 2007). Diğer taraftan karayollarının maruz kaldığı kimyasal maddeler ise asitler, bazlar ve tuzlar olarak üç ana başlıkta değerlendirilebilir.

Karayollarında kar ve buzla mücadele kullanılan NaCl ve CaCl₂ ile ilgili yapılan çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Esnek üst yapılara etki eden asitler ve bazlarla ilgili çalışmalarda devam etmektedir. Asitlerin ve bazların karayollarına olan etkilerinin incelenmesi de araştırma konuları içinde yer almaktadır. Karayollarından beklenen hizmet süresi, bakım onarım maliyetleri gibi özelliklerin yolun bulunduğu bölgenin iklim ve çevre şartlarına da bağlı olduğu bilinen bir durumdur.

4. MALZEME

4.1. AGREGA

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın kökeni ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Ancak aranan bütün koşulları sağlayan agrega, karayolu üstyapısında kullanılabilir. İri, ince ve fillerden oluşan üç tip malzemenin her biri, bitümlü karışımın ayrı ayrı özelliklerini kontrol eder. Bitümlü karışımdaki iri agrega yüzdesi %40-50'ye çıkarılırsa, karışımın mekanik direncini artıran bir iskelet oluşur ve karışımın direncinde önemli bir artış hissedilir. İnce agrega ise iri agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak daha yoğun bir karışım elde edilmesini sağlar (İlcalı, 2001).

100 mm'ye kadar olan sert taştan kırılıp elenerek elde edilen kaya parçacıklarına agrega denir. Agregası, asfalt ve beton üretiminin hammaddesi olup sıcak asfalt karışımının yaklaşık olarak ağırlıkça %95'lik, hacimce ise %85'lik bölümünü agrega oluşturmaktadır. Agreganın tipi, yüzey pürüzlülüğü, yassılık durumu, gradasyonu gibi özellikleri bitümlü sıcak karışımın yorulma, tekerlek izi, vb. performansları üzerinde büyük bir öneme sahiptir (Avcı, 2009).

Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Aranan bütün koşulları sağlayan agregalar karayolu üstyapısında kullanılabilir. Agregalar boyutlarına göre üç grupta incelenir. Bunlar;

- a) Kaba agrega; No4 (4,75 mm) elek üzerinde kalan
- b) İnce agrega; No4 (4,75 mm)- No200 (0,075 mm) arası
- c) Mineral filler; No200 (0,075 mm) den geçen agrega.

Karışımda ince agreganın satih dokusu da önemlidir. Örneğin; pürüzsüz bir çakıl kumu daha düşük bir deformasyon direnci sağlar, mineral filler toplam agreganın çok küçük

yüzdesini oluşturmaya karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde rol oynar. Tane çapı 0,075 mm'den daha küçük olan bütün malzemeler filler görevini görmezler. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalıdır. Tanelerin şekli de önemlidir; yassı, düz ve uzun tanelerin yüzdesinin artması fillerin özelliğini düşürür. Filler bitümlü malzemeyle reaksiyona girmemelidir. Mineral filler; taş tozu, mermer tozu, portland çimentosu, sönmüş kireç vb. maddeler olabilir. Filler içinde kil, toprak, organik madde ve zararlı madde olmamalıdır (İlcalı ve diğ., 2001).

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan karışımın %90'ından fazlasını agregalar teşkil eder. Yolun servis ömrü boyunca agregalara hayati rol düşmektedir. Bu nedenle kullanılan agregalar bazı temel özelliklere sahip olmalıdır. Yapılan dizaynın özelliğine göre agregalarda aranan özellikler de farklılık gösterecektir. Yol tabakası, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan meydana gelmektedir. En üst kısmı oluşturan ve en önemli katmanlardan biri olan aşınma 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 (Avcı, 2009).

Agregalar esnek kaplamalarda kullanılan en önemli kaplama malzemesidir. Agreganın mekanik özellikleri, maliyet ve esnek kaplama yapımındaki önemi en fazla olan malzemedir. Agregaların özellikleri, üretimi, uygulaması gibi hususlar göz önünde tutularak kaplama tasarlanmalı ve bu tasarım uygulanmalıdır. Agregaların ve agregaları bağlayan bağlayıcı karışımlarının özellikleri kaplamanın ömrü, stabilitesi, mukavemeti, performansı, vb. özellikleri üzerinde son derece etkilidir. Agregadan beklenen görevleri yerine getirebilmesi için uygun özelliklere sahip agrega seçilmelidir. Agregaların üretimi sırasındaki gerekli kalite kontrol işlemleri titizlikle yapılarak hizmet ömrü boyunca stabil, ekonomik, emniyetli ve konforlu kaplamalar elde edilmelidir. Yapım sırasında segregasyon olmaması, kolaylıkla yerleştirilmesi ve sıkıştırılması, bağlayıcı ile karıştırılması, vb. hususlar içinde uygun ve yeterli özelliklere sahip olması gereklidir. Kaplamanın yapısal ve fonksiyonel gereksinimlerini yerine getirebilmesi için agreganın; yeterli içsel sürtünme direnci olmalı, stabilitesi ile yükleri zemine yayabilmeli ve aşırı defleksiyon göstermemelidir. İklimsel ve kimyasal etkilerin

aşındırmasına karşı dirençli olması, statik ve dinamik yükler altında kırılmalara karşı dirençli olması, iç gerilmelere (genleşme büzülme, ıslanma kuruma, donma çözülme vb.) karşı dirençli olması, bağlayıcı ile güçlü adezyon yapması, yüzey tabakalarında kullanıldığında; kayma direnci, pürüzlülük ve sürtünme direnci, ışık yansıtması, teker yansıtması, gürültü, görünüm ve elektrostatik özellik olan yüzey karakteristiklerini sağlaması gerekli ve şarttır (Tunç, 2004).

4.1.1. Agrega Karışımlarında Kullanılan Mineral Filler Malzeme Ve Önemi

Asfalt betonu karışımlarında mineral fillerin yorulma ve plastik deformasyon etkileri üzerinde, hem literatürde çok az sayıda kaynak vardır hem de asfalt konusunda çalışan bir çok kişi tarafından iyi anlaşılmamıştır. Bunun nedeni olarak filler konusunda yeterli araştırma yapılmadığı söylenebilir (Terzi, 2000).

Mineral filler, toplam agreganın çok küçük bir yüzdesini oluşturduğu halde, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Filler bitümlü karışımlarda ince agreganın oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılır. Filler genellikle bitümlü karışım içinde %3 ile %9 oranları arasında kullanılır. Belli bir orana kadar filler, boşlukları doldurduğu için ince agreganın gradasyonunu değiştirir ve böylece agreganın tanecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak, daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynar.

Mineral fillerin asfalt yol karışımları üzerine etkisi şöyle özetlenebilir:

- Asfalt çimentosuna farklı mineral filler eklendiğinde farklı rijitlik etkileri gösterir.
- Zaman- sıcaklık değişim fonksiyonu, filler/asfalt oranı 1'den az olan asfalt veya mineral filler tarafından etkilenmez.
- Karışımlara eklenen mineral filler, Marshall Stabilesini ve hava boşluğunu etkilemez.
- Esneklik modülü değeri (kısa-sürekli elastik tepki) mineral fillerin katılma etkisini yansıtmaz (Terzi, 2000).

4.1.2. Kullanılan Elekler

Agregalar, agrega ocağından kaba, orta ve ince olarak temin edilmiştir. Alınan agregalar, Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi istenilen çaplardaki elekler kullanılarak elek sarsma makinesiyle elenip istenilen boyutlara göre ayrılmıştır.

Çizelge 4.1: Kullanılan elekler ve açıklık çapları

ELEK BOYUTLARI	
19 mm	(3/4")
12.5 mm	(1/2")
9.5 mm	(3/8")
4.75 mm	(No.4)
2.00 mm	(No.10)
0.425 mm	(No.40)
0.180 mm	(No.80)
0.075 mm	(No.200)



Şekil 4.1 : Elenmiş agregalar

4.2. İDEAL AGREGA STANDARTLARI

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bileşim, dane şekli, dane dayanımı, aşınma 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. Agregaların sahip olması gereken temel özellikler aşağıda kısaca belirtilmiştir. Buna göre;

4.2.1. Dane Dağılımı

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

4.2.2. Dane Sekli

Agrega danelerinin sekli, 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 danelerin (yassı veya uzun daneler) oranı, 8 mm 'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır.

4.2.3. 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.

4.2.4. 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 olmayan yörelerde bu özellik aranmaz.

4.2.5. Zararlı maddeler

Zararlı maddeler asfaltın (katılaşmasına) sertleşmesine zarar veren, asfalt dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılım ve miktarlarına bağlı olarak zararlı maddeler şöyle ifade edilebilir. Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar. Yıkanabilir maddeler ise agregada ince halde dağılmış, toprak halinde veya agregada tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur (Avcı, 2009).

4.3. AGREGALARIN SINIFLANDIRILMASI

Agregalar tane boyutlarına göre; iri, ince ve filler agrega olmak üzere 3 grup olarak sınıflandırılmaktadır.

İri agrega (4mm üstü); 4mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır. Çakıl, kırmataş (mıcır) ve yapay taş olarak ifade edilir. Çakıl, kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır. Kırmataş (mıcır), kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır, yapay taş ise yüksek fırın cüruf taşından yapılmaktadır.

İnce agrega (4mm altı); kum, kırma kum ve yapay kum olarak ifade edilir. Kum, kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agrega olup çakılın kırılması ile elde edilir. Yapay kum izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumundan oluşmaktadır. Taşunu (filler), 0.25mm altı tanelerden oluşur.

4.4. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR

Bitüm (Bitümen) deyiminin orijini 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 orjin olup, diğer bir deyimle "kaynamış zift" anlamındaki Pixumen sözcüğü giderek Bitümen şeklinde İngilizce ve Fransızca dilinde benimsenmiş ve kullanıla gelmiştir (Ürünay, 1974).

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).

4.4.1. Bitüm

Bitüm, genel olarak doğal kaynaklıdır. Koyu kahve renkten siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, kıvamlılık bakımından katı, yarı katı veya sıvı olabilen, doğal halde bulunan veya ham petrolden elde edilen ve başlıca hidrokarbonlardan

oluşan bir maddedir. Dünyada en zengin bitüm kaynağı hiç kuşkusuz ham petroldür. Bunun yanında jeolojik kuvvetlerin etkisiyle, bazı doğal olaylarla petrolden meydana geldiği kabul edilen ve çoğunlukla mineral agrega ile karışmış halde bulunan tabii asfaltları da gözden uzak tutmamak gerekir. Bundan başka diğer bir zengin kaynak da, katranların temin edildiği kömür ve linyitlerdir. Kömür ve linyitin oluşumu hakkında tartışma söz konusu olmamakla beraber, petrolün oluşumu için çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Kesin olan husus, petrol oluşumunun anorganik teoriye dayanmasıdır. Kimyasal yapısı organik olan petrolün son zamanlarda kabul edilen oluşumu hayvansal teoriye dayanmaktadır. Bu teoriye göre milyonlarca yıl süren bakteri faaliyeti ile özellikle deniz hayvanlarının yüksek ısı ve basınç etkisi ile petrole dönüşmüş olmasıdır. Pratikte, petroler kimyasal yapıları ve fiziksel görünümlerinin farklılığı nedeniyle, parafinik ve asfaltik bazlı olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlardan;

- Asfaltik bazlı petrolerde bitüm oranı çok yüksek olup, büyük molekül ağırlıklı aromatik ve naftenik yapıdaki hidro-karbonatlardan teşekkül etmiştir (Kafkasya ve Asya petroleri gibi).
- Parafinik bazlı petroler ise, basit parafinik bileşikler ile molekül ağırlığı büyük alifatik parafinleri ihtiva ederler (Amerika petroleri gibi) (Varol, 2000).

İngiliz Standardı (BS 3690)'na göre bitüm "Temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloretilen 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).

4.4.2. 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 AC sembolü ile gösterilir. Asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılır. Asfalt

çimentosunun kıvamlılığını belirleyen penetrasyon değeri 10-300 arasında değişir. Asfalt çimentosu sıvı petrol asfaltları ve asfalt emülsiyonlarının ana maddesidir.

Asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine göre 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 60-70, 75-100, 120-150, 150-200, 200-300 penetrasyonlu AC olarak sınıflandırılır. Asfalt çimentolarında yukarıda gösterildiği gibi çeşitli penetrasyon derecelerinin olması petrolün arıtılması sırasında belirli koşulların yerine getirilmesi ile mümkün olur (Yağız ve diğ., 1967).

4.4.3. Bitümün Kalitesi

Yollarda her geçen gün artan toplam dingil yükleri ve daha yüksek performans talebi, üstyapıların uzun süreli davranışının tahminini zorunlu kılmıştır. Bir üstyapının performansı, tasarım, uygulama ve kullanılan malzemenin kalitesinin de dâhil olduğu birçok faktöre bağlıdır. Bitüm, karışım içerisinde hacimce küçük bir yer tutmasına karşın, dayanıklılık ve bitümlü karışıma visko elastik özellik kazandırması sebebiyle karışımlarda çok önemli bir role sahiptir (Whiteoak, 2004). Esas olarak, bitümün yol üzerinde tatmin edici bir performans göstermesi aşağıda sıralanan dört özelliğin kontrol edilmesiyle sağlanabilir. Bunlar:

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

Kohezyon (Yapışkanlık); penetrasyon cinsi bitümlerin kohesif mukavemeti düşük sıcaklıklardaki duktilitesi ile karakterize edilir. Duktilite deneyinde (ASTM D113) üç parça bitüm sabit sıcaklıktaki su banyosuna daldırılır ve kopuncaya kadar dakikada 50 mm 'lik sabit bir hızla çekilir. Numunenin kopmadan hemen önceki uzunluğu (mm cinsinden) duktilitesi olarak saptanır. Deney sıcaklığı bitümün penetrasyonuna bağlı olarak ayarlanır. Örneğin 80 penetrasyon ile 100 penetrasyon için 10 °C, 60 penetrasyon ile 70 penetrasyon için 13 °C ve 40 penetrasyon ile 50 penetrasyon için 17 °C dir. Bu koşullar altında, deneyin farklı kohezyona sahip bitümleri ayırt edebildiği görülmüştür (Whiteoak, 2004).

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 için standart Marshall yöntemi kullanılarak deney hemen yapılır, ikinci grup numunelerin ise boşluklarının suyla mümkün olduğunca doygun hale gelmesi için 0°C ile 1 °C arasındaki bir sıcaklıktaki su altında vakumlanır. Bu işlemten 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 çalışma, bitümün moleküler ağırlık dağılımı ve kimyasal bileşiminin dengesiz olması halinde, bitümün kohezyon ve adezyon özelliklerini olumsuz etkileyebilecek bir heterojenlik ortaya çıkarabileceğini göstermiştir (Whiteoak, 2004).

4.5. KULLANILAN KİMYASALLAR

Bu çalışmada kullanılan kimyasal maddeler farklı konsantrasyonlardaki asit, baz ve tuz çözeltileridir. Ayrıca asit, baz ve tuz dışında saf su içerisindeki numunelerin özelliklerindeki değişimlerde incelenmiştir. Hazırlanan kimyasal ortamlar toplamda 5lt olacak şekilde su ile karıştırılmış ve tüm numunelerin üzerini kapatacak şekilde hazırlanmıştır. Deneylerde oluşturulan çevresel koşullarla ilgili olarak kullanılan kimyasallar ve miktarları çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Kullanılan kimyasallar ve miktarları

Kimyasal Ortam	Kimyasalın adı	Kimyasalın miktarı	İlave edilen Su miktarı (ml)	Toplam Hacim (lt)
2 M	%37 lik HCl (Hidroklorik asit)	829 ml	4171	5
1 M	%96 lık H ₂ SO ₄ (Sülfürik asit)	278 ml	4722	5
1 M	%37 lik HCl	414,5 ml	4585,5	5
1 M	%65 lik HNO ₃ (Nitrik asit)	348,75 ml	4651,25	5
1 M	NaOH (Sodyum hidroksit)	200 g	4800	5
Saf Su	Saf Su	-	-	5
1 M	NaCl (Sodyum klorür)	292,2 g	4707,8	5
3 M	NaCl (Sodyum klorür)	877,5 g	4122,5	5
4 M	NaCl(Sodyum klorür)	1168,8 g	3831,2	5
1 M	CaCl ₂ (Kalsiyum klorür)	555 g	4445	5

5. METOT

5.1. AGREGA DENEYLERİ

Üretilen asfalt beton numunelerde kullanılan agrega Düzce yöresi agregası olup agregalar üzerinde su emme oranı tayini, yoğunluk ve bağıl yoğunluk tayini, ince madde oranı tayini, organik madde oranı tayini, parçalanma direnci tayini (Los Angeles), dona dayanıklılık tayini, gevşek birim hacim ağırlık, sıkışık birim hacim ağırlık ve mineral filler özgül ağırlığı deneyleri yapılmıştır.

5.1.1. Su Emme

Düzce yöresindeki agrega ocağından temin edilen agregalar üzerinde “Su Emme Oranı Tayini” deneyi ASTM C 127 standartlarına uygun olarak yapılmış ve agregaların su emme oranı belirlenmiştir. Agreganın su emme oranının bilinmesi söz konusu agreganın bitümlü sıcak karışımda kullanılabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Bu deneyde, deney numuneleri 105±5 °C de etüve konularak ağırlığı sabit kalıncaya kadar bekletilir. Etüvden alınan numunenin ağırlığı tartılır. Aynı numune 24 saat su banyosunda bekletilir ve bekletme sonunda tartılır. Su banyosuna konulan agreganın miktarında kayıp olamamasına dikkat edilir. Su banyosundan sonrada numunenin son ağırlığı tartılır. Bu işlemler sonunda su emme oranı aşağıdaki işlemlerle hesaplanır.

$$M = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \cdot 100 \quad (5.1)$$

M= Su emme oranı (%)

W₁= Etüv kurusu ağırlığı (g)

W₂= Numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g)

5.1.2. Yoğunluk ve Bağıl Yoğunluk Tayini

Agregalar üzerinde “Yoğunluk ve Bağıl Yoğunluk Tayini” deneyi ASTM C 127 standartlarına uygun olarak yapılmış olup amaç agreganın birim hacimdeki ağırlığının

belirlenmesidir. Yoğunluk ve bağıl yoğunluk iri, orta ve ince agregalar için ayrı ayrı hesaplanır. Numuneler 24 saat suda bekletilerek doygun kuru yüzey haline getirilir. Daha sonra kap içerisindeki numunelerin ısıtıcı yardımıyla kuruması sağlanır. Numune tartılıp doygun kuru yüzey ağırlığı bulunur. Numune etüv kurusu durumuna getirilip oda sıcaklığına kadar kurutulur. Soğuyan numuneler cam kap içerisine konularak tartılır. Toplam ağırlıktan boş kap ağırlığı çıkarılır ve numunenin kuru ağırlığı bulunur. Kap yaklaşık yarısına kadar 20 °C deki saf suyla doldurulur. İçerisindeki havanın çıkması sağlanır. Bir saat bekledikten sonra ölçü kabını yaklaşık 20 °C'deki saf su ile 500 ml işaret çizgisine kadar doldurulur ve tartılır. Boş ölçü kabı yaklaşık 20 °C'deki su ile 500 ml çizgisine kadar doldurulup tartılır.

$$\text{İnce Agreganın kuru özgül ağırlığı; } Pd = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (5.2)$$

$$\text{Agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı; } Pd = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (5.3)$$

$$\text{İnce Agreganın görünen özgül ağırlığı; } Pg = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \quad (5.4)$$

W_1 : Numunenin kuru ağırlığı (g).

W_2 : Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı (g).

W_3 : Cam ölçü kabı 500 ml seviyesine kadar dolu iken toplam ağırlık (g).

W_4 : Boş cam kabın 500 ml kadar dolu iken ağırlığı (g).

5.1.3. İnce Madde Oranı Tayini

Agregalar üzerinde “İnce Madde Oranı Tayini” deneyi ASTM C 117 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Alınan agrega numunesi 105±5 °C de etüvde 12 saat bekletilir ve sonunda tartılır. Etüvden alınan numuneler kullanılan eleklerle beraber agrega kaybı olmayacak şekilde eleğin altından berrak su gelinceye kadar yıkanır ve sonunda tartılır. Bu iki tartımın farkı ince madde oranını verir.

5.1.4. Organik Madde Oranı Tayini

Agregalar üzerinde “Organik madde oranı tayini” deneyi ASTM C 40 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Organik madde oranı tayini deneyi, hazırlanacak olan sıcak karışım için zararlı olabilecek organik maddelerin belirlenmesi amacıyla yapılan bir

deneydir. Alınan agrega numunesi bir cam şişe içerisinde NaOH ile birlikte çalkalanır ve çökelen agrega üzerindeki sıvıda renklenme olur, oluşan bu renklenme bize organik madde miktarı hakkında bilgi verir.

5.1.5. Parçalanma Direncinin Tayini

Agregalar üzerinde “Parçalanma direncinin (Los Angeles, 500 devir) tayini” deneyi ASTM C 131 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Agregaların parçalanma direncini belirlemek için yapılan deneydir. Standartlara uygun 5000 g olarak alınan numuneler ve içerisine yine standartlara uygun olarak konulan demir bilyelerle otomatik tamburun dönmesi sonucu agregalarda meydana gelen parçalanma oranı olup LA ile ifade edilir.

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (5.5)$$

m: 1,6 mm elek üzerinde kalan miktar (g)

5.1.6. Agregaların Dona Dayanıklılığının Kimyasal Yöntemle Tayini

Agregalar üzerinde “Agregaların Dona Dayanıklılığının Kimyasal Yöntemle Tayini” deneyi ASTM C 88 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Bu deney, tane büyüklüğüne göre 4 mm ila 63 mm arasında olan beton agregasının arka arkaya donma ve çözülme etkisine maruz bırakılması halinde gösterdiği davranış biçimi hususunda bilgi elde etmek için yapılmaktadır.

5.1.7. Gevşek Birim Hacim Ağırlık

Agregalar üzerinde “Gevşek Birim Hacim Ağırlık deneyi” ASTM C 29 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Agrega numunesi belirli standartlarda seçilen kap içerisine serbest olarak doldurulur. Gevşek birim hacim ağırlık, kap içerisinde serbest halde bulunan agrega ağırlığının kabın tüm hacmine bölünmesiyle hesaplanan değerdir.

5.1.8. Sıkışık Birim Hacim Ağırlık

Agregalar üzerinde “Sıkışık Birim Hacim Ağırlık” deneyi ASTM C 29 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Agrega, standartlarda belirtilen şartlara göre bir ölçü kabına doldurulur. Sıkışık birim hacim ağırlık, kap içerisindeki agrega ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle hesaplanır ve birimi kg/m³ olarak ifade edilir.

5.1.9. Mineral Filler Özgöl Ağırlığı

Agregalar üzerinde “Mineral Filler Özgöl Ağırlığı” deneyi TS EN 1097-7 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Piknometre yöntemi kullanılarak mineral fillerin özgül ağırlığı belirlenmiştir.

5.2. BİTÜM DENEYLERİ

Asfalt beton numunelerin üretiminde kullanılan bitüm Düzce Belediyesi tarafından yol yapımında kullanılmakta olan AC 60/70 tipi bitüm malzemedir. Temin edilen bitüm malzeme üzerinde penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, özgül ağırlık ve parlama-yanma noktası deneyleri yapılmıştır.

5.2.1. Penetrasyon Deneyi

AC 60/70 tipi bitüm malzeme üzerinde Penetrasyon (25 °C) deneyi TS EN 1426’ya uygun olarak yapılmıştır. Penetrasyon cihazında bulunan standart ölçülere sahip bir iğnenin kendi ağırlığıyla 5 saniye sürede bitüm örneğinin içine batmasından hareketle likit limitin belirlenmesi esasına dayanır. Bitümün sertliği veya kıvamı bu metotla tayin edilir. Batmanın 5 saniye süreyle devam ettiği bu deneyde, penetrasyon cihazı üzerindeki göstergeden okunan değer bitüm malzemenin penetrasyon değerini verir. Penetrasyon değeri ile kıvamlilik ters orantılıdır.

5.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

AC 60/70 tipi bitüm malzeme üzerinde “Yumuşama Noktası” deneyi TS EN 1427’ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yumuşama noktası, bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde iki bilye bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü malzemenin belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin üzerindeki bilyelerle birlikte deneyde kullanılan cam beherin tabanına değdiği anda termometrede okunan iki sıcaklık değerinin ortalaması olarak ifade edilir.

5.2.3. Duktilite Deneyi

AC 60/70 tipi bitüm malzeme üzerinde duktilite (5 cm/dk) deneyi TS ASTM D-113'e uygun olarak yapılmıştır. Duktilite deneyi, bitümlü bağlayıcıların uzama kabiliyetini göstermektedir. Bitümlü malzemenin duktilitesi, 3 adet duktilite kalıplarında hazırlanmış bitüm numunesinin her iki ucundan çekilerek uzatılması sonucunda koptuğu andaki mesafenin cm cinsinden ifadesidir. Her bir numunenin koptuğu andaki uzama değerlerinin toplamının aritmetik ortalaması bitüm malzemenin duktilitesini ifade eder.

5.2.4. Özgül Ağırlık Deneyi

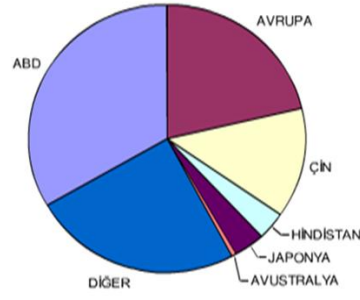
AC 60/70 tipi bitüm malzeme üzerinde Özgül Ağırlık (g/cm^3) deneyi TS 1087'ye uygun olarak yapılmıştır. Bitümlü maddelerin özgül ağırlıkları piknometre yöntemiyle bulunur. 25 °C'sıcaklıktaki bitüm malzemenin ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesiyle elde edilen değer özgül ağırlık değeri olarak ifade edilir.

5.2.5. Parlama-Yanma Noktası Deneyi

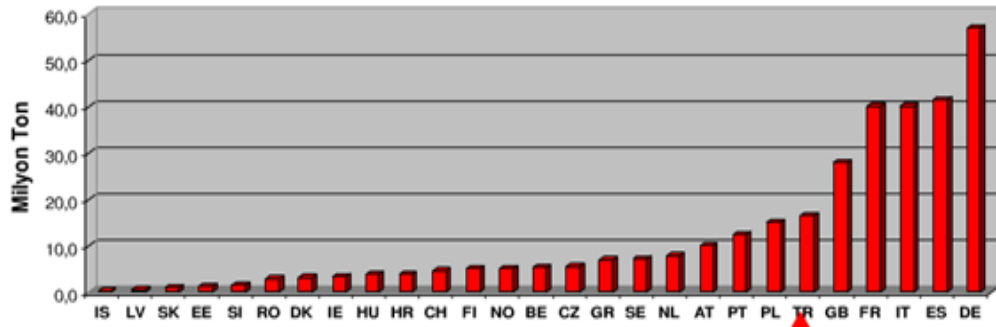
AÇ 60/70 tipi bitüm malzeme üzerinde "Parlama- Yanma Noktası" deneyi TS EN ISO 2592'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Isıtılan bitüm malzemenin buharına alev temas ettiği anda parlama meydana geliyorsa malzemenin o andaki sıcaklığı parlama-yanma noktası olarak ifade edilir.

5.3. ASFALT BETON NUMUNELERİNİN ÜRETİMİ

Asfalt betonu, dünya genelinde üretilmekte olup üretim kapasitesi açısından ABD birinci sırada yer alırken, bunu sırasıyla Avrupa, Çin, Japonya, Hindistan gibi ülkeler takip etmektedir. Avrupa'da ise 2005 yılı verilerine göre birinci sırada Almanya yer alırken bunu sırasıyla İspanya, İtalya, Fransa, İngiltere ve ülkemiz takip etmektedir. Dünyada ve Avrupa'daki bitümlü sıcak karışım üretim miktarlarının dağılımı ülkelere göre aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.1: Dünyada bitümlü sıcak karışım üretimi (Anon, 2011e)



Şekil 5.2: Avrupa'da asfalt üretimi (Anon, 2011f)

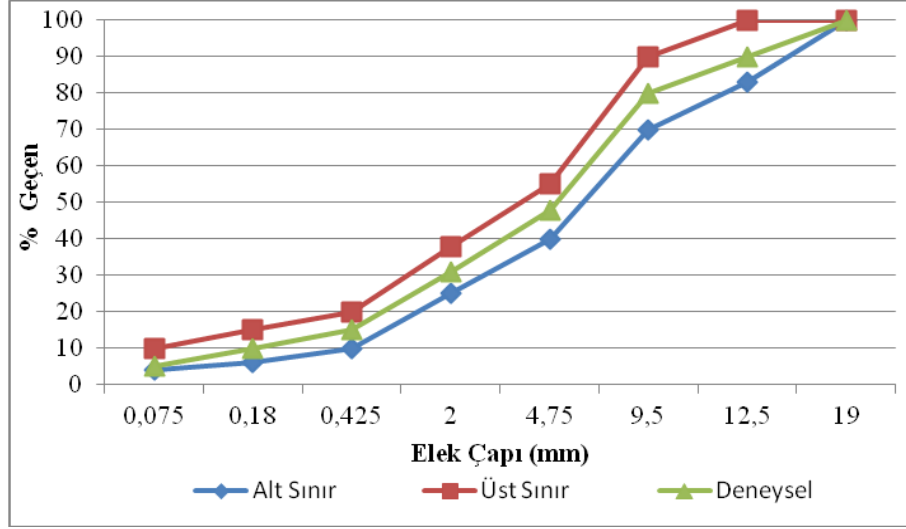
Çalışmada kullanılacak asfalt beton numuneleri KGM teknik şartnamesine göre aşınma tabakası gradasyon limitlerine uygun olarak laboratuvar ortamında üretilmiştir. Elek boyutlarına göre aşınma tabakası için gradasyon limitleri ile agrega tipi, agrega yüzdeleri ve ağırlıkları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 5.1- 5.2).

Çizelge 5.1: Aşınma tabakası için gradasyon

Elek boyutu	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
3/4" 19 mm	100	100	-	-
1/2" 12.5 mm	83-100	77-100	100	100
3/8" 9.5 mm	70-90	66-84	87-100	80-100
No.4 4.75 mm	40-55	46-66	66-82	55-72
No.10 2.00 mm	25-38	30-50	47-64	36-53
No.40 0.425 mm	10-20	12-28	24-36	16-28
No.80 0.180 mm	6-15	7-18	13-22	8-16
No.200 0.075 mm	4-10	04-10	04-10	04-10

Çizelge 5.2: Seçilen agrega gradasyonu

Elek Çapı (mm)	Sınır Alt	Sınır Üst	Deneysel
19	100	100	-
12.5	83	100	90
9.5	70	90	80
4.75	40	55	48
2	25	38	31
0.425	10	20	15
0.18	6	15	5
0.075	4	10	5
0.075 elek altı	-	-	5



Şekil 5.3: Agreganın elek analizi

Laboratuvar ortamında yapılan ön denemelerden sonra bir adet Marshall numunesi için agreganın ağırlığı 1245 g olarak tespit edilmiş olup yukarıdaki çizelgede gösterilen değerlere göre hazırlanmış olan agreganın numuneleri tek bir numune ve çalışma için hazırlanan numunelerin tamamı bir bütün olarak aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5).



Şekil 5.4: Ön denemelerle belirlenen ağırlığa göre hazırlanmış agreganın örneği



Şekil 5.5: Sıcak karışım için hazırlanmış olan agreganın karışımları

5.4. OPTİMUM BİTÜM MİKTARININ BELİRLENMESİ

Optimum bitüm miktarı iki aşamalı işlemle belirlenmiştir. Birinci aşamada, ön optimum bitüm miktarı agrega granülometrisine bağlı olarak teorik hesaplamalarla belirlenmiştir. İkinci aşamada ise teorik hesaba göre belirlenen ön optimum bitüm miktarına bağlı olarak bu değer +0,5 ve -0,5 miktarları kadar iki defa arttırılarak ve iki defa eksilterek belirlenmiş olan toplam beş adet bitüm miktarı için 3'er adet olmak üzere toplamda 15 adet asfalt betonu üretilmiş ve bu numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen verilere göre optimum bitüm miktarı hesaplanmıştır. Nihai olarak deneylerde kullanılan asfalt beton numuneleri, elde edilen optimum bitüm miktarına göre üretilmiş ve deneylerin tamamı bu numuneler üzerinde yapılmıştır.

5.4.1. Ön Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi

Marshall metodu ile asfalt yüzdesinin tayininde; karışımda kullanılacak agreganın maksimum dane boyutu, gradasyonu, absorpsiyonu, tabaka cinsi vb. hususlar göz önüne alınarak; “Bolsans (tecrübelere dayalı)”, “CKE (Santrifuruj Gazyağı Eşdeğeri) testi” ve “Amprık Yaklaşımlar” ile ön optimum asfalt yüzdesi tayini aşağıdaki metotlardan biri ile yapılabilir (Tunç, 2007). Bunlar;

- Asfalt enstitüsü metodu
- Yüzey alanı metodu
- Fransız metodu
- TEM metodu

Bu çalışmada, ön optimum bitüm miktarı “Asfalt Enstitüsü Metoduna” göre belirlenmiştir. Buna göre;

$$P=[(0,04xa)+(0,07xb)+(0,12xc)]x F$$

F: Faktör=1 (Genel olarak bir alınır)

Kullanılan agreganın granülometri eğrisinden faydalanılarak agrega içindeki kaba, ince ve filler agrega oranlarının aşağıdaki gibi olduğu belirlenmiştir. Buna göre;

Kaba Agrega oranı: %52 (a)

İnce agrega oranı: %43 (b)

Filler oranı: % 5 (c)

Bu durumda teorik optimum bitüm oranı;

$$P=[(0,04 \times 0,52)+(0,07 \times 0,43)+(0,12 \times 0,05)] \times 1$$

$$P=(0,0208+0,0301+0,006)$$

$$P=0,0569=0,057 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bu sonuca göre, ön optimum bitüm miktarı %5,7 olarak tespit edilmiş olur. Ön optimum bitüm miktarı %5,7 olarak belirlendikten sonra bu değer 0,5 eksiği olan %5,2 ve yine 0,5 eksiği olan %4,7 değeri ile 0,5 fazlası olan %6,2 ile yine 0,5 fazlası olan %6,7 oranlarının her biri için 3'er adet olmak üzere toplamda 15 adet asfalt betonu üretilmiştir. Üretilen numuneler Marshall Stabilite (MS) deneyi için uygun hale getirildikten sonra MS deneyi yapılmıştır. Deneyler sonunda elde edilen MS değerleri ile akma değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3: Gruplar bazında optimum bitüm yüzdesi için MS ve akma değerleri

Gruplar	Karışımındaki Bitüm Miktarı (%)	Marshall Stabilite (kg)	Akma (mm)
1	4,7	520	9,36
1	4,7	768	8,3
1	4,7	662	9,4
2	5,2	548	8,1
2	5,2	631	10,25
2	5,2	638	9,26
3	5,7	728	8,09
3	5,7	771	9,7
3	5,7	468	9,6
4	6,2	498	10,82
4	6,2	469	10,07
4	6,2	450	10,7
5	6,7	681	8,94
5	6,7	635	9,34
5	6,7	438	9,67

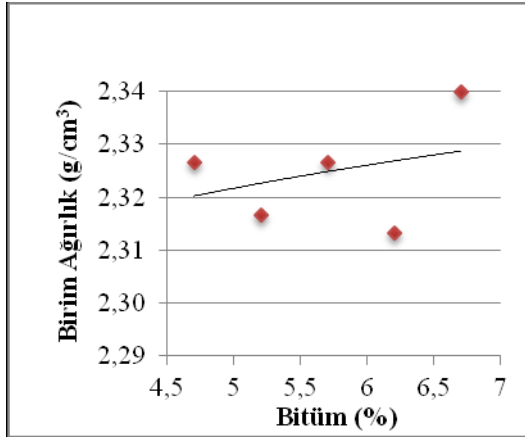
5.4.2. Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi

Optimum bitüm miktarının belirlenmesi için her bir bitüm miktarı için 3'er adet olmak üzere toplamda 15 adet üretilmiş olan asfalt beton numunelerin fiziksel özellikleri ile MS ve Akma değerlerinin ortalamaları bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir

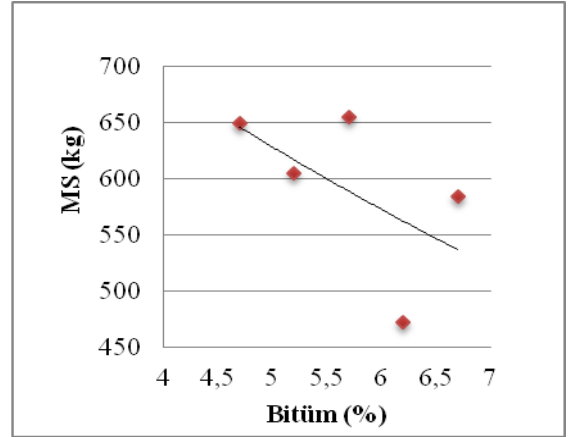
Çizelge 5.4: Optimum bitüm yüzdesi için ortalama değerler

Ön optimum bitüm miktarları (%)	Ortalama pratik yoğunluk (Dp)	Ortalama boşluk oranları (V)	Ortalama Marshall Stabilitesi (kg)	Ortalama Akma (mm)	Agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma dereceleri (%)
4,7	2,32	4,9	650	9,02	69,16
5,2	2,31	4,7	605	9,20	72,37
5,7	2,32	3,7	655	9,13	79,27
6,2	2,31	3,6	472	10,53	81,11
6,7	2,34	1,9	584	9,31	91,38

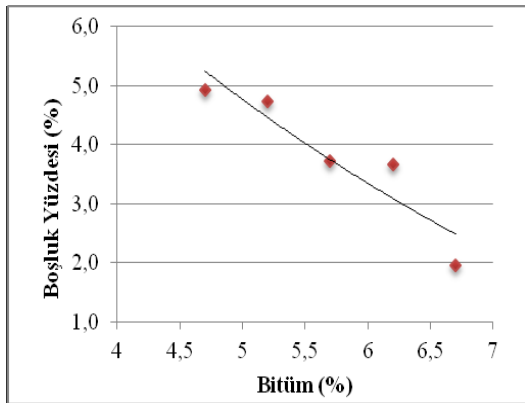
Üretilen 15 adet asfalt betonu numunesinin asfalt çimentosu %'si ile birim ağırlık grafiği, asfalt çimentosu %'si ile MS, asfalt çimentosu %'si ile boşluk %'si değerleri, asfalt çimentosu %'si ile bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu %'si ve son olarak asfalt çimentosu %'si ile akma değerleri arasındaki ilişkileri gösteren toplam 5 adet grafik çizilerek 15 adet numuneye ait deneysel sonuçlar ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 5.6-5.7-5.8- 5.9 ve 5.10).



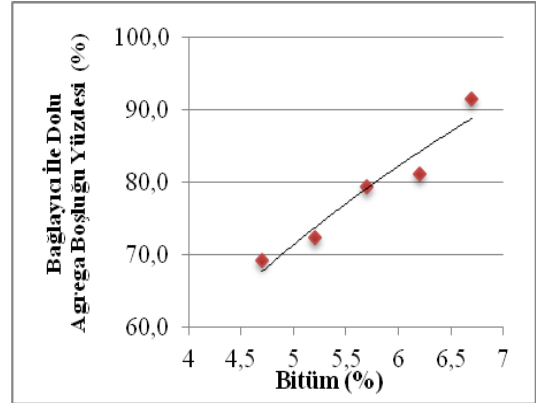
Şekil 5.6: Birim ağırlık – % Bitüm grafiği



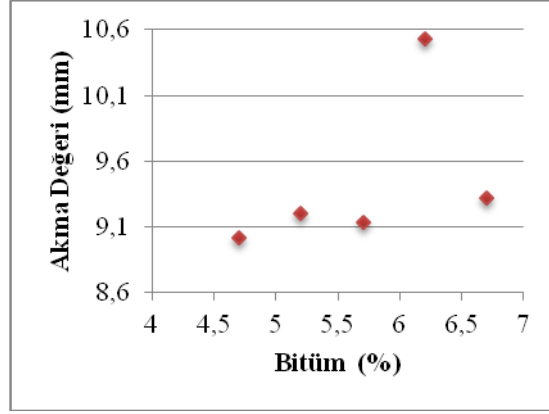
Şekil 5.7: Marshall stabilitesi–% Bitüm grafiği



Şekil 5.8: Boşluk yüzdesi –% Bitüm grafiği



Şekil 5.9: Bağlayıcı ile dolu agregada boşluğu yüzdesi-%Bitüm grafiği



Şekil 5.10: Akma değeri –asfalt çimento yüzdesi grafiği

Optimum bitüm %'sinin belirlenmesi için üretilen 15 adet numuneye ait yukarıdaki 4 adet grafikteki asfalt çimentosu %'si ile birim ağırlık grafiği, asfalt çimentosu %'si ile MS, asfalt çimentosu %'si ile boşluk %'si değerleri ve asfalt çimentosu %'si ile bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu %'si değerlerinin ortalaması alınarak yapılacak karışım için optimum bitüm miktarı % olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamadan sonra, asfalt beton numuneleri belirlenmiş olan bu optimum % bitüm miktarı ile karıştırılarak üretilmiştir. Yukarıdaki grafiklerden elde edilen değerler dikkate alındığında, optimum bitüm yüzdesi: $6,7+5,7+5,55+5,75 / 4=5,925$ olarak hesaplanır ve %5,925 olarak ifade edilir. Toplam agrega ağırlığı 1245 gr olduğu için karışıma ilave edilmesi gereken bitüm miktarı da ağırlık olarak $1245 \times \%5,925=73,76$ g bulunur.

5.4.3. Laboratuvar Ortamında Numunelerin Üretimi

Daha önceden hazırlanan agrega karışımı karıştırma kabına boşaltılır. Ocak üzerinde ısıtılan bitüm istenilen kıvamına geldikten sonra, terazi üzerindeki karıştırma kabına hesaplanan bitüm miktarı kadar bitüm ilave edilerek karıştırma kabında homojen olarak karıştırılır (Şekil 5.11- 5.12 ve 5.13). Elde edilen bu homojen sıcak asfalt karışımı marshall kalıplarına yerleştirilir (Şekil 5.14). Daha sonra marshall kalıplarına yerleştirilen asfalt sıcak karışım marshall kompaktörü ile sıkıştırılarak asfalt beton numuneler elde edilir (Şekil 5.15- 5.16 ve 5.17).



Şekil 5.11: Karışım için hazırlanmış agrega ve bitüm



Şekil 5.12: Bitüm ilave edilmiş agrega



Şekil 5.13: Hazırlanan agrega ve bitümün Karıştırılması



Şekil 5.14: Elde edilen karışımın marshall kalıplarına yerleştirilmesi



Şekil 5.15: Tokmağa yerleştirilmiş kalıp



Şekil 5.16: Numunenin sıkıştırılması



Şekil 5.17: Üretilen Marshall numuneleri

5. 5. KİMYASAL DENEYLER

KGM Teknik Şartnamesine göre üretilen asfalt beton numunelerin temel fiziksel özellikleri (Hava kurusu ağırlıkları, doymun ağırlıkları, su içindeki ağırlıkları) belirlendikten sonra ultrases ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra oluşturulan her bir korozif ortam için 7’şer adet asfalt beton numunesi olmak üzere 10 farklı kimyasal ortam için toplam 70 adet asfalt beton numunesi kullanılmıştır. Ayrıca korozif ortamların etkisini net olarak değerlendirebilmek amacıyla da 7 adet asfalt beton numuneler korozif ortamlara maruz bırakılmadan referans olarak kabul edilmiştir. Asfalt beton numuneleri Asit (HCl , H_2SO_4 , HNO_3), Baz ($NaOH$), Tuz ($NaCl$, $CaCl_2$) ve saf su ortamlarına bırakılarak karayolu esnek üst yapısının servis ömrü boyunca doğal şartlarda maruz kalabileceği farklı çevre koşulları oluşturulmuştur. Bu kapsamda asfalt beton numuneler, hazırlanan ortamlarda 28’er gün bekletilerek bu süre içinde düzenli olarak haftalık pH değişimleri ölçülüp ortamların konsantrasyonlarındaki değişimlerde incelenmiştir. Düzenli pH ölçümleriyle asfalt beton numunelerin içinde buldukları farklı çevre koşullarındaki kimyasal etkileşimlerinin ne kadar süre ile devam ettikleri hakkında bilgi edinilmiştir.

5.5.1. Asitler

5.5.5.1. Hidroklorik asit (HCl)

Hidroklorik asit, hidrojen klorür gazının suda çözülmesi ile elde edilen, renksiz veya açık sarı renkte inorganik bir asittir. Sanayide kullanılan hidroklorik asit TS, 833’e göre;

Sınıf 1: Gıda ve benzeri sanayi kollarında kullanılan

Sınıf 2: Diğer sanayi kollarında

Sınıf 3: Temizleme işlerinde kullanılan (Tuz ruhu) olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

Hidroklorik asit sanayide oldukça fazla kullanılan bir kimyasal maddedir. Bu nedenle bir yerden başka bir yere taşıma esnasında ortaya çıkan bazı trafik kazalarıyla bu kimyasallar karayollarına zarar verebilmektedir (Şekil 5.18 ve 5.19).



Şekil 5.18: Yola dökülen HCl' i seyreltme çalışmaları (Anon, 2011a)



Şekil 5.19: Karayoluna devrilmiş HCl tankeri (Anon, 2011b)

Asitlerin asfalt betonu üzerindeki korozif etkisini tespit edebilmek amacıyla laboratuvar şartlarında 1 mol ve 2 mol (HCl asidin asfalt beton numunelere vereceği zararı hem referans numunelerle karşılaştırmak, hemde konsantrasyonu artırıldığında MS değerlerini nasıl etkileyeceğini saptamak amacıyla 1 mol ve 2 mol seçilmiştir) HCl ile hazırlanarak oluşturulan asidik ortama bırakılan asfalt beton numunelerinin 28 gün sonraki bazı mühendislik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, hesaplamaları yapılan 1 mol ve 2 mol HCl çözeltileri gerekli miktarlarda su ile karıştırılarak toplamda 5 lt hacme sahip olacak şekilde korozif çevre şartları hazırlanmıştır. Asfalt beton numunelerinin temel fiziksel özellikleri belirlendikten sonra bu numuneler numaralandırılmış ve ardından plastik kaplar içerisine yerleştirilmiştir. Plastik kaplar içinde bulunan asfalt beton numunelerinin üzerini kapatacak seviyeye kadar, hazırlanan

çözeltiden doldurularak çözeltinin asfalt betonuyla reaksiyona girmesi sağlanmıştır (Şekil 5.20).



Şekil 5.20: Asfalt beton numunelerin üzerine 1 mol HCl çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu



Şekil 5.21: Asfalt beton numunelerin üzerine 2 mol HCl çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu

5.5.1.2. Nitrik asit (HNO_3)

Nitrik asit, kimyasal formülü HNO_3 olan, berrak, genellikle renksiz veya açık sarı renkte, yakıcı, korozif inorganik bir maddedir. Sanayide kullanılan nitrik asit;

Sınıf 1: Nitrolama işlerinde kullanılan nitrik asit

Sınıf 2: Diğer sanayi kollarında kullanılan nitrik asit

olmak üzere iki sınıfa ayrılır (TS, 833).

Hava kirliliğinin yoğun olarak yaşandığı bölgelerde atmosferdeki kükürt ve azot dioksitler havada asılı bulunurlar. Bu gazlar zamanla havadaki nemle birleşerek asit yağmurlarını oluştururlar. Asit yağmurları, kükürt ve azot dioksitlerin atmosferdeki nemle birleşerek sülfürik ve nitrik asitli yağmur, kar ya da dolu oluşturması biçiminde meydana gelen kirliliğe verilen genel isimdir (Anon, 2011c).

Bu şekilde zararlı gazlar yeryüzüne ulaştığı zaman karayolu esnek üst yapısının kaplama tabakası yüzeyinde bitüm ve agregayla reaksiyona girerek karayolunun esnek üst yapısına zarar verdiği için servis ömrünü azaltmaktadır.

1 mol HNO_3 çözeltisi toplamda 5 lt hacme sahip olacak şekilde hazırlanmış ve 7 adet numune hazırlanan bu çözeltinin içine bırakılmıştır. Hazırlanan 5 lt çözelti tüm numunelerin üzerini kapatacak seviyeye gelene kadar doldurularak deney başlatılmıştır (Şekil 5.22).



Şekil 5.22: Asfalt beton numuneler üzerine 1 mol HNO_3 çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu

5.5.1.3. Sülfürik asit (H_2SO_4)

Güçlü bir mineral asidi olan H_2SO_4 suda her konsantrasyonda çözünebilir. Sülfürik asit çeşitli derişimleri halinde gübre, pigment, boyar madde, patlayıcı madde, ilaçlama, inorganik tuz ve petrol arıtım ve metalürji işlemlerinde kullanılır. Elektriği ileten H_2SO_4 suda çözüldüğünde çok yüksek ısı açığa çıkar (Anonim, 2011g).

0,5 mol H_2SO_4 çözeltisi toplamda 5 lt hacme sahip olacak şekilde hazırlanarak 7 adet numune ile aynı ortama bırakılmıştır. 5 lt çözelti tüm numunelerin üzerini kapatacak seviyeye kadar doldurularak deney başlatılmıştır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23: Asfalt beton numuneler üzerine 0,5 mol H_2SO_4 çözeltisinin dökülmesi ve reaksiyonu

5.5.2. Baz (NaOH)

Baz olan sodyum hidroksit, beyaz renkte olup nem çekici bir maddedir. Suda kolaylıkla çözünür ve yumuşak kaygan ve sabun hissi veren bir çözelti oluşturur. Sodyum hidroksit su ile tepkimeye girdiğinde yaklaşık 5 dakika içinde sıcaklığı $50\text{ }^\circ\text{C}$ çıkar ve yaklaşık 15 dakika sıcak kalır. Özellikle inşaat laboratuvarlarında organik madde tayini için kullanılmaktadır (Anon, 2011d).

1 mol NaOH çözeltisi toplamda 5 lt hacme sahip olacak şekilde hazırlanarak 7 adet numune ile aynı ortama bırakılmıştır. 5 lt çözelti tüm numunelerin üzerini kapatacak seviyeye gelene kadar doldurularak deney başlatılmıştır (Şekil 5.24).



Şekil 5.24: Asfalt beton numuneler üzerine 1 mol NaOH çözeltisinin dökülmesi

5.5.3. Tuzlar

5.5.3.1. Sodyum Klorür (NaCl)

Sodyum klorür buzlanmanın önlenmesi işleminde en çok kullanılan kuru katı kimyasal madde NaCl (kaya tuzu) dür (Ağar ve Kutluhan, 2005).

Karayollarında kar ve buzla mücadelede kullanılan tuzun konsantrasyonu değiştiğinde kaplama tabakasına vereceği zararın boyutunu saptamak amacıyla, çözeltiler 1 mol, 3 mol ve 4 mol olacak şekilde 3 farklı ortam hazırlanmıştır. Bu ortamların kaplama tabakasına verdiği zararlar hem tuz ortamlarıyla karşılaştırılmış hemde referans numunelerle karşılaştırılmıştır. NaCl çözeltileri toplamda 5 lt hacme sahip olacak şekilde hazırlanarak her bir ortama 7 adet asfalt beton numunesi konularak deneyler yapılmıştır (Şekil 5.25- 5.26 ve 5.27).



Şekil 5.25: 1 mol NaCl ile asfalt beton numunelerin aynı ortama konulması



Şekil 5.26: 3 mol NaCl ile asfalt beton numunelerin aynı ortama konulması



Şekil 5.27: 4 mol NaCl ile asfalt beton numunelerin aynı ortama konulması

5.5.3.2. Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$)

Kalsiyum klorür inorganik bir tuzdur. Nem emicidir, emilen suda doğal olarak çözünür ve ekzotermiktir. Beton karışımlarında başlangıç betonu oluşumunun hızlanmasına yardımcı olmakta ve böylece betonun yapısını güçlendirmektedir (Anon, 2011c).

1 mol $CaCl_2$ çözeltisi toplamda 5 lt hacme sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti 7 adet numune ile birlikte numunelerin üzerini kapatacak şekilde doldurularak aynı ortama bırakılmıştır (Şekil 5.28).



Şekil 5.28: Asfalt beton numuneler üzerine 1 mol $CaCl_2$ dökülmesi

5.5.4. Saf su

Hazırlanan asfalt beton numunelerinden 7 tanesi 5 lt saf su ile birlikte aynı ortama konulmuştur (Şekil 5.29).



Şekil 5.29: Saf su içerisindeki asfalt beton numuneler.

Hazırlanan ve kimyasal ortamlara maruz bırakılan numuneler maruz kaldıkları ortamlara göre gruplandırıldıktan sonra bu gruplara göre laboratuvar deneylerine devam edilmiş ve elde edilen sonuçlar gruplara göre değerlendirilmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30: Numunelerin kimyasal deneylerden sonraki genel görünüşü

1. “1 mol NaCl” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
2. “4 mol NaCl” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
3. “1 mol HCl” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
4. “1 mol CaCl₂” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
5. “2 mol HCl” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
6. “0,5 mol H₂SO₄” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
7. “Saf su” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
8. “1 mol HNO₃” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
9. “3 mol NaCl” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
10. “1 mol NaOH” ortamında deneye tabi tutulan numuneler,
11. “Referans numuneler”.

5.5.5. pH Değerlerinin Ölçülmesi

Haftalık olarak her bir ortamın pH değeri ölçülerek kaydedilmiştir. Hazırlanan çözeltilerle, aynı ortama konulan asfalt beton numunelerinin 28 gün boyunca buldukları

ortamlarla reaksiyonun devam edip etmediğini saptamak amacıyla pH ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5.31).



Şekil 5.31: pH ölçümlerinin yapılması

5.6. ASFALT BETON DENEYLERİ

5.6.1. Ultrases Ölçümlerinin Yapılması

Ultra ses ölçümleri, laboratuvar ortamında modeli PUNDIT 6 (CNS Elektronik) olan alet ile yapılmıştır. Numuneler kimyasal ortamlardan çıkarıldıktan sonra içyapısında herhangi bir değişiklik olup olmadığı tahribatsız test yöntemlerinden olan ultrases geçiş hızı ölçümü yapılarak belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 5.32 ve 5.33).



Şekil 5.32: Ultrases deney seti



Şekil 5.33: Ultrases ölçümünün yapılması

Ölçülen ultra ses değerleri deneylere tabi tutulmamış şahit numunelerin ultrases değerleriyle karşılaştırılmış, aynı zamanda her bir numunenin deneyden önceki ultrases geçiş hızı da bilindiğinden her bir numunenin ultra ses hızında meydana gelen değişim karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ultrases geçiş hızı ve diğer parametreler arasındaki ilişkilerle birlikte numunelerin MS'leri arasındaki ilişkide belirlenmeye çalışılmıştır.

5.6.2. Marshall Stabilite Deneyi (MS Deneyi)

Bu deney, laboratuvar ortamında, modeli Densi FS- 8000 olan deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Marshall deneyinin esası, eskiden Mississippi Eyaleti Karayolları idaresi (Mississippi State Highway Department) bitümlü malzemeler mühendisi olan Bruce Marshall tarafından ortaya konulmuştur. 1948 yılında, Amerika Birleşik Devletleri yöntemine belirli özellikler eklenmiş ve sonuçta karışım tasarımı için bazı kriterler geliştirilmiştir. Marshall deneyinde önce standart bir kompaktör yardımıyla ve çelik bir kalıp içerisinde 102 mm çapında, 64 mm yüksekliğinde silindirik numuneler imal edilir. Numuneler, 60 °C sıcaklık altında, 50 mm/dk'lık sabit bir hızda yüklenerek, deney aletinde deformasyona karşı dirençleri ölçülür. Deney aletinin çene kısımları numune çevresini sarmakta fakat tamamen kapatmamaktadır. Silindirin iki yanı serbesttir. Dolayısıyla, deney sırasında numune içerisindeki gerilme dağılımı aşırı karmaşık olmaktadır. Marshall deneyinde numunenin göçmeden taşıyabileceği maksimum yük Marshall stabilitesi ve göçme anına kadar oluşan deformasyon miktarı ise Marshall akması olarak adlandırılır. Stabilitenin akmaya oranı (Marshall Stabilite/Akma) Marshall bölümü (Marshall quotient) olarak bilinmekte olup bu faktör karışımın kalıcı deformasyona karşı direncinin bir ölçüsü olan “ampirik rijitlik” değeri olarak nitelendirilmektedir (Shell Bitüm El Kitabı, 2004).

Kimyasal deneyler bittikten sonra temel fiziksel özellikleri belirlenen numunelerin MS ve akma değerlerinin belirlenmesi için numuneler 30-45 dk. süre ile 60 °C deki su banyosunda bekletildikten sonra MS deneyine tabi tutularak kırılmıştır (Şekil 5.34 ve 5.35).



Şekil 5.34: Su banyosu ve içindeki numuneler



Şekil 5.35: Numunelerin Kırılması

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

6.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI

Asfalt betonu üretiminde kullanılan agreganın üzerinde su emme, yoğunluk ve bağıl yoğunluk, ince madde oranı ve organik madde oranı tayini deneyleri yapılmış olup sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1: Ortalama su emme, bağıl yoğunluk, ince madde oranı, organik madde oranı tayini sonuçları

Agrega Türü	% Ortalama Su Emme Oranı	Ortalama Bağıl Yoğunluk (kg/m ³)	Ortalama İnce Madde Oranı %	Organik Madde Tayini
İnce Agregası (0-4,75 mm)	3,54	2,576	14,51	Açık Sarı
Orta Agregası (4,75-9,5 mm)	1,63	2,642	1,27	Açık Sarı
İri Agregası (9,5-25 mm)	0,81	2,677	0,45294	Açık Sarı

6.1.1. Parçalanma Direncinin (Los Angeles, 500 devir) tayini

ASTM C 131’de belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilen deneyin sonucu çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Parçalanma direncinin (Los Angeles, 500 devir) tayini (ASTM C 131)

Deney Elek Aralığı	Ortalama Kütle Kaybı %	Standart Değer (maks.) %
10-14 mm	23,804	Aşınma %30 Binder %35

6.1.2. Agregaların Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Tayini

ASTM C 88’de belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilen deneyin sonucu çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3: Agregaların dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayini (ASTM C 88)

Deney Elek Aralığı	Ortalama Kütle Kaybı %	Standart Değer (maks.) %
8-25 mm	6,69	Aşınma %10 Binder %12

6.1.3. Gevşek Birim Hacim Ağırlık

ASTM C 29’ da belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilen deneyin sonucu çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4: Gevşek birim hacim ağırlık (ASTM C 29)

Agrega Türü	Ortalama Gevşek Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
İnce Agregası (0-4,75 mm)	1,61
Orta Agregası (4,75-9,5 mm)	1,40
İri Agregası (9,5-25 mm)	1,41

6.1.4. Sıkışık Birim Hacim Ağırlık

ASTM C 29’da belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilen deneyin sonucu çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5: Sıkışık birim hacim ağırlık (ASTM C 29)

Agrega Türü	Ortalama Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)
İnce Agregası (0-4,75 mm)	1,91
Orta Agregası (4,75-9,5 mm)	1,62
İri Agregası (9,5-25 mm)	1,64

6.1.5. Mineral Filler Özgül Ağırlığı

TS EN 1097-7’de belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilen deneyin sonucu çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6: Mineral filler özgül ağırlığı (TS EN 1097-7)

Agrega Türü	Özgül Ağırlığı (g/cm ³)
< No 200 (0,075 mm)	2,65

6.2. ÖN OPTİMUM BİTÜM MİKTARININ BELİRLENMESİ

Üretilen 15 adet asfalt betonu numunesinin Marshall Stabilesinin; asfalt çimentosu %’si, ortalama pratik yoğunluk değeri, boşluk %’si değerleri ile bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu %’si değerlerine bağlı olarak tahmin edilebilmesi için Çoklu Lineer Regresyon Analizi yapılmış olup elde edilen model sonucu aşağıda verilmiştir.

Optimum bitüm %'si için elde edilen MS ve akma değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiş olup bunlara ait tanımlayıcı istatistik değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7: MS, bitüm miktarı ve akma değerleri için tanımlayıcı istatistik değerleri

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Marshall	15	333,0	438,0	771,0	593,667	30,0887	116,5331	13579,952

Marshall Stabilitesi, Bitüm miktarı ve akma değeri arasındaki ilişkinin anlamlılık düzeyinin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizi yapılmış olup sonucu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.8: MS, bitüm miktarı ve akma değerleri arasındaki korelasyon katsayıları

	Bitüm	Marshall	Akma
Bitüm	1	-,332	,334
Marshall	-,332	1	-,541*
Akma	,334	-,541*	1

Korelasyon tablosundan görüleceği gibi MS ve akma arasındaki korelasyon katsayısı negatif yönde ve orta düzeyde bir ilişki olup değeri -0,541'dir. Akma değeri arttıkça MS değerinin azaldığı, buna karşılık MS ile bitüm arasındaki ilişkinin de -0,332 ile negatif yönde olduğu ancak çok önemli olmadığı diğer taraftan akma miktarı ile bitüm miktarı arasında ise 0,334 ile pozitif bir ilişki olduğu ancak bu ilişkinin de istatistiksel olarak çok önemli olmadığı ifade edilebilir.

İncelenen gruplar (1, 2, 3, 4 ve 5) arasında MS açısından bir fark olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla Varyans Analizi (Analysis of Variance) yapılmış olup sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.9: MS için Varyans Analizi

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önemlilik derecesi
Gruplar arası	65892,667	4	16473,167	1,326	,326
Grup içi	124226,667	10	12422,667		
Toplam	190119,333	14			

Tablodan da görüleceği gibi önemlilik değeri 0,05 değerinden büyük olduğu için gruplar arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı sonucuna varılır. Ancak bu

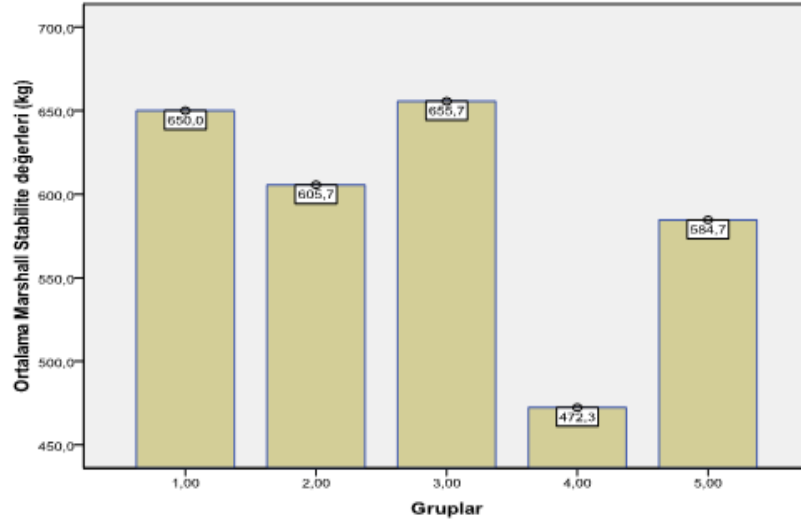
varyans değerinin her bir grup için mi geçerli yoksa genel olarak mı geçerli olduğunu, hangi gruplar arasında fark olup olmadığını test etmek için Duncan testi yapılmış olup sonucu aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.10).

Çizelge 6.10: MS için Duncan testi

Gruplar	N	%95 güven aralığı için alt gruplar
		1
4,00	3	472,333
5,00	3	584,667
2,00	3	605,667
1,00	3	650,000
3,00	3	655,667
Önemlilik Derecesi		,094

Duncan testinden de görüleceği üzere istatistiksel olarak gruplar arasında Marshall Stabilitesi açısından her hangi bir fark olmadığı anlaşılmaktadır.

Gruplar bazında Marshall Stabilitate değerlerinin ortalamaları karşılaştırmalı olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Grup bazında MS değerlerinin karşılaştırılması

Optimum bitüm %'si için elde edilen akma değerlerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.11).

Çizelge 6.11: Optimum bitüm %'si için akma değerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Akma	15	2,73	8,09	10,82	9,4400	,21722	,84131	,708

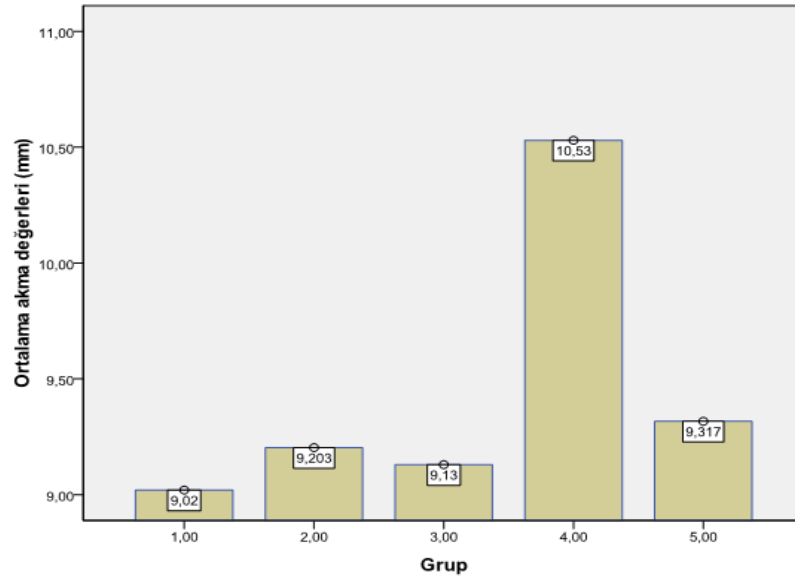
İncelenen gruplar (1, 2, 3, 4 ve 5) arasında Akma açısından bir fark olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla Varyans Analizi (Analysis of Variance) yapılmış olup sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.12).

Çizelge 6.12: Akma değeri için Varyans Analizi

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önemlilik derecesi
Gruplar arası	4,595	4	1,149	2,162	,147
Grup içi	5,314	10	,531		

Çizelge 6.13: Akma değeri için Duncan testi sonuçları

grup	N	Alfa için alt sınır= 0.05	
		1	2
1,00	3	9,0200	9,1300
3,00	3	9,1300	9,2033
2,00	3	9,2033	9,3167
5,00	3	9,3167	10,5300
4,00	3	,651	,053
Sign			



Şekil 6.2: Grup bazında akma değerlerinin karşılaştırılması

6.3. OPTIMUM BİTÜM MİKTARININ BELİRLENMESİ

Optimum bitüm miktarının belirlenmesi için üretilen 15 adet asfalt beton numunelerin değerleri kullanılmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak en yüksek MS değerinin veren numunelerin bitüm yüzdesi seçilerek optimum bitüm yüzdesi tayin edilmiştir.

Çizelge 6.14: Optimum bitüm %'si için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
					İstatistik	Std. Hata		
Ortalama Marhall Stabilitesi (kg)	5	183,00	472,00	655,00	593,2000	33,13518	74,09251	5489,700
Ön optimum bitüm miktarları %	5	2,0	4,7	6,7	5,700	,3536	,7906	,625
Ortalama pratik yoğunluk (Dp)	5	,0	2,3	2,3	2,320	,0055	,0122	,000
Ortalama boşluk oranları (V)	5	3,00	1,90	4,90	3,7600	,53254	1,19080	1,418
Ortalama Akma(mm)	5	1,51	9,02	10,53	9,4380	,27705	,61949	,384
Agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma dereceleri (%)	5	22,22	69,16	91,38	78,6580	3,85997	8,63115	74,497

Optimum bitüm yüzdesi tayini için kullanılan değerlerin değişkenler ile ilişkisi incelenerek çizelge 6.15'te sunulmuştur.

Çizelge 6.15: Elde edilen değerlerin değişkenler ile ilişkisi

	Ön optimum bitüm miktarları (%)	Ortalama pratik yoğunluk (Dp)	Ortalama boşluk oranları (V)	Ortalama Marshall Stabilitesi (kg)	Ortalama Akma (mm)	Agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma dereceleri (%)
Ön optimum bitüm miktarları %	1	,516	-,943*	-,566	,487	,974**
Ortalama pratik yoğunluk (Dp)	,516	1	-,771	,251	-,366	,692
Ortalama boşluk oranları (V)	-,943*	-,771	1	,308	-,210	-,993**
Ortalama Marshall Stabilitesi (kg)	-,566	,251	,308	1	-,963**	-,387
Ortalama Akma(mm)	,487	-,366	-,210	-,963**	1	,296
Agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma dereceleri (%)	,974**	,692	-,993**	-,387	,296	1

6.4. ÖN OPTİMUM BİTÜM İÇİN ÜRETİLEN NUMUNELERİN MS VE AKMA ANALİZLERİ

6.4.1. Ön Optimum Bitüm Yüzdesi İçin Üretilen Numunelerin MS Analizleri

Ön optimum bitüm yüzdesi için üretilen numunelerin MS değerleri kullanılarak çoklu lineer regrasyon analizleri yapılmış ve çizelge 6.16'da sunulmuştur.

Çizelge 6.16 (a,b,c): MS için Varyans ve Çoklu Lineer Regrasyon Analizi sonuçları

a) Model denkleminin anlamlık düzeyi

R	Kareler toplamı	R Kare ayarı	Std. Hata	İstatistiksel değişim				
				R Kare değişimi	F	df1	df2	Önemlilik derecesi F
1,000 ^a	1,000	1,000	,18259	1,000	219557,126	3	1	,002

b) Regrasyon analizi sonucu

Model	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önemlilik. Der.
1	Regrasyon	21958,767	3	7319,589	219557,126
	Artık	,033	1	,033	
	Toplam	21958,800	4		

c) Model denklemindeki değişkenlerin katsayıları

Model	Standart olmayan katsayı		Standart katsayı	Std. Hata	Önemlilik. Der.
	B	Std. Hata	Beta		
1 (Sabit)	30641,430	95,305		321,510	,002
Bitüm	-1014,666	2,166	-10,827	-468,496	,001
Dp (pratik yoğ.)	-13878,309	43,730	-2,294	-317,362	,002
Bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu %'si	100,855	,235	11,749	428,317	,001

6.4.2. Ön Optimum Bitüm Yüzdesi İçin Üretilen Numunelerin Akma Değerleri Analizleri

Ön optimum bitüm yüzdesi için üretilen numunelerin akma değerleri kullanılarak çoklu lineer regrasyon analizleri yapılmış ve çizelge 6.17'de sunulmuştur.

Çizelge 6.17 (a,b,c): Akma için Varyans ve Çoklu Lineer Regrasyon Analizi sonuçları

a) Çoklu lineer regrasyon analizi sonuçları

Model	Kareler toplamı	df	Kareler ort.	F	Önemlilik. Derecesi
1 Regrasyon	1,455	3	,485	6,08	,288 ^a
Artık	,080	1	,080	8	
Toplam	1,535	4			

b) Varyans analizi sonuçları

R	R Kare	R Kare ayarı	İzin verilebilir Std. Hata	İstatistiksel değişim				
				R Kare değişimi	F Değişimi	df1	df 2	Önemlilik. Der F
,974 ^a	,948	,792	,28230	,948	6,088	3	1	,288

c) Çoklu lineer analizi model denklemini katsayıları

Model	Değişken katsayı		Standart katsayı	Std. Hata	Önemlilik. Der
	B	Std. Hata	Beta		
1 (Sabit)	-171,969	147,350		-1,167	,451
Bitüm	7,125	3,349	9,092	2,128	,280
Dp	84,332	67,611	1,667	1,247	,430
Bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu %'si	-,697	,364	-9,716	-1,916	,306

6.5. BİTÜM DENEYLERİNİN SONUÇLARI

Bitüm deneyleri ilgili standartların esaslarına uygun olarak yapılmış olup sonuçları Çizelge 6.18’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.18: Bitümün temel fiziksel özellikleri

Deney Adı	Ortalama Değerler	İlgili Standart
Penetrasyon (25 °C)	60-70	TS EN 1426
Yumuşama Noktası °C	45,5	TS EN 1427
Düktilite (5 cm/dk)	>100 cm	ASTM D-113
Özgül Ağırlık g/cm ³	1,034	TS 1087
Parlama Noktası °C	180	TS EN ISO 2592

6.6. ASFALT BETONU DENEY SONUÇLAR

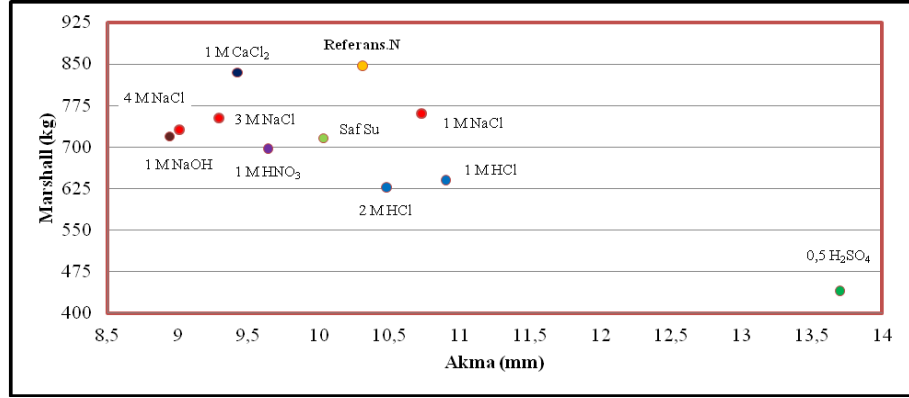
6.6.1. Marshall Deneyi

Kimyasal deneylerden çıkarılan numuneler Marshall Stabilite deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.19’da sunulmuştur.

Çizelge 6.19: Elde edilen MS ve akma değerleri

Gruplar	Kimyasal Ortam	Ortalama Akma (mm)	Ortalama MS (kg)
1	1 M NaCl	10,73	760
2	3 M NaCl	9,29	752
3	4 M NaCl	9,01	731
4	1 M HCl	10,9	640
5	2 M HCl	10,48	627
6	1 M CaCl ₂	9,42	835
7	0,5 M H ₂ SO ₄	13,7	440
8	1 M HNO ₃	9,64	697
9	1 M NaOH	8,94	719
10	Saf su	10,03	716
11	Referans N	10,31	847

Farklı çevre koşullarına göre deneyler sonucunda elde edilen Marshall Stabilite ve Akma değerleri arasındaki ilişki aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 6.3).

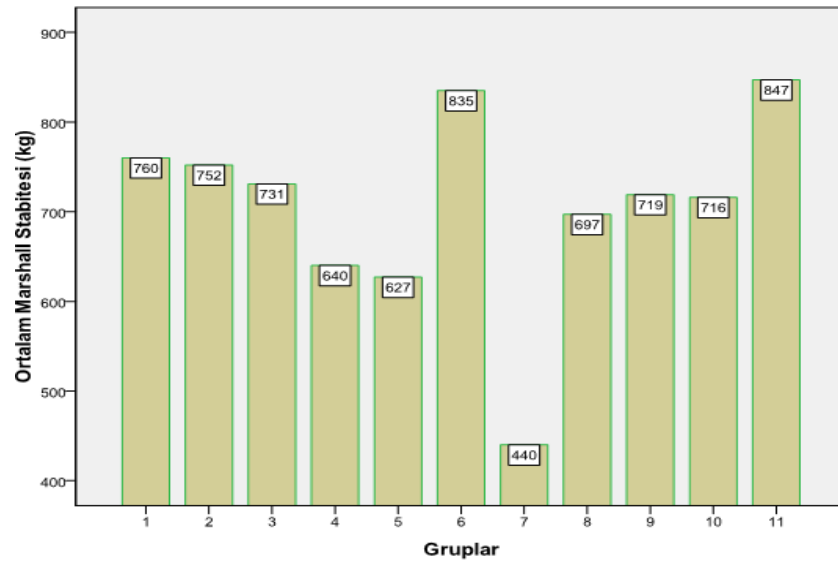


Şekil 6.3: Yapılan deneylerin sonunda elde edilen Marshall ve akma sonuçları grafiği

Asfalt beton numunelerinin ortalama MS ve ortalama akma değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri ve bu ortalamalara ait grafikleri aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.20, Şekil 6.4, Çizelge 6.21 ve Şekil 6.5).

Çizelge 6.20: MS için tanımlayıcı değerler

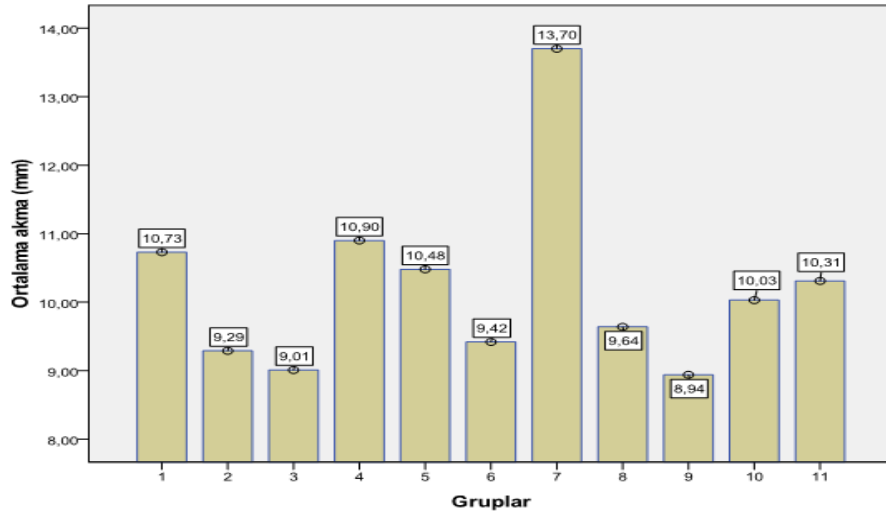
N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
11	407	440	847	705,82	33,559	111,302	12388,164



Şekil 6.4: Gruplar bazında karşılaştırmalı MS değerleri

Çizelge 6.21: Akma için tanımlayıcı istatistikler

N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
11	4,76	8,94	13,70	10,2227	,40326	1,33748	1,789



Şekil 6.5: Gruplar bazında karşılaştırmalı akma değerleri

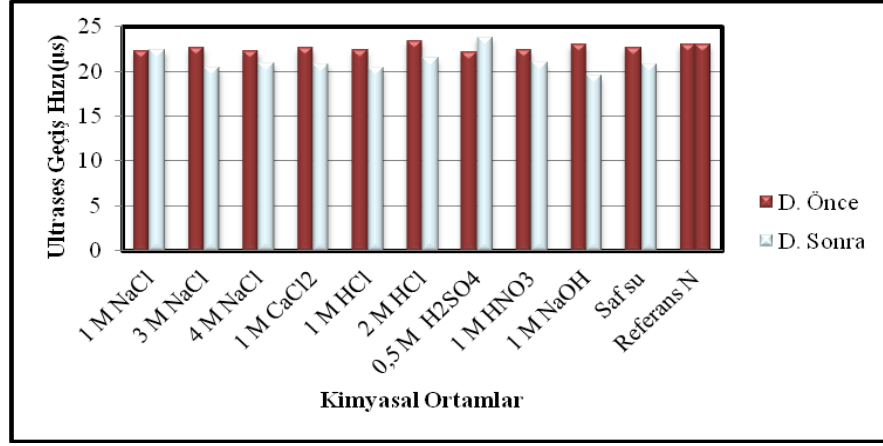
Şekil incelendiğinde, en yüksek MS değerinin referans numunelerde olduğu, 1 mol CaCl_2 ortamına maruz bırakılan numunelerin MS değerlerinin referans numune değerlerine oldukça yakın olduğu, diğer ortamlara maruz kalan numunelerin MS değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük MS değerinin ise 0,5 Mol H_2SO_4 ortamına maruz kalan numunelerde olduğu görülmektedir.

6.6.2. Ultrases Deneyi

Asfalt beton numunelerin ultrases ölçümleri kimyasal deneylerden önce ve sonra yapılarak değişim durumu şekil 6.22’de sunulmuştur

Çizelge 6.22: Numunelerin deneyler öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları

Sıra No	Korozif Ortam	Ortalama Ultrases Geçiş Hızları (μs)		% Değişim (+) azalma (-) artma
		D. Önce	D. Sonra	
1	1 M NaCl	22,3	22,4	+% 0,45
2	3 M NaCl	22,7	20,4	-% 10,14
3	4 M NaCl	22,3	20,9	-% 6,28
4	1 M CaCl_2	22,6	20,8	-% 7,97
5	1 M HCl	22,4	20,4	-% 8,93
6	2 M HCl	23,4	21,5	-% 8,12
7	0,5 M H_2SO_4	22,2	23,8	+% 6,73
8	1 M HNO_3	22,4	21	-% 6,25
9	1 M NaOH	23	19,5	-% 15,22
10	Saf su	22,6	20,8	-% 7,97
11	Referans N	23,1	23,1	%0



Şekil 6.6: Ultrasonics deneyi sonuçları

Şekil incelendiğinde, en düşük Ultrasonics geçiş hızının 1 mol NaOH ortamındaki numunelerde olduğu, diğer ortamlara maruz kalan numunelerdeki Ultrasonics geçiş hızının belli oranlarda ve birbirlerine yakın değerlerde azaldığı, 1 mol NaCl ortamına maruz kalan numunelerde Ultrasonics geçiş hızının değişmediği buna karşılık 0,5 mol H₂SO₄ ortamına maruz kalan numunelerde ise Ultrasonics geçiş hızının bir miktar arttığı görülmektedir. Ultrasonics değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve Varyans Analizi sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.23).

Çizelge 6.23: Ultrasonics değerleri için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
Önce	11	1,2	22,2	23,4	22,636	,1154	,3828	,147
Sonra	11	4,3	19,5	23,8	21,327	,3854	1,2784	1,634

Çizelge 6.24: Ultrasonics değerleri için Varyans Analizi sonuçları

	Kareler toplamı	df	Kareler ort.	F	Önemlilik. Der.
Gruplar arası	9,425	1	9,425	10,586	,004
Grup içi	17,807	20	,890		
Toplam	27,233	21			

6.7. KİMYASAL DENEY SONUÇLARI

6.7.1. pH Değerlerinin Ölçülmesi

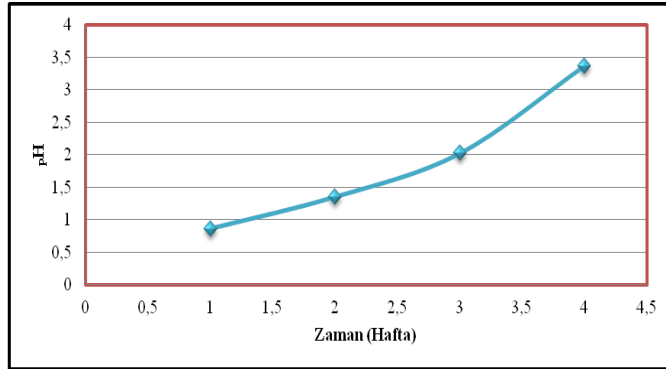
Kimyasal deneylerin başlama tarihlerine göre belirlenen tarihlerde ölçülen pH değerleri grafiklerde sunulmuştur.

6.7.1.1. Asidik ortamların pH değişim grafiği

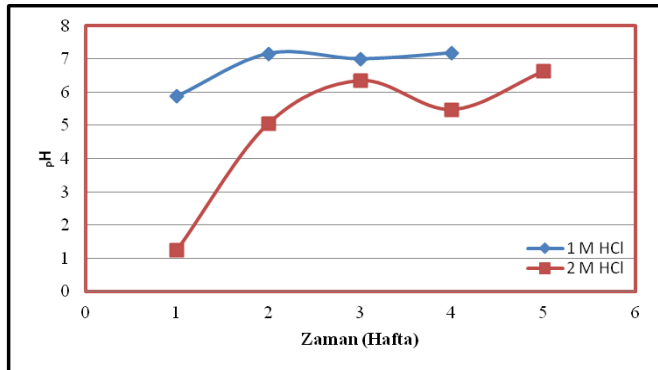
İçerisine numune konmuş olan asidik ortamların pH değerleri haftalık olarak 0,5 M H₂SO₄, HCl ve 1 M HNO₃ ortamları için ayrı ayrı ölçülerek aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 6.25: Asit ortamların pH ölçüm sonuçları

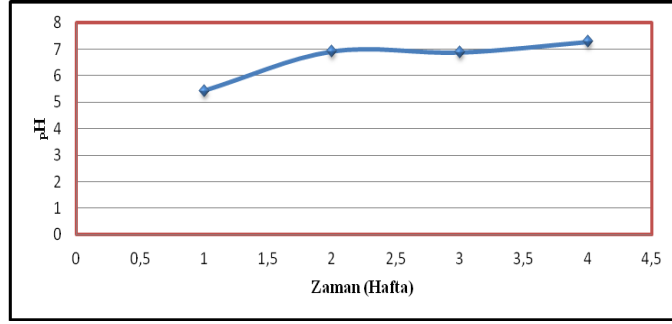
Zaman (Hafta)	1 M HCl	2 M HCl	0,5 M H ₂ SO ₄	1 M HNO ₃
1	5,87	1,23	0,86	5,43
2	7,16	5,05	1,35	6,92
3	7	6,34	2,02	6,88
4	7,18	5,47	3,37	7,28
5	-	6,62	-	-



Şekil 6.7: 0,5 M H₂SO₄' in pH değişimi



Şekil 6.8: HCl asit ortamlarının pH değişimi



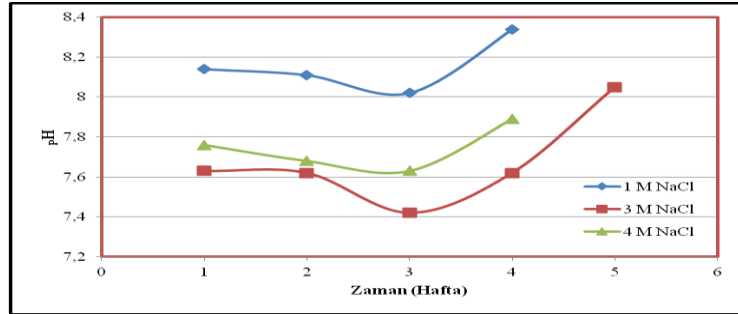
Şekil 6.9: 1 M HNO₃' in pH değişimi

6.7.1.2. Tuz ortamların pH değişim grafikleri

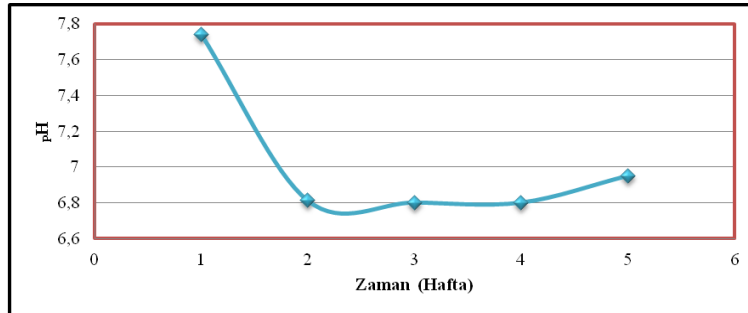
Çizelge 6.26: Tuz ortamlarının pH ölçüm sonuçları

Zaman (Hafta)	1 M NaCl	3 M NaCl	4 M NaCl	1 M CaCl ₂
1	8,14	7,63	7,76	7,74
2	8,11	7,62	7,68	6,81
3	8,02	7,42	7,63	6,8
4	8,34	7,62	7,89	6,8
5	-	8,05	-	6,95

İçine numune konmuş olan tuz ortamların pH değerleri haftalık olarak 1 M NaCl, 3 M NaCl, 4 M NaCl ve 1 M CaCl₂ ortamları için ayrı ayrı ölçülerek gösterilmiştir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10: NaCl ortamlarının pH değişimleri



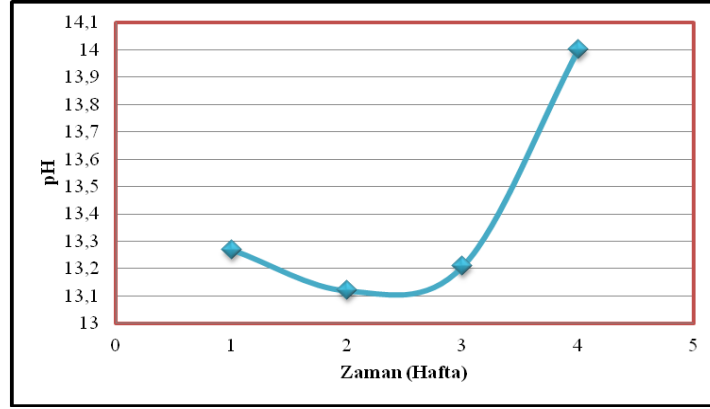
Şekil 6.11: 1 M CaCl₂' ün pH değişimi

6.7.1.3. Bazik ortamın pH değişim grafiği

İçinde numune bulunan bazik ortamın pH değeri zamana bağlı olarak ölçölmüş ve aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.27).

Çizelge 6.27: 1 M NaOH ortamının pH ölçüm sonuçları

Zaman (Hafta)	1 M NaOH
1	13,27
2	13,12
3	13,21
4	14



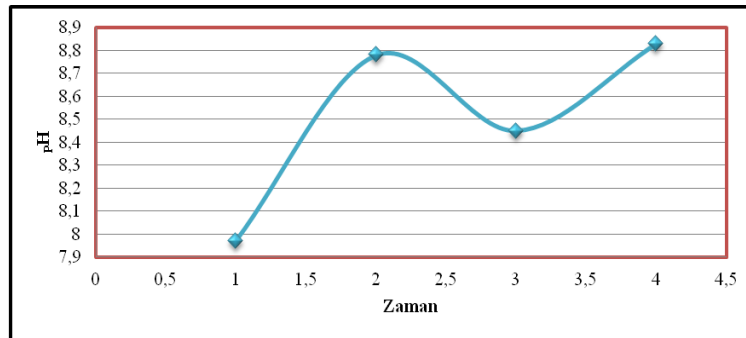
Şekil 6.12: 1 M NaOH' in pH değişim

6.7.1.4. Saf su ortamının pH değişim grafiği

Saf su ortamına konulan numunelerden dolayı zamana bağlı olarak oluşan pH değerlerinin ölçüm sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.28).

Çizelge 6.28: Saf su ortamının pH ölçüm sonuçları

Zaman (Hafta)	Saf su
1	7,97
2	8,78
3	8,45
4	8,83



Şekil 6.13: Saf su ortamının pH değişimi

6.8. KOROZİF ORTAMLARA GÖRE ASFALT BETON NUMUNELERİN FİZİKSEL ve MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Korozif ortamlara bağlı olarak asfalt beton numunelerinin ortalama pratik yoğunlukları (D_p), ortalama boşluk oranları (V), agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doluluk oranları (V_f), ortalama akma miktarları, korozif ortamların pH'ları asfalt numunelerde oluşan kütle kayıpları, korozif ortama maruz kalmadan önce ve maruz kaldıktan sonra ki ultrases geçiş hızları, ortalama MS değerleri ve her bir ortam için numunelerde oluşan MS kayıpları (%) olarak belirlenmiş olup tüm sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.29).

Çizelge 6.29: Asfalt betonu grupların fiziksel ve mühendislik özellikleri ortalama değerleri

No	Korozif Ortam	Ort. Pratik Yoğ. (D _p)	Ort. Boşluk Oranı (V)	Ag.İç. Boşluk Bağ. Dol. Der. V _f (%)	Bitüm Mik. (%)	Ort. Akma (mm)	Ort pH	Ort. Kütle Kaybı (%) (+)Artma (-)Azalma	Ultrases Geçiş Hızı		Ort MS	Referans MS'ye göre oluşan %MS Kayıp
									D. Önce	D. Sonra		
1	Referans N	2,35	2	82,9	5,925	10,31	0	0	23,1	23,1	847	0
2	1 M NaCl	2,37	12,5	77,24	5,925	10,73	8,15	-0,23	22,3	22,4	760	10,28
3	3 M NaCl	2,38	8,3	87,32	5,925	9,29	7,66	-0,31	22,7	20,4	752	11,22
4	4 M NaCl	2,38	8,3	87,32	5,925	9,01	7,74	-0,2	22,3	20,9	731	13,7
5	1 M HCl	2,22	7,5	60	5,925	10,9	6,8	-2,25	22,6	20,8	640	24,44
6	2 M HCl	2,32	3,3	76,43	5,925	10,48	4,94	-5,25	22,4	20,4	627	25,98
7	1 M CaCl ₂	2,37	8,3	90,3	5,925	9,42	7,02	-7,4	23,4	21,5	835	1,48
8	0,5 M H ₂ SO ₄	2,32	12,5	87,32	5,925	13,7	1,09	-2,57	22,2	23,8	440	48,51
9	1 M HNO ₃	2,32	2,3	87,32	5,925	9,64	6,62	-0,81	22,4	21	697	17,71
10	1 M NaOH	2,32	8,3	87,32	5,925	8,94	13,4	+1,33	23	19,5	719	15,12
11	Saf su	2,38	8,3	87,32	5,925	10,03	8,5	-0,09	22,6	20,8	716	15,47

Her bir korozif ortam için elde edilen deneysel sonuçların birbiri ile olan ilişkilerinin tespit edilebilmesi amacıyla korelasyon analizi yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.30).

Çizelge 6.30: Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

	Dp	v	Vf	Akma	pH	Kütle kaybı	Ultrases önce	Ultrases sonra	MS
Dp (ortalama pratik.yoğ)	1	,168	,764**	-,346	,081	,118	,112	,091	,469
V (ortalama boşluk oranı)	,168	1	,057	,373	,249	,059	-,258	,235	-,321
Vf (Agrega içindeki boş bağ. ile.dol.der)	,764**	,057	1	-,249	,076	,081	,214	,057	,192
Akma	-,346	,373	-,249	1	-,640*	-,191	-,453	,736**	-,766**
pH	,081	,249	,076	-,640*	1	,277	,116	-,799**	,242
Kütle kaybı	,118	,059	,081	-,191	,277	1	-,241	-,107	,097
Ultrases önce	,112	-,258	,214	-,453	,116	-,241	1	-,149	,666*
Ultrases sonra	,091	,235	,057	,736**	-,799**	-,107	-,149	1	-,210
MS	,469	-,321	,192	-,766**	,242	,097	,666*	-,210	1

Deneysel çalışmalar sonunda incelenen en önemli özellik olan MS değeri ile diğer parametreler arasındaki korelasyon katsayıları değerlendirildiğinde; numunelerin pratik özgül ağırlıkları (Dp), agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doluluk oranları (V_f), pH ve korozif ortama maruz kalmadan önceki ultrases değerleri ile MS arasındaki ilişkilerin pozitif olduğu bunlardan en yüksek ilişkinin ise 0,469 anlamlılık düzeyiyle numunelerin pratik özgül ağırlıkları (Dp) ile MS arasındaki ilişki olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, numunelerin ortalama boşluk oranları (V), ortalama akma miktarları ile korozif ortama maruz kaldıktan sonra ki ultrases geçiş hızları arasındaki ilişkilerin ise negatif olduğu ve bunlardan en yüksek anlamlılık düzeyini ise -0,766 ile akma ve MS arasındaki ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca MS değeri ile numunelerin kütle kaybı arasındaki ilişkinin ise 0,097 olduğu dolayısıyla MS ile kütle kaybı arasında bir ilişkinin olmadığı söylenebilir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda asfalt beton numunelerin referans numune hariç ortalama MS değerlerinin en düşük 440 kg ve en yüksek MS değerinin ise 835 kg olduğu görülmüştür. En düşük MS değerinin 0,5 M H₂SO₄ ortamına maruz kalan numunelerde olduğu, bu numunelerin ortalama pratik yoğunluğunun 2,32 g/mm³

olduğu, ortalama boşluk oranının %12,5 olduğu, agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doluluk oranının %87,32 olduğu, ortalama akma oranının 13,7 mm, ortalama pH değerinin 1,09 olduğu, agrega kütlelerinde %2,57 oranında bir kayıp olduğu görülmüştür. Ultrases geçiş hızının ise 22,2'den 23,8'e çıktığı görülmüştür. 0,5 M H₂SO₄ ortamına maruz kalan asfalt betonunda %2,57 oranında bir kütle kaybı görülürken MS değerinin ise %51,49 azalma olduğu dolayısıyla %48,06 oranında bir kayıp belirlenmiştir.

Asfalt beton numunelerde en yüksek MS değerinin 853 kg ile 1 M CaCl₂ ortamına maruz kalan numunelerde olduğu görülmüştür. Bu numunelerin ortalama pratik yoğunluğunun 2,37 g/cm³ olduğu, ortalama boşluk oranının %8,3 olduğu, agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doluluk oranının %90,3 olduğu, ortalama akma miktarının 9,42 olduğu, ortalama pH değerinin 7,02 olduğu, ortalama kütle kaybının %7,4 olduğu görülmüştür. Ultrases geçiş hızının ise 23,4'ten 21,5'e düştüğü tespit edilmiştir.

1M CaCl₂ ortamına maruz kalan asfalt beton numunelerin rölatif MS değerinin %98,58 olduğu. MS kaybının ise %1,42 oranında olduğu belirlenmiştir.

6.8.1. Referans Numuneler İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortamlar, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri referans numuneler için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.31).

Çizelge 6.31: Referans numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BİTÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
REFERANS N	71	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1321,4	1321,4	22,3	22,3	10,07	825
	72	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1316	1316	23,1	23,1	9,71	847
	73	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1295,3	1295,3	26,5	26,5	10,58	898
	74	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1326,8	1326,8	22,2	22,2	9,6	815
	75	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1331,2	1331,2	22,4	22,4	10,54	736
	76	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1331,6	1331,6	21,5	21,5	11,6	851
	77	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1333,8	1333,8	23,1	23,1	10,61	897

Referans numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla da korelasyon analizleri yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.32 ve Çizelge 6.33).

Çizelge 6.32: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	38,5	1295,3	1333,8	1322,300	5,0890	13,4641	181,283
Kütle sonra	7	38,5	1295,3	1333,8	1322,300	5,0890	13,4641	181,283
Ultrases önce	7	5,0	21,5	26,5	23,014	,6174	1,6334	2,668
Ultrases sonra	7	5,0	21,5	26,5	23,014	,6174	1,6334	2,668
Akma	7	162,0	736,0	898,0	838,429	20,9488	55,4252	3071,952
MS	7	2,0	9,6	11,6	10,387	,2563	,6782	,460

Çizelge 6.33: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	1,000**	-,881**	-,881**	,201	-,419
Kütle sonra	1,000**	1	-,881**	-,881**	,201	-,419
Ultrases önce	-,881**	-,881**	1	1,000**	-,065	,526
Ultrases sonra	-,881**	-,881**	1,000**	1	-,065	,526
Akma	,201	,201	-,065	-,065	1	,182
MS	-,419	-,419	,526	,526	,182	1

Referans numuneler için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin -0,419 ile negatif yönde ve orta düzeyde olduğu buna karşılık ultrases hızları ile MS arasındaki ilişkinin ise 0,526 ile orta düzeyde ve pozitif olduğu görülmekte olup MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise 0,182 ile çok alt seviye olduğu belirlenmiştir.

6.8.2. “1 Mol NaCl” İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “1 mol NaCl” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.34).

Çizelge 6.34: 1 M NaCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BITÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
1 M NaCl	1	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1333,3	1327,4	23,2	22,7	13,67	646
	2	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1335,8	1331,4	22,3	22,9	12,7	660
	3	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1315,3	1312,4	21	23	12,88	806
	4	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1307,3	1304,8	22	23	10,05	777
	5	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1320,5	1318,5	22,5	21,9	11,39	820
	6	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1319,1	1316,5	22,4	21,3	9,34	776
	7	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1334,3	1332,5	23	22	8,7	784

1 M NaCl içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.35 ve Çizelge 6.36).

Çizelge 6.35: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std.Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	28,5	1307,3	1335,8	1323,657	4,1457	10,9684	120,306
Kütle sonra	7	27,7	1304,8	1332,5	1320,500	3,9113	10,3483	107,087
Ultrases önce	7	2,2	21,0	23,2	22,343	,2724	,7208	,520
Ultrases sonra	7	1,7	21,3	23,0	22,400	,2526	,6683	,447
Akma	7	5,0	8,7	13,7	11,247	,7275	1,9247	3,704
MS	7	174,0	646,0	820,0	752,714	26,4851	70,0731	4910,238

Çizelge 6.36: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,992**	,650	-,080	,222	-,647
Kütle sonra	,992**	1	,649	-,148	,125	-,554
Ultrases önce	,650	,649	1	-,408	-,184	-,445
Ultrases sonra	-,080	-,148	-,408	1	,617	-,369
Akma	,222	,125	-,184	,617	1	-,556
MS	-,647	-,554	-,445	-,369	-,556	1

1 mol NaCl ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonra için sırasıyla -0,647 ve -0,554 ile negatif yönde ve orta düzeyde olduğu, buna karşılık ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonra için sırasıyla -0,445 ve -0,369 ile negatif yönde ve düşük düzeyde olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise -0,556 ile negatif yönde ve orta düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.3. “4 Mol NaCl” İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “4 mol NaCl” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.37).

Çizelge 6.37: 4 M NaCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BİTÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
4 M NaCl	8	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1329,1	1328	22,5	19,8	8,88	706
	9	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1312,9	1308,6	22	22	10,85	695
	10	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1330,3	1326,2	21,9	21,1	8,6	599
	11	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1329,6	1326,9	21,9	21,3	9,01	752
	12	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1320,7	1317,8	23,5	20,7	8,04	768
	13	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1306,9	1305	21,3	20,3	8,3	734
	14	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1301,4	1299,5	23	21,2	8,21	875

4 M NaCl içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.38 ve Çizelge 6.39).

Çizelge 6.38: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	28,9	1301,4	1330,3	1318,700	4,4660	11,8159	139,617
Kütle sonra	7	28,5	1299,5	1328,0	1316,000	4,4135	11,6769	136,350
Ultrases önce	7	2,2	21,3	23,5	22,300	,2837	,7506	,563
Ultrases sonra	7	2,2	19,8	22,0	20,914	,2721	,7198	,518

Çizelge 6.38 (devam) : İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Variyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Akma	7	2,81	8,04	10,85	8,8414	,36045	,95365	,909
MS	7	276,0	599,0	875,0	732,714	31,5774	83,5458	6979,905

Çizelge 6.39: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,995**	-,058	-,189	,052	-,643
Kütle sonra	,995**	1	-,042	-,271	-,001	-,597
Ultrases önce	-,058	-,042	1	-,068	-,333	,511
Ultrases sonra	-,189	-,271	-,068	1	,603	,010
Akma	,052	-,001	-,333	,603	1	-,335
MS	-,643	-,597	,511	,010	-,335	1

4 mol NaCl ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonra için sırasıyla -0,643 ve -0,597 ile negatif yönde ve orta düzeyde olduğu, buna karşılık ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için -0,511 ile negatif yönde orta düzeyde bir ilişki varken sonrası için -0,010 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise -0,335 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.4. “1 Mol HCl” İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “1 mol HCl” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.40).

Çizelge 6.40: 1 M HCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BITÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
1 M HCl	15	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1310,7	1243	22,1	18	9,7	609
	16	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1342,7	1277,6	21,8	20,2	11,37	777
	17	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1332,3	1257,4	24,3	22,7	9,42	467
	18	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1310,2	1244	25,3	22,3	8,32	611
	19	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1319,7	1246	20,5	19,1	12,77	635
	20	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1314,9	1248,2	21,1	19,9	12,09	687
	21	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1323,9	1253,6	21,7	21,1	11,62	658

1 M HCl içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.41 ve Çizelge 6.42).

Çizelge 6.41: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	32,5	1310,2	1342,7	1322,057	4,5272	11,9777	143,466
Kütle sonra	7	34,6	1243,0	1277,6	1252,829	4,5714	12,0949	146,286
Ultrases önce	7	4,8	20,5	25,3	22,400	,6594	1,7445	3,043
Ultrases sonra	7	4,7	18,0	22,7	20,471	,6380	1,6879	2,849
Akma	7	4,45	8,32	12,77	10,7557	,61322	1,62241	2,632
MS	7	310,0	467,0	777,0	634,857	35,4807	93,8730	8812,143

Çizelge 6.42: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,949**	-,091	,265	,233	,216
Kütle sonra	,949**	1	-,082	,197	,185	,440
Ultrases önce	-,091	-,082	1	,756*	-,932**	-,560
Ultrases sonra	,265	,197	,756*	1	-,485	-,429
Akma	,233	,185	-,932**	-,485	1	,533
MS	,216	,440	-,560	-,429	,533	1

1 mol HCl ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonra için sırasıyla 0,216 ve 0,440 ile pozitif yönde ve zayıf düzeyde olduğu, buna karşılık ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için -0,560 ile negatif yönde orta düzeyde bir ilişki varken sonrası için -0,429 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise 0,533 ile pozitif yönde ve orta düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.5. “1 Mol CaCl₂” için Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “1 mol CaCl₂” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.43).

Çizelge 6.43: 1 mol CaCl₂ içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BİTÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(us)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
1 M CaCl ₂	22	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1299,4	1297	20,9	16,7	9,98	881
	23	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1312,8	1308,5	24,3	22,6	9,42	652
	24	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1319,8	1318,1	23,5	21,2	8,32	836
	25	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1322	1319,7	22,6	21,7	10,35	948
	26	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1305,4	1304,3	22,9	20,4	8,2	828
	27	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1310,1	1310,9	23,3	21,7	9,25	907
	28	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1336,4	1334,6	21,3	21,3	11,38	724

1 mol CaCl₂ içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.44 ve Çizelge 6.45).

Çizelge 6.44: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	37,0	1299,4	1336,4	1315,1	4,6143	12,2083	149,042
Kütle sonra	7	37,6	1297,0	1334,6	1313,3	4,6115	12,2010	148,863
Ultrases önce	7	3,4	20,9	24,3	22,686	,4580	1,2116	1,468
Ultrases sonra	7	5,9	16,7	22,6	20,800	,7277	1,9253	3,707
Akma	7	3,18	8,20	11,38	9,5571	,42583	1,12663	1,269
MS	7	296,0	652,0	948,0	825,14	39,4150	104,2824	10874,81

Çizelge 6.45: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,992**	-,080	,556	,568	-,284
Kütle sonra	,992**	1	-,092	,553	,542	-,212
Ultrases önce	-,080	-,092	1	,732	-,617	-,250
Ultrases sonra	,556	,553	,732	1	-,045	-,335
Akma	,568	,542	-,617	-,045	1	-,116
MS	-,284	-,212	-,250	-,335	-,116	1

1 mol CaCl₂ ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonra için sırasıyla -0,284 ve 0,212 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde olduğu, buna karşılık ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi ve sonrası için -0,250 ve -0,335 ile negatif yönde zayıf düzeyde bir ilişki olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise -0,116 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.6. “2 Mol HCl” İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, 2 korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “2 mol HCl” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.46).

Çizelge 6.46. 2 mol HCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerler

	Numune No	% BITÜM	Eleklerden % Geçen							Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)	
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce			D.Sonra
2 M HCl	29	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1321,3	1288,8	22,5	20,9	10,22	784
	30	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1311,4	1279,3	23	21,4	12,35	620
	31	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1330,7	1302,5	24,1	22,5	11,46	658
	32	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1307,5	1279,8	23	20,2	8,38	679
	33	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1310	1282,8	23,4	22,2	10,34	561
	34	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1330,6	1300,3	24,3	21,3	9,91	619
	35	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1324,5	1294,4	24	22,5	9,61	541

2 M HCl içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.47 ve Çizelge 6.48).

Çizelge 6.47: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	23,2	1307,5	1330,7	1319,429	3,7056	9,8040	96,119
Kütle sonra	7	23,2	1279,3	1302,5	1289,700	3,6282	9,5993	92,147
Ultrases önce	7	1,8	22,5	24,3	23,471	,2561	,6775	,459
Ultrases sonra	7	2,3	20,2	22,5	21,571	,3293	,8712	,759
Akma	7	3,97	8,38	12,35	10,3243	,48468	1,28235	1,644
MS	7	243,0	541,0	784,0	637,429	30,6352	81,0532	6569,619

Çizelge 6.48: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,977**	,685	,443	,148	,037
Kütle sonra	,977**	1	,775*	,498	,067	-,047
Ultrases önce	,685	,775*	1	,617	,011	-,612
Ultrases sonra	,443	,498	,617	1	,433	-,628
Akma	,148	,067	,011	,433	1	-,053
MS	,037	-,047	-,612	-,628	-,053	1

2 mol HCl ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce için 0,037 ile pozitif yönde ve zayıf düzeyde, sonrası için -0,047 ile negatif yönde ve zayıf bir ilişkinin olduğu, buna karşılık ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi ve sonrası için -0,612 ve -0,628 ile negatif yönde orta düzeyde bir ilişki olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise -0,053 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.7. “0,5 M H₂SO₄” için Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “0,5 M H₂SO₄” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.49).

Çizelge 6.49. 0,5 M H₂SO₄ içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BİTÜM	Eleklere % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim (µs)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
0,5 M H ₂ SO ₄	36	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1325,3	1240,2	22,9	26	12,03	503
	37	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1310,8	1212,9	22,8	25,3	14,1	436
	38	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1337,2	1231,2	21,1	23,5	13,44	392
	39	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1323,3	1228,6	21,9	22,3	13,73	482
	40	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1321,9	1206,6	21,1	22,5	13,13	474
	41	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1334,6	1232,5	21,9	23,7	14,1	420
	42	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1325,1	1227,8	23,8	23,5	12,97	316

0,5 mol H₂SO₄ içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla da korelasyon analizleri yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.50 ve Çizelge 6.51).

Çizelge 6.50: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	26,4	1310,8	1337,2	1325,457	3,2870	8,6965	75,630
Kütle sonra	7	33,6	1206,6	1240,2	1225,686	4,4406	11,7488	138,035
Ultras es önce	7	2,7	21,1	23,8	22,214	,3782	1,0007	1,001
Ultras es sonra	7	3,7	22,3	26,0	23,829	,5167	1,3671	1,869
Akma	7	2,07	12,03	14,10	13,3571	,27656	,73170	,535
MS	7	187,0	316,0	503,0	431,857	24,1626	63,9282	4086,810

Çizelge 6.51: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultras es önce	Ultras es sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,608	-,394	-,264	-,073	-,259
Kütle sonra	,608	1	,253	,314	-,361	-,050
Ultras es önce	-,394	,253	1	,511	-,291	-,383
Ultras es sonra	-,264	,314	,511	1	-,342	,154
Akma	-,073	-,361	-,291	-,342	1	-,176
MS	-,259	-,050	-,383	,154	-,176	1

0,5 M H₂SO₄ ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonrası için sırasıyla -0,256 ve -0,050 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde, buna karşılık ultras es geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için -0,383 ile negatif yönde zayıf düzeyde, sonrası için 0,154 ile pozitif yönde zayıf bir ilişkinin olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise -0,176 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.8. Saf Su İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultras es geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “Saf su” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.52).

Çizelge 6.52. Saf su içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerler

Numune No	% BİTÜM	Eleklere % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μ s)		Akma (mm)	MS (kg)
		12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
43	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1331,2	1330,2	22,5	21,5	9,94	756
44	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1316	1312,9	24,7	22,2	11,53	661
45	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1325	1324,2	25	22,1	8,46	542
46	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1303,7	1301,6	22,3	20,3	9,62	730
47	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1319,6	1319,7	21,7	19,6	10,01	738
48	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1312,5	1312,7	21,4	20,1	9,09	696
49	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1316,1	1313,9	21,2	20,3	9,21	797

Saf su içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.53 ve Çizelge 6.54).

Çizelge 6.53: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	27,5	1303,7	1331,2	1317,729	3,3368	8,8283	77,939
Kütle sonra	7	28,6	1301,6	1330,2	1316,457	3,4962	9,2500	85,563
Ultrases önce	7	3,8	21,2	25,0	22,686	,5861	1,5507	2,405
Ultrases sonra	7	2,6	19,6	22,2	20,871	,3944	1,0436	1,089
Akma	7	3,07	8,46	11,53	9,6943	,36705	,97113	,943
MS	7	255,0	542,0	797,0	702,857	31,3706	82,9989	6888,810

Çizelge 6.54: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,992**	,287	,465	-,063	-,185
Kütle sonra	,992**	1	,225	,382	-,131	-,189
Ultrases önce	,287	,225	1	,898**	,222	-,832*
Ultrases sonra	,465	,382	,898**	1	,240	-,632
Akma	-,063	-,131	,222	,240	1	,212
MS	-,185	-,189	-,832*	-,632	,212	1

Saf su ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden önce ve sonrası için sırasıyla -0,185 ve -0,189 ile negatif yönde ve zayıf düzeyde, buna karşılık ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için -0,832 ile negatif yönde çok iyi düzeyde, sonrası için ,0,632 ile negatif yönde orta düzeyde bir ilişkinin olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise 0,216 ile pozitif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.9. “1 M HNO₃” İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “1 M HNO₃” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.55).

Çizelge 6.55. 1 M HNO₃ içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

Numune No	% BİTÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)	
		12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra			
1 M HNO ₃	50	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1319,6	1285,4	22,8	21,3	11,58	822
	51	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1334,5	1299,3	22,9	21,4	8,27	564
	52	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1321,7	1290,2	22,4	20	9,9	728
	53	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1320,4	1287,9	21,5	21,9	10	747
	54	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1323,7	1288,4	22,4	21,4	9,51	639
	55	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1324,1	1297,5	21,7	19,6	8,79	718
	56	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1326,9	1289,2	23,2	21,7	10,04	653

1 M HNO₃ içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.56 ve Çizelge 6.57).

Çizelge 6.56: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	14,9	1319,6	1334,5	1324,414	1,9221	5,0854	25,861
Kütle sonra	7	13,9	1285,4	1299,3	1291,129	1,9678	5,2063	27,106
Ultrases önce	7	1,7	21,5	23,2	22,414	,2365	,6256	,391
Ultrases sonra	7	2,3	19,6	21,9	21,043	,3330	,8810	,776
Akma	7	3,31	8,27	11,58	9,7271	,39893	1,05546	1,114
MS	7	258,0	564,0	822,0	695,857	31,8130	84,1693	7084,476

Çizelge 6.57: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,759*	,468	,133	-,744	-,897**
Kütle sonra	,759*	1	-,067	-,428	-,896**	-,615
Ultrases önce	,468	-,067	1	,316	,170	-,352
Ultrases sonra	,133	-,428	,316	1	,267	-,190
Akma	-,744	-,896**	,170	,267	1	,795*
MS	-,897**	-,615	-,352	-,190	,795*	1

1 M HNO₃ ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için sırasıyla -0,897 ile negatif yönde çok iyi düzeyde bir ilişkinin olduğu, sonrası için ve -0,615 ile negatif yönde ve orta düzeyde, ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi ve sonrası için sırasıyla -0,352 ve -0,190 ile negatif yönde zayıf düzeyde bir ilişkinin olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise 0,795 ile pozitif yönde ve iyi düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.10. “3 M NaCl” İçin Deney Sonuçları ve Analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “3 M NaCl” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.58).

Çizelge 6.58: 3 M NaCl içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BİTÜM	Eleklere % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma (mm)	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
			3 M NaCl	57	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1314,1		
58	5,93%	90		80	48	31	15	5	5	5	1318,4	1314,8	21,1	20	9,94	746
59	5,93%	90		80	48	31	15	5	5	5	1321,3	1315,7	23	21,4	8,74	720
60	5,93%	90		80	48	31	15	5	5	5	1330,7	1326	23,4	20,7	8	679
61	5,93%	90		80	48	31	15	5	5	5	1312,8	1309	22,8	20,2	9,13	805
62	5,93%	90		80	48	31	15	5	5	5	1303,4	1300,4	23,3	20,5	9,61	734
63	5,93%	90		80	48	31	15	5	5	5	1323,3	1320	23,9	21	7,71	805

3 M NaCl içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.59 ve Çizelge 6.60).

Çizelge 6.59: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	27,3	1303,4	1330,7	1317,714	3,2924	8,7108	75,878
Kütle sonra	7	25,6	1300,4	1326,0	1313,557	3,1514	8,3378	69,520
Ultrases önce	7	2,8	21,1	23,9	22,743	,3760	,9947	,990
Ultrases sonra	7	1,9	19,5	21,4	20,471	,2407	,6370	,406
Akma	7	2,23	7,71	9,94	8,8857	,30542	,80806	,653
MS	7	126,0	679,0	805,0	749,571	17,1309	45,3242	2054,286

Çizelge 6.60: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,994**	,198	,401	-,713	-,336
Kütle sonra	,994**	1	,227	,406	-,719	-,298
Ultrases önce	,198	,227	1	,734	-,723	,006
Ultrases sonra	,401	,406	,734	1	-,544	-,209
Akma	-,713	-,719	-,723	-,544	1	,008
MS	-,336	-,298	,006	-,209	,008	1

3 M NaCl ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden öncesi ve sonrası için sırasıyla -0,336 ve -

0,298 ile negatif yönde zayıf düzeyde bir ilişkinin olduğu, ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için 0,006 ile pozitif yönde zayıf düzeyde ve sonrası için -0,209 ile negatif yönde zayıf düzeyde bir ilişkinin olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise 0,008 ile pozitif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.8.11. “1 M NaOH” için deney sonuçları ve analizleri

Korozif ortam, agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri “1 M NaOH” için bir bütün olarak aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.61).

Çizelge 6.61. 1 M NaOH içerisindeki numunelerin korozif ortam öncesi ve sonrası için değerleri

	Numune No	% BITÜM	Eleklerden % Geçen								Kütle değişimi (g)		Ultrases değişim(μs)		Akma	MS (kg)
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075 mm	Pan	D.Önce	D.Sonra	D.Önce	D.Sonra		
1 M NaOH	64	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1335	1344,2	22,6	20	7,9	682
	65	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1317,9	1327,4	22,6	19,6	9,5	654
	66	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1308	1317	22	18,6	8,89	753
	67	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1331,5	1341,2	21,8	19,7	9,33	705
	68	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1335,7	1347,1	23	19,7	9,57	811
	69	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1324,3	1336,1	24,4	20,4	9,8	695
	70	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	1319,2	1331,1	25,1	19,1	8,8	761

1 M NaOH içerisindeki numuneler için agrega granülometrisi, ultrases geçiş hızları, numunelerdeki kütle kayıpları, korozif ortamların pH değerleri ve MS değerleri için tanımlayıcı istatistikleri ve bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla korelasyon analizleri de yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.62 ve Çizelge 6.63).

Çizelge 6.62: İncelenen parametreler için tanımlayıcı istatistikler

	N	Aralık	Minimum	Maksimum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	İstatistik	Std. Hata	İstatistik	İstatistik
Kütle önce	7	27,7	1308,0	1335,7	1324,514	3,8688	10,2358	104,771
Kütle sonra	7	30,1	1317,0	1347,1	1334,871	3,9867	10,5479	111,259
Ultrases önce	7	3,3	21,8	25,1	23,071	,4653	1,2311	1,516
Ultrases sonra	7	1,8	18,6	20,4	19,586	,2219	,5872	,345
Akma	7	1,90	7,90	9,80	9,1129	,24382	,64508	,416
MS	7	157,0	654,0	811,0	723,000	20,4927	54,2187	2939,667

Çizelge 6.63: İncelenen parametreler arasındaki korelasyon katsayıları

	Kütle önce	Kütle sonra	Ultrases önce	Ultrases sonra	Akma	MS
Kütle önce	1	,993**	-,065	,694	-,087	,058
Kütle sonra	,993**	1	,043	,708	-,030	,111
Ultrases önce	-,065	,043	1	,184	,125	,190
Ultrases sonra	,694	,708	,184	1	,225	-,423
Akma	-,087	-,030	,125	,225	1	,103
MS	,058	,111	,190	-,423	,103	1

1 M NaOH ortamı için parametreler arasındaki korelasyon katsayıları incelendiğinde; MS ile kütle kaybı arasındaki ilişkinin deneyden öncesi ve sonrası için sırasıyla 0,58 ve 0,111 ile pozitif yönde zayıf düzeyde bir ilişkinin olduğu, ultrases geçiş hızları ile MS arasındaki ilişkinin deneyden öncesi için 0,190 ile pozitif yönde zayıf düzeyde ve sonrası için -0,423 ile negatif yönde zayıf düzeyde bir ilişkinin olduğu, buna karşılık MS ile akma değeri arasındaki ilişkinin ise 0,103 ile pozitif yönde ve zayıf düzeyde bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

6.9. KOROZİF ORTAMLAR İÇİN MS'LERİN ANALİZİ

Farklı ortamlara maruz bırakılan asfalt beton numunelerin Marshall Stabilitelerinde meydana gelen değişimlerin karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi amacıyla çoklu karşılaştırma testleri yapılmış olup Çizelge 6.64-6.65 ve 6.66'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.64: MS için Varyans homojenliği testi

İstatistik	df1	df2	Önemlilik.Der
,526	10	66	,866

Çizelge 6.65: Gruplar bazında MS karşılaştırma testi

	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önemlilik derecesi
Gruplar arası	851822,961	10	85182,296	14,579	,000
Grup içi	385636,286	66	5842,974		
Toplam	1237459,247	76			

Çizelge 6.66: MS'lerde ki değişim için Duncan çoklu karşılaştırma testi

Korozif Ortam	N	Alfa için alt sınır= 0.05				
		1	2	3	4	5
0,5 M H ₂ SO ₄	7	431,86				
1 M HCl	7		634,86			
2M HCl	7		637,43			
1 M HNO ₃	7		695,86	695,86		
Saf su	7		702,86	702,86		
1 M NaOH	7		723,00	723,00		
4 M NaCl	7			732,71		
3 M NaCl	7			749,57	749,57	
1 M NaCl	7			752,71	752,71	752,71
1 M CaCl ₂	7				825,14	825,14
Referans N	7					838,43
Önemlilik. Der		1,000	,057	,231	,084	,050

Marshall Stabilitelerinin ortalamalarının istatistiksel olarak aynı olan ya da birbirinden farklı olan gruplar yukarıda belirtilmiştir.

6.10. KOROZİF ORTAMLAR İÇİN KÜTLE KAYIPLARI ANALİZİ

Farklı ortamlara maruz bırakılan asfalt beton numunelerinin kütle kayıplarında meydana gelen değişimlerin karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi amacıyla çoklu karşılaştırma testleri yapılmış olup sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 6.67, Çizelge 6.68 ve Çizelge 6.69).

6.10.1 Deneylerden Önceki Kütleler (Korozif ortamlara maruz kalmadan)

Çizelge 6.67: Deney öncesi kütleler için Varyans homojenlik testi

İstatistik	df1	df2	Önemlilik. Derecesi
,911	10	66	,528

Çizelge 6.68: Gruplar bazında karşılaştırma

	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önemlilik derecesi
Gruplar arası	822,304	10	82,230	,760	,666
Gruplar içi	7139,480	66	108,174		
Toplam	7961,784	76			

Çizelge 6.69: Deneyleer öncesinde kütleler için Duncan çoklu karşılaştırma testi

Korozif Ortam	N	Alfa için alt sınır= 0.05
		1
1 M CaCl ₂	7	1315,1286
3 M NaCl	7	1317,7143
Saf su	7	1317,7286
4 M NaCl	7	1318,7000
2 M HCl	7	1319,4286
1 M HCl	7	1322,0571
Referans N	7	1322,3000
1 M NaCl	7	1323,6571
1M HNO ₃	7	1324,4143
1 M NaOH	7	1324,5143
0,5 H ₂ SO ₄	7	1325,4571
Önemlilik. Der.		,126

6.10.2. Deneyleerden Sonra Kütle Kaybı (Korozif ortamlara maruz kaldıktan sonra)

Çizelge 6.70: Deneyle sonrası kütleler için Varyans homojenlik testi

İstatistik	df1	df2	Önemlilik. Derecesi.
,606	10	66	,803

Çizelge 6.71: Gruplar bazında karşılaştırma

	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önemlilik. Derecesi
Gruplar arası	76666,826	10	7666,683	67,820	,000
Grup içi	7460,986	66	113,045		
Toplam	84127,812	76			

Çizelge 6.72: Deneyle sonrası kütleler için Duncan çoklu karşılaştırma testi

Korozif Ortam	N	Alfa için alt sınır= 0.05				
		1	2	3	4	5
0,5 H ₂ SO ₄	7	1225,6857				
1 M HCl	7		1252,8286			
2 M HCl	7			1289,7000		
1M HNO ₃	7			1291,1286		
1 M CaCl ₂	7				1313,3000	
3 M NaCl	7				1313,5571	
4 M NaCl	7				1316,0000	
Saf su	7				1316,4571	
1 M NaCl	7				1320,5000	
Referans N	7				1322,3000	
1 M NaOH	7					1334,8714
Önemlilik. Der.		1,000	1,000	,802	,173	1,000

6.11. ULTRASES HIZLARI İLE İLGİLİ ANALİZLER

6.11.1. Deneylerden Önce Ultrases Hızları (Korozif ortamlara maruz kalmadan önce)

Çizelge 6.73: Deneyler öncesi Ultrases değerleri için Varyans homojenlik testi

İstatistik	df1	df2	Önemlilik. Derecesi.
1,413	10	66	,194

Çizelge 6.74: Gruplar bazında karşılaştırma

	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önemlilik. Der
Gruplar arası	10,623	10	1,062	,778	,650
Grup içi	90,146	66	1,366		
Toplam	100,769	76			

Çizelge 6.75: Ultrases değeri için Duncan çoklu karşılaştırma testi

Korozif Ortam	N	Alfa için alt sınır= 0.05
		1
0,5 H ₂ SO ₄	7	22,2143
4 M NaCl	7	22,3000
1 M NaCl	7	22,3429
1 M HCl	7	22,4000
1M HNO ₃	7	22,4143
Saf su	7	22,6857
1 M CaCl ₂	7	22,6857
3 M NaCl	7	22,7429
Referans N	7	23,0143
1 M NaOH	7	23,0714
2 M HCl	7	23,4714
Önemlilik.Der.		,097

6.11.2. Deneylerden Sonraki Ultrases Hızları (Korozif ortamlara maruz kaldıktan sonra)

Çizelge 6.76: Deneyler sonrası Ultrases değerleri için Varyans homojenlik testi

İstatistik	df1	df2	Önemlilik. Der.
1,424	10	66	,190

Çizelge 6.77: Gruplar bazında karşılaştırma

	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Önemlilik. Derecesi
Gruplar arası	108,749	10	10,875	7,751	,000
Grup içi	92,594	66	1,403		
Toplam	201,343	76			

Çizelge 6.78: Deneylemlerden sonra ultrases geçiş hızları için Duncan çoklu karşılaştırma testi

Korozif Ortam	N	Alfa için alt sınır= 0.05				
		1	2	3	4	5
1 M NaOH	7	19,5857				
1 M HCl	7	20,4714	20,4714			
3 M NaCl	7	20,4714	20,4714			
1 M CaCl ₂	7	20,8000	20,8000			
Saf su	7	20,8714	20,8714			
4 M NaCl	7	20,9143	20,9143			
1 M HNO ₃	7		21,0429			
2 M HCl	7		21,5714	21,5714		
1 M NaCl	7			22,4000	22,4000	
Referans N	7				23,0143	23,0143
0,5 H ₂ SO ₄	7					23,8286
Önemlilik. Der.		,069	,139	,195	,335	,203

Agrega granülometrisi bazında korozif ortamlara maruz kalan asfalt beton numunelerde meydana gelen değişiklikler ortalama olarak çizelge 6.79’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.79: Asfalt beton numune grupları için agrega granülometrisi ve fiziksel ve mühendislik özelliklerindeki ortalama değişimler

No	Korozif Ortam	Bütüm Miktarı (%)	Elek Çaplarına Göre % Geçen								Ultra ses Geçiş Hızı (µs)		Kütle Kaybı (g)		Kütle Değişim % (-)Azalma, (+)Azalma	pH	MS
			12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2 mm	0,425 mm	0,18 mm	0,075mm	Pan	D.Önce	D. Sonra	D. Önce	D. Sonra			
1	Ref. N	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	23,1	23,1	1322,3	1322,3	0	0	847
2	1 M NaCl	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,3	22,4	1323,6	1320,5	-0,23	8,15	760
3	3 M NaCl	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,7	20,4	1317,7	1313,5	-0,31	7,66	752
4	4 M NaCl	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,3	20,9	1318,7	1316	-0,2	7,74	731
5	1 M HCl	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,6	20,8	1319,4	1289,7	-2,25	6,8	640
6	2 M HCl	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,4	20,4	1322	1252,7	-5,25	4,94	627
7	1 M CaCl ₂	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	23,4	21,5	1315,1	1313,3	-7,4	7,02	835
8	0,5 M H ₂ SO ₄	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,2	23,8	1326,8	1228,5	-2,57	1,09	440
9	1 M HNO ₃	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,4	21	1324,4	1291,1	-0,81	6,62	697
10	1 M NaOH	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	23	19,5	1324,5	1334,8	+1,33	13,4	719
11	Saf su	5,93%	90	80	48	31	15	5	5	5	22,6	20,8	1317,7	1316,4	-0,09	8,5	716

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı korozif ortamlara maruz bırakılan asfalt betonun fiziksel ve mühendislik özelliklerinin incelenmesine yönelik olarak laboratuvar ortamında yapılan bu çalışmanın sonuçları genel olarak aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre;

Asfalt beton numunelerinde kullanılan agreganın granülometri eğrisinden elde edilen değerlerin kullanıldığı Asfalt Enstitüsü metoduna göre teorik olarak bitüm miktarı %5,7 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bitüm miktarının %0,5 fazlası ve %0,5 eksiği dikkate alınarak %4,7- %5,2- %5,7- %6,2 ve %6,7 oranlarına göre her bir oran için 3'er adet olmak üzere toplam 15 adet asfalt betonu üretilmiştir. Bu numunelerde en büyük MS değeri 771 kg ile %5,7'lik bitüm oranına sahip karışımdan elde edildiği ve akma değerinin 9,7 mm olduğu görülmüştür. Buna karşılık en düşük MS değerinin ise 438 kg ile %6,7'lik bitüm oranına sahip numunelerde olduğu ve bu numunelerdeki akma değerinin ise 9,67 mm olduğu görülmüştür.

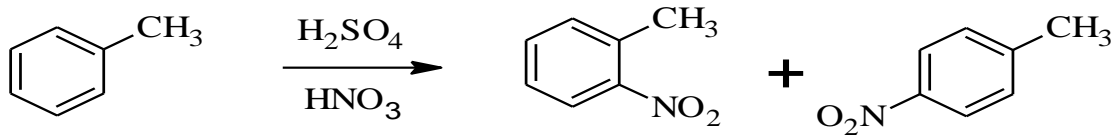
Üretilen 15 adet asfalt beton numunelerinin (Çizelge 5.4) ortalama değerleri dikkate alındığında aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

En yüksek ortalama MS değerinin 655 kg olduğu, bu numunelerin bitüm oranının %5,7 olduğu, ortalama pratik yoğunluğun (Dp) 2,32 g/cm³ olduğu, ortalama boşluk oranının (V) %3,7 olduğu, agrega içindeki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma oranının(Vf) %79,27 ve ortalama akma değerinin 9,13 mm olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık aynı çizelge de en düşük MS değerinin 472 kg olduğu, bu numunelerin bitüm yüzdesinin %6,2 olduğu, ortalama pratik yoğunluğun 2,31 g/cm³ olduğu ortalama boşluk oranının %3,6 olduğu, agrega içindeki boşlukların %81,11'inin bağlayıcı ile dolu olduğu ve akma miktarının da yapılan ön asfalt betonu numunelerinin bitüm oranına göre birim ağırlık, MS, boşluk yüzdesi ve bağlayıcı ile dolu agregaların boşluk yüzdesi değerleri dikkate alınarak optimum bitüm miktarı %5,925 olarak belirlenmiştir.

Ön optimum karışımla belirlenen %5,925'lik bitüm miktarı ile toplam 77 adet asfalt betonu üretilmiş olup bunlardan 7 tanesi korozif ortamlara maruz bırakılmadan referans numune olarak kullanılmış geri kalan 70 numune ise 10 farklı korozif ortama maruz bırakıldıktan sonra deneylere tabi tutulmuştur. Buna göre elde edilen deney sonuçları ortalama olarak bir bütün halinde çizelge 6.19'da gösterilmiştir.

Farklı ortamlara konulan asfalt numunelerin 28 gün sonunda tüm deneyler için elde edilen ultrases, MS ve akma değerleri oranında doğrudan bir ilişkinin kurulamayacağı Şekil 6.3 ve Şekil 6.6'dan anlaşılmaktadır.

İlişki olmamasının nedeni olarak, her bir deney grubu için kullanılan 7 farklı asfalt numunesinin ortalamasının alınmış olması önemli bir faktördür. Çünkü hazırlanan her asfalt numunesi aynı şartlarda hazırlanmasına rağmen aynı mühendislik özelliklerine sahip olmadığı görülmüştür. Burada kullanılan agreganın kimyasal bileşimi ve dolayısıyla bitüm ile yaptığı kimyasal etkileşim önemlidir. Şekil 7.1 de toluenin H_2SO_4 ve HNO_3 ile nitrolanma reaksiyonu verilmiştir.



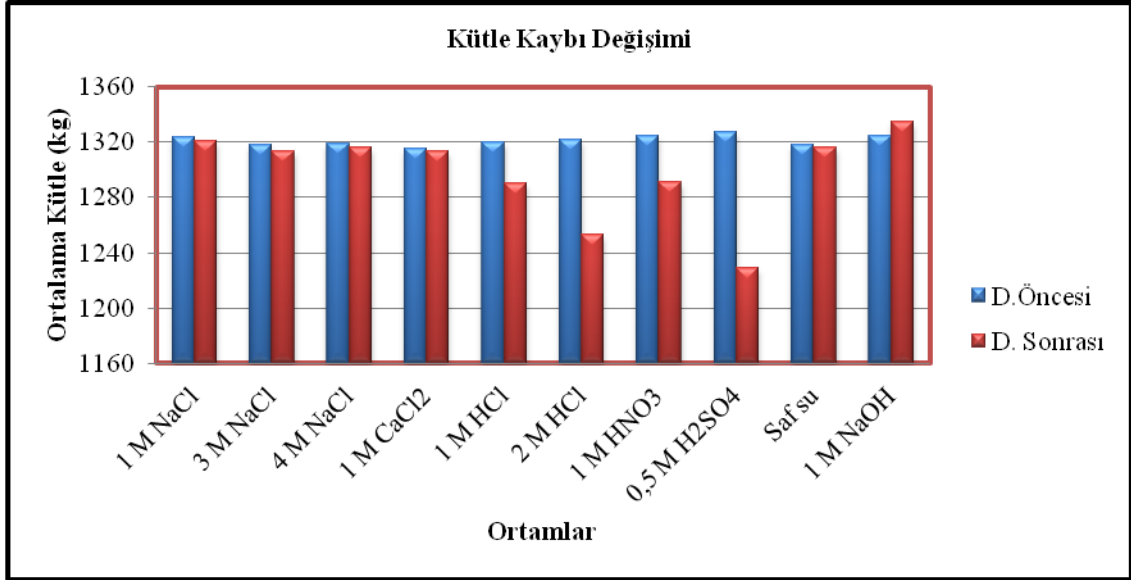
Şekil 7.1: Toluenin nitrolanma reaksiyonu

Örneğin yukarıda şekil 7.1'de monosüstitüe benzen türevlerinden biri olan ve özellikle petrokimya endüstrisinde çok yoğun kullanımı olan toluenin nitrolanma reaksiyonunda iki ürün oluşmaktadır. Bunlar %58 oranında 2-nitrometilbenzen ve %37 oranında 4-nitrometilbenzendir. Bu iki ürün izomer olmalarına rağmen farklı özelliklere sahip maddelerdir.

Kullanılan 2 M HCl asidinin asfalt özelliklerini 1 M HCl aside göre daha çok etkilediği Şekil 6.3'de görülmektedir. Bu beklenen durumun sebebi;



Eşitliğinde oluşan H^+ iyon konsantrasyonunun asfalt beton içerisindeki bitümün çözünmesinde etkili olmasıdır. Nitekim 2 M HCl asit asfalt beton numunelerin üzerine döküldüğünde daha çok H_2 gazı çıkışı olduğu gözlemlenmiştir. 2 M HCl asit içerisinde konulan numunelerde ölçülen kütle azalması 1 M HCl asit içerisinde konulan numunelere göre daha çok olmuştur (Şekil 7.2).



Şekil 7.2: Reaksiyon sonucunda numunelerde oluşan kütle kayıpları

Şekil 7.2 de görüleceği üzere 0,5 M H_2SO_4 içersine konulan asfalt beton numunelerin deneylerden önceki ortalama kütleleri yaklaşık 1325 g iken deneyler sonrası bu değer 1227 g olarak ölçülmüştür. Aşınma ve çözünme çok olduğu için ölçülen Marshall değeri yaklaşık 450 kg ile en küçük değer olmuştur. Bununla bağıntılı olarak akma değeri de 13,75 mm ile en yüksek değer olarak ölçülmüştür.

H_2SO_4 'ün tesir değeri 2 dir. Yani ortama verdiği H^+ iyonu sayısı 2 dir. Dolayısıyla 0,5 M olmasına rağmen Şekil 6.11'den anlaşılacağı üzere oldukça asidiktir. SO_x gazları yani kükürt dioksit gazları katı ve sıvı yakıtların yanması sonucu oluşur. Suda oldukça fazla çözünür. Eşitlik 7.2 ve 7.4'te gösterilen reaksiyonlar sonucu H_2SO_4 'e dönüşebilmektedir.



Deney sonuçları özellikler SO_x gazlarının atmosferde bulunan miktarının asfalt yarılanma ömrüyle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir.

NaCl derişiminde ki artışa bağlı olarak Marshall Stabilite değerleri azalmaktadır. Ölçülen bu sonuç yolların buzlanmaya karşı tuzlanmasının asfalta zarar verdiğinin kanıtıdır. 4 M NaCl içerisine konulan asfalt beton numuneler 1 M NaCl içerisine konulan asfalt beton numuneler arasında kütle kaybı farkının son derece az olduğu görölmüştür. Bunun sebebi numune içerisine tuzlu suyun nüfuz edememiş olması yani çözünmenin yeterince olmaması olabilir. Eğer numuneler 28 gün boyunca sürtünme gibi etkiye maruz kalsaydı, kaplamanın içerisine tuz girer ve güneşinde etkisiyle çatlakların oluşmasına olanak sağlamış olurdu. 4 M NaCl içerisine konulan numunelerin Marshall Stabilite değeri ile referans numune arasında 100 kg fark olup bu değer %12 MS kaybı anlamına gelmektedir.

Her bir NaCl ortamına bırakılan 7 adet numunelerin MS ortalaması referans numuneden düşük olmasına rağmen, 7 adet numunelerin içindeki bazı numunelerin MS değerlerinin referans numunelerin MS değerlerinden yüksek çıktığı görölmüştür. Bu sonuca göre NaCl tuzu asfalt beton numunelerin içersindeki boşluklara nüfuz ederek MS değerinin artmasına neden olmuştur. Ancak bundan sonraki çalışmalar NaCl tuz ortamlarının belli zaman aralıklarında bir döngü şeklinde maruz bırakılması sonucunda MS değerleri incelenirse bu değerlerin düşük çıkabileceği düşünölmektedir.

Karayollarında kar ve buz ile mücadelede kullanılan tuzun miktarı oldukça önemlidir. Yapılan çalışmada tuz konsantrasyonu arttıkça numunelerin MS değerleri azalmıştır. Bu sonuca göre karayollarında kullanılan tuz miktarı arttıkça yola verilen zararın boyutu da artmaktadır. Kar yağışı ve don olayları olmadan önce birtakım tedbirler alınabilirse kullanılan tuz miktarı düşecektir, aynı zamanda tuzun karayollarına verdiği zararın da önüne geçilecektir.

Saf su içerisine konulan numuneler beklenilenin aksine 4 M NaCl ortamına göre daha düşük MS değerine sahip olduğu görölmüştür (Şekil 6.11). Saf su içerisine konulan asfalt beton numunelerin ortalama akma değeri 4 M ve 3 M NaCl ortamına maruz

bırakılan numunelerin ortalama akma değerinden fazladır. Aşırı tuzlu ortam asfalt beton numunelerin sertleşmesine neden olmuştur.

NO_x gazları daha çok taşıt egzozu kaynaklıdır. Bu gazlar atmosferde doğal gaz çevrimine girerek, HNO₃'e dönüşürler. Şekil 6.11'den HNO₃ referans numuneye göre büyük bir etkide bulunarak asfalt beton numunelerin MS değerlerini 150 kg azaltmış olup bu değer yaklaşık %18 MS kaybı anlamına gelmektedir.

Bu veriler asit yağmurlarına neden olan SO_x, NO_x gazlarının nihai ürünleri olan H₂SO₄ ve HNO₃'ün kullandığımız asfalt beton numuneye son derece önemli zarar verdiğini göstermektedir.

HNO₃ ortamına bırakılan asfalt beton numunelerin MS değerinin asit ortamlar içindeki en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Ancak bu duruma taşıt trafiği ve sürtünmenin de etkisi eklenirse kimyasal madde numune içerisine nüfuz edebilir. Numunelerin iç yapısına da büyük zarar verebileceği dikkate alındığında MS değerinin daha düşük olması beklenir. 1 mol HCl ortamından alınan asfalt beton numunelerin ortalama MS değerleri 2 mol HCl ortamına göre daha yüksektir. 0,5 mol H₂SO₄ ortamından alınan numunelerin MS değerlerinin aşınma tabakası için sınır değerin altında olduğu görülmüştür. Çok düşük konsantrasyonlardaki H₂SO₄'ün asfalt beton numunelerin MS değerlerini yaklaşık %52 oranında azalttığı belirlenmiştir. H₂SO₄ için elde edilen MS değeri bundan sonraki çalışmalar için referans olarak kullanılabilir. Ancak kullanılan diğer asitler için konsantrasyonlar ve asfalt beton numune özellikleri değiştirilerek daha detaylı araştırmalar yapılabilir.

Hava kirliliğinin insan ve çevreye etkisi kanıtlanmışken yine bu çalışma hava kirliliğinde önemli birer parametre olan SO_x ve NO_x gazları miktarına bağlı olarak oluşan H₂SO₄ ve HNO₃'ün asfaltın yapısını bozarak kütle kayıplarına, MS değerlerinin azalmasına neden olduğu dolayısıyla durabilite açısından önemli oranda zarar verdiğini görülmüştür.

NaOH bileşiği kolay nem çeken ve suda kolay çözünen bir maddedir. Çözünme olayı ekzotermiktir. Bu ekzotermik reaksiyonun sonucu çözünmenin olabileceği

beklenmekteydi. Fakat NaOH iyi bir çözücü olmadığı için akma değeri en az olan numuneler bu ortama maruz kalan numunelerdir.

CaCl₂ bileşigi gösterdiği Marshall Stabilite değeri ile numunelerimize en az zarar veren ortam olmuştur. Çabuk çözünen bu bileşik su moleküllerini üzerinde absorblayarak şişer. Bu özellikler düşünüldüğünde 1 M CaCl₂ içerisine konulan asfaltın neden daha az korozif etkiye maruz kaldığı anlaşılmaktadır.

Buzlanmaya karşı kullanılabilir CaCl₂ tuzunun asfalt betona en az zarar veren korozif ortam olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada CaCl₂ tuzunun etkisinin trafik yükünün etkisiyle beraber daha farklı olacağı ve asfalt beton kaplamaya vereceği zararın daha büyük olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AĞAR, E., KUTLUHAN, S., 2005, *Karayollarında Kış Bakımı – Kar Ve Buz Kontrolü*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul Bülten 76.Sayısı, İstanbul.
- ANON, 1993, *Current Deicing Practices And Alternative Deicing Materials. In: The Use of Selected Deicing Materials on Michigan Roads: Environmental and Economic Impacts*. Public Sector Consultants, Inc, Michigan Department of Transportation, 13-22, Michigan.
- ANON, 1994, Karayolları Genel Müdürlüğü. *Yollar Fenni Şartnamesi*, No:170/2, Ankara, 435
- ANON, 1996. *Using Salt and Sand for Winter Road Maintenance*. Wisconsin Transportation Center, Wisconsin Transportation Bulletin No. 6, Wisconsin.
- ANON, 2003. *Syntheses Of Best Practices Road Salt Management*. Transportation Association of Canada, Canada, 19.
- ANON, 2004, <http://hurarsiv.hurriyet.com.tr/goster/haber.aspx?viewid=370683> [Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2004].
- ANON, 2006, Anti Icing. Insurance Corporation of British Columbia, http://www.icbc.com/library/research_papers/anti-icing/anti-icing.asp [Ziyaret Tarihi: 12.05.2006].
- ANON, 2007, Highway Deicing and Anti-icing for Safety and Mobility. <http://www.saltinstitute.org/30.html> [Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2007].
- ANON, 2011a, <http://www.afetacildurum.com/index.php?topic=1103.0> [Ziyaret tarihi: 21 Eylül 2011].
- ANON, 2011b, <http://www.gercekkocaeli.com.tr/haber/8185/gundem/yola-dokulen-asit- asfalti-eritti.html> [Ziyaret tarihi: 21 Eylül 2011].
- ANON,2011c, <http://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler1183&Bilgi=tuz>[Ziyaret tarihi: 23 Eylül 2011].
- ANON, 2011d, http://tr.wikipedia.org/wiki/Sodyum_hidroksit [Ziyaret tarihi: 21 Kasım 2011].

- ANON, 2011e, <http://www.docstoc.com/docs/68705907/European-Asphalt-and-Bitumen-Standardisation> [Ziyaret tarihi: 29 Eylül 2011].
- ANON, 2011f, <http://www.docstoc.com/docs/68705907/European-Asphalt-and-Bitumen-Standardisation> [Ziyaret tarihi: 29 Eylül 2011].
- ANON, 2011g, http://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCI%20f%C3%BCrik_asit [Ziyaret tarihi: 21 Kasım 2011].
- ANON, 2011h, <http://www.diyadinnet.com/YararliBilgiler-448&Bilgi=asit-ya%C4%9Fmurlar%C4%B1> [Ziyaret tarihi: 5 Ekim 2011].
- Asphalt Institute, *Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types*, Asphalt Institute, Manual Series No.2 (MS-2) Kentucky, (1996).
- Auswahlkriterien für Nutzfahrzeuge im Export, 1989, Mercedes Benz, Stuttgart.
- AVCI, Emel., 2009, *Sıcak iklimli bölgelerde kullanılan asfalt betonu karışım değişkenlerinin kaplama tabakası performansına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimler Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- ÇAKIROĞLU, M., 1993, *Doğu Karadeniz Bölgesine Uygun Trafik Tahmin Modelinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- ÇETİN, A., 1997, *Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- DAĞDELEN, E., *Isının asfalt Betonunun Fiziksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Federal Highway Administration (FHWA) Report, 1996, Manual Of Practice For An Effective Anti-icing Program: A Guide For Highway Winter Maintenance Personnel, 69.
- DAVID, G.M., and MAX, S.P., 1993, *Trials of calcium magnesium acetate deicer on highways in Ontario*. Transportation Research Record, Vol 1387, 71-78.
- GARDINER, S.M., ve BROWN, E.R., 2000, *Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements*, National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Report 441.
- GUSTAFSON, K., 1993, *Methods and materials for snow and ice control on roads and runways: MINSALT Project*. Transportation Research Record 1387, 17-22.
- HAROL, R., ve PAUL, P.E., VE CHRIS, P.E., 1995, *Pavement Distress*, Technical Assistance Report, LTRC.

- ILICALI, M., TAYFUR, S., ÖZEN, H., Sönmez, İ., EREN, K., “Asfalt ve uygulamaları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi yayını*, İstanbul, 1-3 2001.
- ILICALI, M., 2001, *Asfalt Kaplamalar*, İstanbul *Asfalt Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları*, Yayın No: 1, İstanbul.
- ILICALI, M., 2001a. *Asfalt ve Uygulamaları*. No:1, İstanbul, 280
- Iowa Department of Transportation Office of Materials, (IDTM), 2002, *Methods of Design of Hot Mix Asphalt*.
- JOHNSON, G.D., (2000), *Evaluation of Aggregate Section at Mn/Road, Final Report*, Minnesota Transportation Institute, Minnesota.
- KARAKOÇ, M.N., 2006, *Çanakkale ili karayollarında meydana gelen bozulmaların araştırılması ve profilometre cihazının etüdü*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KİGGUENDE, B.M., ve ROBERT, F.L., 1998, *Stripping in HMA Mixtures: State of The Art and Critical Review of Test Methods*, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report, No. 88-2.
- KULOĞLU, Necati., KÖK, Baha Vural., 2005, *Karayollarında Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Tuzun Beton Asfalt Kaplamaya Etkisi*, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(1), 87-96.
- KURTİS, K., 2003, *Asphalt and Asphalt Concrete*, School of Civil Engineering Georgia.
- LİDDLE, W.J., *Application of ASSHO Road Test Results to Design of Flexible Pavement Structural Design of Asphalt Pavements*, held at the University of Michigan.
- NİXON, W.A., FOSTER, N.S.J., 1996, *Strategies for Winter Highway Maintenance*. University of Iowa Public Policy Center, Iowa, 68.
- ÖNAL, A.M., ve KAHRAMANGİL, M., 1993, *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*.
- ÖZDEMİR, O., 2005, *Görünmeyen Tehlike: Asit Yağışları*, *Sağlık ve Toplum Dergisi*, 15 (1), 1-10.
- ÖZEN, H., 2004, “*Karayolu Üstyapıları Ders Notları*”, İstanbul.
- TAPIO, R., RAUNO K., HEIKKI L., and ANTTI P., 1993 *Anti-Icing activities in F inland: Field test with liquid and prewetted chemicals*, Transportation Research Record, 1387, 48-56.

- ROAR, S., KNUT M,R., 1993, *Deicing of roads in Norway with brine*, Transportation Research Record, 1387, 23-28.
- SEÇGİNLİ, M., 2007, *Karayolu Esnek Üst Yapılarında Sönmüş Kireç Katkısının Düşük Sıcaklık Çatlama Direncine Etkisi*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- SELVİ, M., 2007, *Biyoloji öğretmeni adaylarının çevre kavramları ile ilgili algılamalarının değerlendirilmesi*, Doktora, Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Shell Bitüm El Kitabı (Türkçe Çeviri)., 2004, Plato Basım Reklam Bilişim Hizmetleri, Türkiye, 231-249.
- TERZİ, S., 2000, *Mermer Toz Atıkların Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması*, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TS 883; “ Hidroklorik Asit, Sanayide Ve Tuz Ruhhu Olarak Kullanılan ” Aralık 1997.
- TUNÇ, A., 2004, *Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı*, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 352
- TUNÇ, A., 2007, *Yol Malzemeleri ve uygulamaları*. Nobel yayın dağıtım. 2. Baskı, 168.
- UMAR, F., ve AĞAR, E., 1985, *Yol Üstyapısı*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- UMAR, F., AĞAR, E.,1991, *Yol Üstyapısı*, İ.T.Ü. Rektörlüğü, İstanbul.
- ÜRÜNAY, N.,1974, *Bitüm ve Bitümlü Yalıtım Örtüleri*, Ankara, 2-6.
- VARIŞ, Meriç., 2007, *Karayolları esnek üst yapılarında buzlanma ile mücadele yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- VAROL, H., 2000, *Bitümlü Sıcak Kaplamalı Üst yapıların Yapım Kriterlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- YAĞIZ, F.,IŞIKSALAN, C., AKKOL,G., KEÇECİLER, A,F., 1967, *Bitümlü Malzemeler*, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara, 35-46.
- YÖRÜKOĞULLARI, E., 2005. *Doğal Zeolitlerin Karayollarında Buz/Kar Çözücü Olarak Kullanımı*. Madencilik Bülteni, (75), 40-42.
- WHITEOAK, D., 2004. *Bitümlü karışımlara uygulanan mekanik deneyler ve bitümlü karışımların mekanik özellikleri*. In: Shell Bitüm El Kitabı (Türkçe Çeviri), Plato Basım Reklam Bilişim Hizmetleri, Türkiye, 231-249.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı Adı :ARSLAN, İlhan
Uyruğu :T.C.
Doğum tarihi ve yeri :05.08.1986 Yozgat
Medeni hali :Bekar
Telefon :
e-mail :ilhanarslan66@hotmail.com

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Düzce Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü	2010-Devam
Lisans	AİBÜ Yapı Eğitimi Bölümü	2010
İş Deneyimi Yıl	Yer	Görev
2008-2009	ADSA İnşaat	Şantiye Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Özgan E.; Serin S., Sargın Ş., **Arslan İ**,2010: *Karayolu Esnek Üst Yapısının Projelendirilmesi D655-01 Karayolu Örneği*, Kaynaşlı, Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu.

Özgan E.; Kap T., **Arslan İ**,2008: *Zeminin Kayma Direnci Parametrelerinin Direk Kesme Kutusu Deneyi ile Belirlenmesi*, Isparta, VII. Ulusal Öğrenci Sempozyumu.