

T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

128943

DRENAJ YETERSİZLİĞİNİN YOL ÜSTYAPISINA VE TRAFİK GÜVENLİĞİNE  
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

NİYAZİ UĞUR TERZİ

128943

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Yrd. Doç Dr. Necati GÜLBAHAR

**YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU**  
**NİĞDE ÜNİVERSİTESİ**

Şubat 2002

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: *Prof. Dr. Zafar Hameedullah*  
( Ünvan, Adı ve Soyadı ) ( Üniversite )

Üye: *Yrd. Doç. Dr. Necati GÜLBAHAR (M.Ü)*  
( Ünvan, Adı ve Soyadı ) ( Üniversite )

Üye: *Yrd. Doç. Dr. Cahit Taçm. ÇELİK*  
( Ünvan, Adı ve Soyadı ) ( Üniversite )

ONAY

Bu tez *28.02/2002* tarihinde, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun kararıyla kabul edilmiştir.

*08.03/2002*

Doç Dr. Aydın TOPÇU

Enstitü Müdürü



## ÖZET

### DRENAJ YETERSİZLİĞİNİN; YOL ÜSTYAPISINA VE TRAFİK GÜVENLİĞİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

TERZİ, Niyazi Uğur

Niğde Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2002

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Necati GÜLBAHAR

Bu tez çalışmasının, başlangıcında ülkemizde uygulanan yol üstyapı çeşitleri hakkında çeşitli kaynaklardan derlenen bilgiler sunulmuştur. Karayollarımızda görülen bozulma ve hasarlar hakkında bilgiler verilmiş, bu hasarların meydana gelmesinde büyük payı bulunan su muhtevası fazlalığı konusu üzerinde durulmuştur. Su muhtevası fazlalığını ortadan kaldıracak drenaj çeşitleri; yer altı ve yerüstü drenaj sistemleri olarak tanıtılmış, ve sistemler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır Drenaj sistemlerinde yeni uygulamalar olarak kabul edilen, geotekstillere, geçirimli üstyapılar ve grooving metotları hakkında derlenen literatür bilgileri sunulmuş, bu sistemlerin kullanım alanları tanıtılmıştır.

Tezin materyal metot kısmında, araştırma yeri olarak seçilen Aksaray iline ait dört karayolunda, 1997-2000 yıllarına ait kaza raporları incelenmiş, kazaların yol ve hava koşullarına göre sınıflandırılması yapılarak, yağış halinde meydana gelen kazaların korelasyon ve regrasyon analizleri yapılarak değerlendirilmiştir. Yağışlı günlerde bu dört yolda bulunan kara noktaların drenaj durumları gözlenmiş, ve drenaj yetersizlikleri saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler. Yol yüzeyi Yol hasarları, Drenaj sistemleri , Trafik kazaları,

## **SUMMARY**

### **AN INVESTIGATION ON THE EFFECTS OF DRAINAGE INSUFFICIENCY TO THE ROAD PAVEMENT and TRAFFIC SAFETY**

**TERZİ, Niyazi Uğur**

**Niğde University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assistant Professor Necati Gülbahar**

**February 2002, 74 Page**

This thesis deals with the effects of drainage insufficiency to the road pavements and traffic safety. In the introduction of this thesis, various road pavement types and their drainage systems used in the highways of Turkey are presented.

The problem of the conventional drainage systems used in Turkey are discussed, then contemporary drainage systems in which geotextiles, porous asphalts and grooving methods are used presented.

In the material and methods section of the thesis, the accident reports of Aksaray city which is located on the four main artery within the period of 1997-2000 were presented. The classification of the accidents are mad on Aksaray city based on the weather conditions. Correlations and regression analysis for accidents occurred on rainy days were carried out. Based on the findings, black spots on the four main roads have been observed and discussed.

**Key words: Road surface, Road deformations, Drainage systems, Traffic accidents, Rain,**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danıőmanım Sayın Yrd. Doç Dr. Necati GÜLBAHAR Bey'e , yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Öğr.Gör. Fatih TURAN Bey'e, varlıkları ve sevgileri ile bana güç, kuvvet katan eşsiz aileme minnet dolu teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET .....	iii
SUMMARY .....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
TABLolar VE GRAFİKLER DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER VE GRAFİKLER DİZİNİ.....	xii
FOTOGRAFLAR DİZİNİ .....	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiv
BÖLÜM II MATERYAL METOD .....	2
BÖLÜM III KARAYOLLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....	3
3.1 Yol Üstyapı Çeşitleri .....	5
3.1.1 Rijit üstyapı.....	5
3.1.2 Yarı rijit üstyapı .....	5
3.1.3 Esnek üstyapı .....	5
3.1.4 Esnek üstyapıların kaplama cinslerine göre sınıflandırılması .....	7
3.2 Esnek Üstyapılarda Görülen Bozulmalar ve Ana Etmenleri .....	9
BÖLÜM IV SU KAPSAMI FAZLALIĞININ YOLA ETKİLERİ.....	12
4.1 Taşıma Gücünün Düşmesi.....	12
4.2 Kaliforniya Taşıma Oranı ve Su İlişkisi .....	13
4.3 Zeminlerin Su ile Hacim Değiştirmesi .....	14
4.4 Zeminlerin Aktif Toprak Basıncının Su ile Artması .....	15
4.5 Zeminlerin Pasif Toprak Basıncının Su ile Artması.....	16
4.6 Temel ve Alt Temele Suyun Etkisi .....	16
4.7 Kaplama Tabakasına Suyun Etkisi .....	16
4.8 Taban Zemininde Su ve Donma İlişkisi .....	17
4.9 Yol Platformunda Don ve Buzlanma Etkisi .....	16
4.9.1 Don çözülmesi .....	18
4.9.2 Don kabarması .....	19
4.10 Suyun Çözücü Etkisi .....	18
BÖLÜM V TRAFİK VE SU ETKİSİ.....	20
5.1 Yağmur Etkisi.....	23
5.2 Kayma Direncinin Düşmesi .....	23

5.3 Yol Tutuşu .....	23
5.4 Su Püskürtme ve Sıçratma .....	24
5.5 Don ve Buzlanma Etkisi .....	25
<b>BÖLÜM VI KARAYOLU DRENAJİ ve ÇEŞİTLERİ .....</b>	<b>27</b>
6.1 Yüzeysel Drenaj .....	28
6.1.1 Yol kaplama yüzünün drenajı .....	28
6.1.2 Hendekler.....	29
6.1.3 Menfezler .....	31
6.2 Yer altı Suyu Drenajı.....	33
6.2.1 Standart büzlü drenler.....	35
6.2.2 Stabilizasyon hendeği .....	35
6.2.3 Yatay drenler.....	36
6.2.4 Düşey kum drenler.....	37
6.2.5 Yapay düşey drenler .....	37
6.2.6 Drenaj galerileri .....	37
6.2.7 Şilteler.....	38
<b>BÖLÜM VII KARAYOLU DRENAJINDA YENİ UYGULAMALAR .....</b>	<b>38</b>
7.1 Geotekstilller .....	39
7.1.1 Geotekstillerin fonksiyonları .....	39
7.1.2 Geotekstillerin yollardaki kullanım alanları .....	41
7.2 Geçirimli üstyapılar .....	46
7.2.1 Geçirimli üstyapıların temel farkları.....	46
7.2.2 Geçirimli üstyapıların bileşimi .....	46
7.2 Geçirimli üstyapıların faydaları .....	47
7.2 Geçirimli üstyapıların sakıncaları .....	52
7.2 Geçirimli üstyapıların kullanım alanları .....	53
7.3 Grooving .....	55
7.3.1 Tercih edilmesinin nedenleri .....	55
7.3.2 Grooving metodunun uygulanması .....	56
7.3.3 Grooving uygulamasının maliyeti .....	59
<b>BÖLÜM VIII BULGULAR .....</b>	<b>59</b>
<b>SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>73</b>

## TABLolar VE GRAFİKLER DİZİNİ

Tablo 3.1 K.G.M Yol uzunlukları.....	3
Tablo 3.2 Yıllara göre yol uzunlukları .....	4
Tablo 3.3 Hizmet ayırımına göre yol uzunlukları.....	4
Tablo 4.1 Plastisite indeksi-hacim değiştirme oranları.....	15
Tablo 4.3 Yol taban zeminlerinin dona karşı duyarlılıkları.....	18
Tablo 4.3 Drenaj kalitesinin saptanması .....	20
Tablo 5.1 Türkiye’de trafik kaza kusurlarının dağılımı.....	22
Tablo 5.2 Dünyadaki bazı ülkelerdeki kaza kusurları .....	22
Tablo 5.3 Yol kaplaması ve yol durumuna göre sürtünme katsayısı.....	24
Tablo 6.1 Yol yüzeyi enine eğim değerleri.....	28
Tablo 7.1 Makro ve mikro pürüzlülüğün değişik durumları.....	51
Tablo 8.1 (1997-2000) Yılları arasında Aksaray’daki dört ana karayolunda yolda meydana gelen toplam kaza sayısı.....	59
Grafik 8.1 Kazaların meydana geldiği andaki hava durumu .....	59
Grafik 8.2 Kazaların meydana geldiği andaki yol durumunun yüzde olarak dağılımı .....	60
Grafik 8.3 Aylık ortalama kaza oranları .....	60
Grafik 8.4 Yollara göre aylık ortalama kaza oranlarının dağılımı .....	61
Grafik 8.5 Yağışsız günlerde meydana gelen kazaların yollara göre dağılımı .....	61
Grafik 8.6 (1997-2000) yılları arasındaki aylık ortalama yağışlı gün sayısı .....	62
Grafik 8.7 (1997-2000) yılları arasındaki aylık ortalama yağışlı gün sayısının yıllara göre dağılımı .....	62
Grafik 8.8 ( 1997-2000) yılları arasındaki yağan yağışların (mm)’lik yükseltilerine göre dağılımı .....	63
Grafik 8.9 ( 1997-2000) yılları arasındaki yağan yağışların (mm)’lik yükseltilerinin yıllara göre dağılımı .....	63
Grafik 8.10 Yağışlı günlerde meydana gelen kaza sayılarının ( mm’lik) yağış yükseltisine göre dağılımı .....	64
Grafik 11.11 Yağışlı günlerde meydana gelen kazaların yollara ve yağış yükseltilerine göre dağılımı .....	64
Tablo 8.2 (1997-2000) yılları arasındaki dört ana yolda yağışlı ve açık günlerdeki kaza sayıları.....	65
Tablo 8.3 Yıllık yağışlı günler ile yağışlı günde meydana gelen kaza istatistikleri .....	65



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Üstyapı Tabakaları .....	6
Şekil 4.1 Mohr-Coloumb Kırılma Hipotezi .....	12
Şekil 4.2 Bir ağır kilde ‘Kuru birim hacim ağırlığı ve su muhtevası ile Kaliforniya Taşıma Oranı’ arasındaki bağıntı .....	13
Şekil 4.2 Yoldaki don kabarması .....	19
Şekil 5.1 Islak yüzey- kayma direnci trafik kazaları dağılımı .....	24
Şekil 5.2 Yol yüzeyi trafik güvenliği / PIARC 1986 ) .....	25
Şekil 6.1 Kenar hendeği kesiti ( taş dolgu ) .....	29
Şekil 6.2 Kenar hendeği kesiti .....	30
Şekil 6.3 Kafa hendeği kesiti .....	30
Şekil 6.4 Boru menfez kesiti .....	31
Şekil 6.5 Kutu menfez kesiti .....	32
Şekil 6.6 Kemerli menfez kesiti .....	32
Şekil 6.7 Standart büzlü dren kesiti .....	35
Şekil 6.8 Stabilizasyon kesiti .....	35
Şekil 6.9 Yatay dren kesiti .....	36
Şekil 6.10 Drenaj galerisi kesiti .....	37
Şekil 6.11 Dolgu tabanında şilte ve boşaltım düzeni .....	38
Şekil 7.1 Geotekstilli yol dolgusu .....	41
Şekil 7.2 Geotekstilsiz yol dolgusu.....	41
Şekil 7.3 Geotekstilsiz yüzey .....	41
Şekil 7.4 Geotekstilli yüzey .....	41
Şekil 7.5 Geotekstilsiz taban zemini .....	42
Şekil 7.6 Geotekstil ayırma fonksiyonu .....	42
Şekil 7.7 Dolgularda filtre malzemesi olaral kullanılan geotekstil fonksiyonu .....	43
Şekil 7.8 Filitrasyon ayırma ve drenaj amaçlı geotekstil kullanımı .....	44
Şekil 7.9 Islak yoldaki tekerlek .....	47
Şekil 7.10 Kayma sürtünme katsayısının mikrodoku, hız ve mevcut su filminin kalınlığı ile değişimi .....	48
Şekil 7.11 Kaplama yüzey tiplerine göre kayma sürtünme katsayılarının değişimi .....	50
Şekil 7.12 Drenli bir geçirimli üstyapı .....	53
Şekil 7.13 Yaya kaldırımları arasında sıkıştırılmış kaplama	

yüzeylerini oluşturan gözenekli asfalt kenarlarının iyileştirilmesi .....	54
Şekil 7.14 Geçirimli asfalt kaplamalarda kollektör dren sisteminin uygulanması .....	55
Şekil 7.15 Enlemesine grooving uygulaması .....	56
Şekil 7.16 Boylamasına grooving uygulaması .....	56
Şekil 7.17 Grooving metodunda yol yüzeyinden su akışı .....	56



## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1 Esnek üstyapı tabakaları.....	20
Fotoğraf 7.1 Yol yüzeyine geotekstil serimi.....	41
Fotoğraf 7.2 Enine grooving uygulaması.....	58
Fotoğraf 8.1 Adana yolu ( Otomarsan civarı ).....	66
Fotoğraf 8.2 Ankara Yolu ( Ağaçlı Tesisleri civarı ).....	66
Fotoğraf 8.3 Adana Yolu ( Niğde makası civarı ).....	67
Fotoğraf 8.4 Karasu Köprüsü civarı .....	67
Fotoğraf 8.5 Adana Yolu Yağmur Sonrası.....	68
Fotoğraf 8.6 Ankara Yolu 5. Km.....	68
Fotoğraf 8.7 Konya, Yol Ayrımı.....	69
Fotoğraf 8.4 Adana Yol Ayrımı.....	69



## SEMBOL LİSTESİ

A	:	Kesit alanı
C	:	Kohezyon
CBR	:	Kaliforniya Taşıma Oranı
Cd	:	Akım katsayısı
Ch	:	Düşey konsolidasyon katsayısı
Cx	:	Yatay konsolidasyon katsayısı
DI	:	Donma İndisi
Em	:	Kemerli menfez kenar ayak ortasının kalınlığı
e	:	Boşluk oranı
h	:	Yükseklik
hw	:	Hidrolik yük
K	:	Permeabilite katsayısı
Ka	:	Aktif toprak basıncı katsayısı
L	:	Mesafe
Ne	:	İçsel sürtünmeye bağlı katsayı
Nq	:	İçsel sürtünmeye bağlı katsayı
N $\gamma$	:	İçsel sürtünmeye bağlı katsayı
PI	:	Plastisite İndisi
Pi	:	Donma kabarması olasılığı
Q	:	Debi
Qş	:	Şişme oranı sabiti
q	:	Taşıma gücü
R	:	Yarıçap
r	:	Korelasyon katsayısı
r <sup>2</sup>	:	Regrasyon katsayısı
F	:	Standart sapma
S	:	Kayma direnci
S	:	Kemerli menfez ortasının kalınlığı
Sr	:	Doygunluk yüzdesi
U	:	Boşluk suyu basıncı
W	:	Su kapsamı
YASS	:	Yeraltı su seviyesi
$\gamma$	:	Birim hacim ağırlığı

$\gamma_s$	:	Dane birim hacim ağırlığı
$\gamma_w$	:	Su birim hacim ağırlığı
$\theta$	:	Merkez açısı
$\phi$	:	İçsel sürtünme açısı
$\sigma$	:	Toplam basınç
$\sigma_e$	:	Efektif basınç



## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Ülkemiz; insan ve yük taşımacılığının % 95'e yakın bir kısmını karayolları üzerinden yapmaktadır. Karayolları ülke taşımacılığında gerçekleştirdiği bu ağır yükümlülüğü sebebi ile Türkiye için vazgeçilmez bir can damarıdır. Karayollarının ömrü verimliliği hizmet kalitesi ve güvenilirliği ülke ekonomisi ve gelişimi için çok büyük bir önem arz etmektedir. Ülkemiz karayolları; için en önemli öncelik hizmet seviyesini korumak ve işletme ömrünü uzatmaktır. Bu bakımdan yol mühendislerinin, başlıca amacı karayollarında çeşitli sebeplerle meydana gelen hasarları asgariye indirmek ve aynı zamanda yol güvenliği sağlayabilmektir.

Karayollarımızda görülen bozulma ve hasarların meydana gelmesindeki faktörlerden biri yol platformundan uzaklaştırılmayan su muhtevası fazlalığıdır. Su muhtevası fazlalığının ortaya çıkmasına neden , yola tatbik edilen drenaj sistemlerinin eksikliği veya yetersizliğidir. Karayolu drenajındaki nitelik ve nicelik noksanlığı sonuçta, yolda stabilite deformasyon ve taşıma gücü sorunlarını doğururken dolaylı olarak yoldaki sürüş emniyetini ve yol güvenliğini bozmaktadır.

Bu araştırmada karayollarında uygulanan üstyapı çeşitleri ve üstyapı elemanları hakkında literatür bilgileri sunulmuş; su muhtevası fazlalığının, yol taban zeminine, yol platformuna ve trafiğe olan etkileri irdelenmiş ; yeraltı ve yerüstü sularının yoldan drene edilmesi için uygulanan drenaj sistemleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

Aksaray çevresinde yağışlı günlerde meydana gelen kazalar incelenmiş, karayollarının geometrisinde ortaya çıkmış hasarlar gözlenmiş, drenaj yetersizlikleri saptanmaya çalışılmış ve yağışlı günlerde Aksaray çevresindeki yollarda bulunan kara noktaların yol durumları değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM II

### MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada Aksaray'ın çevre illerle irtibatını sağlayan dört ayrı yolda 1997-2000 yılları arasındaki yağış mevsimlerinde meydana gelen kazalar, yağış durumlarına göre incelenmiştir. Aynı zamanda Aksaray çevresindeki yolların yağışlı günlerdeki durumu gözlenmiş ve drenaj yeterlilikleri irdelenmiştir. Çalışmada kullanılan Ankara, Adana, Konya ve Nevşehir yollarına ait kaza sayıları Aksaray İli Bölge Trafik Dairesinden, meteorolojik bilgiler ise yine Aksaray İli Bölge Meteorolojik Ölçüm Dairesinden alınmıştır. Adı geçen yolların Ankara ve Adana Yolu bitümlü sıcak kaplama, Konya ve Nevşehir yolları ise makadan kaplamadır. Yol özelliklerine göre değerlendirilen kazalar verileri ve her iki kurumdan alınan verilerle birlikte bilgisayar ortamına aktararak düzenlenmiş ve üzerinde istatistiksel yorumlar yapılabilecek hale getirilmiştir.

2001 yılına ait kaza tutanakları tamamlanmamış olup 1996 yılına ait yağış raporları ise Genel Müdürlük Bilgi İşlem Dairesine gönderildiği için araştırma yönelik verilerin zaman aralığı dört yıl olarak sınırlandırılmıştır.

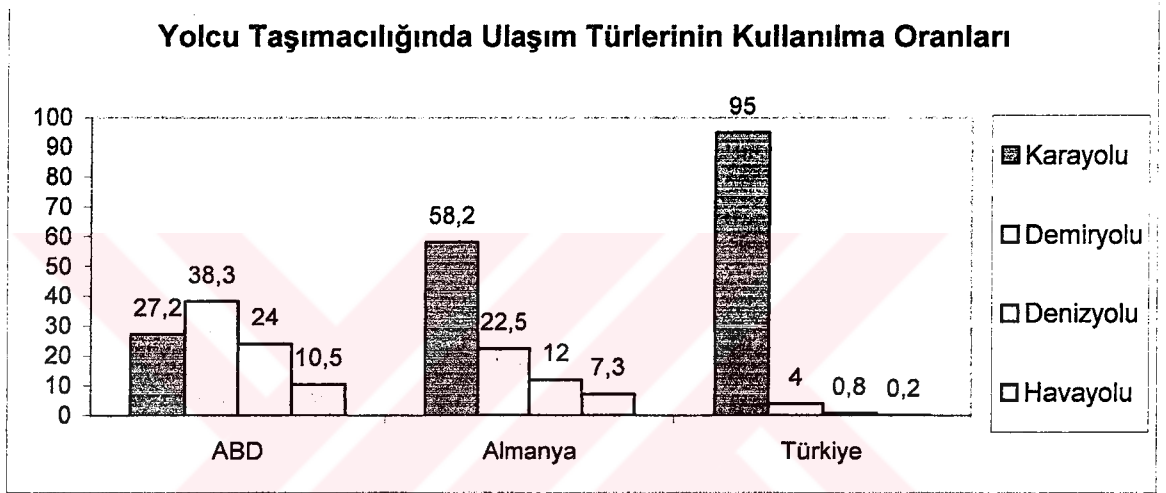
Araştırmada ilgili kurumlardan alınan kaza ve yağış raporları günlük cetveller halinde düzenlenerek, incelenebilir duruma getirilmiştir. Bu veriler yollara ve yağış yükseltilerine ayrılmış ve ortalama değerleri bulunarak birbirleri arasında ilişki kurulabilecek grafikler ve çizelgeler oluşturulmuştur.

Verilerin birbirleri arasında olan ilişkileri rakamsal bir değer olarak saptanması için kaza sayısı-yağışlı gün, ve kaza sayısı - yağış yükseltileri arasında istatistiksel korelasyon regresyon ve standart sapma değerleri bulunmuştur. İstatistiksel sonuçlar Microsoft Excel programından elde edilmiştir. Bu değerler sonucunda Aksaray'da bulunan karayollarında; yağışlı günlerde meydana gelen kazalar değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM III

### KARAYOLLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Ulaşım ihtiyacına üretim-dağıtım ilişkisi içindeki hareketlilik sebep olur. Ekonomisi ve sosyal yapısı hızla gelişen ülkemizde ulaşım ihtiyacı çok büyük ölçüde karayolları üzerinden yapılmaktadır. Gelişmiş ülkeler ile aramızdaki yolcu taşımacılığındaki ulaşım türlerinin kullanılmasına bakıldığında bu durum görülebilir.



Grafik 3.1 Yolcu taşımacılığında ulaşım türlerinin kullanılma oranları ( T.B.M.M Trafik Komisyonu Raporu, 2000 Ankara)

1 Mart 1950 yılında KGM'nin kurulması ve o günlerden başlayarak devam eden siyasi tavır ülkemizdeki ulaşım politikası önemli ölçüde karayolları üzerinde yoğunlaştırmıştır. Milli gelirden ulaştırmaya ayrılan pay büyük miktarda karayolları inşası için aktarılmış ve ülke çapında karayolu ağları inşa edilmiştir. 1950 den bu güne kadar milli gelirden KGM'ye ayrılan pay , Tablo 3.1 de görülmektedir.

Tablo 3.1 KGM'ye bütçeden ayrılan pay ( K.G.M Bülteni, 2000)

KGM'ye Bütçeden Ayrılan Pay	
YILLAR	( % )
1950	4,1
1960	13,3
1980	4,1
1990	2,8
1995	2,1
2000	1,2



Karayollarına verilen bu önemin neticesinde yurt sathına yayılan karayolları uzunlukları yıllara göre Tablo 3.2 de gösterilmektedir

Tablo 3.2 Yıllara göre yol uzunlukları ( ASMÜD, 2000)

YILLARA GÖRE YOL UZUNLUĞU							
	Asfalt	Sathi				Geçit	Şebeke
	Beton	Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Vermez	Uzunluğu
YILLAR							
1950	336	1.111	177	22.590	10.311	12.555	47.080
1955	218	2.479	189	28.975	8.956	14.173	55.008
1960	152	6.741	156	34.990	9.168	10.335	61.542
1965	724	10.163	156	28.808	3.139	8.887	51.877
1970	1.450	15.884	207	29.715	9.331	3.033	59.620
1975	1.764	21.889	253	27.260	6.267	2.056	59.499
1980	2.707	31.355	116	18.745	4.955	2.181	60.059
1985	3.176	37.630	129	13.750	2.757	1.670	59.112
1990	4.128	42.038	144	9.558	1.234	1.450	58.552
1991	4.261	43.200	136	8.803	1.256	1.372	59.128
1992	4.414	43.874	134	8.050	1.327	1.422	59.221
1993	4.546	44.063	136	8.116	1.573	1.408	89.842
1994	4.605	44.960	128	7.353	1.425	1.300	59.770
1995	4.747	45.502	122	6.894	1.281	1.276	59.832
2000	7.501	49.054	132	3.761	1.195	1.026	62.672
2001	7.830	49.709	134	3.026	1.144	1.020	62.863

Ülkemizde mevcut olan yolların uzunlukları hizmet durumlarına göre ayrımı ise şu dağılımdadır.

Tablo 3.3 Hizmet ayrımına göre yol uzunlukları ( ASMÜD,2000)

Yol Uzunlukları	
Hizmet Türü	Uzunlukları
Otoyol	1.749
Devlet Yolu	31.388
İl Yolu	29.672
Köy Yolları	319.448

Karayollarının ömrünü ve hizmet seviyesini gösteren değer , yolun inşa esaslarıdır. Yol üstyapısı , karayolunun karakterini belirleyen başlıca unsurdur. Ülkemizde uygulanan yol üstyapı çeşitleri ve özellikleri incelenirse.

### 3.1 Yol Üstyapı Çeşitleri

Üst yapı, trafik yüklerini taban yüzeyine dağıtmak amacıyla yapılan alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan, yolun en üst bölümüdür. Yol üst yapıları, üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; rijit üstyapılar, yarı rijit üstyapılar ve esnek üstyapılardır

#### 3.1.1 Rijit üstyapı

Çimento betonu ile yapılan kaplamalara 'Beton yollar' rijit üstyapılar denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. (Yol Üst Yapısı , Prof F. Umar, N. Yayla) ,Rijit üstyapının üstünlükleri şunlardır;

- Kayma sürtünme katsayıları yüksektir; rijit yollar kaymaya karşı yüksek dirence sahiptirler.
- Dayanıklı bir kaplama tipidir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyabilecek şekilde dizayn edilebilir.
- Gürültüsüz ve tozsuzdur.
- Gereği gibi bakıma tabi tutulduklarında tam bir yüzey geçirimsizliliğine sahip olurlar.
- Plastik bağlayıcılarla yapılan yollarda çok görülen ondülasyon hasarları rijit yollarda görülmez.
- Betonda kullanılan çimentonun hammaddesi tamamen yerli olduğu için özkaynaklar ile imali daha ekonomiktir.

#### 3.1.2 Yarı rijit üstyapı

Yarı rijit üstyapıda, çimento bağlayıcı granüler temel yada çimento ile stabilize edilmiş bir alt temel tabakası kullanılır. Çimento ile stabilize haldeki temel tabakası üzerine ise bitümlü kaplama serilmesi şeklinde yapılmaktadır. Kaplama tabakası üzerine istendiği takdirde binder ve aşınma tabakaları da serilebilir.

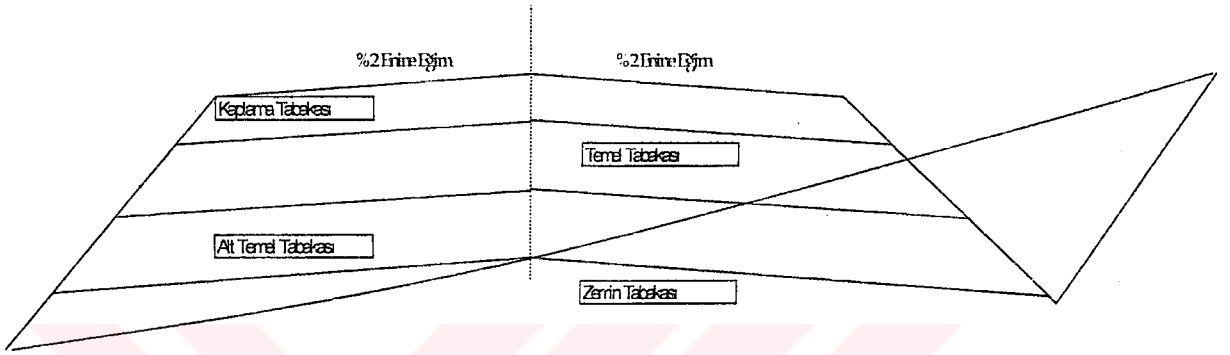
#### 3.1.3 Esnek üstyapı

Taban zemini üzerine oturan, alttemel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan esnek üstyapı ülkemizde en yaygın olarak kullanılan üstyapı türüdür. Esnek üstyapının üstünlükleri şunlardır.

- Asfalt betonlu kaplamalar trafik için düzgün ve gürültüsüz bir yüzey meydana getirirler.
- Özellikle kuru olduklarında yüksek sürtünme katsayısı verirler.
- Belirli bir stabiliteye ve rijitliğe sahip olduklarından yükü alt tabakalara yayabilirler.
- Yapımlarından bir kaç saat sonra trafiğe açılabilirler.

Esnek üstyapıların sakıncaları ise kısaca şunlardır.

- Esnek üstyapılarda kullanılan bağlayıcı asfalt termoplastik bir malzemedir. Sıcaklığa bağlı olarak değişik mukavemet değerleri gösterir.
- Bitümlü bağlayıcıların yapısı, kaplamanın yapısından birkaç sene sonra bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin uçması ve okside olması ile bozulur. Kaplamanın yaşlanması olarak adlandırılan bu olay, esnek yapının daha az uzaması neticesinde çatlamlar oluşur.
- Koyu renkli olmalarından dolayı gece görünmeleri zordur.
- Esnek üstyapıların uygulanacağı zeminler kuru veya en fazla % 2 oranında nem olması gereklidir. Bu zorunluluk ise özellikle yağışlı bölgelerde yol inşasını zorlaştırmaktadır.



Şekil 3.1. Üstyapı tabakaları

#### • Alt temel tabakası

Alt temel tabakası, taban yüzeyi ile temel tabakası arasına yerleştirilen ve uygun bağlayıcılarla stabilize edilmiş en alttaki tabakadır. Alt temeller genel olarak, don olayı görülen bölgelerdeki dona duyarlı taban zeminleri veya taşıma yeteneği düşük olan taban zeminleri üstünde yapılmaktadır. Alt temel, yol yüzeyinden gelen yükü taşıması yanında taban su seviyesinden gelecek olan suyu absorbe etmesi ile drenaja yardımcı olur. Coğrafyasının çok geniş bir bölümünde don olayı görülen ülkemizde kullanılacak alt temellerin don tesirlerine karşı dayanıklı olması gereklidir. Stabilesinin yüksek olması arzu edilen; alt temel tabakasının inşasında bu bakımdan; ince daneli, killi ve siltli malzemelerin kullanılmasından dikkatle sakınılması gereklidir.

#### • Temel tabakası

Kaplama tabakasının altına yerleştirilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzeme tabakasıdır. Temel tabakasının başlıca görevi kaplama tabakasına dayanak sağlayarak üstyapının yük taşıma kapasitesini attırmaktır. Trafik yüklerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilmeli ve yüksek nem oranında dengede kalabilmelidir. Yoldan beklenen hizmet kalitesine göre temel tabakası çeşitleri şunlardır.

- Penetrasyon Makadan Temel Tabakası

- Asfaltlı Makadan Temel Tabakası
- Sıcak karışım Bitümlü Temel Tabakası
- Çimentolu Temeller.

#### • **Kaplama tabakası**

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek bir elastisite değerine sahip olması gerekmektedir. Kaplama tabakası suya karşı geçirimsizliği sağlayarak yolu, bozulmalardan koruduğu gibi, yazın toz, kışın çamur gibi konfor bozucu etkileri de önler ve yol yüzeyini düzenleyerek sürüş konforunun artmasını sağlar. Ayrıca, kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yolun direnci artar, yolun temel ve alttemel tabakalarına iletilen yük azalır. Karayollarındaki kaplama tabakasından aşağıdaki temel görevler beklenir.

- Trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak
- Sıcaklık ve suyun ayrıştırma ve çözünme etkilerine karşı koymak
- Yol yapısına sızan yüzeysel su miktarını azaltmak ve boyuna ve enine eğimleri muhafaza ederek suyun uzaklaştırılmasını sağlamak.
- Üst yapının üst kısmındaki çökmelere karşı direnç göstermek
- Temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak.

Kaplama tabakası bazen bir kaç farklı tabakadan oluşabilir. Kaplama tabakasının en üst kısmında aşınma tabakası bulunur. Bazı hallerde temel tabakası ile aşınma tabakası arasında geçiş tabakası bulunabilir. Bu geçiş tabakalarına kısaca 'binder' denir.

Kaplama tabakasının işletim başarısı, beklenen trafik ve iklim koşullarında dayanıklılığını kaybetmeden çatlamaya ve dağılmaya karşı direnç gösterecek doğru bir bitümlü bağlayıcı madde bileşiminden yapılmasına bağlıdır.

#### **3.1.4 Esnek üstyapıların kaplama cinslerine göre sınıflandırılması**

Esnek üstyapılar, tabii toprak, stabilize, asfalt kaplama ve parke yollar olarak sınıflandırılır. Adı geçen türlerden toprak yollar, tarla ve köy yollarıdır. Parke yollar ise ekonomik olmadığı için genellikle turistik park ve bahçelerde kullanılmaktadır.

#### • **Stabilize Yollar**

Kum ve çakıldan oluşan agreganın killi bir bağlayıcı zeminle karıştırılmasından oluşur.

Bu tip yolların alt temel inşaatı kolay olup, bir çok zeminler isteğe göre oldukları gibi yada basit bir iyileştirme ile alt temel olarak kullanılırlar. Stabilize yolar bozulmaya

müsaittirler. Kuru havalarda tozlu, yağışlı havalarda kaygan ve çamurlu olurlar. Bu yollarda görülen başlıca bozukluk 'ondülasyon' denilen girinti ve çıkıntılardan oluşan hasarlardır

#### • Asfalt Kaplama Yollar

Yol yüzeyine bitümlü bağlayıcı maddenin püskürtülmesi ve ardından, ham yada bitümlü bağlayıcı madde kaplanmış agreganın serilmesi ile oluşturulan örtü tabakasıdır. Asfalt kaplama yollar dört farklı çeşide sahiptirler. Bunlar; Bitümlü yüzeysel kaplamalar, Bitümlü makadan kaplamalar, Az boşluklu bitümlü kaplamalar, Boşluksuz bitümlü kaplamalardır.



Fotoğraf 3.1 Esnek üstyapı tabakaları

### **3.2 Üstyapılarda Görülen Bozulmalar ve Ana Etmenleri**

Esnek üst yapılardaki yüzey bozuklukları ve nedenleri T.C.K Esnek Üst Yapıları Projelendirme Rehberinde şöyle sınıflandırılmıştır.

- Çatlaklar
- Tekerlek izi boyunca oturmalar
- Ondülasyon, ötelenme ve yoğrulmalar
- Lokal oturmalar
- Çukurlar
- Segregasyon, sökülme ve soyulmalar
- Kaplama agregasının kaybı
- Asfalt kusmasının nedenleri

Yollarda görülen bu kusurların meydana gelmesine neden olan unsurlar ise şunlardır.

#### **1) Çatlakların oluşma nedenleri**

Timsah sırtı çatlaklar, kenar çatlakları, enine çatlaklar, boyuna çatlaklar ve blok çatlaklar olmak üzere bir çok çeşidi görülmektedir. Bunların oluşma nedenleri açıklanırsa.

- Taban zemini, temel ve alt temel tabakalarının yetersiz sıkışması veya kalitesiz drenaj sonucu ortaya çıkan taşıma gücü yetersizliği.
- Kaplamanın aşırı yükler altında yorulması
- Uygun olmayan malzeme kullanılması ve kötü yapım teknikleri
- Donma etkisi, nem değişiklikleri gibi çevre ve iklim koşulları.
- Kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü
- Üst yapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi
- Alt tabakalarda daha önceden oluşan çatlakların yüzeye yansması
- Karışımın içindeki bitümün sıcaklığa olan yüksek duyarlılığı
- Dolgunun yanal hareketi
- Boyuna ek yerlerinin uygun yapılmaması

#### **2) Tekerlek İzi Boyunca Oturmaların oluşma nedenleri**

- Yüksek ısı, düşük viskoziteli bağlayıcı ve yüksek bitüm içeriği nedenleri ile bitümlü sıcak karışımın tabakalarının stabiliteğini kaybetmesi.
- Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yetersiz sıkıştırılması.

- Üst yapı tabakalarının aşırı gerilmeler altında kalıcı deformasyonlara maruz kalması.
- Trafik yükleri altında boşluk suyu basıncı nedeni ile doygunluğa oluşan temel ve alt temel tabakalarının stabilitelerini kaybetmesi.
- Drenaj yetersizliği veya yetersiz sıkışma nedeni ile üst yapı tabanının stabilesini kaybetmesi, taşıma gücünün azalması.
- Banket malzemesinin stabil olmaması ve yeterli yanıl desteğin sağlanamaması.

### **3) Ondülasyon, Öteleme ve Yoğrulmaların oluşma nedenleri**

- Asfalt karışım stabilesinin yetersizliği
- Karışım serilmesi sırasında serme ve sıkıştırma hataları
- Kavşak, trafik ışıkları ve duraklarda duruş ve kalkış şeklindeki trafik etkisi
- Üst yapı tabakaları arasındaki bağlantının yetersizliği (yapıştırma malzemesinden beklenen işlevin yeterince yerine getirilmemesi)
- Temel tabakasındaki stabilite bozukluğunun yüzeye yansması
- Ağır yükler altında suya doygun granüler tabakaların varlığı

### **4) Lokal Oturmaların oluşma nedenleri**

- Taban alt temel veya temel tabakalarında yetersiz sıkışma nedeni ile oluşan oturmalar
- Üst yapı tabanının taşıma gücünün zayıf olması
- Sanat yapılarının yaklaşım imlalarındaki yetersiz sıkıştırma ve drenaj yetersizliği nedeni ile oluşan oturmalar.
- Kaplamanın bankete yakın kesimlerinde, menfezlerde, eksende, çatlak kesimlerde, rögar kenarlarında, yetersiz drenaj sebebi ile oluşan oturmalar.
- Dolgu şevindeki hatalar
- Uygun olmayan bakım teknikleri.

### **5) Çukurların oluşma nedenleri**

- Diğer bozuklukların etkileri
- Yanlış yapım teknikleri
- Kaplamada düşük kaliteli agrega kullanılması
- Üst yapı kalınlıklarının yetersiz oluşu

### **6) Segregasyon, Sökülme ve Soyulmaların oluşma nedenleri**

- Su ve trafik etkisi altında soyulma
- Bitümlü sıcak karışım içinde kil toprakları veya kille kaplı agrega taneciklerinin bulunması

- Zayıf sıkışma ve yüksek boşluk yüzdesi ( Özellikle soğuk hava koşullarında yapılan kaplamalarda; su ve tuzlar tabakalar arasına sızar, donma ve erime olayları sırasında asfaltın bozulmasına neden olur)
- Yetersiz asfalt yüzdesi
- Yaşlanma nedeni ile oluşan asfalt sertleşmesi
- Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı

#### **7) Kaplama Agregası Kaybının nedenleri.**

- Agreganın asfalt ısısı düştükten sonra serilmesi.
- Yola serilen agreganın ıslak ve tozlu olması.
- Agreganın geç sıkıştırılması
- Sıkıştırılmada kullanılan ekipmanın uygun olmaması
- Hava koşullarının yüzeysel kaplama yapmak için uygun olmaması
- Kaplamanın yapımından hemen sonra üzerinden hızla trafik geçmesi
- Uygulanan asfaltın yetersiz kalması
- Hatalı silindir seçimi ve yüzeyin düzgün olmaması nedeni ile yüzeyde sıkışmamış kesimlerin kalması.

#### **8) Asfalt Kusmasının nedenleri**

- Yapım sırasında çok fazla asfalt kullanılması ve özellikle sıcak havalarda trafik etkisi ile asfaltın agregaya üzerine çıkması
- Kusmuş yüzey üzerine herhangi bir önlem almadan yeniden sathi kaplama yapımı
- Çok fazla astar malzemesi kullanımı

Esnek üstyapılarda görülen bozulma ve hasarlar kısaca özetlendiği gibidir. Bu bozulmaların genelinde direkt olarak bir çoğunda ise dolaylı olarak drenaj yetersizliği olduğu görülmektedir. Drenaj yetersizliği, yol platformunda ve temel tabakasında bulunan ve istenmeyen miktarlara ulaşan su muhtevasının uzaklaştırılamaması demektir.

Su muhtevası fazlalığı; yol yapım aşamasında ve trafiğe açık olduğu işletim sırasında yukarıda belirtilen hasarların ortaya çıkmasına neden olan bir çok temel problemin kaynağıdır.



## BÖLÜM IV

### SU KAPSAMI FAZLALIĞININ YOLA ETKİLERİ

#### 4.1 Taşıma Gücünün Düşmesi

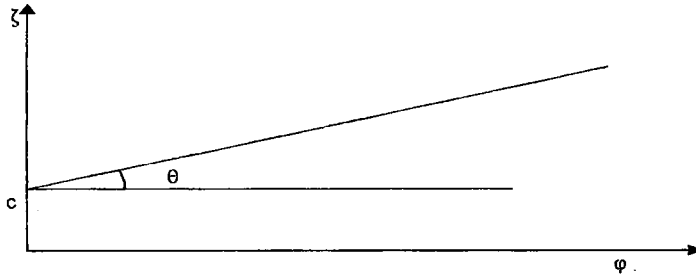
Genel olarak zeminlerdeki kayma direnci şu bileşenlerden oluşur.

- Tanelerin oluşturduğu yapının kesme deformasyonuna karşı gösterdiği direnç
- Tanelerin temas noktaları veya temas alanlarında oluşan sürtünme kuvvetleri
- Zemin taneleri arasındaki çekme ( kohezyon ) kuvvetleri.

Coloumb tarafından ortaya atılan ve sonra Mohr tarafından genelleştirilen kırılma teorisi 4.1 de verilmiştir.

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan\theta \dots \dots \dots (4.1)$$

Bağıntıda verilen ' $\tau_f$ ' ( $\text{kg/cm}^2$ ) kayma anında zeminin kayma direnci olup, kırılma yüzeyindeki kayma gerilmesine eşittir. Formüldeki ' $c$ ' ( $\text{kg/cm}^2$ ) kohezyon olup, zemin (özellikle ince taneli zemin) tanelerin birbirini çekmesini, birbirine yapışmasını yansıtır. ' $\theta$ ' içsel sürtünme açısı ( kayma direnci açısı) dir. Bağıntıda bulunan ' $c$ ' ve ' $\theta$ ' kayma direnci parametreleridir ve zemin durumu ve özelliklerine göre (drenaj uygulamasına) değişkenlik gösterir. Formüldeki bağıntılara göre Şekil 4.1'e göz atılırsa  $\theta$  içsel sürtünme açısının değişimine göre kayma direncinin değişimi görülebilir.



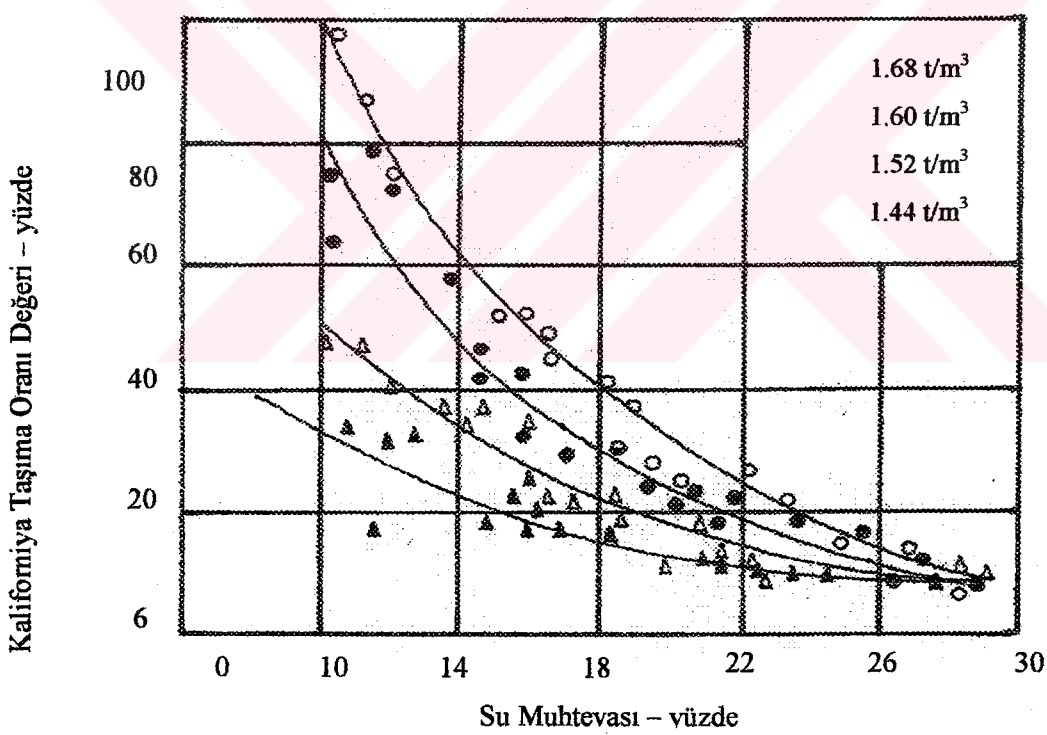
Şekil 4.1 Mohr-Columb Kırılma Hipotezi

Anlaşılacağı üzere zeminlerdeki su kapsamı kohezyon, içsel sürtünme açısı ve kayma direnci ile doğrudan ilişkilidir. Zeminlere etkiyen basınçlar, zemin bünyesinde kayma gerilmeleri oluşturur. Zeminlerin kayma direnci bu kayma gerilmelerinden büyükse zemin

bu basınçlara dayanacaktır. Burada zemin taşıma gücünü belirleyen, her birim sürtünme alanında oluşan kayma gerilmelerinin toplam değer olarak basınca karşı verdiği dirençtir.

#### 4.2 Kaliforniya Taşıma Oranı ve Su İlişkisi

Taban zemininin üstyapı projelendirilmesinde Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) değeri dinamik yaş CBR deneyi ile bulunur. Taban zeminlerinin taşıma gücü bulunurken tesviye yüzeyinin altındaki 40 cm'lik kesim dikkate alınır. Eğer üstyapı projelendirilmesi sırasında tesviye yüzeyi henüz hazırlanmamışsa, CBR değeri belirlenirken taban zeminini teşkil edecek malzemeler dikkate alınır. Yol güzergahı boyunca taban zemini sistematik bir değişiklik gösteriyorsa, her değişik taban zemininin sınırları belirlenmeli ve bu kesimleri temsil edecek CBR deneyleri yapılmalıdır. Taban tesviye yüzeyinin hazırlanmasından sonra yapılacak son taban etüdü proje CBR değerleri yeniden kontrol edilecek, üstyapı projelendirilmesinde esas alınan CBR değerlerinden farklılık gösteriyorsa üstyapı kalınlıkları yeniden hesaplanmalıdır.



Şekil 4.2 Ağır kilde 'kuru birim hacim ağırlığı ve su muhtevası ile Kaliforniya Taşıma Oranı' arasındaki bağıntı. ( Çetin., M. 1991. Y.Lisans Tezi)

Kaliforniya Taşıma Oranı ile su muhtevası arasındaki bağıntıyı veren tipik eğri Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Bu eğriden görülmektedir ki zeminde su muhtevası yüzdesi % 30'lara ulaştığında, taşıma oranı % 10'lara yaklaşmakta ve % 14'lük bir su yüzdesi taşıma oranını taşıma oranını yarı yarıya etkilemektedir, bu da göstermektedir ki zeminlerde maksimum

mukavemet (direnç) elde etmek için zemini optimumdan daha düşük bir su muhtevasında sıkıştırmak gerekmektedir. Ancak bu durumda; zeminde çok az bulunan su muhtevasının geri çekildiği yerleri dolduran hava boşlukları, zeminin boşluk hacmini artırarak zemini, suyunu absorbe halinde bulundurmaya daha müsait hale getirebilir. Absorbe su zemin için daha büyük sorunlar oluşturabileceği için; bu halde bulunan su zeminde ve yol kaplamaları arasında istenmez. Grafikte görülen su muhtevası fazlalığının zemine etkilerini; dairesel kesitli sığ temeller için verilen

$$Q = c \times N_c + D_f \times \gamma \times N_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_y \dots \dots \dots (4.2)$$

formülünde Terzaghi ortaya koymaktadır.

Formülde Q ‘Sınır Taşıma Gücü’ ( $t/m^2$ ), c : temel zeminin kohezyonu ( $t/m^2$ ),  $\gamma$  : temel zemininin birim hacim ağırlığı ( $t/m^3$ ), B: uygulama alan genişliği ( $m^2$ )  $N_c$ ,  $N_q$  ve  $N_y$ : taşıma gücü katsayıları olup temel zemininin ‘ $\theta$ ’ içsel sürtünme açısının bir fonksiyonudur. Formülde karşımıza çıkacak olan taşıma gücü değeri su muhtevasının belirleyeceği ‘ $\theta$ ’ açısı ile beraber değişecektir.

### 4.3 Zeminlerin Su ile Hacim Değişirmesi

Hacim değişirmesi taban zemininin su emerek genişlemesi veya su vererek büzülmesi olayıdır. Yol platformu altındaki zemin tabakasında su muhtevası değişmesi ile hacim değişmesi meydana geliyorsa bu tabakalar arasında hacim farklılaşmaları görülür. Bu durum üstyapının hemen altında her noktada değişik büzülme ve kabarmalar meydana gelecek, sonuçta değişik gerilme ve taşıma gücü değerlerini doğuracaktır.

Yol güzergahı boyunca istenmeyen bu durum en ciddi olarak rijit üstyapılarda çokça görülen batmalar, kabarmalar ve kırılmalarıdır. Yapım aşamasında hacmi, su kapsamı değişmesi ile farklılaşan zeminlerin gereğinden daha kuru bir şekilde sıkıştırılarak üzerlerine üstyapı inşa edilirse su kapsamı artışıyla zemin hacmi kabarmaya ve yol kapsamına kadar satıh bozulacaktır. Buna benzer olarak, hacim değişmeleri yapabilen zeminlerde üstyapı yapımından sonra su kapsamında azalma olması sonucunda hacim küçülecek ve üstyapı boşluk üzerine oturmaya başlayacaktır. Yolun çökmesine neden olan bu etmen kabarma kadar tehlikelidir. Büzülme problemini açığa çıkartan en önemli etmen su muhtevası fazlalığı ile plastisite indeksi yüksek olan killi ve siltli zeminlerin beraber bulunmasıdır. Su muhtevası değişmesi ile hacim farklılaşması ve plastisite indeksi arasındaki bağıntı Tablo 4.1 ile açıklanabilir.

Tablo 4.1 Plastisite indeksi-hacim değiştirme oranları(Zemin Mekaniği A.Karadeniz 1997)

Plastisite İndeksi	Şişme ve Kabarma Yüzdesi	Hacim Değiştirme Değ.
0-10	2 yada az	Hiç yok gibi
10-20	2-4	Orta
20 den çok	4 den çok	Yüksek

Yollarda hacim değişmesi problemi görülmemesi için yolun kötü zeminler üzerinde yapılmaması alınacak en önemli tedbirdir. Ayrıca yol katmanlarında sorunlu malzemelerin kullanılmasından sakınılması gerekir. Eğer bunlardan biri yada ikisi de aynı anda sağlanamıyorsa kaliteli ve sürekli bir drenaj sistemi kurularak suyu platformdan mümkün mertebe uzak tutmak mecburidir. AASHTO projelendirme yöntemine göre, taban zemininin hacim değişmesi tehlikesine maruz kalıp kalmayacağı şu kriterlerce belirlenir.

- Şişme oranı sabiti
- Potansiyel düşey yükselme
- Şişme olasılığı

Bu değerler saptanarak hacim değişme tehlikesi saptanabilir. Özellikle AASHTO' nun belirlediği A-6 ve A-7 gurubuna dahil olan zeminler bu kriterlere göre tehlikeli sınıfta yer almaktadırlar.

#### 4.4 Zeminlerin Aktif Toprak Basıncının Su ile Artması

Zeminlerin yüzeyler üzerine yapacakları aktif basınç zemin birim hacim ağırlığı ile doğru orantılıdır. Zeminlerin birim hacim ağırlığı ise, su kapsamının derecesi ve yeraltı su seviyesi durumuna bağlıdır. Bir zeminin aktif toprak basıncını ve birim hacim ağırlığını veren bağıntı şudur.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \dots \dots \dots (4.3)$$

$$K_a = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_s(w+1)}{1+e} \dots \dots \dots (4.5)$$

Aktif toprak basıncını  $P_a$  formülü vermektedir. Formüldeki  $\gamma$  değerini açıklayan formül ise Formül 4.4 te verilmiştir. Formül 4.4'te görüldüğü gibi (w) (su muhtevası değeri) arttıkça zemin birim hacim ağırlığı artar. Sonuçta yeraltı su seviyesi zemin gözeneklerini

doldurarak, zeminde bir doygunluk meydana getirir ve  $(\gamma)$  değeri artar.  $(\gamma)$  değeri ise aktif toprak basıncından etkilenecek dolaylı olarak büyüyecek ve  $P_a$ 'yı düşürecektir. Bu da göstermektedir ki zeminlerin aktif toprak basıncı değerinde su kapsamının, yer altı su seviyesinin ve drenajın etkisi azımsanmayacak kadar önemlidir.

#### **4.5 Zeminlerin Pasif Toprak Direncinin Su ile Azalması**

Pasif toprak direnci zemin kitlelerinin yada destek yapılarının stabilitesine yardımcı bir güçtür. Pamplanların, istinat duvarlarının, ankraj levhalarının, destek dolgularının stabilitesinde rol oynar. Zemin mekaniğinden bilindiği üzere zeminlerin pasif direnci zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu arttıkça artar. Daha öncede belirtildiği gibi içsel sürtünme açısı  $(\theta)$  ve kohezyon, zemindeki su kapsamı arttıkça ters orantılı olarak azalmaktadır

#### **4.6 Temel ve Alt Temele Suyun Etkisi**

Zeminler için zararlı etkileri üzerinde durulan su muhtevası fazlalığının, yolu oluşturan elemanlardan olan temel ve alt temel tabakaları için de zararlı etkileri bulunmaktadır. Söz konusu zararları önlemek için yol alt yapısının optimum su muhtevasında ve proje kriterlerine göre sıkıştırılması gereklidir. Bunun yanında temel tabakası ve üst kaplamadan suyu uzak tutmak için drenaj tesisleri yol yapım aşamasında dahi çalışır halde bulundurulmalıdır. Alt temel ve temel tabakasında suyun menfi etkilerini en aza indirmek için alınması gerekli diğer önlemler sıralanırsa;

- Üst yapının alt temel kısmına uygun malzeme koyarak pompaja yatkın zemin korunmalıdır.
- Plastisite indisi 25 den az olan zeminler uygun bir deney metodu ile tespit edilen yoğunlukların en az % 95' i elde edilecek şekilde sıkıştırılmalıdır.
- Yüksek plastisite indisine sahip killi zeminler alt temel tabakasına ilave olarak yeterli kalınlıkta seçme malzeme ile örtülmelidir.
- Yapım sırasında doğal zeminin bileşimi, yoğunluğu ve su oranının üniform kalmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır.

#### **4.7 Kaplama Tabakası ve Su Etkisi**

Alt temel tabakasından kaplama tabakasına kadar kuru olan yol ideal koşullarda arzu edilen bir yoldur. Ancak en kalın ve dayanıklı kaplama tiplerinden olan asfalt kaplamalar dahi nemli ve gevşek zeminler üzerinde veya yer altı ve yüzeysel sular etkisinde önemli ölçülerde bozulmalara maruz kalmaktadırlar. Suyun asfalt kaplama üzerinde dolaylı ve dolaysız olarak etkileri bulunmaktadır.

Drenaj yetersizliğinin dolaylı etkisi; bozulmaya başlangıç teşkil etmesidir. Drenajın yetersiz olduğu kesimlerde temel alt temel ve tabanda taşıma gücü düşmekte, dingil yükleri altındaki deformasyonlar artmakta ve yüzeydeki asfalt betonu tabakasında çatlamalara meydan vermektedir.

1977 yılında yapılan bir araştırmada,(Atalan); Ankara-İstanbul karayolunun Düzce-Hendek arasındaki asfalt kaplama kısmına defalarca dökülen asfaltın ancak bir mevsim dayandığı görülmüştür. Bu durumun nedenleri araştırıldığında ise yol üst yapısının oturduğu taban zemininin çok fazla nem tutan aşırı boşluklu bir yapıya (killi ve siltli zeminler) sahip olduğu anlaşılmıştır.

Suyun direkt etkisi ise özellikle soyulma problemlerinde görülmektedir. Suyun asfalta oranla daha yüksek bir yüzey gerilimine sahip olması nedeni ile agregayı saran asfalt filminin itilmesi ve, agregadan sökerek ayırması, dolayısı ile agrega danelerinin zamanla çıplak hale gelmesi olayıdır. Suyun asfaltı soymasının devam etmesi sonucunda trafik etkisinin de bulunması ile yüzeyde gözle görülebilen büyük ayrışmalar saptanabilir.

Asfalt kaplamalarda suyun donmuş haliyle yola verdiği zararlar ayrı bir başlık altında değerlendirilecektir.

#### **4.8 Taban Zemininde Su ve Donma İlişkisi**

Zeminlerde don tesirini meydana getiren üç önemli faktör, hava sıcaklığının don meydana getirecek kadar düşük olması, taban ya da yüzey suyunun varlığı, dona duyarlı zeminin varlığıdır. Özellikle dona duyarlı malzemelerin içerisinde uygun don şartlarında buz parçacıkları oluşmaya başlar. Bu parçacıklar ileride üzerinde ayrıca durulacağı don kabarmasını tehlikesini meydana getirirler.

Taban zemininin bu türlü don problemlerine karşı hassasiyeti olup olmadığı çeşitli sınıflandırmalarla değerlendirilir.

Genel olarak bu değerlerin dikkate aldığı malzeme özellikleri Granülometri ve Atterberg limitleridir. Taban zeminlerinin bu limitler bakımı ile dona karşı duyarlılıkları tabloda sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.2 Yol taban zeminlerinin dona karşı duyarlılıkları ( B. Çağlarer, K.G.M 1997)

Dona Duyarlılık Sınıfı	Ana Zemin Tipi	(0.02 mm)'den Küçük Malzeme Yüzdesi %
Dona karşı çok az duyarlı	a) Çakıllar,kum-çakıl karışımları	3-10
Dona karşı az duyarlı	a) Çakıllar,kum-çakıl karışımları	10-20 3-15
Dona karşı duyarlı	a) Çakıllar,kum-çakıl karışımları b) Kumlar(siltli kumlar hariç ) c) Killer	> 20 > 15 --
Dona karşı duyarlı	a) Siltler b) Çok ince siltli kumlar c) Killi siltler d) Tabakalı killer ve tabakalaşmış ince daneli zeminler	-- > 15 -- --

#### 4.9 Yol Platformunda Don ve Buzlanma Etkileri

Don ve buzlanma etkileri yol üstyapısına yer yer şiddetli dalgalanma hareketlerine sebep olur. Bu hareketler yol kaplama yüzeyinin proje dizaynında beklenen işletim kriterlerini bozar. Don etkisi ile sonunda tabanın taşıma gücü azalarak normal yükleri dahi taşıyamaz hale gelir. Yolun don tesirleri ile bozulması her yıl tekrarlanacak olan pahalı bakım masraflarını giderek arttıracak ve parasal israfın yanında zaman israfına da yol açacaktır. Don tesiri kendisini iki farklı şekilde göstererek yol bozulmasına neden olur. Bunlar; don çözülmesi ve don kabarmasıdır.

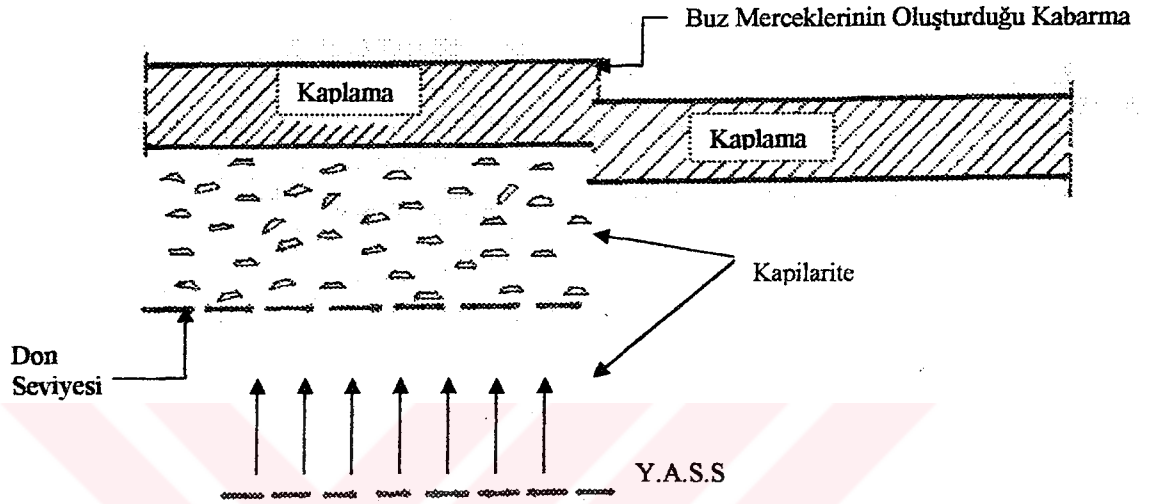
##### 4.9.1 Don çözülmesi

Dona duyarlı zeminlerde,kil oranı %20'den fazla bulunduğu durumlarda drenaj yetersizliği sebebi ile uzaklaştırılamayan su, yük taşıma kapasitesinde büyük düşüslere neden olur.

Özellikle sıcak iklimin gelmesi ile asfalt kaplamaya yakın yükseklikte olan don halindeki suyun erimesi ciddi bir problemin başlangıcıdır. Çünkü ısının etkisi ile eriyen su yerçekimi etkisi ile aşağılara doğru akmak isteyecek, fakat alt tabakalardaki don tabakasını aşamayacaktır. Erimiş halde bulunan su bu nedenle eridiği tabaka içinde kalacak ve zemini terk edemediği için üstyapıyı yumuşatmaya başlayacaktır. Başlangıçta var olan drenaj yetersizliği nedeni ile yolda kalan su tabakalar ve kaplamada bozulmalara sebep olacaktır.

#### 4.9.2 Don kabarması

Yollarda don etkisi bakımından en sakıncalı ve istenilmeyen su etkisidir. Don kabarması taban zeminine birikmiş nemin donması sonucu etrafındaki kapiler suyu da alarak şişmesi ve hacmini arttırmasıdır.



Şekil 4.3 Yoldaki Don Kabarması

Kabarmalar yol güzergahı boyunca üniform olmadığından kaplama tabakasında bükülmeler ve bozulmalar meydana gelir. Meydana gelen bozulmaların gözlemlenmesi yanında, don kabarmasının tehlike boyutunu değerlendirmek için AASTHO projelendirme yönteminin aşağıdaki üç kriterine bakmak gereklidir. Bunlar;

- Don kabarması yüzdesi
- Maksimum potansiyel servis yeteneği kaybı
- Don kabarması olasılığı

Don kabarması, yol güzergahının oturduğu zemin üzerine AASTHO' nun belirlediği kriterleri uyarınca yeterli bir kalınlıkta dona duyarlı olmayan bir malzeme tabakası ile önlenabilir. Bir başka alınabilecek tedbir ise kaliteli ve sürekli sağlanacak olan bir drenaj sistemi tatbikidir. Drenaj kalitesi yollarda görülen don kabarması problemini suyu mekandan uzaklaştırabilme hızına göre değerlendirilir.



ıkarlar ve burada toplanırlar. Toplanan bu tuzlar zemin gözeneklerinde kristalleşerek zeminin yapısını bozarlar. Bu soruna kısaca ‘tuz kusması’ adı verilir.

Tuz kusması aynı zamanda yol altından geçen yahut zemin altında bulunması muhtemel olan madeni boruların hızla korozyona uğramasına neden olur. Bu tip paslanmada anaerobik sülfat yiyici bakterilerin rolü olmaktadır. Bu organizmalar metal yüzeylerinde meydana gelen galvanik pillerin katodik elemanlarından çıkan hidrojeni kullanarak zemindeki sülfatları azaltmaktadırlar. Böylece polarizasyon durdurulmuş ve oksijen yokluğunda paslanma olayına imkan verilmiş olunur. Bahsi geçen problemler çoğunlukla killi zeminlerde görölmektedir.



## BÖLÜM V

### TRAFİK VE SU ETKİSİ

Ulaşım ihtiyacının, hız konfor ve güvenlik içinde yapılabilmesi, modern yollar ile mümkündür. Modern bir yoldan kasıt; yolun çevre ve trafik etkisinden en asgari şekilde etkilenecek proje ömrü boyunca kullanıcılarına genel ulaşım kriterleri içerisinde hizmet verebilmesidir. Ülkemizdeki karayollarında meydana gelen kazaların tutanaklarına bakıldığında, karayollarımızın modern ve güvenli oldukları sanılabilir. Çünkü çok ciddi sayılarda meydana gelen ölümlü kazalara rağmen yol kusurları ancak % 0,01 civarında gözükmektedir. Bu oran Avrupa Birliği ülkelerinde % 2-3 civarlarındadır. Aradaki bu çok büyük açıklık, bizdeki kaza tespit tutanaklarında, yol kusurlarının gösterilmediğini, nadiren gösterilse bile bu bilgilerin istatistiksel olarak göz önüne alınmadığını açıklamaktadır.

Tablo 5.1 Türkiye’de trafik kaza kusurlarının dağılımı ( E.G.M 1999)

KUSUR	%
Sürücü	96,48
Yolcu	0,21
Yaya	2,77
Araç	0,53
Yol	0,01

Tablo 5.2 Dünyadaki bazı ülkelerde kaza kusurları ( Meclis Trafik Komisyonu Raporu 2000 )

KUSUR	İngiltere %	A.B.D %
Yalnızca Yol	2	3
Yalnızca Yolu Kullanan	65	57
Yalnızca Araç	2	2
Yol ve Yolu Kullanan	24	27
Yolu Kullanan ve Araç	4	6
Yol ve Araç	1	1
Her Üç Kusur Beraber	1	3

## 5.1 Yağmur Etkisi

Yağışlı günlerde ölümlü sonuçlanan trafik kazalarının açık günlerde meydana gelen kazalara oranla fazla olduğu söylenebilir. İngiltere gibi çok yağmurlu ve kapalı bir ülkede yapılan gözlemlere göre; yağmursuz günlere göre yağmurlu günlerde kazaların % 30 oranında arttığı saptanmıştır. Trafik esnasında özellikle yağmur yağışının meydana getirdiği sorunlar; kötü görüş şartları, kayma direncinin düşmesi, şevlerde toprak kayma tehlikesinin artması, gece yolculuklarında su filmi tabakasının gözleri kamaştırıcı ışık yansıtması ve aşırı yağışlarda yol yüzeyinde biriken suyun trafik etkisi ile etrafa sıçraması olarak sıralanabilir. Bunlardan birkaçını açıklarsak.

## 5.2 Kayma direncinin düşmesi

Kayma direncini ıslak bir yol yüzeyinin makro ve mikro dokusuna bağlıdır. Mikro doku yol yüzeyindeki su filmi parçalayarak tekerlek lastiğinin agrega ile temasını sağlarken, makro doku yol yüzeyi üzerindeki suyun drene olmasını sağlayarak su yastığı probleminin meydana gelmesini engeller. Prensipinde yağmurlu bir anda yol kaplamasındaki makro ve mikro dokunun kayma direncini sağlayıcı bu işlevleri; yolda meydana gelen bozulmalar ve drenaj yetersizliğinin büyümesi nedenleri ile görevlerini yapamaz hale gelebilirler. Yağmurun yol güvenliği açısından meydana getirebileceği en tehlikeli durum da budur. Mikro doku bozularak kayma direncini azaltacak, yol ile lastik arasındaki sürtünme katsayısını düşürecek ve böylece aracın fren mesafesi artacaktır

Kazalardaki; bilirkışı raporlarında sıkça kullanılan fren mesafesi formülünde açıklanan bu durum, daha rahat görülebilir.

$$L = \frac{V^2}{2g(f+e)} + 0.75V \dots\dots\dots(5.1)$$

Burada;

- L Fren mesafesi (m)
- g yerçekimi ivmesi (m/sn<sup>2</sup>)
- f yol ile lastik arasındaki sürtünme katsayısı
- e yol eğimi (tan θ )
- V aracın fren yapmadan önceki hızı ( m/sn )

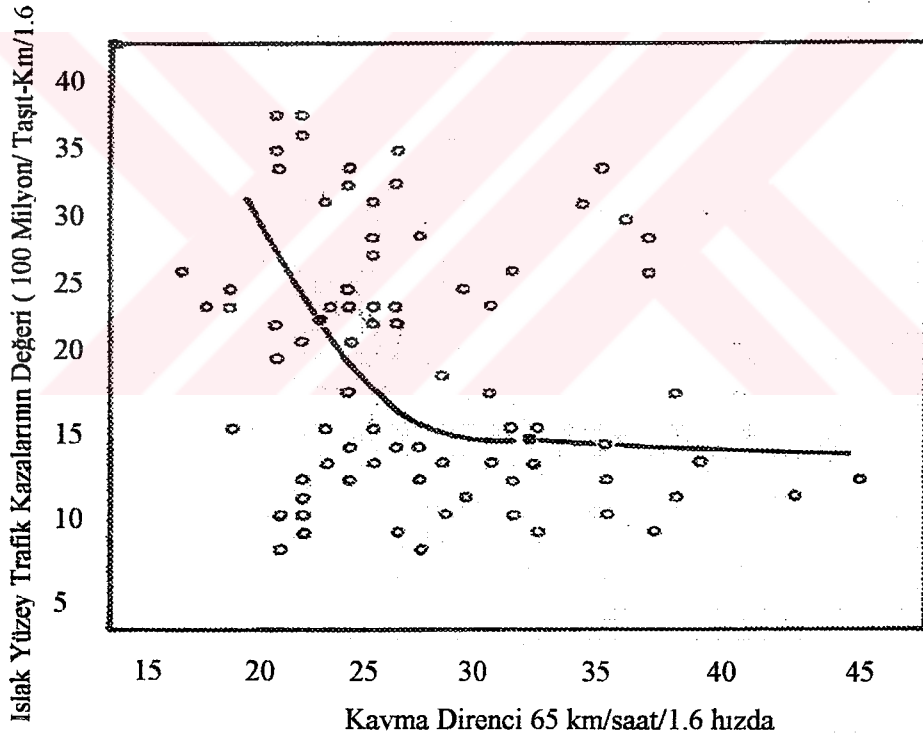
0.75 V sürücünün intikal süresince aldığı yoldur.

Fren mesafesinde önemli bir etken olan sürtünme katsayısının yol kaplamasına ve yol durumuna göre değişimleri şu dağılımdadır.

Tablo 5.3 Yol kaplaması ve yol durumuna göre sürtünme katsayıları ( Yol İnşası N. Yayla, F. Umar 1986)

Yol durumu	Asfalt	Beton	Makadan Kap.
Kuru	0,60	0,75	0,50
Islak	0,35	0,55	0,35
Islak Kirli	0,25	0,40	0,25

Sürtünme katsayılarına göre kuru bir yolda 90 km/saat hızla giden bir aracın fren mesafesi 55 metre iken bu oran ıslak kirli bir yolda 160 metreye kadar çıkmaktadır. Şekil 5.1 gösterildiği gibi bu olay kayma direnci yüksek olduğu yol kesimlerinde trafik kazalarındaki azalışı açıklayabilmektedir.



Şekil 5.1 Islak yüzey – kayma direnci trafik kazaları dağılımı ( PIARCH 1985)

Şekil 5.1’de verilen dağılımda 65 km/saat hızla giden bir araçla yol arasında bulunan kayma direnci oranının yol yüzeyi durumuna göre değiştiği gösterilmiş, kayma direncindeki azalma problemleri nedeni ile yıllık ortalama 100 milyon/taşı/km kaza sayısının artışı belirtilmiştir. Şekilde küçük çemberler ile gösterilen ıslak yüzeyler yol platformlarında arttıkça kayma direnci düşmekte ve ortalama kaza sayısı artmaktadır. Söz

konusu araştırma İsviçre karayollarında yapılmış olması, ülke şartlarındaki yağışlı gün sayısının çok olması nedeni ile kaza oranlarını belirginleştirmiştir.

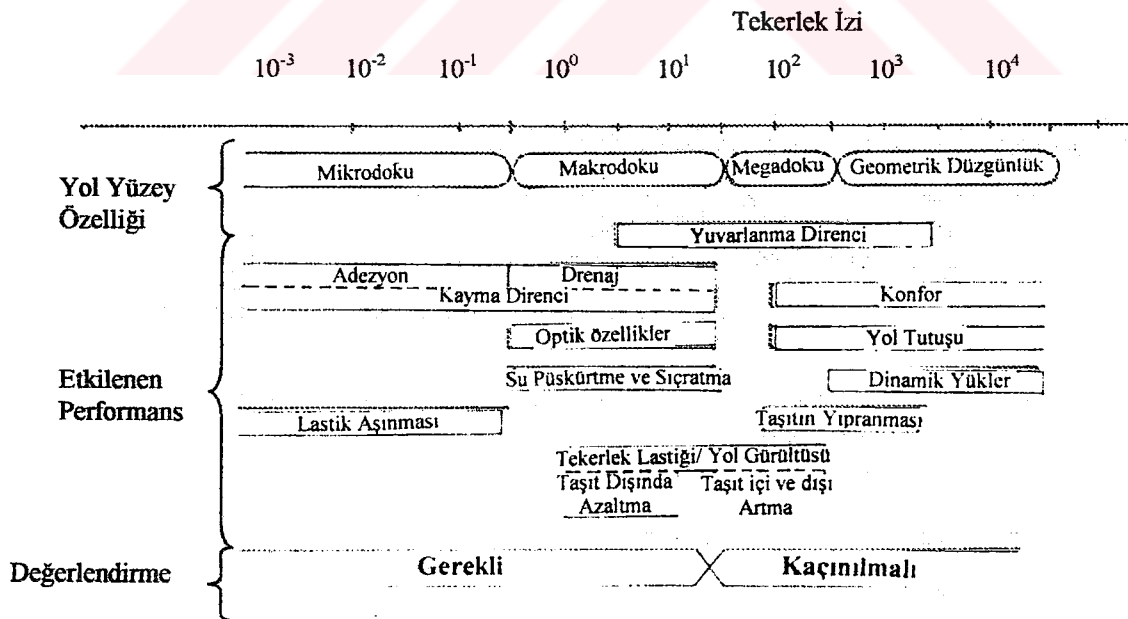
### 5.3 Yol Tutuşu

Tekerlek lastiğinin yol yüzeyi ile temasının en iyi olduğu (kayma direncinin en yüksek değerde bulunduğu) haller tekerlek lastiği düşey hareketinin olabildiğince sabit olduğu hallerdir. Tekerlek lastiğinin düşey hareketinin olabildiğince sabit olduğu durumu sağlayan frekans değeri 5 ile 20 Hz arasındadır. Bu frekansların oluşmasına yol açan boyuna geometrik düzgünlük değerleri 0.5 m ile 8.0 m arasındadır. (PIARC 1975) Bu değerlerin çevre şartları ve su etkisi ile bozulması ve değişmesi tekerlek yol arasındaki yol tutuşunun azalmasına neden olur.

### 5.4 Su Püskürtme ve Sıçratma

Su püskürtme ve sıçratmasının hangi yol yüzey özelliği ile ilişkili olduğu, konu üzerinde yeterince araştırma yapılmamış olması nedeni ile tam olarak bilinmemesine rağmen, yol yüzeyinin su püskürtmesinin ve sıçratmasının azaltılması için drenajının iyi olması ve yol yüzeyindeki su filmi kalınlığının en düşük seviyelerde bulunması gerektiği bilinmektedir.

PIARC (Uluslararası Yol Kongreleri Daimi Birliği) tarafından 1987 yılında gerçekleştirilen Brüksel kongresi sırasında hazırlanan raporda yol yüzey özelliklerinin çevre şartları ile arasındaki ilişki Şekil 5.2'de sunulmuştur.



Şekil 5.2 Yol yüzeyi trafik güvenliği (PIARC 1986 )

### 5.5 Don ve Buzlanma Etkisi

Kış aylarında  $(0)^0$  nin altına düşen sıcaklıklarda, yol yüzeyinden uzaklaştırılmayan suyun donması ile yollar kayganlaşmakta ve kızaklanma etkisi ile kazaya neden olmaktadır. Yol yüzeyinin  $(0)^0$  nin altına düştüğü günler don tutacağıının göstergesi olduğundan, bu günler yol güvenliği bakımından önem taşır. Bu günlere (DDG) ile isim verilir. DDG, (Donma Derece Günler) buna benzer olarak EDG (Erime Derece Günler) olarak tanımlanır. DDG ve EDG, herhangi bir gün için o günün ortalama sıcaklığı ile  $(0)^0$  taban sıcaklığı arasındaki farktır.

Derece günler  $(0)^0$  nin üstünde ise buraya Erime Derece Günler (EDG),  $0^0$  nin altında ise Donma Derece Günler (DDG) olarak kabul edilir. Yol güvenliği DDG nin artması ile azalır. Bu günlerde güvenlik için tuzlama vs, gibi önlemler alınır. DDG nin bir bölge için donma kapasitesi hakkında bilgi vereceğinden, yoldan don kaldırılmasının ekonomik giderleri ile zaman olarak alacağı süre yaklaşık olarak bilinebilir. Don ve buzlanma olmadan önce DDG sayesinde yolların don etkisine maruz kalacağı bölgeler termal haritalama ile saptanarak güvenlik problemi taşıyacak yollar, öncül tuzlama ile güvenli hale getirilebilir.

## BÖLÜM VI

### KARAYOLU DRENAJ VE ÇEŞİTLERİ

Drenaj, karayolu güzergahı ile ilgili yağış havzasına, yağmur, dolu ve kar halinde düşen ve doğal yataklardan akan, yada çukur yerlerde biriken yüzeysel sularla; zemin daneleri arasında, boşluklarda durgun veya akar halde bulunan yer altı sularının yola ve çevreye zarar vermeyecek şekilde kontrol altına alınıp uzaklaştırılmasıdır. Drenaj aşağıda sıralanan temel prensipler için yapılır.

**1- Hidrostatik Basıncın Meydana Gelmemesi İçin:** Platform etrafından karayolu üstyapısına su sızabilir. Sızan su drenaj ile hızlı bir şekilde uzaklaştırılmazsa yolda bir hidrostatik basınç meydana gelir. Hidrostatik basınç üstyapının yer yer bozulmasına neden olur.

**2- Kapiller Suyun veya Su Buharının Yükselmemesi İçin:** Tabanın üzerine iyi harmanlanmış kapalı gradasyonlu bir asfaltlı tabaka konulması, suyun kapiller kuvvetler etkisi ile zeminden üstyapıya doğru hareketini engeller. Bu şekilde geçirimsiz tabakası olmayan yollar için drenaj en önemli koruyucu unsurdur.

**3- Yüksek Su Seviyesini Dengele Tutmak İçin:** Mevsimden mevsime değişen su seviyesi, özellikle şiddetli yağmur mevsimlerinde ortalama yükseklikten birkaç metre yukarıya çıkar. Yol platformu için siyah kot seviyesine ulaşabildiğinde yer altı su seviyesi yol stabilitesini bozabilir. Bu yüzden YASS ini belirli bir seviyede tutmak için drenaj mutlaka uygulanmalıdır.

**4- Suyun Üstyapı İçinde Akmasını Önlemek:** Üstyapının su geçirgen tabakalarındaki su, drene edilmediği takdirde, üstyapı içinde takip edeceği bir yol izi oluşturur. Bu yol izi boyunca su; birikeceği sızdırmaz bir tabakaya kadar ilerler..Bu hareket hem zeminin su tutarak hidrostatik basınç meydana gelmesini, hente zemin mukavemetinin düşmesine neden olur. Drenaj sistemleri iki ayrı kısımda incelenir ve buna göre dizayn edilir.Bunlar yüzeysel drenaj ve yer altı drenajıdır.Yüzeysel drenaj üstyapı platformunda suyun uzaklaştırılmasını kapsar. Aynı zamanda yüzeysel drenaj, bu suyun yeraltına geçmesine engel olur.Yer altı drenajında ise, yerçekimi etkisi ile akan serbest su, kılcallık sebebi ile oluşan kapiller su ve nemden dolayı oluşan su buharı varlığı ile meydana gelen (yada

gelmesi muhtemel olan) problemlerle ilgilenir. Dolayısı ile yer altı drenajını zemin özellikleri ve su hareketleri ile beraber; yol stabilitesinden kriterler belirler.

## 6.1 Yüzeysel Drenaj

Yağışlar ardından oluşan yüzeysel sular, yol kaplaması ve banket ile yarma, dolgu şevlerinde erozyona sebep olur. Yol yüzeyinden uzaklaştırılmayan suyun, taşıt lastiği yol yüzeyi arasında sürtünme katsayıları azaltılarak taşıtların kontrolsüz bir şekilde kaymalarına neden olması da üzerinde durulacak bir başka gerçektir.

### 6.1.1 Yol kaplama yüzünün drenajı

Yoldan beklenen hizmet kalitesinin artması ve trafik emniyeti kavramının önemsenmesi, nedeni ile yol yüzeyi drenaj uygulaması güçleşmiştir. Geniş ve çok şeritli yollar, suya maruz kalan alanı arttırmış dolayısı ile yoldan uzaklaştırılacak su miktarını fazlalaştırmıştır. Bu nedenle kaplama yüzünün kurutulmasındaki güçlük ile yol platformunu kaplayan sulardan ileri gelen problemler, kazalara neden olmaktadır. Yol yüzeyinden suyun uzaklaştırılmasında kullanılan ilk işlem yola boyuna ve enine eğimler vermek ve suyu yerçekimi kuvveti ile uzaklaştırmaktır.

**Kaplama Boyuna Eğimi:** Kaplama tabakasından suyun yüzeyden uzaklaşmasını sağlayacak hareketi için boyuna eğim verilir. Boyuna eğim % 5 sınırına kadar ihtiyaç duyulduğunda yükseltilebilir.

**Kaplama Enine Eğim:** Drenaj gerekliliği ve trafik emniyetine karşı yol hizmet kalitesi ile sürüş konforu arasında yol eğimi miktarı konusunda bir çatışma vardır. Trafik açısından, enine eğimin büyük olması sürücüyü rahatsızlık vermesinden, istenmez. Fakat bu iki bakış arasında yol yüzeyinde su toplanmasını asgariye indirecek standartlar çerçevesinde bir enine eğim olmalıdır.

AASHO'nun ' A Policy On Geometric Desing of Rurol Highways' adlı yayınında enine eğimler, değişik hizmet tiplerine göre sınırlandırılmıştır.

Tablo 6.1 Yol yüzeyi enine eğim değerleri ( Yol İnşaatı N. Yayla, F. Umar 1986)

Yol Yüzeyi Tipi	Eğimler
Yüksek Hizmet	0,01-0,02
Orta Hizmet	0,015-0,03
Düşük	0,02-0,4

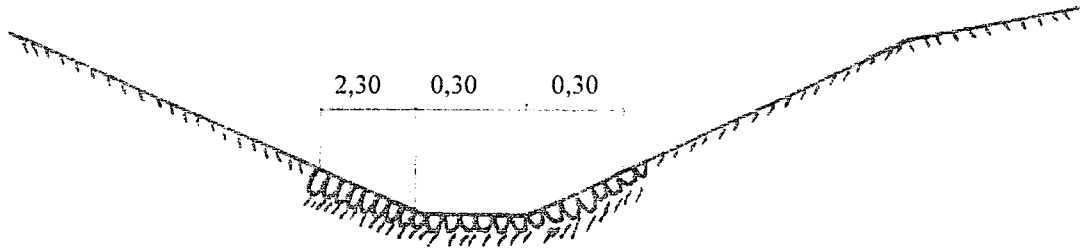


### 6.1.2 Hendekler

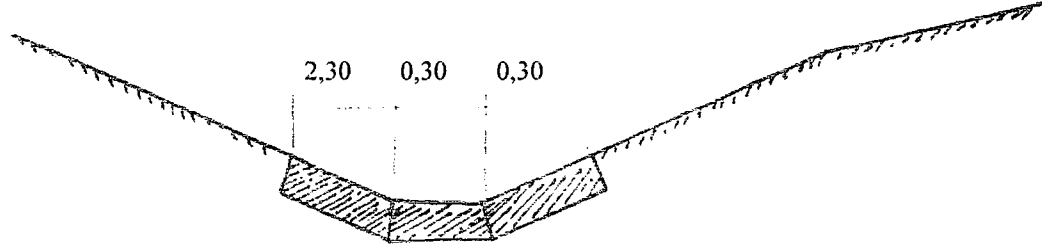
Kaplamadan ve kaplama altı drenlerden gelen suyu taşımak için inşa edilirler. Hendeklerden beklenen işlev yol sathından gelecek suyun tamamını taşıyacak kapasitede olmasıdır. Bunun için hendek dizaynında dikkat edilecek konular akışın hızı, hacmi ve meyil kaplamasının pürüzlülüğüdür. Hendek dizaynında en önemli unsur akan suyun ideal hızıdır, Hız; akan bütün malzemenin hendek dibinde çökelmeyeceği kadar yeterli, erozyona sebep olmayacak kadar dengeli olmalıdır. Bu hız yaklaşık olarak 1 m/sn olarak kabul edilmiştir. Hendekler, kenar hendekleri ve kafa hendekleri olarak iki kısımda incelenirse.

**Kenar Hendekleri:** Kenar hendekler yol platformunu, yarma şevleri ve varsa yer altı drenaj tesislerinden gelecek olan suların toplanıp uzaklaştırılmasını sağlar. Kenar hendekler, dolgu şevlerinden ziyade çoğunlukla yarma şevlerinde kullanılır. Hendeklerin kesitleri üçgen yamuk veya trapez olarak yapılsa da; kullanım ve bakım kolaylığı yönüyle KGM tarafından üçgen kesitler tercih edilmektedir. Hendek yüzeyleri, genel inşa prensibi olarak toprak halinde bırakılır. Fakat yol eğiminin fazla ve hendek zeminin oyulmaya karşı direncinin az olduğu durumlarda hendek yüzeyleri taş veya beton ile kaplanabilir.

Kaplamanın bir başka amacında sürüntü maddelerinin kolaylıkla çökelp, hendeğin kısa sürede dolmasını önleyecek; ihtiyaç duyulan akım hızını verebilmektir.

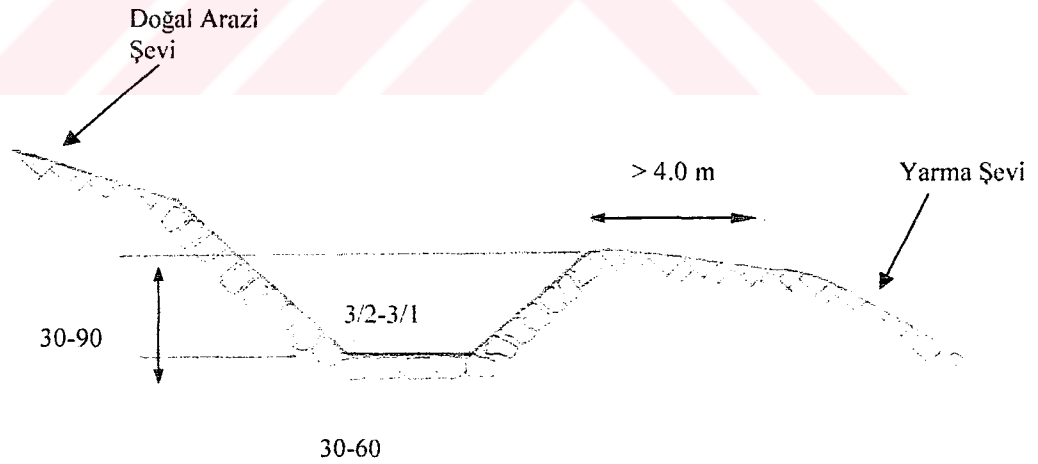


Şekil 6.1 Kenar hendeği kesiti ( taş dolgu )



Şekil 6.2 Kenar hendeği kesiti (grobeton )

**Kafa Hendeği:** Kafa hendekleri özellikle erozyona müsait arazilerde, yamaçlardan gelen yağış ve sızıntı sularının yarma şevlerini bozup sürüntü maddelerinin kenar hendeğini doldurmasını önlemek için yarma şevinin (4-10 ) m uzağına olmak üzere şev boyunca inşa edilir. Kafa hendekleri, yarma şevlerinin göçmesini kolaylaştıran suları toplayıp uzaklaştırması bakımından önemli bir fonksiyonu yerine getirmektedir.

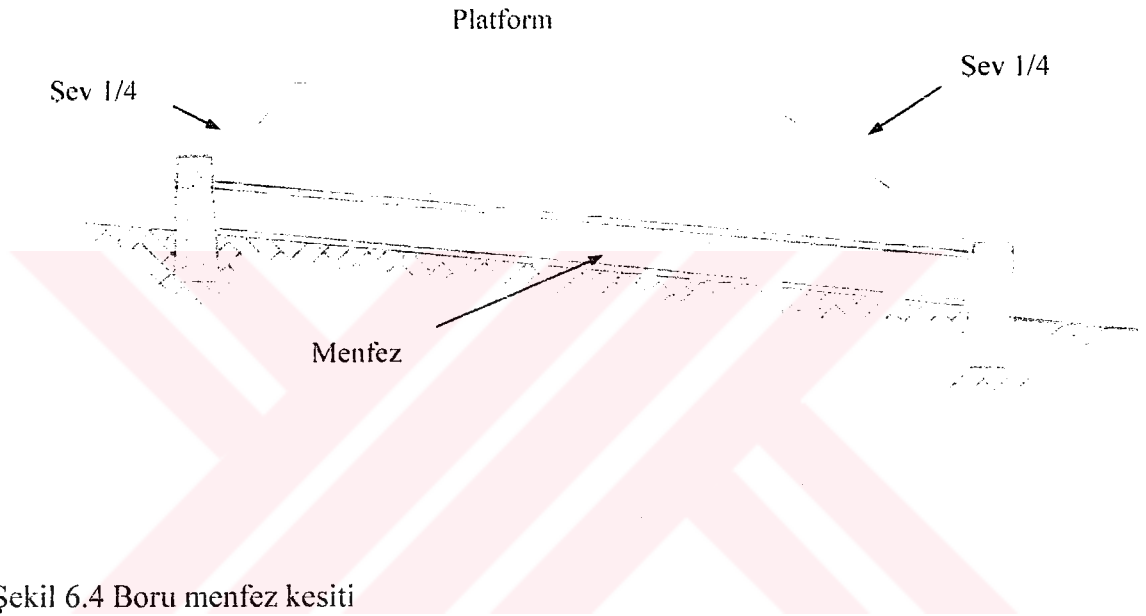


Şekil 6.3 Kafa hendeği kesiti

### 6.1.3 Menfezler

Menfezler sürekli akan yağış sonucu oluşan küçük akarsuları yol gövdesinin bir tarafından diğer tarafına geçirmede kullanılan hidrolik sanat yapılarıdır. Kara yollarımızda kullanılan dört tip menfez vardır. Bunlar; Boru Kutu, Kemerli, ve Tabliyeli menfezlerdir.

**Boru Menfezler:** Yüksek olmayan dolgu altlarında kullanılırlar. Beton veya betonarme olarak daire kesitli veya sepet kulplu şekillerinde dökülürler. Yüksekliği fazla olan dolgularda kırılma olasılığı yüzünden kullanılamazlar. Genellikle (0,6-0,8-1-1,2) m çapında inşa edilir ve borunun memba ve mansap ağzlarına aşındırma etkisini azaltmak için beton veya kagirden baş duvarlar yapılır. Kara yollarımızda genellikle sepet kulplu yerinde dökme büzler kullanılır.

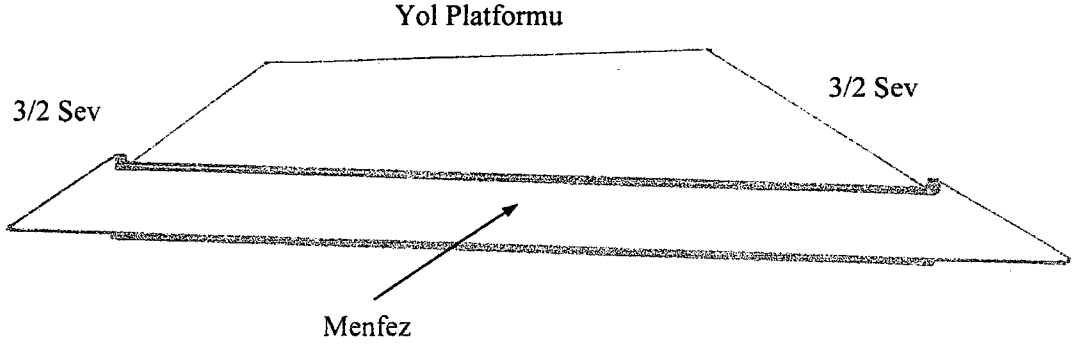


Şekil 6.4 Boru menfez kesiti

**Kutu menfezler :** Bu menfezler; genellikle serbest açıklıkları (1-3 ) m ve serbest yükseklikleri (0.6,-3) m ölçütlerindedirler. Betonarme olarak inşa edilip memba ve mansap tarafında kanat duvarları bulunur. Belli bir açıklık ve yüksekliklerde bulunmak üzere tek gözlü ve çift gözlü olarak standart hale getirilmişlerdir.

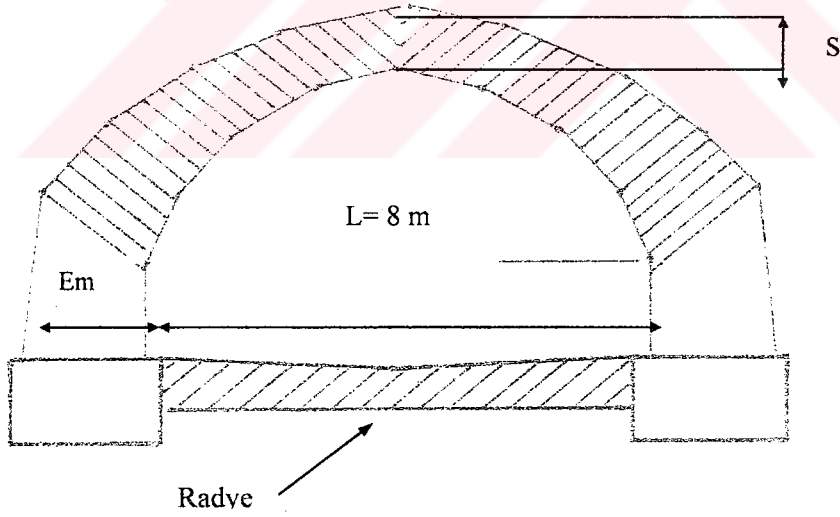
Kutu menfezlerin yapımı sırasında şunlara dikkat edilir.

Menfez taban betonunun temiz ve düzgün bir yüzeyde olabilmesi için kutu menfezin altındaki zemin üzerine 5 cm kalınlığında 150 grobeteon dökülür. Menfezin yapılacağı kesitte arazi farkı kırıklık gösteriyor ve tek eğimde menfez yapmak fazla kazı gerekiyorsa menfez arazi eğime uydurularak analor halinde yapılır ve arasına dilatasyon derzi yapılır. Menfezin üzerine yapılacak dolgu, menfezin iki tarafında aynı zamanda teşkil edilmelidir ve sıkıştırmaya özen gösterilmelidir. Su akım hızı yüksek olan fazla taş ve sürüntü maddesi getiren akarsularda radye üzere taşla kaplamalı ayrıca yan duvarların aşınma etkisine maruz kalan kısımlardaki paspayı kalınlaştırılır.



Şekil 6.5 Kutu menfez kesiti

**Kemerli Menfezler:** Boru ve kutu menfezler ancak dolgulardaki belirli bir yüksekliğe kadar uygulanabilirler. Yüksek dolgular altında kemerli menfezler kullanılır. Bu menfezler kagir yada beton olurlar. KGM tarafından, serbest açıklığı (0.70-0.90) arasında boyutlandırılmış tip projeler bulunmaktadır.



Şekil 6.6 Kemerli menfez kesiti

**Tabliyeli Menfezler:** Beton veya kagir kenar ayaklar ve ricat duvarları ile üst tabliyeden oluşurlar. Açıklıkları 1,2 ile 15- 70 metreler arasında değişir. Ayaklar arası açıklıklar ne olursa olsun iki kenar ayak mesnedi arasındaki mesafe 8,00 olmalıdır. 8,00 m den büyük olduğu takdirde bu yapı köprü sınıfına girer.

Kenar ayağının ortasındaki kalınlık ( Em ), kemerin üzerindeki dolgu yüksekliğine göre değişir. Kenar ayaklar 250 dozlu çimento harçlı kagirden yapılır. Kemerin ortasındaki ( S ) kalınlığında dolgu yüksekliğine bağlıdır. Duruma göre, suyun aktığı kısma 25-30 cm kalınlıkta harçlı kagir yada beton radye yapılmalıdır.

## 6.2 Yer Altı Suyu Drenajı

Yüzeyden sızan ve yüzey altındaki toprağın ihtiva ettiği serbest suya yeraltı suyu denir. Yeraltı suyu yağmur veya eriyen karın toprak tarafından emilmesi ve su geçirmez bir tabakaya kadar ulaşmasının sonucudur. Yeraltı suyu drenajı satih altında bulunan bu su muhtevasının zemin stabilitesine zararlı durumlar içinde bulunduğu takdirde yapılan bir çalışmadır.

Yeraltı drenajının yapılmasının nedenleri olarak

- Sahada yüksek su seviyesinin mevcudiyeti
- Üst yapı altında faal kaynak yada su akımının varlığı
- Yeraltı suyunun üst yapı tabakalarına girmesi
- Yükseltilmiş ettirilmiş bir refüj
- Kenar hendekleri

Drenaj yapımına başlanılmadan önce; İlk toprak etüdü esnasında üst yapı tabakalarına suyun girebileceği su sızma yerlerinin tespiti, üst yapıya sızma veya süzülme sebebi ile girebilecek suyun maksimum miktarının tespiti, Drenlerin tıkanmasını önleyecek filtre malzemesi için uzun ömürlü ve uygun bir agregat kaynağı tespit etmek ve bu malzemelerin kaplamanın ömrü için bütün ihtiyaçlara cevap veren elverişli kapasitede bir dizaynla kombine etmek gerekir.Yeraltı suyu drenajı problemlerinin çözümü bir çok jeolojik ve zemin mekaniği bilgilerini gerektirir. Drenaj tip ve sisteminin seçilmesinde ana belirleyici öge elbette ki zemin tabanı şartları hakkındaki bulgulardır.Bunun yanında drenaj çalışmaları öncesinde arazi araştırma ve yoklamalarında;

- Zemin ve Jeoloji çalışmaları
- Su derinliği ve düzeyini bulmak için sondaj çalışmaları

- Yarma şevlerinin yakınında gözlem ve yoklamalar
- Debi ölçmeleri

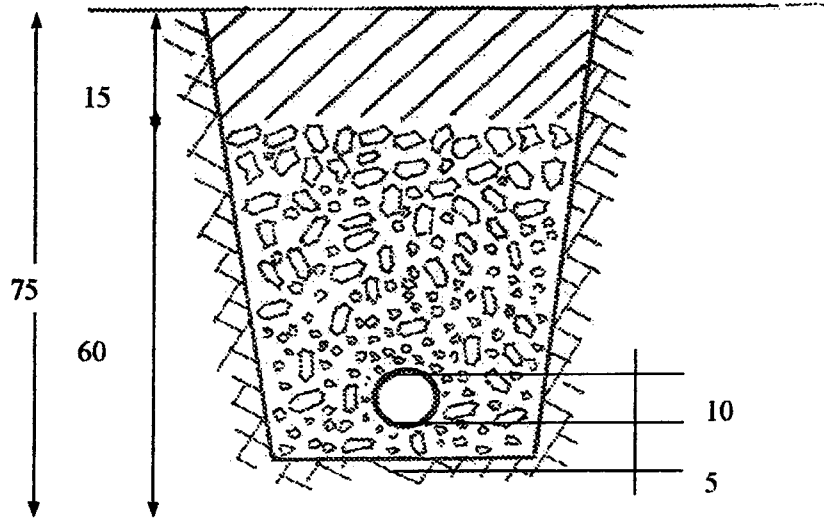
Yapılarak havza altı tanımlanır.

Yol stabilitesini ve güvenliğini sağlamak için su drenaj yöntemleri ve yapıları şunlardır.

- 1- Standart Büzlü Drenaj Hendekleri
- 2- Stabilizasyon Hendeği
- 3- Yatay Drenler
- 4- Düşey Kum Drenler
- 5- Yapay Düşey Drenler
- 6- Drenaj Galerileri
- 7- Şiltler

### **6.2.1 Standart büzlü drenler**

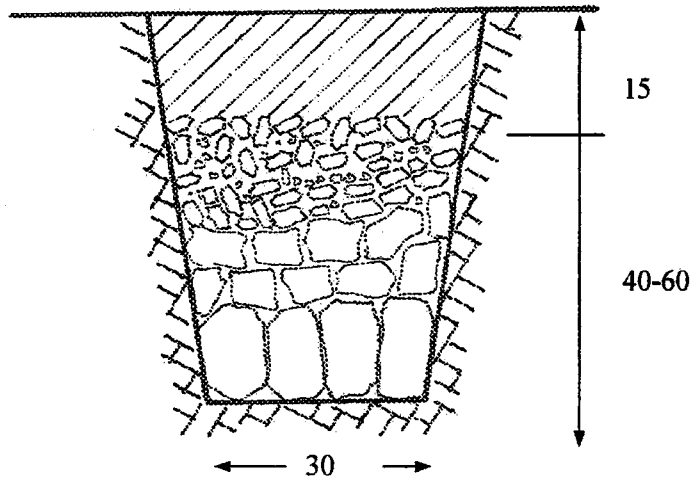
Standart büzlü hendekler genellikle yol eksenin paralel dar bir hendek ve dibinde metal beton asbestli çimento gibi malzemelerden yapılmış bir büzün üstünü örten filtre malzemesinden ve en üstte geçirimsiz zeminden bir tabakadan oluşur. Standart büzlü drenler: Şev stabilitelelerinde bir problem olmadığı zaman sızıntıları tutmak için yarma dibinde yol eksenine paralel olarak, imlaların şevleri dibinde imlaya paralel olarak, Yarma içinde yola çapraz olarak ve kabarık refüjlerde, ve refüj kenarında kullanılır. Ayrıca kaplama çatlaklarından girecek yada kaplamadan süzülecek suları almak üzere de drenaj hendekleri inşa edilir.. Bunlar kaplama kenarına konur ve pek derine indirilmez . Alt temel yada onun altındaki şilte yolu ile gelen suları alırlar. Yarmalarda platform yüzeyinin ortalarına rastlayan kısımların altında da drenaj hendekleri ihtiyaca göre yapılabilir. Bu hendekler genellikle tabanda görülen su gözeneklerinden geçirilir. Hem gözeneklerdeki yoğun halde tutulmuş sular hem de tabandaki yaygın sular alınmış olur. Bunların derinlikleri su muhtevalarına göre değişir. Su alımı sonunda mevcut suyu banket da hendek altına konan drenaj hendeklerine boşalırlar. Adı geçen drenlere kılçık drenler denir..



Şekil 6.7 Standart büzlü dren kesiti

### 6.2.2 Stabilizasyon hendeği

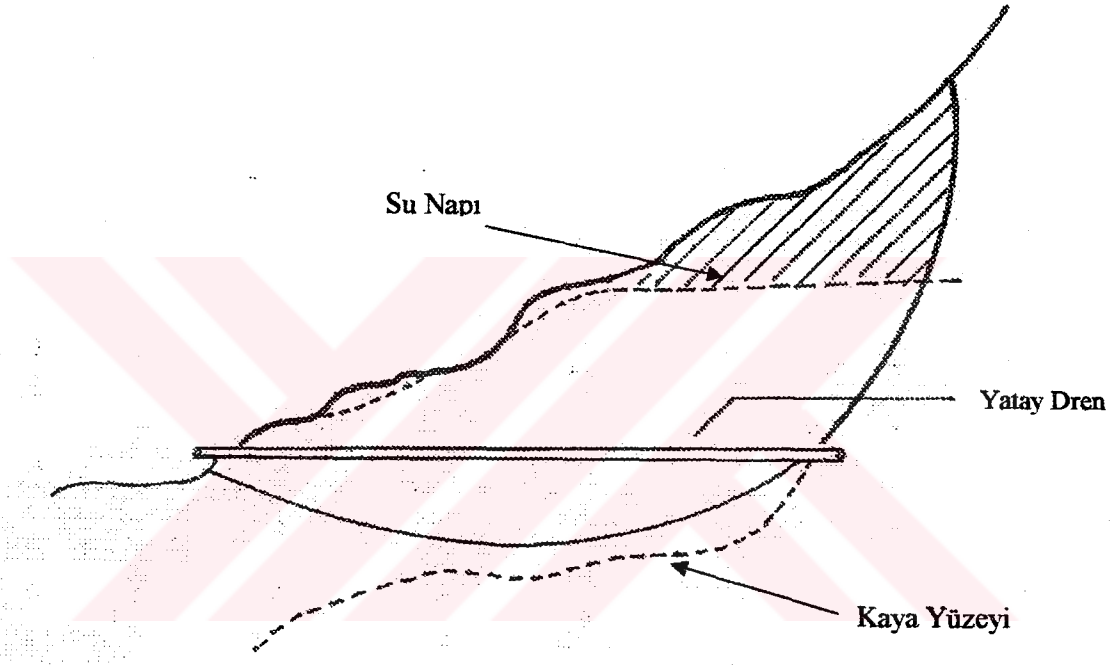
Geçirimsiz zemin çok derinde değil ve yer altı suyu yüzeye oldukça yakın ise stabilizasyon hendeği çok uygun bir drenaj sistemidir. Doğrultusu genellikle yol eksenine paraleldir. Stabilizasyon hendekleri standart büzlü drenaj hendeklerinden daha derin ve daha geniş olarak şevli halde yapılırlar. Hendeklerin topladıkları suyu dışarı atabilmek için uygun bir eğim gerekir. Eğim sayesinde boşaltım kanalı vasıtası ile sular dışarı atılmış olur.



Şekil 6.8 Stabilizasyon kesiti

### 6.2.3 Yatay drenler.

Yeraltı suyu bazen o kadar derinde olur ki, stabilizasyon ve standart hendeklerin bu derinlikteki suyu alacak kadar derin yapılması ekonomik olmaz. Eski yollarda bu durum için drenaj tünelleri ve galerileri yapılırken günümüzde daha ucuz ve kullanışlı olan yatay drenler kullanılmaktadır. Yatay dren bir yatay sondaj deliği ya da şevli bir kitle içinde açılmış yatay bir deliktir. Yatay drenler özellikle heyelanlardan korunması için heyelan hareket doğrultusu boyunca yerleştirilmesine dikkat edilir. Yatay drenlerin asıl fonksiyonu yarma ve dolgulardaki yamaç yüzey altı sularını tutup uzaklaştırmaktır.



Şekil 6.9 Yatay dren kesiti

### 6.2.4 Düşey kum drenler

Çapları 30-75 cm arasında değişen bir tür kuyucuklardır. Derinlikleri 30 metreye kadar varabilir. Kuyu aralıkları 3 – 6 m arasındadır. Kuyuların içleri gradasyonu kontrol edilmiş permeabilitesi yüksek ve diğer drenaj yapılarında kullanılan filtre malzemelerinden yapılmıştır.

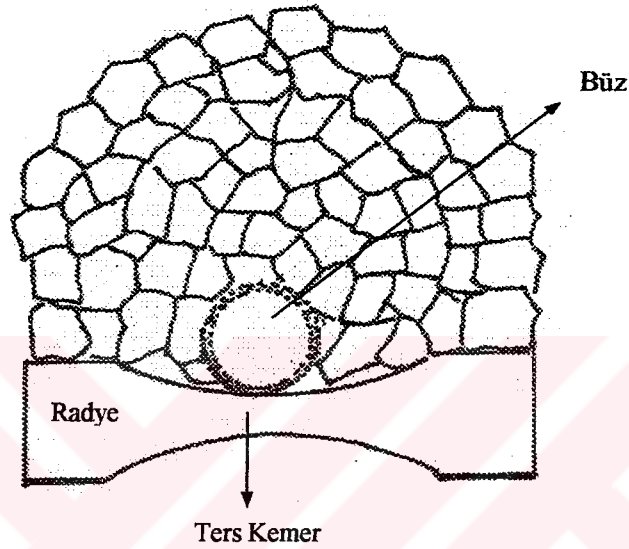
### 6.2.5 Yapay düşey drenler

Amaç ve sistem olarak düşey kum drenlere benzerler. Bu sistemde drenajı kum yerine zemine düşey olarak yerleştirilebilen dışları su geçirimli jeotekstil zarflı oluklu yapay drenler sağlar. Bu uygulama Gümüşova – Grede otoyolunda kullanılmıştır.



### 6.2.6 Drenaj galerileri

Yer altından alınacak suyun çok derinlerde olması halinde standart bzl drenaj hendekleri yada stabilizasyon hendekleri yapılması ekonomik değildir. Bu durumda yatay drenler yada drenaj galerileri kullanılır. Yatay drenlerin uygulamada pratik olması galerilere nazaran tercih sebebi olarak yaygınlığa sahiptir.

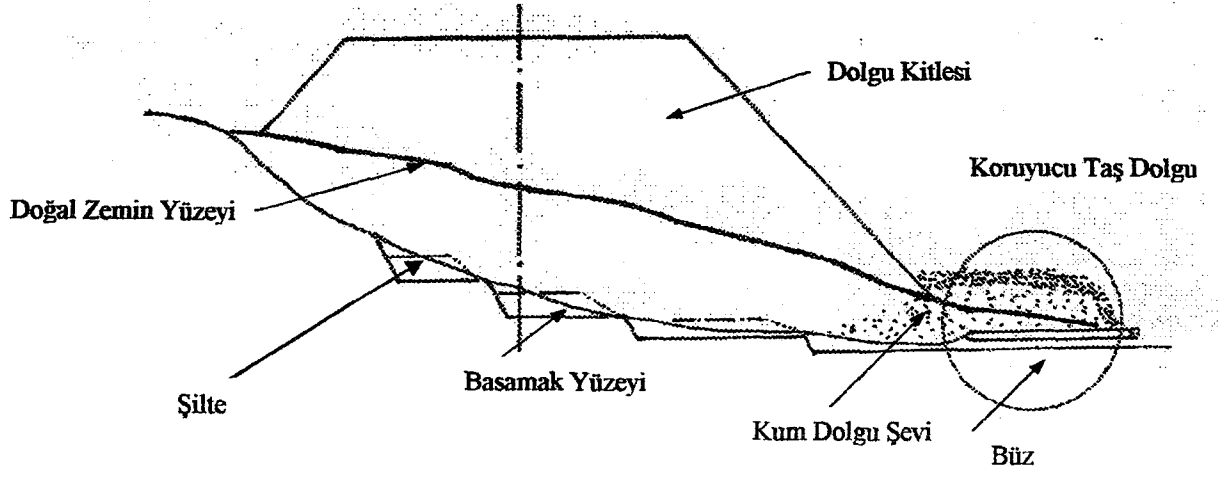


Şekil 7.10 Drenaj galerisi kesiti

### 6.2.7 Şilteler

Şilteler bir malzeme kitlesi yada tabakasıdır. Şiltede kullanılan malzemeden istenen nitelikler drenaj filtre malzemesinden istenen özelliklerin aynısıdır. Fonksiyonu genel olarak tabaka doğrultularına dik olan su sızmalarını tutmak ve bu doğrultudaki kapilariteyi azaltmaktır.

Tabakalar yatay yada düşey doğrultuda olabilirler. Şilteler; üst yapı altında, dolgu tabanında, su sızıntısı yaygın olan alanlarda, konsolidasyon yapan dolgu altlarında, destek yapıları arkasında ya da sanat yapısı temel yanlarında kullanılabilir.



Şekil 7.11 Dolgu tabanında şilte ve boşaltım düzeni

## BÖLÜM VII

### KARAYOLU DRENAJINDA YENİ UYGULAMALAR

Teknolojik gelişmeler, hayatımızda her aşamasında, olduğu gibi, inşa sektöründe de kendini göstermektedir. Karayolları için uygulanan drenaj sistemlerinde yeni malzemeler, gün geçtikçe sektöre katılmaktadır. Drenaj uygulamalarında geotekstiller, geçirimli üstyapılar ve grooving yöntemi bunlardan bazılarıdır.

#### 7.1 Geotekstiller

Zemin mekaniği problemlerinde (su yalıtımı) ekonomik ve kalıcı çözümler sağlamak amacıyla geotekstiller kullanılmaktadır. Geotekstiller polyester (PES) ve/veya Polipropilen (PP) elyaflarının iğneleme yöntemiyle birleştirildiği  $100 \text{ gr/m}^2$ 'den  $1000 \text{ gr/m}^2$ 'ye kadar geniş bir üretim kapasitesi olan dokusuz kaplama ürünleridir.

Geotekstil, zemin kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli bir tekstil ürünüdür. Yapımlarında kullanılan ana madde polimerlerdir.

Polimerlerden başka polipropilen ve poliesterlerde kullanılmaktadır. Geotekstiller imal edilirken kendilerinden beklenen işleve göre hammaddelerinin yanında ilave katkı maddeleri ile beraber üretilirler. Geotekstillerin başlıca türleri; lif, flaman şeritlerin kumaş gibi dokunduğu örgülü ve mekanik (iğneleme) ısı ve kimyasal yöntemlerle elyafların birleştirdiği örgüsüz tiplerdir. Örgüsüz geotekstillerin kalınlıkları 0-5-10 mm arasında, iğneleme yöntemi ile birleştirilenlerin ki ise 2-5 mm veya daha fazladır. Bunlara halk arasında keçe denilmektedir. Keçelerde genellikle kimyasal birleştirme yöntemi kullanılmaktadır.



Fotoğraf 7.1 Yol yüzeyine geotekstil serimi

Türkiye de % 75 oranında örgüsüz geotekstiller kullanılmaktadır. Geotekstiller, çekme dayanımı, gerilme–deformasyon özellikleri, sünme, delinme, yırtılma, patlama, sürtünme dayanımı gibi mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca geotekstillerde geçirgenlik gibi hidrolik, su ısı gibi kimyasal madde ve mikroorganizmalar gibi çevre şartlarına dayanım özelliklerine sahiptirler. Bu çok değişik kullanım amaçları bulunan geotekstillerin genel fonksiyonları şunlardır.

- Takviye
- Koruma
- Ayırma
- Drenaj ve Filtrasyon

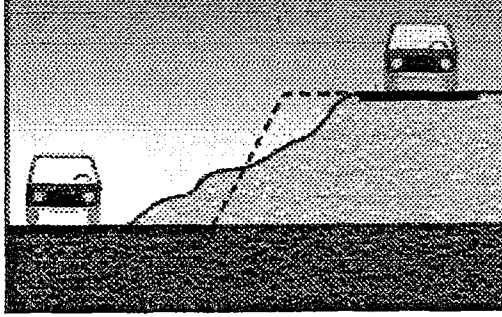
Bu fonksiyonlara kısaca değinirsek.

#### **7.1.1 Geotekstillerin Fonksiyonları**

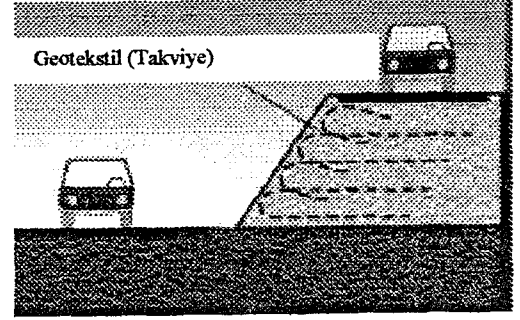
##### **• Takviye**

Toprak yapılarındaki zemin-geotekstil ilişkisi, betonarme yapılarındaki beton çelik ilişkisine benzer. Betonarme yapılarındaki çekme gerilmelerini çelik karşılar, zeminde ise bu görevi geotekstiller karşılamaktadır. Asfalt yolların altına serilen geotekstiller düşey yük vektörlerini kendi düzlemlerinde üniform olarak dağıtması ile zemine takviye oluşturur. Zeminlerin sınırlı kayma ve çekme dayanımına sahip oldukları göz önüne alınırsa, çok dik şevlerde, şev tabakalarına destek yapılması gereği karşımıza çıkar.

Zemin takviyesinde geotekstillerin bu soruna çözüm getirmesinden önce, yapıların ya düşük gerilmelere karşı koyacak şekilde yatık (şevli) tasarlanması gerekmekte veya istinat duvarları öngörülmekteydi. Bu tip projelerde geotekstillerin uygulanmasıyla beraber yer, zaman ve maliyet açısından avantajlar sağlanmış aynı zamanda kamulaştırma bedellerinde önemli ölçüde tasarruflar elde edilmiştir.

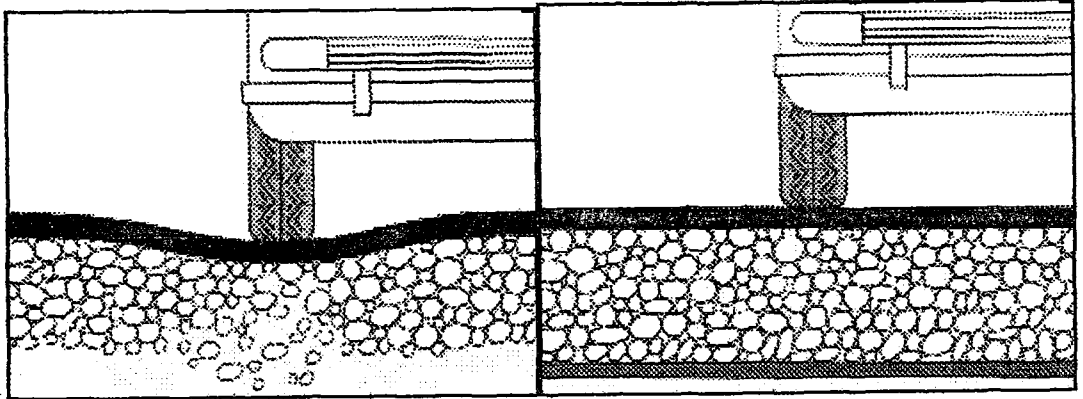


Şekil 7.1 Geotekstilsiz dolgu



Şekil 7.2 Geotekstilli dolgu

Geotekstillerin kullanımlarından elde edilen önemli avantajlardan biri de yol yapımında büyük ölçüde agrega tasarrufu sağlanmasıdır. Yollar geotekstillere sayesinde sabit bir agrega kalınlığı ile yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilmekte, bu bakımdan geotekstiller takviye fonksiyonu nedeni ile her türlü, yol demiryolu, havaalanı yapılarında tercih edilmektedir.



Şekil 7.3 Geotekstilsiz yüzey

Şekil 7.4 Geotekstilli yüzey

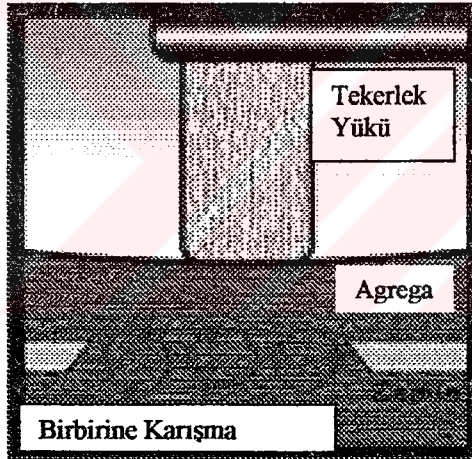
- **Koruma**

Hidrolik ve drenaj mühendisliğinde, su kontrolünün amacı; yapıları mümkün olduğunca su etkisinden koruyabilmektir. Koruma amacı ile geotekstiller yol sathı altına, şev kenarlarına veya akarsu ve gelgitlerden oluşacak sahil şeridi boyunca serilebilmektedir.

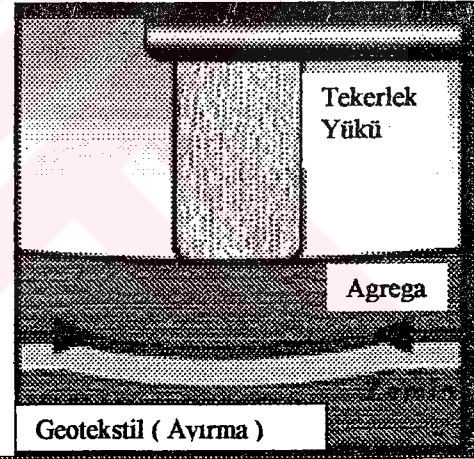
- **Ayırma**

Yol dolgusu altında, farklı özellikteki iki zemini birbirinden ayırmak ve birbirinin içine nüfus etmesini önlemek amacıyla geotekstiller kullanılabilir.

Geotekstiller devamlılık, esneklik, deformasyon kabiliyeti, üstün çekme dayanıma sahip olmaları sebebiyle, suyun tabii sirkülasyonuna mani vermeden ayırma görevini ifa eder. Yol yapımında geotekstiller agrega tabakalarını çok zayıf zeminlerin içinde kaybolmadan yerleştirilmelerine imkan verir. Aynı zamanda daha iyi sıkışmasına olanak vererek agrega tabakasının dayanma kapasitesini artırır. Zayıf zeminlerde, bu zeminlerin üzerine serilecek kaliteli malzeme, geotekstiller sayesinde ayrılabilir.



Şekil 7.5 Geotekstilsiz taban



Şekil 7.6 Geotekstil ayırma fanksiyonu

- **Drenaj filtrasyon**

Drenaj sistemleri ortamdan su fazlalığını almak uzaklaştırmak için kullanılan sistemlerdir. Bu bakımdan genel olarak drenaj ve filtrasyon özellikleri birlikte görev yaparlar. Geotekstillerin nonwoven (dokunmamış tekstil ürünü) ve iğnelenmiş keçe hali, optimum geçirgenlik özelliği ile suyun çabuk gönderilmesini sağlar. Zemine yük bindirmeyen geotekstil gerilim direncine bağlı olarak dikey drenajlarda da rahat kullanma olanağına sahiptir.

Zeminin yük taşıma kapasitesinde ana faktörlerden biri olan kesme kuvveti, ortamdaki su muhtevası ile azalır. Dolayısı ile su miktarı fazla olan bu tür yerlerde geotekstil drenaj sistemi olarak kullanılması, çözüm yollarından biridir.

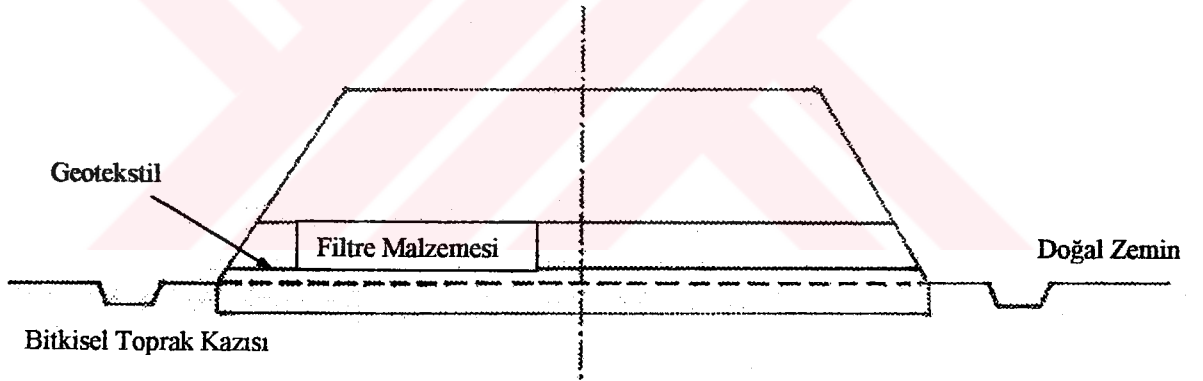
Geleneksel drenaj sistemleri, filtre olarak iş görmek ve su fazlalığını akabileceği yolu sağlamak üzere, çeşitli boyutlarda tanecikli malzemeler kullanılır. Bu malzemeler pahalı ve serilmesi işçilik isteyen uygulamalardır. Geotekstiller ise bu anlamda kazı miktarını ve kullanılacak malzeme miktarını azaltabilir.

### 7.1.2 Geotekstillerin Yollarda Kullanma Alanları

#### • Yol dolguları altında

Su seviyesinin yüksek olduğu veya yer yer, doğal zemin kotuna kadar ulaştığı kesimlerde, yeraltı sularının kapiller etki ile dolgu içerisine girmesini önlemek amacı ile filtre malzemesi ile beraber kullanılır.

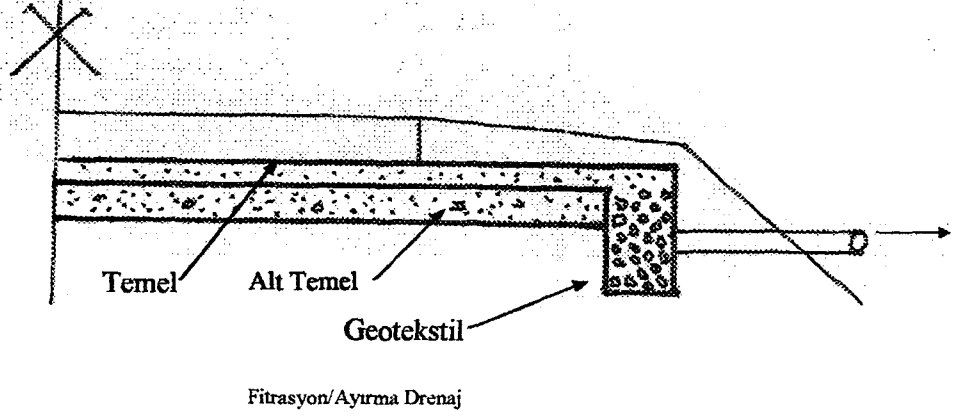
Amacı zeminden yükselecek kapiler suların filtre malzemesine geçerken sürükleyeceği ince kil tanelerini tutmak ve filtre malzemesinin tıkanmasını önleyip gelecek suların sürekli boşaltılabilmesini sağlamaktır.



Şekil 7.7 Dolgularda filtre malzemesi olarak kullanılan geotekstil enkesiti

#### • Drenaj yapılarında

Geotekstiller drenaj hendeklerinde perfore boru etrafına veya hendek etrafına sarılarak kullanılabilirler. Geotekstil kullanılması ile ince filtre tabakası teşkiline gerek kalmadığı gibi agrega/filtre tabakasının filtrasyon işlevine ihtiyaç duyulmayacağından permeabilitesi yüksek malzemede de kullanılabilir.



Şekil 7.8 Filtrasyon, ayırma ve drenaj amaçlı geotekstil kullanımı

• **Drenaj Hendekleri ve Orta Refüjde Geotekstil Kullanılması:** Karayollarında orta refüj drenajı dolgu ve zemin özelliklerine göre üç değişik durumda yapılabilir.

- Hem dolgu hem zemin geçirimli olduğu durumlarda yalnız yüzeysel drenaj yeterli olabilir.
- Dolgu geçirimli, zemin geçirimsiz olduğu durumlarda ise refüjden gelen sular geçirimsiz zemine inmeden bir geomembran aracılığı ile dren borularına çekilmektedir. Bu uygulama yapılmaz ise su, geçirimsiz zemine inerek mevcut zemini doygunlaştırabilir. Buda stabilizasyonu düşürür.
- Olağan drenaj üzerine göre yapılan bu uygulamada geotekstile sarılı klasik drenaj hendekleri kullanılabilir.

Karayollarında üstyapı teşkilinden alt temel tabakasının üzerine serilen geotekstil banket altındaki drenaj hendeğinin etrafını sararak teşkil edilir. Etrafi sarılan drenaj hendeği içi filtre malzemesi ile doludur. Geotekstil üzerine ise temel tabakası serilir ve onun üzerine de tekrar geotekstille kaplama tabakası teşkili yapılır.

• **Kaplamalı ve kaplamasız yollarda kullanılması:** Geotekstillerin en yaygın kullanım alanlarından biri de kaplamasız yollardır. Geçici yollar denilen, tali, şantiye ve orman yollarında temel zemini üzerine belli kalınlıkta sıkıştırılmış agrega serilerek teşkil edilirler.

Temel zemini yumuşak kohezyonlu bir zemin ise, veya yağış etkisi ile tekerlek yüklerine maruz kalarak zeminde göçmeler görülebilir. Agrega tabakasının yumuşak zemine karışması veya batması ile yük dağıtıcı agrega tabakasının kalınlığı azalır.

Geotekstil kullanıldığında zayıf temel tabakası ile agrega tabakasının birbirine karışması engellenmiş olur. Böylece agreganın serilmesi ve sıkıştırılması kolaylaşır.



Agreganın yumuşak zemine batmasını önleyen geotekstil zemine ilave bir güç takviyesi sağlamış olur. Kaplamasız yol tasarım ve yapım prensipleri, kaplamalı yol ve uçuş pistlerinin yapım safhası için veya yumuşak zemin üzerine (drenaj kapiller su yükselmesini önlemek amacı ile) agrega / filtre tabakası serildiği durumlarda da uygulanabilir

## 7.2 Geçirimli Üstyapılar.

Geçirimli üstyapı, içindeki boşluk hacmi yüzdesi yüksek olan, yol yüzeyine gelen suyun, hızla üstyapı içine girmesine ve suyun drenaj tesisine ulaşmasından ve taban zeminine sızmasından önce üstyapı içinde geçici olarak depo edilmesini sağlayan üstyapı tipidir.

Geçirimli üstyapıların en önemli özellikleri şunlardır.

- Yağmurlu havalarda, yol yüzeylerini kuru tutabilmeleri
- Boşluklu olmaları sebebi ile yüzey yapısı normal kaplamaya göre daha pürüzlü olmaları
- Yüksek ses emme kapasitesine sahip olmaları

Geçirimli üstyapıların yol güvenliği ve sürücü konforları bakımından faydaları sıralanırsa.

### 7.2.1 Geçirimli üstyapıların temel farkları

Bu tür üstyapılarda en az % 10 oranında boşluk bulunur. Trafik etkisi ile kullanım sırasında oturma ve sıkışmalar olacağından, başlangıçta % 20 miktarında boşluk oranı ile inşa edilirler. Normal tip üstyapılarda geçirimsizliği sağlaması düşünülecek olursa boşluk oranı yalnızca % 2-3 civarındadır. Geçirimli üstyapıların normal tip üstyapılardan daha düşük mekanik özelliklere sahip olmasının nedeni de budur.

Geçirimli üstyapılarda kullanılan malzemelerin temel özelliği kendisine gürültü emme işlevini kazandıran açık ve birbiri ile bağlantılı boşluklara sahip olmasıdır. Bu özellik su dolaşımı ve yüzey gürültüsünün emilmesini sağlarken, bağlayıcıları yaşlandıran hava ve ışığın gözeneklere ulaşmasına yol açar.

Geçirimli üstyapılarda bağlayıcı miktarı daha düşük tutulur. Çünkü kum ve filler miktarı oran olarak daha azdır. Böylece aynı kalınlıkta beton asfalta nazaran % 25 oranında asfalt tasarrufu yapılır.

Kaplama tabakalarında bağlayıcı oranı % 4-5 den azdır. Normal tip kaplamalarda bu değerler % 3,5-4-7 dir. Boşluk oranı agrega malzemesinin granülometrik bileşiminin özenli bir şekilde incelenmesi ve oluşturulması ile sağlanmaktadır.

### 7.2.2 Geçirimli üstyapıların bileşimi

Geçirimli üstyapı malzemelerinin temel özelliği kendisine gürültü emme işlevi de kazandıran açık ve de birbiri ile bağlantılı (serme anında % 20- 25) boşluklara sahip olmasıdır. Bu özellik su dolaşımını ve yüzey gürültüsünün emilmesini sağlamakla beraber bağlayıcıları yaşlandıran hava ve ışığın gözeneklere ulaşmasına da neden olur. Geçirimli üstyapılarda bağlayıcı miktarı daha düşük tutulur. Çünkü kum ve filler malzemeler daha azdır. Böylece aynı kalınlıktaki beton asfalta göre % 25 oranında asfalt tasarrufu sağlanmış olur. Kaplama tabakalarında bağlayıcı oranı % 4-5 arasında daha alttaki tabakalarda ise % 4 daha az bulunmaktadır. Normal tip kaplamalarda bu değerler sırası ile % 4-7 ve % 3,5-6,5 civarlarındadır.

Boşluk oranı agrega malzemesinin granülometrik bileşiminin özenli bir şekilde incelenmesi ve oluşturulması ile sağlanmaktadır. Bu konu ile alakalı agrega bileşim örneği aşağıda gösterilmiştir.

Agrega oranları

Kırılmış kum 0-2 mm % 20

Kırılmış çakıl 12-18 mm % 78

Filler % 2

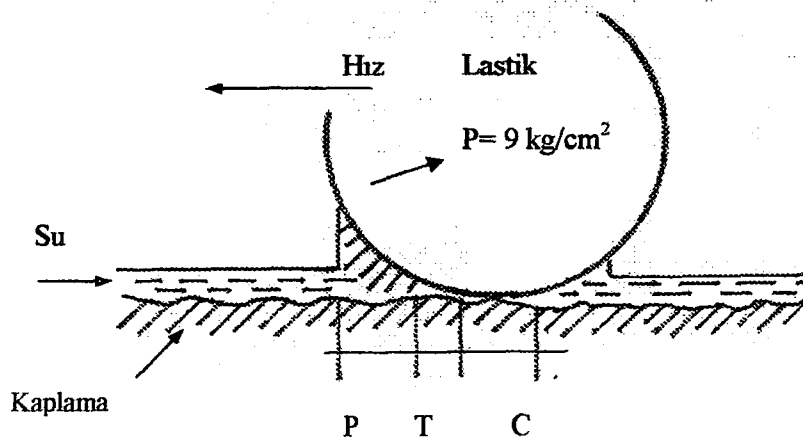
### 7.2.3 Geçirimli üstyapıların faydaları

#### • Kızaklanma riskini önemli ölçüde azaltırlar

Taşıt güvenliğinin sağlanabilmesi için kaplama yüzeyi ile tekerlek lastiği arasında yeterli bir aderans bulunmalıdır. Kuru bir yol üzerinde, yolun geometrik düzgünlüğü uygun ve taşıtın süspansiyonu yeterli ise aderans eksikliği yoktur. Ancak her durumda, düşük enine eğimler, yüzey deformasyonları, yüzeysel suların uzaklaşmaması, yatay yüzeylerin varlığına yol açan hatalı dever uygulamaları gibi kusurlar yol yüzeyinde su birikmesine neden olur. Yola gelen su; yüzeyde serbestçe aksa bile, yağışın şiddetine bağlı olarak yol yüzeyinde (0.1) ile birkaç mm arasında değişen kalınlıkta su filmi oluşturur. Yüksek bir aderans elde etmek için lastiğin yola değdiği alanda bulunan suyun parçalanması ve uzaklaştırılması gereklidir.

Parçalanma iki yolda yapılır;

- Tekerlek lastiğinde bulunan dişler tarafından
- Kaplamanın geometrik pürüzlüğü tarafından



Şekil 7.9 Islak yoldaki tekerlek

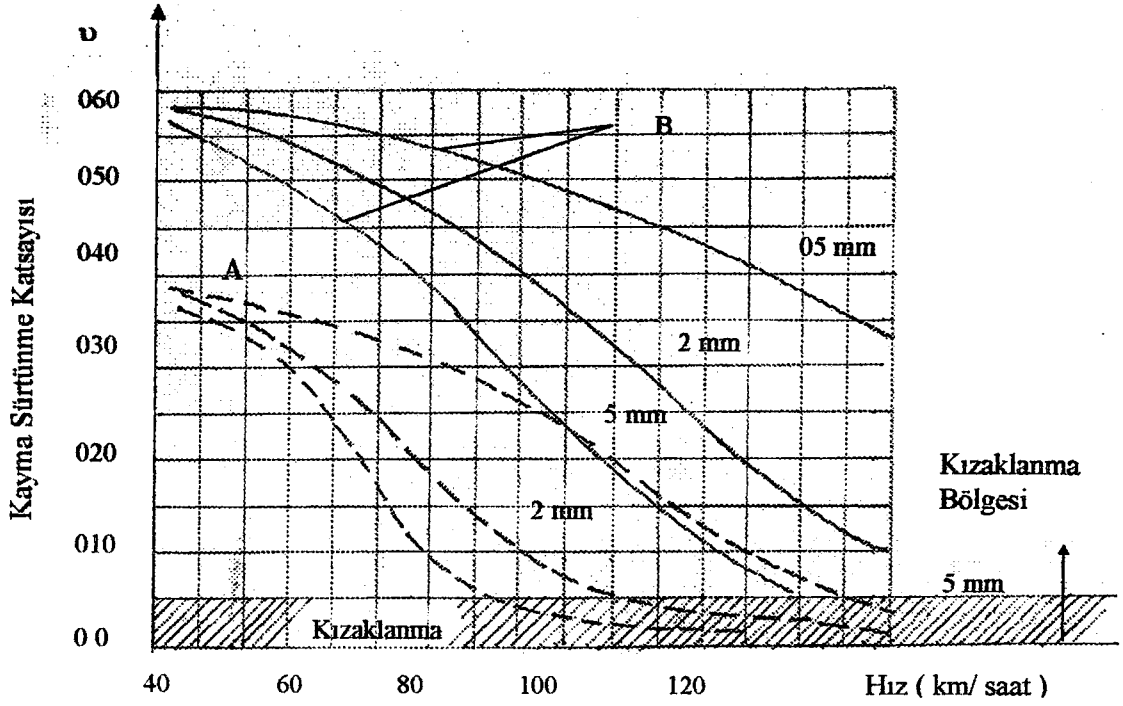
Şekilden görüldüğü gibi tekerleğin değme alanı üç bölgeye ayrılmıştır. Bunlar (P) Nüfus Giriş, (Penetrasyon Bölgesi): Bu bölgede tekerlek lastiği su tabakası içerisine girer. Su tabakasına giren lastiğin ilerlemesine karşı koyulan basınç değeri 9 bar'a kadar çıkabilir.

(T) Geçiş Bölgesi : İyi tanımlanamayan bu bölgenin incelenmesi güçtür.

(C) Değme Bölgesi: Aderansı sağlayacak tek bölge değme bölgesidir. Taşıtın hızı arttığı zaman geçiş bölgesinin aleyhine artar ve böylece aderans azalır. Değme bölgesi pratik olarak sıfır olduğu zaman kızaklanma olayı söz konusudur. Yani tekerleği yönlendirme veya geciktirme olayı kalmaz. Tekerlek yol yüzeyine değmeksizin su üstünde kayar.

100 km/saat hızla giden bir taşıtın önünde bulunan su yastığını uzaklaştırmak için 1/100 saniyesi bulunmaktadır. Bu durum da kaplama tabaksından suyun çok hızlı bir biçimde uzaklaştırılması gereklidir. Kaplamanın su drenajında etkili olan özellikleri makro ve mikro pürüzlülükleridir.

Geçirimli üst yapıların makro ve mikro dokuları grafik üzerinde değerlendirilirse;



Şekil 7.10 Kayma sürtünme katsayısının, mikrodoku, hız ve mevcut su filminin kalınlığı ile değişimi ( Ergün. M. Doktora Tezi. 1997 İTÜ )

- A) 0.3 mm lastik diş derinliği  
B) 0.7 mm lastik diş derinliği

Şekil 7.10'ye göre ; şu sonuçlara ulaşılabılır.

- Hızın artması kayma sürtünme katsayısının azalmasına yol açar
- Kayma sürtünme katsayısı araçların lastik diş derinliği ile doğru orantılıdır.
- Kızaklanma bölgesinde kayma sürtünme katsayısı çok düşüktür.

Son şekilde; Bir önceki şekilde de değinildiği gibi ıslak su filmi (hydroplane) pürüzlü yüzeyler de dahil olmak üzere yüksek hızla seyreden taşıtları kontrolden çıkartarak kazaya neden olabilir. Geçirimli üstyapılarda suyun boşluklar vasıtası ile yol gövdesine girerek yol yüzeyini kuru tutmaları ile kızaklanma riski azalır. Bu tip olaylar için genel görünüm Şekil 7.9'de verilmiştir.

• **Yağmurlu havalarda araçlar tarafından sıçratılan su miktarını azaltır.**

Kızaklanma bölümünde anlatıldığı gibi, geçirimli tabakadan süzülen su, yol yüzeyinde kalmadığından hızla geçen araçlardan su sıçraması meydana gelmez. Normal tip üstyapılardan geçirimli kaplamaların en önemli farkı suyun düşey şekilde emilmesi ve hızla yüzeyden uzaklaşabilmesini sağlayabilmesidir.

### • Yansımayı engeller

Yol yüzeyinde optik özellikler, genellikle kaplama üzerinde ki işaretlemenin gündüz ve gece boyunca iyi bir şekilde görülebilmesini tanımlar. Bu tanımla, yol güvenliği ile ilgili üç optik özellik bulunmaktadır.

- Yol yüzeyinin gece – gündüz aydınlatma katsayısı, gündüz gün ışığı altında, gece ise aydınlatma koşulları altında güvenliği sağlayacak büyüklükte olmalıdır.

- Otomobil far ışığının yol yüzeyinden yansıması yönünden, yol yüzeyi, yeterli yansıma açısını sağlayacak bir yüzey dokusuna sahip olmalıdır.

- Yol yüzeyi, otomobil far ışığının her durum içerisinde yol yüzeyinden yansıyıp, karşı şeritten gelmekte olan taşıt sürücüsünün gözünü almayacak bir dokuda olmalıdır.

Bu optik şartlar ile normal üstyapılarda yol yüzeyi ıslak olarak kaldığında veya su filmi oluştuğunda, özellikle makro pürüzlülüğü kaybolmuş kaplamalarda gece; far ışıkları ile beraber yansıma problemi meydana gelir.

Geçirimli üstyapılar, ince su tabakasını ortadan kaldırdıkları için yansıma olayı meydana gelmez. Bunun sonucu olarak yol yüzeyindeki şerit çizgileri ve trafik işaretleri rahatça görülebilir.





### • Yüksek hızlarda savrulmaya karşı direnci sağlarlar

Hızlı giden taşıtların lastik yüzeylerinin yolu kavrama derecesi, yolun makro pürüzlülüğüne bağlıdır. Yol üzerindeki dalga boyları 0.5 mm ile 5 cm arasında değişen girinti ve çıkıntılar makro pürüzlülük adını alırlar. Makro pürüzlülük kaplamanın su drenajı kapasitesini belirler ve boyut büyüdükçe artar. Dalga boyu 0.5 mm nin altındaki girinti ve çıkıntılar ise mikro pürüzlülüğü oluşturur. Mikro pürüzlülük trafik altında cilalanmayan keskin kenarlı agregaların kaplamaya kazandırdığı özelliklerdir. Mikropürüzlülük yol kaplaması ile tekerlek lastiği arasındaki su filminin parçalanması ve lastik ile yol yüzeyi arasındaki suyun uzaklaşmasını sağlar, böylece yol mühendisliğinde arzu edilen lastik ile yol yüzeyi arasındaki kuru temas yüzeyi sağlanmış olur.

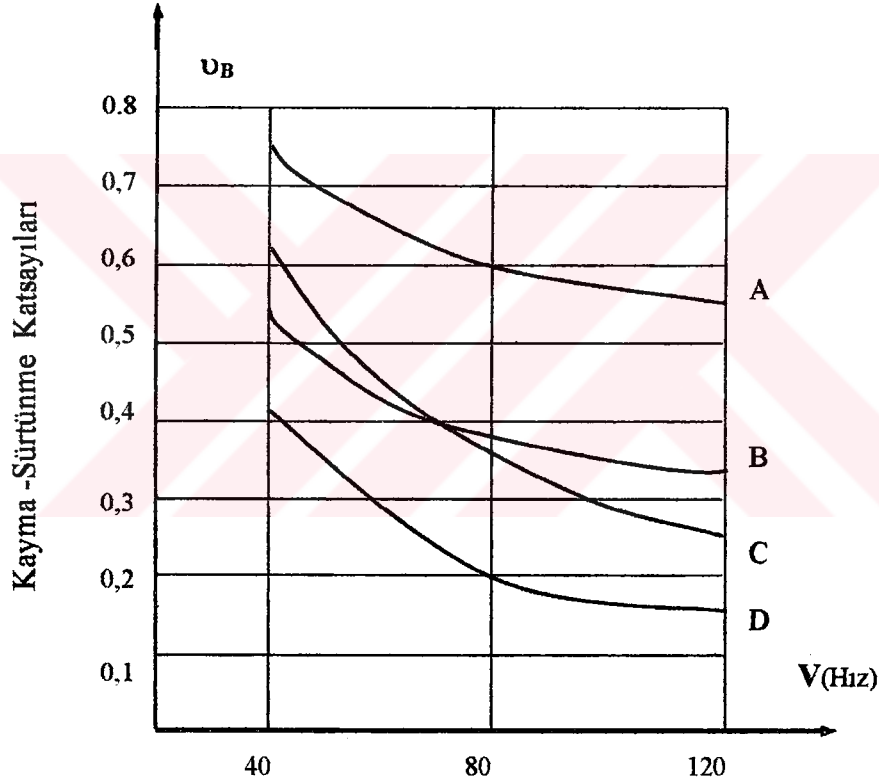
Makro ve mikro doku, hem pürüzlülüğü hem de su parçalayıcı etkisi ile araçların yoldan savrulmalarını önleyerek, yol güvenliğini sağlamış olurlar.

Makro ve mikro pürüzlülüğünün değişik biçimleri şunlardır.

Tablo 7.1 Makro ve mikro pürüzlülüğün değişik bileşimleri ( Sarman. H Yol Kaplamalarının Bakım Esasları 1980, İstanbul )

	Makro Pürüzlülük	Yüzey Tipi	Mikro Pürüzlülük
A	İyi		İyi
B	İyi		Kötü
C	Kötü		İyi
D	Kötü		Kötü

Yukarıda belirtilen dört tip kaplama yüzeyi için boyuna sürtünme katsayısının hıza göre değişimi; deneysel çalışmalar sonucunda kayma sürtünme katsayılarının değişimi erilmiştir.



Şekil 7.11 Kaplama yüzey tiplerine göre kayma sürtünme katsayılarının değişimi ( Clarkson H. Highway Engineering Handbook )

Şekil 7.11'den görüldüğü gibi pürüzlülüğü iyi olan (A) halinde kayma sürtünme katsayısı diğer hallerde göre en güvenli olanıdır. Makro ve mikro pürüzlülüğün kötü olduğu (D) durumunda ise  $\mu_b$  boyuna kayma sürtünme katsayısı diğer hallerde göre en düşük değeri alır.

• Trafik hareketlerinin oluşturduğu sesleri azaltırlar

Karayolu gürültüsünün şu kaynaklardan meydana geldiği bilinmektedir.

- Motor gürültüsü
- Transmisyon ve havalandırma gürültüsü
- Seyir gürültüsü

Tekerlek lastiğinin yola değme gürültüsü, seyir (yuvarlanma) gürültüsünü doğuran mekanizmalar şu şekilde sıralanır

- Aerodinamik etkiler
- Çukurlarda havanın sıkışması ve gevşemesi
- Tekerlek lastiklerinin titreşimi
- Taşıt titreşimi

Bu etkilerden son üçü kaplamanın yüzey özellikleri ile beraber ıslak ve kuru olmasına bağlıdır. Bu konudaki araştırmalar aşağıdaki sonuçları vermiştir.

- Yol yüzeyinin pürüzlülüğü azaldıkça gürültü azalmaktadır.
- Hız arttıkça gürültü artmaktadır.
- Islak kaplama kuru kaplamaya göre gürültülüdür.

Geçirimli kaplamaların seyir gürültüsünün azalmasında iki önemli fonksiyonu vardır. Bunlar ;

- Lastiğin titreşimini minimuma indirir. Ayrıca porozite sayesinde havanın lastik profilinde ve kaplama girintisinde sıkışıp gevşemesinden oluşacak gürültünün doğmasını önler.
- Gürültüyü kısmen emer.

#### • Plastik deformasyonlara karşı dirençlidirler

Çok gözenekli olmaları ve yüksek dirençli bağlayıcı içermeleri, geçirimli üstyapıların plastik deformasyonlara karşı dirençlerini artırır. Bu tür kaplamalarda tekerleklerin oluşturduğu izlere ve çökmelere çok az rastlanabilmektedir.

#### 7.2.4 Geçirimli üstyapıların sakıncaları

Geçirimli üstyapılar normal tip üstyapılarla karşılaştırıldığında, geçirimli üstyapıların kullanım alanlarında birçok kısıtlamalar ve sakıncalar saptanmıştır.

#### • Fiziksel dayanıklılık

Üstyapıların boşluk oranı attıkça dış etkilere karşı yolun direncinin azalması beklenir. Geçirimli üstyapılarda bu problemi ortadan kaldırmak için yüksek dirençli bağlayıcılar kullanılır. Karışımdaki oranlar optimum düzeyde tutulduğunda normal tip üstyapıya yakın veya eşit dayanıklılık sağlamak mümkün olabilir.

- **İşlevsel dayanıklılık**

Geçirimli üstyapıların boşluklarının zamanla dolması (siltleme) sonucu karışım yoğun normal tip üstyapılar gibi davranmaya başlar. Siltlenme olayı, yol üstyapısındaki boşluklar azaldıkça ve atmosferdeki kirlilik arttıkça hızlanır.

Geçirimli üstyapılarda, araç tekerlek izi alanlarında taşıt lastiklerinin emme etkisi ile kaplama temizlenir. % 20 den fazla boşluk içermek üzere üretilen geçirimli üstyapılarda tekerlek izi alanları, geçirgenlik özelliklerini on yılı aşan kullanım süreleri sonunda bile korurlar.

- **Geçirimsiz yüzey üzerinde uygulama zorluğu**

Geçirimli üstyapı tabakası, yüzeye gelen yağmur sularını geçirimsiz banket yüzeyine drene edilecek şekilde tesviye edilmiş olan geçirimsiz tabaka üzerine inşa edilmelidir.

- **Bakım**

Geçirimli üstyapılar normal tip üstyapılardan farklılık gösterirler. Geçirimli üstyapı tabakaları uygulanmadan önce, mevcut drenaj tabakalarının sızdırmazlığı sağlanmalıdır.

- **Kış bakımı**

Bu tür üstyapılarda normal üstyapılardan yaklaşık olarak 1 °C daha az ısıya sahiptirler. Bu bakımdan donmaya karşı daha elverişlidirler. Bununla beraber yola atılan tuz, karı eritip yol iç kısmına sızdığından kısa sürede etkisini kaybeder. Bu nedenle kar yağışından önce gerekli tedbirler alınmalı ve kullanılan tuz miktarı iki katına kadar çıkartılmalıdır.

## 7.2.5 Geçirimli üstyapıların kullanım alanları

- **Otoyollarda**

Yağış esnasında taşıtların su sıçratmasını ve kızaklanmayı engellemesi nedeni ile otoyollarda taşıtların emniyet ve kontrolünü sağlamak amacı kullanılır.

- **Tünellerde**

Ses emme özelliği nedeni ile tercih edilir.

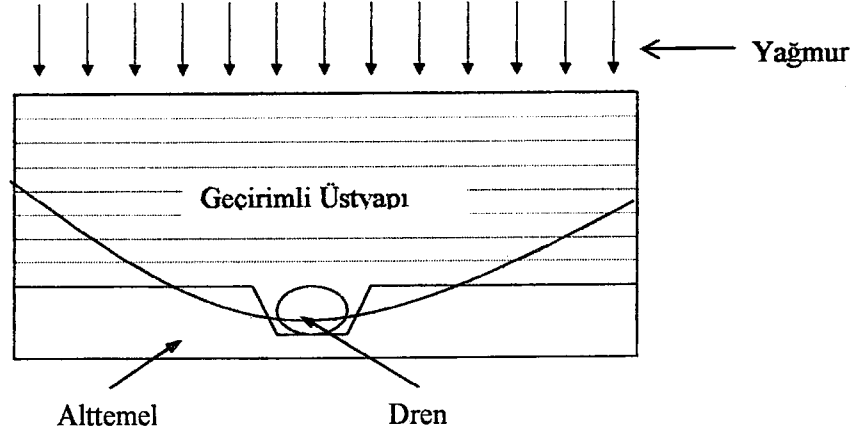
- **Sık sık kar yağışı olan bölgelerde**

Buzlanmaya karşı kullanılan madde miktarı iki katına çıkartılarak ve koruyucu tedbirler alınarak kullanılabilir.



- **Kırsal yollar ve karayollarında**

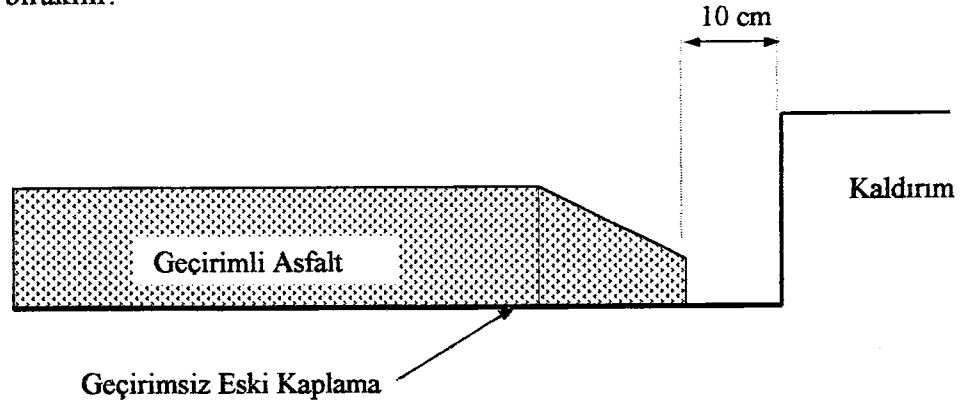
Çoğu yollarda sert banket yüzeylerine gözenekli asfalt serilmiştir. Yeşil alanlarla geçirimli yüzey arasında, yüzey üzerinden su drenajını hızlandırmak ve böylelikle doyma ile taşma olaylarını engellemek amacıyla, en az 10 cm genişliğinde bir şerit bırakılarak inşa edilirler.



Şekil 7.12 Drenli bir geçirimli üstyapı

- **Kentsel alanlardaki yollarda**

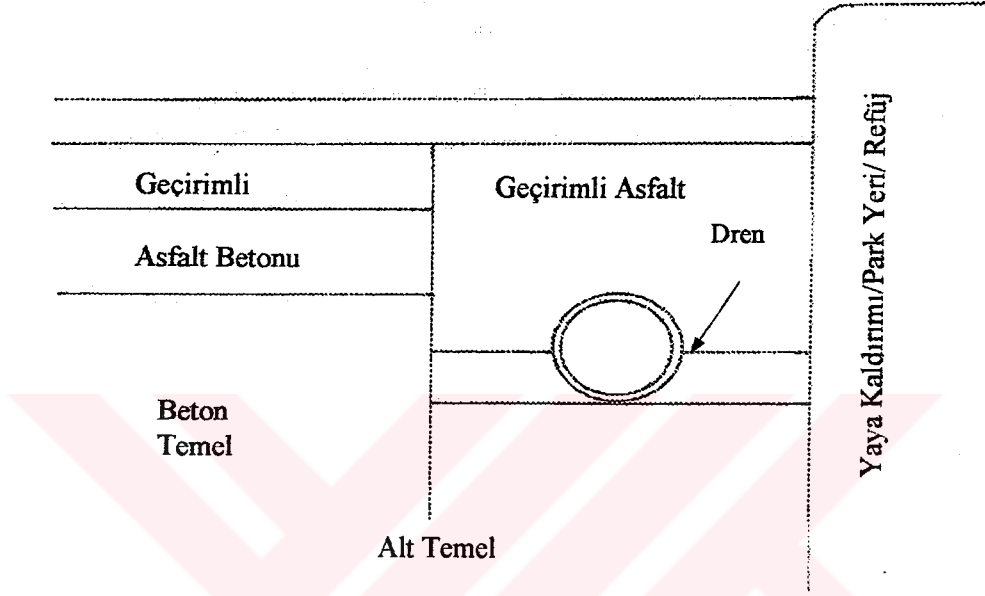
Geçirimli asfaltın daha çok tercih edildiği alanlar özellikle kentsel alanlardaki gürültü arterleridir. Genellikle asfalt yollar iki taraftan yaya kaldırımları ile çevrelendiğinden yanal drenaj hatasız projelendirilmeye çalışılır. Geçirimli asfalt kaplama, geçirimsiz kaplamanın üzerine döküldüğünde geçirimli asfalt ile kaldırım arasında (10 cm civarında) geniş bir drenaj kanalı bırakılır.



Şekil 7.13 Yaya kaldırımları arasında sıkıştırılmış kaplama yüzeylerini oluşturan gözenekli asfalt kenarlarının iyileştirilmesi

### • Mühendislik yapıları üzerinde

Köprü ve viyadüklerdeki kaplama yüzeylerinde de gözenekli asfalt kullanılabilir. Fakat alttaki yüzeyin su tutmasının engellenmesine diğer yerlere nazaran daha fazla önem verilmelidir. Etkin su drenajı araçları (örneğin, oyukların önlenmesindeki enine drenler) suyun kaplama tabakası yüzeyine yükselmesine engel olmak için en aşağıda kalan noktalarda kullanılması önerilen kullanım metodudur.



Şekil 7.14 Geçirimli asfalt kaplamalarda kollektör dren sisteminin uygulanması

### 7.3 Grooving

Grooving (oluk açma, yivleme), basitçe kaplama yüzeyinde birbirine paralel, derin olmayan olukların oluşturulması olarak tanımlanabilir.

#### 7.3.1 Tercih edilmesinin nedenleri

Aşırı yağış sırasında kaplama üzerindeki suyun kaplamayı terk etme hızının, yağış nedeniyle kaplama üzerine düşen suyun hızından az olması dolayısıyla biriken suyun yüzeyde kaygan bir tabaka oluşturması ve yüksek hızlarda tekerleklerin kaplama ile temasının kesilmesiyle su yastığı olayı (hydroplaning) meydana gelir. Yol yüzeyinde su yastığı oluşması; düşük hızlarda ivmenin düşmesine ve fren etkisinin azalmasına yol açar. Bu durumda, tekerlekler ile kaplama yüzeyi arasında hemen hemen hiçbir temas olmamakta ve araçlar doğal olarak kaymakta ve kontrolden çıkmaktadır.

Hydroplaning (su yastığı) etkisini azaltmak amacıyla uzun yıllardır çalışmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır. İlk grooving, 1956 yılında İngiltere'de uygulanmış ve NASA 1960'lı

yılların basından itibaren bu konuda araştırmalara başlamıştır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları, 1962 yılında ABD’de piston motorlu uçaklara göre çok daha hızlı olan turbojetler kullanılmaya başlanıldığında; yağmurlu günlerde bu tür uçakların iniş ve kalkışlarında meydana gelen kaza sayılarının belirgin artışı sebebi hız kazanmıştır.

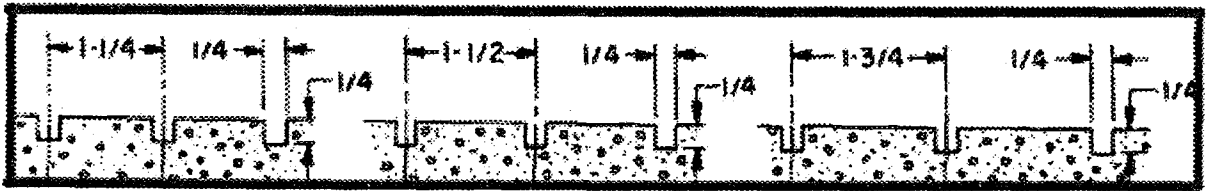
Beş yıllık bir geliştirme periyodu sonunda, günümüzdeki son halini alan grooving Őeklinin bu konuda en başarılı ve etkili uygulama olduğu kanıtlanmıştır. Yine, 1968 yılında İngiltere’de başlatılan bir araştırmanın sonucunda, yol yüzeyinde enine oluklar açmanın su yastığı etkisini ortadan kaldırmakta çok başarılı olduğu görülmüştür.

İlk başlangıcında uçak pistleri için geliştirilen bu yöntem araştırmalar sonucunda karayollarında enine ve boyuna grooving uygulamasının su yastığı oluşma riskini ortadan kaldırıldığı anlaşılmış ve karayolları üzerinde uygulamaya başlanmıştır.

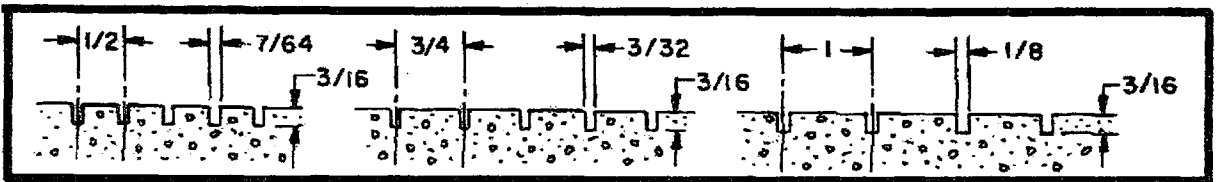
Çeşitli deneyler, sadece 2.5 mm kalınlığında su örtüsü ile kaplı bir yüzeyde bile, değişik hızlarda ve tekerlek basınçlarında, yanlara itilen suyun karşı koyma kuvvetinin, tekerlekleri pist yüzeyinden kaldırdığını göstermiştir. Dinamik hydroplaning olarak bilinen bu olay, olağanüstü birtakım Őartların bir araya gelmesiyle oluşmasına ve pek sık rastlanılmamasına rağmen sürücü ve pilotların, insan hayatının önemi nedeniyle bu konuda her zaman hazırlıklı olma zorunluluğu vardır.

### 7.3.2 Grooving metodunun uygulanması

Grooving uygulamasında, olukların derinliği, genişliği ve aralığı sabit olmamakla birlikte, yaygın olarak kullanılan tipler gösterilmiştir.

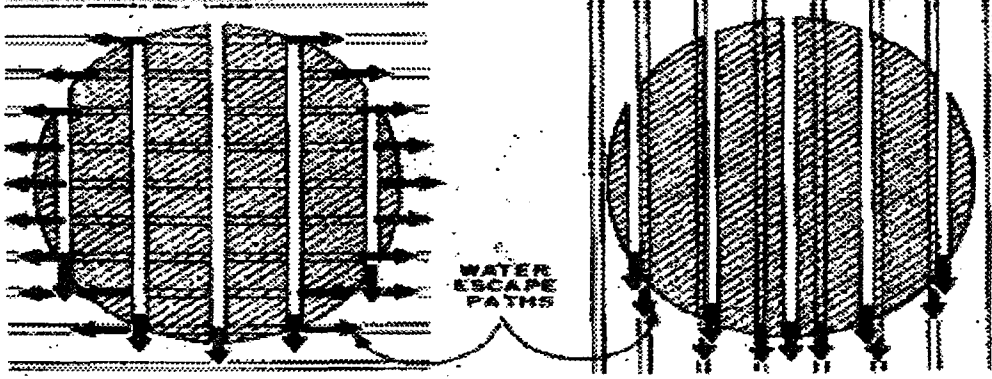


Şekil 7.15 Enlemesine grooving uygulaması



Şekil 7.16 Boylamasına grooving uygulaması

Bu uygulamanın iki belirgin ve ana etkisi, yüzeydeki serbest su grooving uygulanmamış yüzeylerden (8-10) katı kadar daha hızlı bir şekilde tahliye edilmesi ve çekiş gücü (traction) oluşturmaktır. Çünkü oluklar kaplama ile tekerlek arasında sıkışan suyun tahliyesi için yol oluşturur.



Şekil 7.17 Grooving metodunda yol yüzeyinden su akışı

Açılan oluklar, aynı zamanda suyun yüzeyden kısa sürede tahliye olmasına yardımcı olur. Tekerleklerinin bastığı bölgelerdeki erimiş kauçuk, yağ ve diğer malzemelerin de bu şekilde yıkanmasına yardımcı olur, daha iyi bir sürtünme katsayısı sağlar, yüzeyde oluşan ince buz tabakaları arasında kesiklikler sağladığı için, bu ince tabakaların kolayca temizlenmesine olanak verir. 1999 yılında Birleşik Devletlerde, yağışlı günlerde meydana gelen trafik kazalarında 5000'e yakın insan hayatını kaybetmiş, 500.000 civarında insansa yaralanmıştır. Amerika'da toplam ölümlü kazalar içinde yağışlı zamanlarda meydana gelen kazaların, normal kazalardakine oranla ölüm riskini dört kat arttırdığı saptanmıştır.

1980'li yıllarda, sadece Kaliforniya Eyaleti'nde 3200 km'den fazla grooving uygulanmış karayolu bulunmaktaydı ve bu uygulamaların toplam kazaları % 20, toplam ölümcül kazaları % 50 ve ıslak yüzeylerde oluşan kazaları ise % 85'den fazla oranda azalttığı belirlenmiştir.

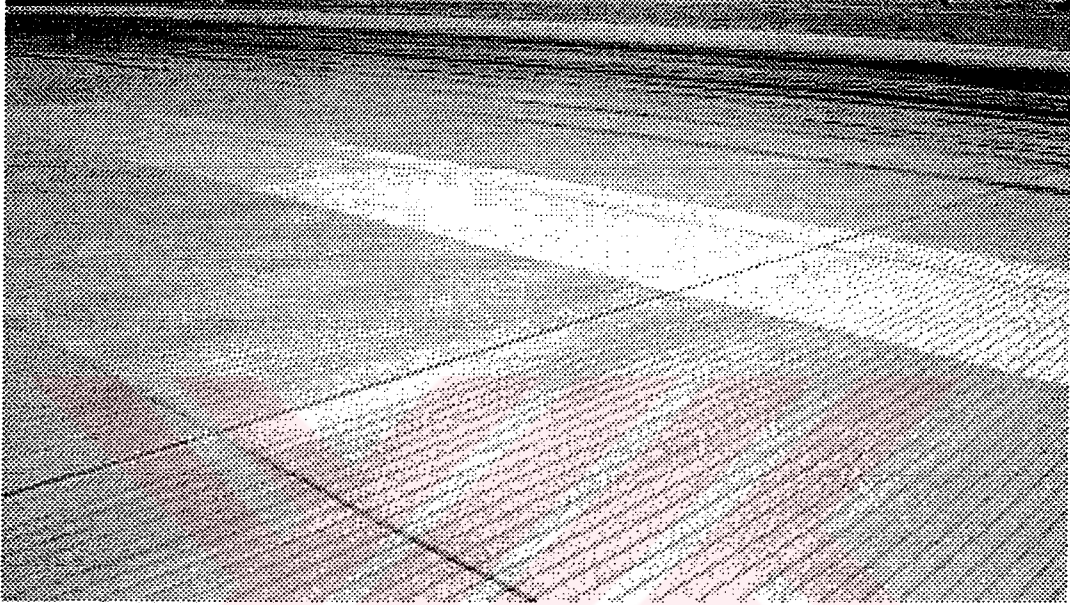
Grooving uygulamasının iki ayrı şekli vardır. Bunlar,

- Enine grooving uygulaması (kaplamanın eksenine dik olarak yapılan uygulama)
- Boyuna grooving uygulaması (kaplamanın eksenine paralel olarak yapılan uygulama)

Bu uygulama tiplerinden, enine grooving genellikle pistlerde uygulanmakla beraber, bazı durumlarda şehir içi yollarda kavşaklara yaklaşırken durma mesafesini azaltma amacıyla da uygulanmaktadır. Açılan oluklar, suyun yüzeyden çok çabuk tahliye olmasını sağladıkları için yüzeyde su yastığı oluşmamaktadır. Enine grooving genel olarak boyuna grooving uygulamasına oranla daha az tercih edilir. Bunun nedenleri arasında, uygulama

süresinin uzun olması, grooving makinesinin dar alanlarda çalışma güçlüğü , trafik konforu ve ses gürültüsü bakımından rahatsızlık vermesi olarak sıralanabilir. Bu yüzden, yollarda boyuna grooving uygulaması seçilmektedir.

Boyuna grooving, hydroplaning etkisini azaltmanın yanı sıra, tekerlek ile oluklar arasında mekanik olarak kilitlenme etkisi yarattığı için, dönüşlerde aracın yol istikametinde hareket etmesine ve savrulmamasına da yardımcı olmaktadır. Ayrıca, yarmalardan çıkışlarda aniden karşılaşılan yan rüzgarların etkisi altında aracın kontrolden çıkmamasını sağlar.



Fotoğraf 7.2 Enine grooving uygulaması

Grooving uygulaması sadece pistlerde ve yollarda yapılmamaktadır. Örneğin, ıslak yüzeylerde yükünü kaldırıp taşımaya elverişli olmayan forkliftlerin hareket ettiği yerlerde, su ve yağ nedeniyle işçilerin veya yayaların kayma riski bulunan yerlerde, otoyol çıkışlarında hız kesilmesini sağlayacak ikaz amacıyla, ve rampalarda grooving yaygın olarak uygulanmaktadır.

### 7.3.3 Grooving uygulamalarının maliyetleri

Grooving uygulamasının maliyeti esas olarak aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- a- Olukların genişliği
- b- Olukların derinliği
- c- Olukların aralıkları
- d- Kaplamanın cinsi
- e- Kaplamanın yapısındaki agreganın cinsi
- f- Yüzey şartları

Yukarıdakilerin dışında, elmas bıçakların maliyeti, toplam işgücü, yakıt tüketimi, sigorta masrafları da eklenerek grooving maliyeti bulunabilir. Bütün bulgular, grooving uygulamasının emniyet açısından oldukça başarılı olduğunu kanıtlamıştır. Kazalar nedeniyle ortaya çıkan maddi hasarların % 10'u kadar bir bedelle grooving yapılabilir. Ancak, insan hayatı söz konusu olduğunda, kesinlikle ekonomik bir karşılaştırma yapılamaz. Grooving uygulamasının kazaları ve ölümleri azaltan en etkili ve en ekonomik yol olduğu kanıtlanmıştır.



## BÖLÜM VIII

### BULGULAR

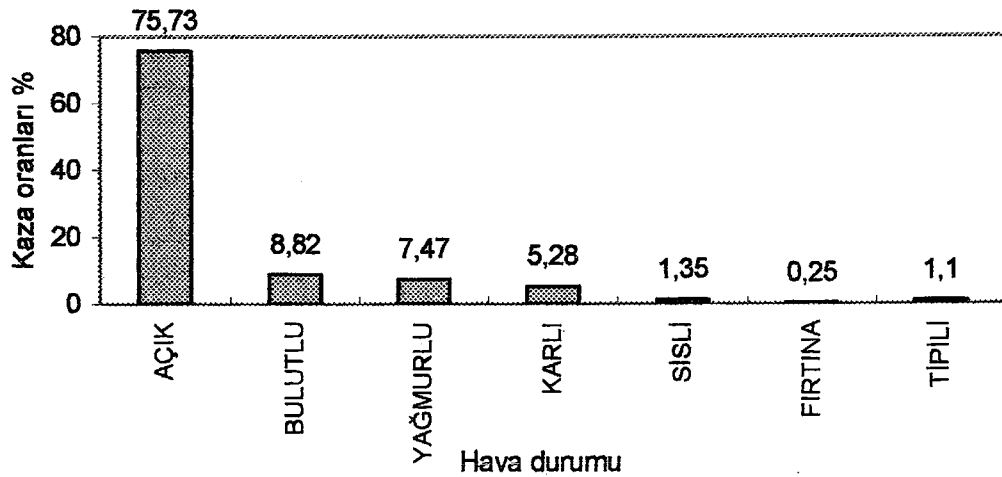
Aksaray, Türkiye'nin ana ulaşım damarlarının ayrım noktasındadır. Orta Anadolu'dan ülkenin doğusu ve batısına seyahat edecek araçlar Aksaray üzerinden geçerek dağılmaktadırlar. Bununla beraber Aksaray uluslararası yol ağı içerisinde transit geçişlerin yapıldığı bir şehirdir. Sanayisinin hızla büyüyor olması ve ülke genelindeki tahıl üretiminde varolan etkinliği Aksaray'ı bir çekim bölgesi haline getirmiştir. Bütün bu unsurların katılımı ile Aksaray, trafik yoğunluğuna sahip bir büyüyen şehir durumundadır.

Tablo (8.1) 1997-2000 Yılları arasında Aksaray'daki dört karayolunda meydana gelen toplam kaza Sayısı ( Aksaray İl Bölge Trafik Müdürlüğü )

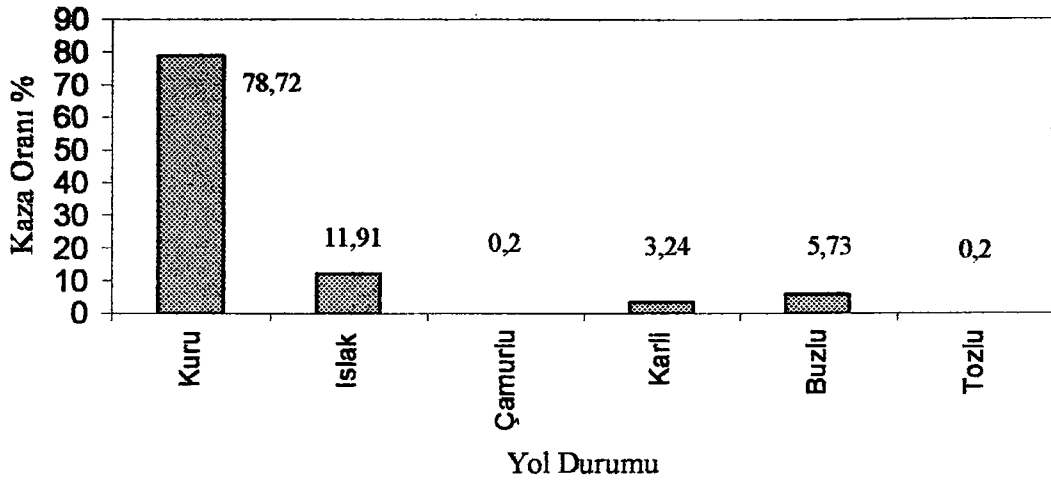
Güzergahlar	Kaza Sayısı
Aksaray-Ankara ( 50 km )*	710
Aksaray- Adana ( 38 km )*	400
Aksaray- Konya ( 63 km )*	323
Aksaray- Nevşehir ( 50 km )*	279
<b>Toplam</b>	<b>1712</b>

(\* Aksaray Trafik Şube Müdürlüğünün Sorumluluk Sınırlarıdır )

Tablo 8.1'de görülen 1712 kazanın hava durumlarına göre dağılımları Grafik 8.1'de görülmektedir.



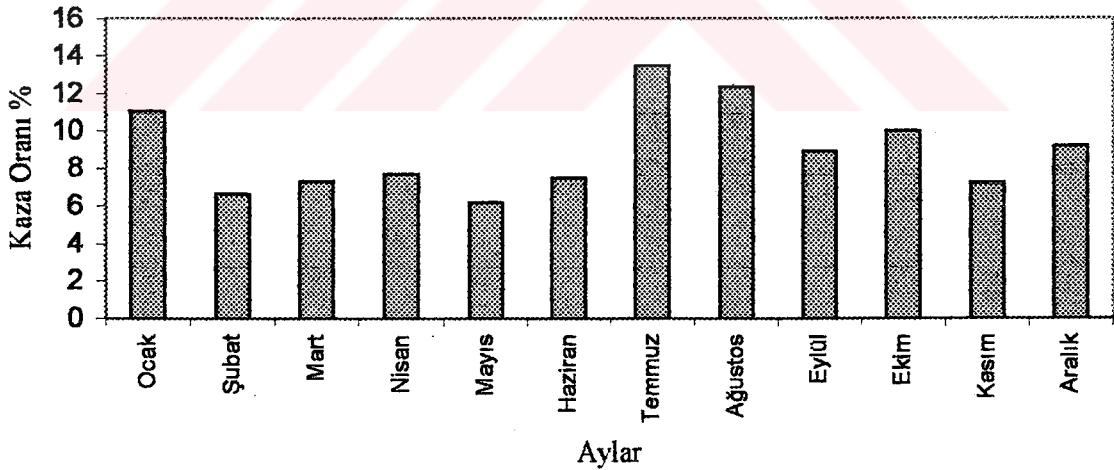
Grafik 8.1 Kazaların meydana geldiği andaki hava durumu(\*)



Grafik 8.2 Kazaların meydana geldiği andaki yol durumunun yüzde olarak dağılımı (\*)

Tablo 8.1' de dökümü yapılan 1712 kazanın meydana geldiği andaki yol durumu ise grafik 8.2 de görülmektedir.

Son iki grafikten anlaşıldığı gibi kazaların büyük bir kısmı açık havada ve yol platformu kuru iken meydana gelmiştir. Aksaray'da son dört yıl içerisinde meydana gelen toplam 1712 kazanın, aylara göre dağılımlarına bakılırsa Grafik 8.3 görülür.

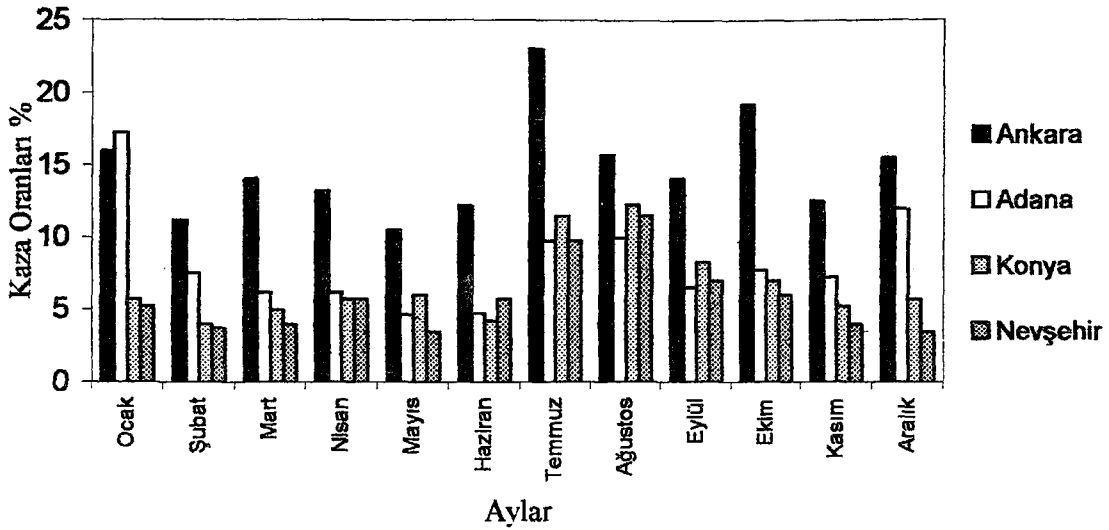


Grafik 8.3 Aylık ortalama kaza oranları

Aylık ortalama kaza oranlarına göre, kazaların yaz aylarında daha fazla meydana geldiği görülmektedir. Literatür kaynaklardaki değerlendirmelere göre buna temel teşkil eden sebebin, ağırlıklı olarak yaz aylarında artan ulaşım talebi olduğu öne sürülmüştür. Bununla beraber yol yüzeyinin kuru olduğu zamanlarda (yaz aylarında) meydana gelen kazaların fazla olması, kazalarda insan faktörünün önemli bir etken bulunduğuna da işaret etmektedir

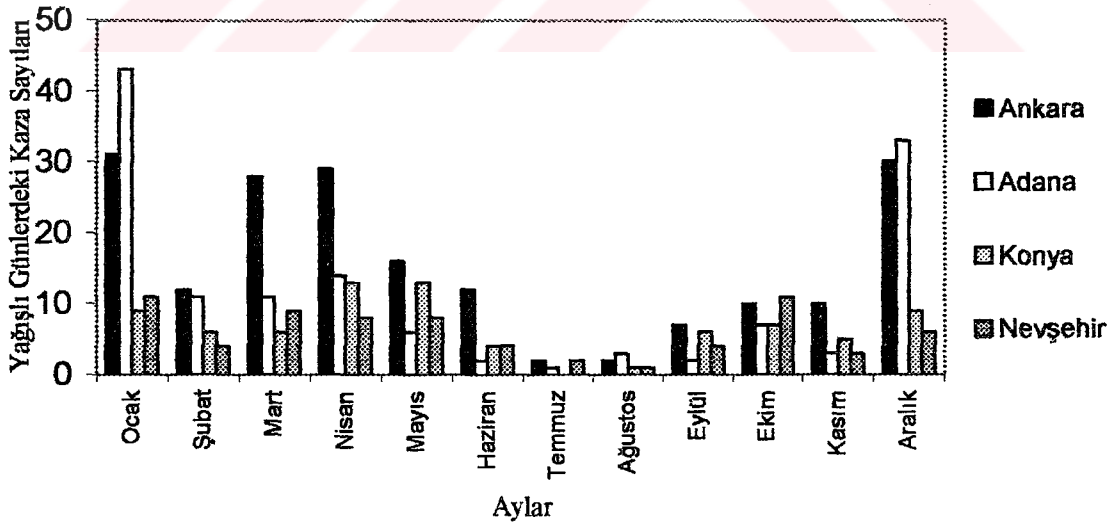


Tezde araştırmaya yönelik dikkate alınacak kısım yağış mevsimlerinde meydana gelen kazalardır. Aylık ortalama kazaların yollara göre dağılımları Grafik 8.4'te verilmiştir.



Grafik 8.4 Yollara göre aylık ortalama kaza oranlarının dağılımları

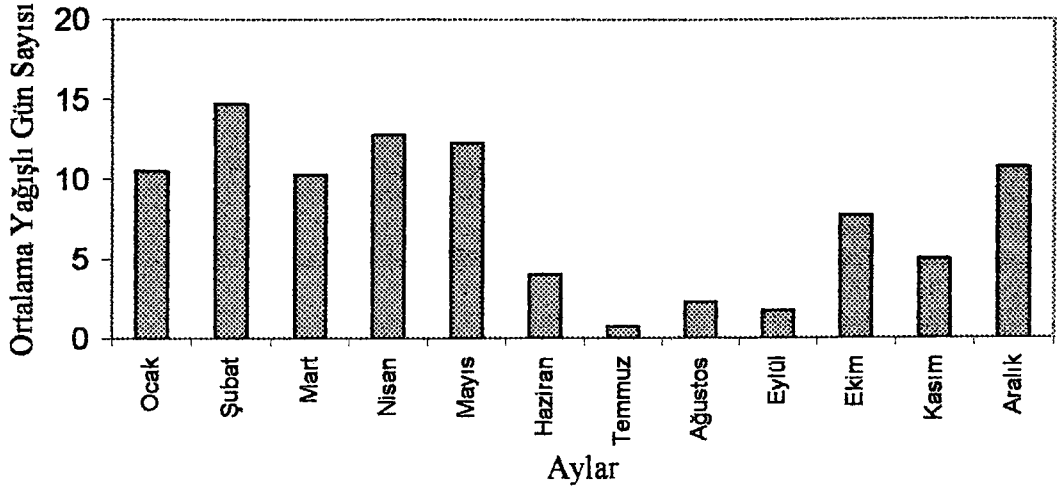
Grafikte 8.4'te grldği gibi Aksaray-Ankara yolu en fazla kazanın meydana geldiği güzergahtır. Ankara yolu (E 90) lkenin Orta Anadolu'nun doğu-batı aksindeki ana ulaşım arterleri olması nedeniyle, önemli bir ulaşım talebini karşılamaktadır. Bununla beraber grafikten anlaşılacağı üzere Nevşehir yolu en az kazanın meydana geldiği güzergahtır. 1997-2000 yılları arasında meydana gelen kazaların yollara ve yağışlı günlere göre dağılımları Grafik 8.5'te verilmiştir.



Grafik 8.5 Yağışlı günlerde meydana gelen kaza sayılarının yollara göre dağılımları

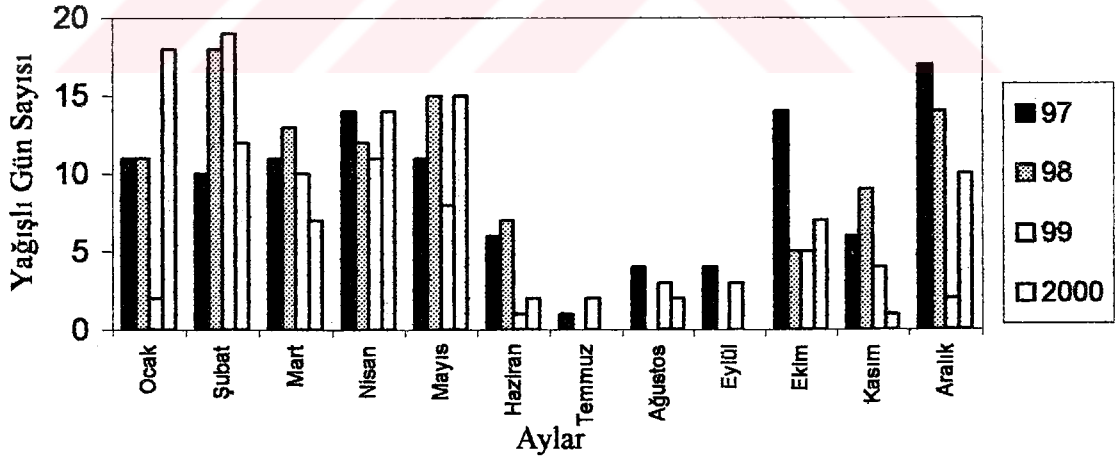
Yağışlı günlerde meydana gelen kazaların yağış mevsimleri olan bahar ve kış aylarında belirginleştiği görülmektedir. Grafik 8.5'e göre son dört yılda meydana gelen kazaların

Kasım Aralık, Ocak, Şubat, ve Mart aylarında yağış ve yol durumu arasında bir bağ kurulabilir. Bundan önce bütün bir yıl içerisinde aylara göre ortalama yağışlı geçen gün sayılarına bakarsak, yol yüzeylerinin ortalama olarak yılın kaç günü boyunca ıslak kaldığını öğrenebiliriz. (\*) Aksaray Meteoroloji İşleri İl Müdürlüğü)



Grafik 8.6 1997 2000 Yılları arasındaki aylık ortalama yağışlı gün sayısı(\*)

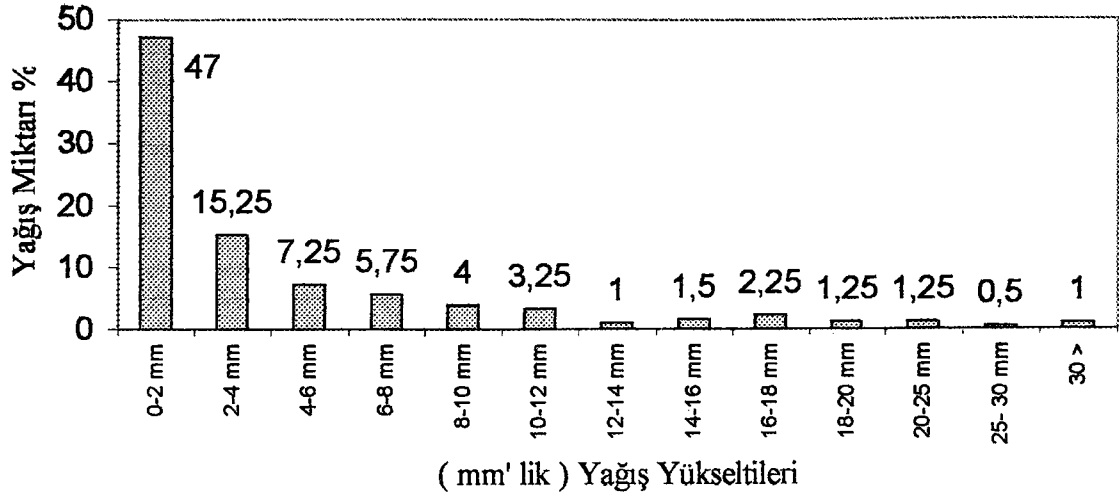
Ortalama yağışlı gün sayılarının, incelemeye alınan dört yıla göre yağışlı gün dağılımı ise Grafik 8.7'de verilmiştir.



Grafik 8.7 1997-2000 Yılları arasındaki aylık ortalama yağışlı gün sayısının yıllara göre dağılımı

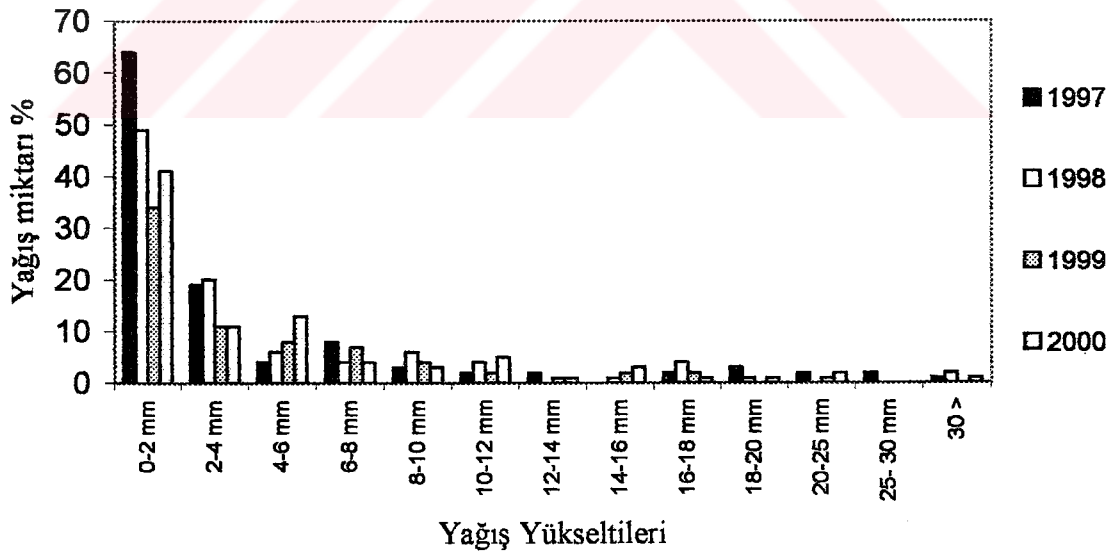
Grafiklerde görüldüğü gibi yağışlı gün sayıları en yağışlı aylarda 20 güne kadar ulaşmaktadır. Yağış grafiğinde en yağışlı ay Şubat ayı görünürken, en yağışsız ay Temmuzdur.

1997-2000 yılları arasında Aksaray havzasına düşen yağmurun mm'lik yükseklik olarak dağılımı Grafik 8.8'de görülmektedir.



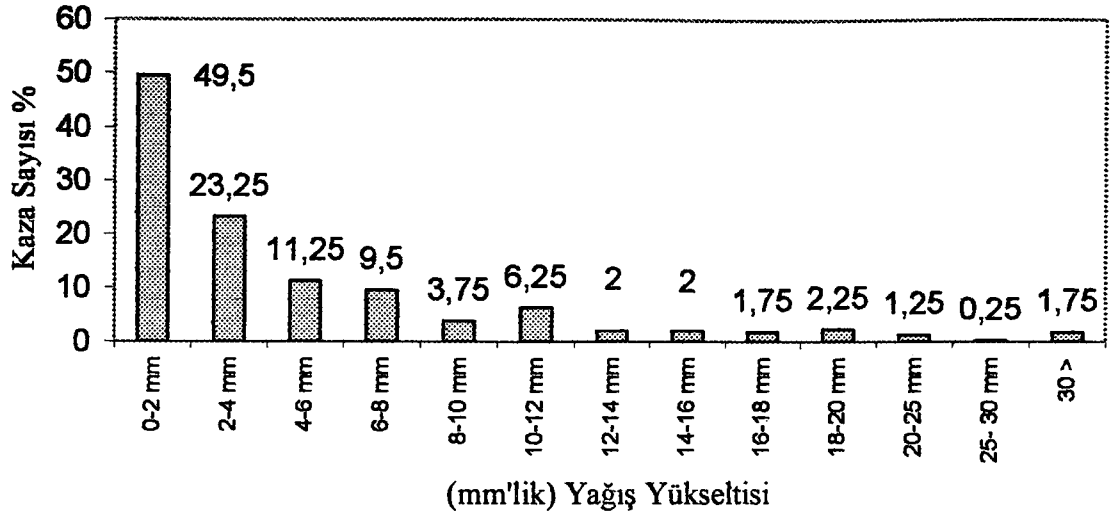
Grafik 8.8 1997-2000 Yılları arasında yağan yağışların (mm'lik) yükseltilerine göre dağılımı

Grafik 8.8'te görüldüğü gibi araştırmaya yönelik yağış havzasında, en çok yağış 0-2 mm'lik yüksekliğinde olmuştur. 1997-2000 yılları arasındaki yağış yükseltilerinin yıllara ve yollara göre birlikte dağılımları Grafik 8.9'da verilmiştir.



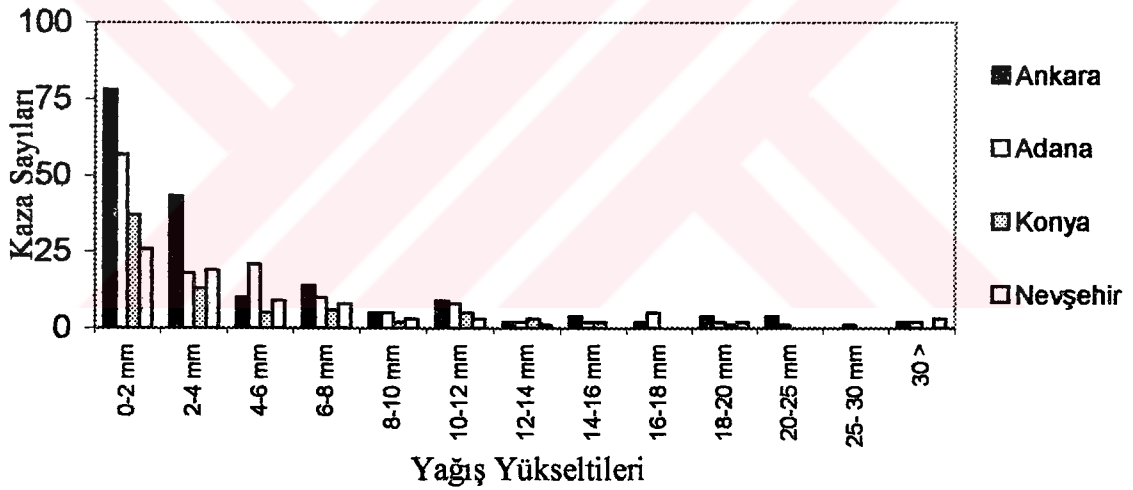
Grafik 8.9 1997-2000 Yılları arasında yağan yağış yükseltilerinin yıllara göre dağılımı

Yağışların (mm) yükseklik olarak dağılımları ile beraber, bu yağış yükseltelerinde meydana gelen (rastlayan) kazaların değerlendirilmesi yapılırsa, Grafik 8.10 elde edilir.



Grafik 8.10 Yağışlı günlerde meydana gelen kaza yüzdelerinin (mm'lik) yağış yükseltisine göre dağılımı

Yağış yükseltilerine göre ayrılmış kazaların yollara göre dağılımı Grafik 8.11'de verilmiştir.



Grafik 8.11 Yağışlı günlerde meydana gelen kazaların yollara ve yağış yükseltilerine göre dağılımı

Her iki grafikten görüldüğü gibi kazaların yaklaşık % 43'ü 0-2 mm yağış yükseltisinde meydana gelmektedir. Bu orandan sonra % 20 ile 2-4 mm'lik yağış yükseltisine karşı gelen kazalar bulunmaktadır. İlk bakışta 0-2 mm yükseltiye yığılan % 43 lük kaza oranı bize çarpıcı gelse de, bu yüksek orana neden; 0-2 mm'lik yükseltiye sahip yağış sayısının aynı miktarda fazla bulunmasıdır.

Tablo 8.2 1997-2000 Yılları arasındaki dört ana yolda ortalama aylık kaza sayıları

AYLAR	YILLAR	ORT. KAZA	ANKARA	ADANA	KONYA	NEVSEHİR	TOP.KAZA
OCAK	97	7	9	11	4	4	28
	98	8,75	9	17	3	6	35
	99	8,5	14	10	9	1	34
	2000	17,25	21	31	7	10	69
ŞUBAT	97	6,25	6	11	3	5	25
	98	7,25	16	6	3	4	29
	99	6,25	13	4	4	4	25
	2000	6,75	10	9	6	2	27
MART	97	5,5	8	4	5	5	22
	98	7,25	16	5	2	6	29
	99	8,5	16	5	10	3	34
	2000	8,75	18	11	4	2	35
KASIM	97	8	10	13	5	4	32
	98	9,25	16	7	9	5	37
	99	6,25	15	5	2	3	25
	2000	5,5	9	4	5	4	22
ARALIK	97	9	14	14	4	4	36
	98	11,25	21	10	9	5	45
	99	5,25	9	4	5	3	21
	2000	11,25	18	20	5	2	45

Aksaray Bölge Trafik ve Meteorolojiden alınan bilgiler ışığında , yağışlı günler ile kazalar arasında;

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}} \dots \dots \dots (8.1)$$

formülü ile bir korelasyon kurulmuştur. Formülde; x, yağışlı günleri, y, ise kazaları simgelemektedir

Tablo 8.3 Yıllık yağışlı günler ile yağışlı günde meydana gelen kaza istatistikleri

AYLAR	KORELASYON	REGRASYON
ARALIK	0,6962285	0,484734189
OCAK	0,7108682	0,505333662
ŞUBAT	0,3748236	0,143350658
MART	-0,583203	0,340125786
KASIM	0,7081282	0,556734868

Son dört yılda yağışlar ile kazalar arasında bulunan korelasyon değerleri görülmektedir. Değerler içinde Kasım ayında en yüksek korelasyon görülürken, Şubat ayında bu değer düşük çıkmıştır. Yağışlar sonucunda yüzeysel drenaj yetersizlikleri ile beraber yol platformundan uzaklaşamayan su, yol yüzeyinde kalarak trafik güvenliğini etkilemektedir. Söz konusu yüzeysel drenaj yetersizliğine dair Aksaray çevresindeki karayollarında yol kusurları saptanmıştır. Fotoğraf 8.1-8.7’de yolların yağışlı ve yağışsız günlerde çekilen geometrik durumları görülmektedir.



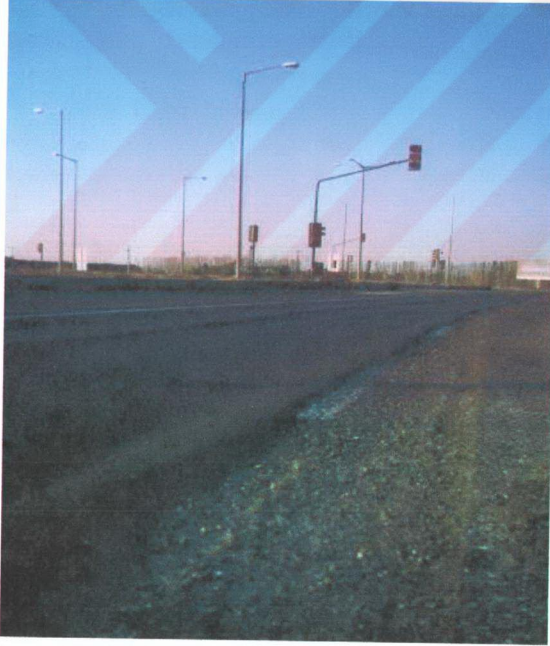
Fotoğraf 8.1 Adana yolu (Otomarsan civarı)



Fotoğraf 8.2 Ankara Yolu (Ağaçlı Tesisleri civarı)



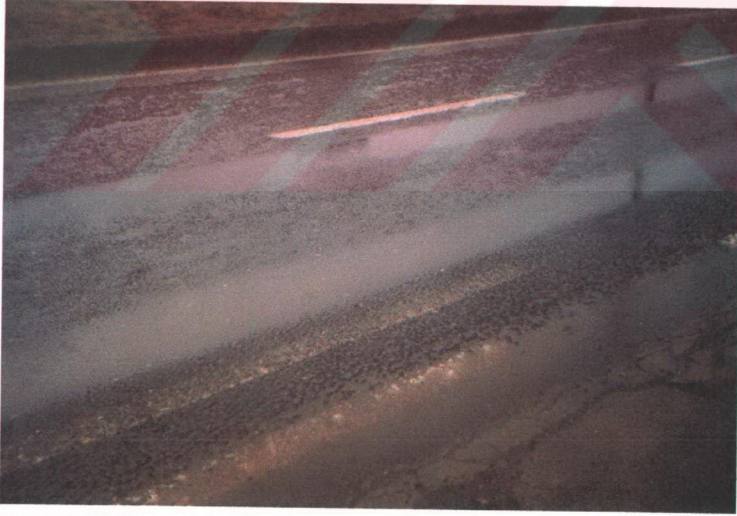
Fotoğraf 8.3 Adana Yolu ( Niğde makası civarı )



Fotoğraf 8.4 Karasu mevki



Fotoğraf 8.5 Adana Yolu yağmur sonrası



Fotoğraf 8.6 Ankara Yolu 5. km.





Fotoğraf 8.7 Konya Yol ayrımı



Fotoğraf 8.8 Adana Yol ayrımı

## BÖLÜM IX

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Karayollarının kendisinden beklenen hizmet seviyesini verebilmesi, drenaj sisteminin yeterli olmasına bağlıdır. Yol yüzeyinden uzaklaşmayan su; yüksek hızda giden araçların güvenliğini azaltmakta ve DDG'de don oluşmasına sebebiyet vermektedir. Temel tabakaları ve taban zeminine sızan su ise çok pahalı onarımlar gerektiren ve yol yüzeyinde çatlama meydana getiren yumuşak kesimlerin oluşmasına neden olmaktadır. Karayolu mühendisleri bu problemlerin meydana gelmemesi için uzun ömürlü drenaj sistemleri uygulamalıdır. Bundan önce alınacak en öncelikli tedbir, karayolunun geçeceği güzergahın drenaj yönünden tahkiki yapılarak tespit edilmesidir.

Aksaray ili dahilindeki dört karayolunun drenaj durumları açısından değerlendirmeleri, yağış yol ve kaza üçgeni içerisinde yapılmıştır. Yapılan grafikler ve korelasyon değerleri sonucunda; Ocak, Kasım ve Aralık aylarında yağış ve kaza arasında dikkat çekici değerler bulunmuştur. Ocak ayında en yüksek korelasyon değeri bulunurken, Şubat ayında en düşük korelasyon değeri elde edilmiştir. Yağışlı günlerin bu aylarda diğer aylara nazaran fazla olması ve bu aylardaki yağış yükseltilerinin büyüklüğü korelasyon kurulmasında önemli bir etkidir. Ancak kazalar ile ilişkili korelasyonlar kurulmasında yalnızca yağış günleri yağış yükseltileri ile değerlendirilme yapılması yeterli değildir. Çünkü kazaların meydana gelmesinde bilinen ve bilinmeyen bir çok etmen birbiri ile ilişkilidir. Trafik kazalarını oluşturan etmenlerden yol bozuklukları-yağış ilişkisi de bunlardan yalnızca birisidir.

Aksaray çevresinde bulunan dört karayolunun drenaj yetersizliğine neden olan geometrik bozuklukları saptamak amacıyla gözlemler yapılmıştır. Yapılan gözlemlerden ve çekilen fotoğraflardan görüldüğü gibi yolların yatış düzgünlüğünü kaybettiği saptanmıştır. Özellikle sıcak döküm bitümlü kaplama olan Ankara ve Adana karayollarının bazı lokal bölgelerinde ondülasyonlar ve bir çok kesiminde de dalgalanma ve raylanma problemleri bulunmaktadır. Sürüş konforunu ve emniyetini bozan bu kusurlar aynı zamanda yolların enine eğimlerini ortadan kaldırmıştır. Kusurlu olan yol kesimlerinin yağışlı günlerde çekilen fotoğraflarında görüldüğü gibi su; tekerlek izlerinin bıraktığı çukurlarda kalmakta ve yüzeyden uzaklaşmamaktadır.

Yol onarım ekipleri, enine dalgalanmaları ortadan kaldırmak için kaplamayı kazıyarak

( tıraşlama ) yüzeyin düzgünlüğünü sağlamaya çalışmaktadır. ( Fotoğraf 8.3 ). Fakat bu geçici onarımda yol yüzeyi pürüzlü hale gelmekte ve pürüzlü yüzeyde su tutulması devam etmektedir. Bunun yanında her iki durumda da tutulan su; DDG günlerinde donarak daha ciddi problemlere sebebiyet vermektedir.

## 9.2 Öneriler

Önerileri üç kısımda değerlendirirsek;

Yol inşasına başlanılmadan önce:

Yol yapımının proje aşamasında, yol geçkisindeki meteorolojik şartlar, zemin ve hidrojeolojik özellikler, zemin özellikleri ve çevre koşulları (akarsu,göl vs) detaylı olarak incelenmeli, şayet koşullar uygun değilse, diğer geçki alternatifleri düşünülmelidir. Çünkü drenaj uygulamalar için en uygun geçki, drenaj sistemlerine en az ihtiyaç duyan geçkidir. Şayet yol güzergahı, su muhtevası bakımından sorunlu bölgelerden geçmek zorunda olursa, tatbik edilecek hendeklerin,menfezlerin ve büzlerin yer ve boyutları uygun şekilde projelendirilmelidir.

Yeni yapılacak yollarda rijit üstyapılar tercih edilmeli ve geotekstil kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Özellikle yağışlı günlerde problem oluşturabilecek yerlerde lokal olarak grooving metodu uygulanmalıdır.

Kuzey Avrupa ülkelerinde yaygın olarak tatbik edilen geçirimli üstyapılar, ülkemizdeki yağışlı bölgelerde yeni yapılacak yollar için tercih edilmelidir. Bu tercihte geçirimli üstyapıların yüzeyden suyu hızla uzaklaştırabilmeleri ve yüksek kayma dirençlerine sahip olmaları önemli bir etkindir.

Yol inşası sırasında:

Yapım esnasında üstyapı tabakalarında kullanılacak agregalar yol işletim esaslarına göre uygun kalitede seçilmeli, killi ve siltli malzemelerin kullanılmasından sakınılmalıdır.

Tabakalar sıkıştırılırken optimum su muhtevası sağlanmalı asfalt sıcaklığı standartlara uygun olmalı ve asfalt dökümünün yapılacağı yüzeyin ise kuru olmasına dikkat edilmelidir

Yol işletimi sırasında:

Aşırı dingil yükleri, dalgalanma ve raylanma problemlerini meydana getiren önemli bir etkindir. Trafik Kanununun 65/1 fıkrasına göre; taşıma sınırının üstünde yük almanın cezası; 54.200.000 TL para cezası ve gerekli şartlar sağlanana kadar trafikten men edilmektir. Cezalar yeterince caydırıcıdır ancak gerekli ve yeterli kontroller

yapılmamaktadır. Dingil yüklerinin meydana getirdiği problemleri azaltmak için kontrol kantarlarının yerleri artırılmalı ve mevcut yasaların etkin kullanımı gerçekleştirilmelidir.

Sürücülerini bilgilendirmek için, hava yol ve trafik şartlarını algılayarak bir merkezde birleştirip değerlendirebilen ve değiştirilebilir işaretler şeklinde sürücülere anında yansıtılabilen işaretleme sistemleri uygulanmalı ve yaygınlaştırılmalıdır. ( Bolu dağı örneği )

Yayın yapan Meteoroloji radyosunun kapsama alanı artırılmalı ve bütün sürücülere yol ve hava şartlarını sürekli şekilde haber verebilmesi için ülke genelinde yaygınlaştırılmalıdır. Cep telefonlarından yol ve hava durumlarının ücretsiz öğrenilebilmesi sağlanmalıdır.

Mevcut bulunan karayollarının bakım ve onarımlarına gerekli önem verilmeli ve bütçeden yolların bakım ve ıslah çalışmaları için yeterli ödeneğin ayrılması gerekmektedir.

Günde ortalama 20, yılda ise 6-7 bin insanımızın can verdiği karayollarımızın daha güvenli ve uzun ömürlü olabilmesinde karayolu drenajının önemi anlaşılmalı, yol inşa ve bakım aşamalarında meteoroloji mühendisleri ile beraber eşgüdümlü çalışılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Ağar, E. ve Umar., F. 1991 Yol Üstyapısı. T.C İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Sayı: 1451. İstanbul
- Umar., F. Ve Yayla., N. 1994. Yol İnşaatı. T.C İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Sayı 1541. İstanbul
- Ağar., E., Sütaş, İ ve Öztaş., G. 1998. Beton Yollar ( Rijit Yol Üstyapıları)T.C İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Sayı: 1594 İstanbul
- AASHTO, 1993 Guide For Desing of Pavement Structures, American Association of State Highways and Transportation Officials., Washington
- ANONİM., 1994, Yollar Fenni Şartnamesi 1994, T.C.K Yayınları No: 170/2
- Atalay., İ.F, ve Nartürker.,M., 1977. Yol Yapım Notları , T.C.K Yayınları No: 210
- Bağbancı.,B. 1999 Çevre Koşullarının Yol Üstyapısına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi İTÜ. İstanbul
- Çağlarer., B.,1995, Karayollarında Drenaj İşleri, T.C.K Yayınları No: 196
- Ergün.,M. 1997 Doktora Tezi .Effects of Road Surface Micro and Nacrotecture on Skid Resistance .İstanbul Teknik Üniversitesi : İstanbul
- Clarkson H. Oglesby, R.Garry Hicks. Haigway Engineering 1982 Canada
- James, L.P, 1992, Traffic Engineering Handbook , Fourth edition, Prentic Hall, Englewood Cliffs. New Jersey
- Maden, S., 1962, Bitümlü Kaplamaların Bozulmasında Rolü Olan Faktörler ve Yağışlı Hava Şartlarının Bitümlü Kaplamalar Üzerindeki Zararlı Tesirlerinin Önlenmesi , Karayolları Teknik Bülteni , Sayı:9
- Çetin., M. 1991. Geçirimli Esnek Üstyapılar. Yüksek lisans tezi. İTÜ İstanbul.
- Özdirim, M., 1994 Trafik Mühendisliği I,II, Ankara
- Özgen, E., 1969, Yollarda Don Zararlarının Önlenmesi, Karayolları Teknik Bülteni, Sayı: 34
- Özüm, K., 1971, Trafik Kazaları ve Nedenleri
- Sarman., H.Z, 1980, Yol Kaplamalarının Bakım Esasları, A.B.D. Ulaştırma Dairesi, Teknolojiye İştirak Raporu: sayfa 80-228, Ankara
- Schreuder.,D.A., Criteria for the Selection of Drainage Asphalt, Leidschendam, Nederland. 1990
- Williams., R 1996 Cement Treated Pavements Materials Desing and Construction, Elsevier Science Applied Science Publishers. New York