

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU ULAŞIM AĞLARINDA YÜZEYSEL
DRENAJ SİSTEMLERİ VE HİDROLİK TASARIM
ESASLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Uğur ÇALIŞKAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI
MÜHENDİSLİĞİ**

OCAK 2007

**KARAYOLU ULAŞIM AĞLARINDA YÜZEYSEL
DRENAJ SİSTEMLERİ VE HİDROLİK TASARIM
ESASLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Uğur ÇALIŞKAN
(501041515)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. İlhan AVCI

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Emine AĞAR (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Ali UYUMAZ (İ.T.Ü.)

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Karayolu ulaşım ağları birçok bileşenden oluşan komplike sistemlerdir. Karayolu ulaşım ağlarının işlevlerini tam olarak yerine getirebilmeleri için yüzeysel drenaj sistemleri kritik bir öneme sahiptir. Yüzeysel drenaj sisteminde oluşacak problemler tüm karayolu ulaşım sistemini etkileyerek, sistemin zarar görmesine neden olur. Köprüler de karayolu ulaştırma sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Köprülerin tasarımında statik etkilerin yanında hidrolik etkilerin de göz önüne alınarak tasarım yapılması köprünün olası taşkın tehlikelerine karşı emniyetli olmasını sağlar. Köprü ayakları etrafındaki oyulma probleminin de dikkatle incelenmesi gerekir.

Bu çalışmada karayolu ulaşım ağlarında yüzeysel drenaj sistemleri incelenmiştir. Öncelikle hidrolik tasarımda kullanılacak temel yaklaşımlar açıklanmış ve karayollarındaki başlıca drenaj sistemleri tanımlanmıştır. Daha sonraki bölümlerde karayolu ulaştırma sistemlerinde kullanılan küçük sanat yapıları (menfezler) ve büyük sanat yapıları (köprü ve viyadükler) ile ilgili tasarım yöntemleriyle ilgili bilgi verilmiştir. Son olarak Türkiyede bu konuda karşılaşılan problemlere ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu çalışmamda benden hiçbir desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. İlhan Avcı'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İstanbul, 2006

Uğur ÇALIŞKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve İncelenecek Konunun Tanıtılması	1
2. KARAYOLLARINDAKİ BAŞLICA DRENAJ YAPILARI VE TÜRKİYE’DEKİ MEVCUT PROJELENDİRME KRİTERLERİ	4
2.1. Drenaj Yapılarının Hidrolik Tasarımında Taşkın (Proje) Debilerinin Belirlenmesi	4
2.1.1. Giriş	4
2.1.2. Rasyonel Yöntem	5
2.1.3. Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi	8
2.2. Yol Gövdesi Drenajı	17
2.2.1. Yüzey Suyu Drenajı	17
2.2.2. Yüzey Altı Drenajı	18
2.3. Drenaj Elemanları ve Projelendirme Kriterleri	19
2.3.1. Hendekler	20
2.3.1.1. Refüj Hendekleri	21
2.3.1.2. Kenar Hendekler	21
2.3.1.3. Palye Hendekleri	22
2.3.1.4. Yarma Üstü (Kafa) Hendekleri	22
2.3.1.5. Dolgu Şev Dibi (Topuk) Hendekleri	23
2.3.1.6. Kademeli Hendekler	24
2.3.1.7. Özel Hendekler	24
2.3.2. Borular	24
2.3.2.1. Dren Boruları	24
2.3.2.2. Toplayıcı Borular (Kollektörler)	24
2.3.3. Deşarj Yapıları	25
2.3.3.1. Bacalar	25
2.3.3.2. Enine Deşarj Yapıları	25
2.3.4. Düşü Yapıları	26

2.3.4.1. Asfalt Bordür ve Düşüm Olukları	26
2.3.4.2. Şütler	27
3. KÜÇÜK SANAT YAPILARI (MENFEZLER) VE MEVCUT HİDROLİK TASARIM İLKELERİ	28
3.1. Menfezlerde Hidrolik Analiz ve Hidrolik Tasarım Esasları	28
3.2. Menfez Yerleşimi ve Eğimleri	31
3.3. Menfez Giriş Yapıları	34
3.4. Menfez Girişlerinde Koruma	34
3.5. Menfez Çıkış Yapıları	35
3.6. Menfez Çıkış Ağızlarında Koruma	36
3.6.1. Taş Pere Uygulaması	36
3.6.2. Enerji Kırıcılı Koruma	37
3.6.3. Özel Tip Koruma	37
4. BÜYÜK SANAT YAPILARI (KÖPRÜLER/VİYADÜKLER) VE MEVCUT HİDROLİK TASARIM İLKELERİ	38
4.1. Türkiye’de Uygulamada Bulunan Mevcut Tasarım İlkeleri	38
4.2. Köprü ve Viyadük Yapılarının Hidrolik Tasarımında Hidrolojik ve Hidrodinamik Analiz Esasları	40
4.2.1. Akarsu Havzası ve Dere Yatağına Ait Topoğrafik ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	40
4.2.2. Proje Taşkın Debinin Belirlenmesine Yönelik Bölgesel Taşkın Frekans Analizleri	42
4.2.2.1. Taşkın Risk Alanının Belirlenmesi	43
4.2.2.2. Proje Taşkın Debinin Belirlenmesi	44
4.2.3. Dere Yatağındaki Akım Karakteristiklerinin Belirlenmesi	45
4.2.4. Akım-Yapı (Köprü/Viyadük Ayak/Temel) Etkileşimi	45
4.2.4.1. Ayaklara Gelen Direnç (Sürüklenme) Kuvveti	47
4.2.4.2. Ayaklar Üzerindeki Erozyon Etkisi	47
4.2.5. Ayaklar Etrafındaki Taban Oyulması Olayının İncelenmesi	48
4.2.5.1. Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler	48
4.2.5.2. Katı Madde Hareketi ve Köprü Ayaklarının Katı Madde Hareketine Etkisi	51
4.2.5.3. Köprü Ayakları Etrafındaki Oyulmaya Etki Eden Parametreler	55
4.2.6. Dinamik Etkiler ve Oyulma Olaylarına Karşı Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi	57
4.2.6.1. Köprü Ayakları Etrafında Alınması Gereken Önlemler	59
4.2.6.2. Yanal Erozyonu Azalmak Amacıyla Kullanılabilecek Yapısal Düzenlemeler	61

5. TÜRKİYE’DEKİ MEVCUT KARAYOLU DRENAJ VE SANAT YAPILARI TASARIM İLKELERİ VE YAŞANAN SORUNLARA İLİŞKİN GENEL BİR DEĞERLENDİRME	62
6. SONUÇ	64
KAYNAKLAR	66
EKLER	68
ÖZGEÇMİŞ	73

KISALTMALAR

KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
CALTRANS	: California Department of Transportation
TUMAK	: Türkiye Ulusal Meteoroloji ve Atmosfer Fiziği Komisyonu

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Çeşitli Arazi Şartlarında Akış Katsayıları.....	6
Tablo 2.2 Hidrolik Zemin Grupları ve Bitki Örtüsüne Göre Akış Eğri Numaraları Akış tablosu.....	9
Tablo 2.3 Boyutsuz Birim Hidrograf Koordinatları.....	15
Tablo A.1 Kumköy Standart Zamanlardaki max. Şiddetli Yağışlara ait Tekerrür Analiz Tablosu.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Yağış Akış İlişkisi	11
Şekil 2.2 :Yağış Akış İlişkisi	12
Şekil 2.3 :Yağış - Havza Alanı - Verim Grafiği	14
Şekil 2.4 :Türkiye’deki Kritik Yağış Süreleri.....	16
Şekil 2.5 :Düşüm Oluğu.....	26
Şekil 3.1 :Giriş Kontrollü Menfez İşletme Şartları.....	30
Şekil 3.2 :Çıkış Kontrollü Menfez İşletme Şartları.....	31
Şekil 3.3 :Menfezlerin Yatay Yerleşimi.....	32
Şekil 3.4 :Menfezlerin Düşey Yerleşimi.....	33
Şekil 4.1 :Akım içerisinde bulunan engel etrafında oluşan vorteks sistemler.....	49
Şekil 4.2 :Shields Diyagramı.....	53
Şekil A.1 :Kumköy Yağış-Şiddet-Süre Tekkerrür eğrisi.....	69
Şekil A.2 :Kumköy Yağış-Şiddet-Süre Tekkerrür eğrisi.....	70
Şekil A.3 :2 yılda bir 10 dakikalık şiddetli yağışların dağılımı haritası.....	72

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yağış havzası alanı
A_i	: Farklı karakterdeki havza alanları
A_k	: Alan
B_p	: Platform genişliği
C	: Akış katsayısı
C_i	: A _i alt havza alanına ait akış katsayısı
CN	: Yağış eğri numarası
CN_i	: Farklı karakterdeki alanlara ait yağış eğri numarası
CN_{ort}	: Ortalama yağış eğri numarası
C_L	: Dere yatağı, Alüvyon ve Zemin şartlarına bağlı olarak 3.4 ile 4.83 arasında değişen katsayı
C_D	: Cismin geometrisine (hidrodinamik yapısına) bağlı olarak 1 ila 2.1 arasında değişen direnç katsayısı
D	: Katı cismin akım doğrultusuna (V hız vektörüne) dik doğrultudaki boyutu
D_b	: Birim sağınak süresi
d	: Tane çapı
d_k	: Kritik akım derinliği
d_n	: Normal akım derinliği
d_s	: Bordür kenarındaki su yüksekliği
Fr	: Froud sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Taban geometrisi
h	: Akımın su derinliği
H₃	: Mecranın menba ve mansabı arasındaki kot farkı
H₄	: Havzanın en üst kotu ile menfez arasındaki kot farkı
H_a	: Akış yüksekliği
h_a	: Artık yağış (Dolaysız akış yüksekliği)
h_b	: Katı cismin akımın içine batma yüksekliği
H_i	: Dere yatağındaki kot farkı
h_s	: Menfez gövdesi çıkışında su derinliği
H_y	: Yağış yüksekliği
I	: Tekerrür yıllarına göre yağış şiddeti
J	: Yolun boyuna eğimi
L	: Havzanın en uç noktasından olan yatay mesafe (en büyük akarsu boyu)
L₁	: Arazi üstü akış uzunluğu
L₂	: Bir önceki hendek kesimi uzunluğu
L₃	: Akış mecrası boyu
L₄	: Havzanın en uç noktasının menfeze olan yatay mesafesi
L_c	: Drenaj alanı ağırlık merkezinin dere üzerindeki izdüşüm mesafesinden mansaba kadar olan mesafe

L_d	: Ardışık düşüm olukları ara mesafesi
L_i	: Dere yatağı uzunluğu
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
Q	: Debi
Q_h	: Hendek kapasitesi
Q_{hk}	: Boyutsuz birim hidrograf koordinatı
Q_{ort}	: Ortalama debi
q_p	: 1 mm'lik akış için verim
Q_p	: Birim hidrograf pik debisi
Q_t	: Taşkın debisi
Q_T	: T dönüş aralığına karşılık gelen debi
$q_T(B)$	: Taban geometrisinin fonksiyonu olarak taşıma kapasitesi
$q_T(S)$	: Söz konusu kesite menbadan gelen madde miktarı
R	: Hidrolik yarıçap
Re	: Reynolds sayısı
S	: Harmonik ortalama eğim
S_e	: Yolun enine eğimi
S_i	: Her parçanın eğimi
S_k	: Kanal eğimi
SC	: Ara değer
T	: Dönüş aralığı
T_1	: Arazi üstü akış süresi
T_2	: Hendek içindeki akış süresi
T_3	: Mecra içindeki akış süresi
T_c	: Konsantrasyon süresi (Toplanma zamanı)
T_{hk}	: Boyutsuz birim hidrograf koordinatı
T_i	: Dere yatağındaki akış süresi
T_p	: Taşkın başlangıcından maksimum debi değerine (Q_p) ulaşınca kadar geçen hidrografın yükselme zamanı
T_t	: Taşkın süresi
T_y	: Suyun yayılma genişliği
U^*	: Taban sürüklenme hızı
U	: Yaklaşım akımının hızı
V	: Akım hızı
V_1	: Arazi üstü akış hızı
V_2	: Bir önceki hendek kesiminde su hızı
V_s	: Su hızı
W	: Doğrusal yatak genişliği
ρ	: Akışkanın özgül kütlesi
ρ_s	: Taban malzemesinin özgül kütlesi
ν	: Akışkanın dinamik viskozitesi
τ	: Tabandaki akımın teğetsel gerilmesi
τ_{kr}	: Kritik kayma gerilmesi
γ	: Birim hacim ağırlık
∇	: Dolaysız akış hacmi
Δ	: Rölatif batmış yoğunluk

KARAYOLU ULAŞIM AĞLARINDA YÜZEYSEL DRENaj SİSTEMLERİ VE HİDROLİK TASARIM ESASLARI

ÖZET

Hidroloji genel olarak, dünya yüzeyinde, kayalarda, yeraltında ve atmosferde bulunan suyun özellikleri, döngüsü ve birbirleriyle olan ilişkilerini inceleyen bir bilim dalı olarak tanımlanır. Bu çok genel bir tanım olmasının yanında, suyla ilgilenen bütün alanları ilgilendiren bir tanımdır. Yağıştan dolayı oluşan yüzeysel akışın özellikleri yıllardır üzerinde çalışılan bir konudur ve taşkınların belirlenebilmesi için birçok gelişmiş yöntem ve teori geliştirilmiştir. Yağışın rastgele oluşan bir yapıya sahip olması dolayısıyla sistem çok karmaşık bir yapıdadır.

Bu çalışmada, karayolu ulaşım ağlarında yüzeysel drenaj sistemleri incelenmiş ve bu sistemlere ait hidrolik tasarım esasları açıklanmıştır.

Öncelikle, incelenen konuyla ilgili genel bilgi verilmiş ve önemli noktalar belirtilmiştir. İkinci bölümde, karayollarındaki başlıca drenaj yapıları ve Türkiye’de uygulamada olan projelendirme kriterleri incelenmiştir. Bu bölümde, taşkın debilerinin bulunması, yol gövdesi drenajı ile drenaj sistemini oluşturan elemanlar ve tasarım yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, menfezler ve menfezlerin hidrolik tasarım ilkeleri incelenmiştir. Bu bölümde, menfezlerin işlevleri açıklanmış ve temel tasarım yöntemleri genel hatlarıyla belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, köprüler ve viyadüklerin hidrolik tasarım ilkeleri üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle, Türkiye’de kullanılan tasarım ilkeleri açıklanmış, bunu takiben köprü ve viyadüklerin hidrolik tasarımında kullanılan hidrolojik ve hidrodinamik analiz esasları incelenmiştir. Ayrıca köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulmalar incelenmiş ve yerel oyulmalara karşı alınabilecek önlemler belirtilmiştir.

Beşinci bölümde, Türkiye’deki karayolu drenaj yapıları ile menfez ve köprülerin tasarımı aşamasında yaşanan problemlere ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Son bölümde, yapılan bu çalışma neticesinde ulaşılan sonuçlar açıklanarak çalışma tamamlanmıştır.

Hazırlanmış olan bu çalışma neticesinde, karayolu ulaştırma sistemlerinde üstyapı drenajı konusunda Türkiye’de kullanılan hesap yöntemlerinin ve tasarım metodlarının kendi içinde tutarlı olduğu fakat belli alanlarda eksiklerin bulunduğu tespit edilmiştir.

DRAINAGE SYSTEMS OF HIGHWAYS AND HYDROLIC DESIGN PRINCIPLES

SUMMARY

Hydrology is often defined as: “A science dealing with the properties, distribution, and circulation of water on the surface of the land, in the soil and underlying rocks, and in the atmosphere”. This is very broad definition encompassing many disciplines relating to water. The runoff of water over land has been studied and some rather sophisticated theories and methods have been proposed and developed for estimating flood flows. The random nature of rainfall, snowmelt and other sources of water further complicate the process.

In this study, drainage systems of highway transportation systems have been studied and hydrolic design principles of these systems have been defined.

Firstly, general facts about this subject have been defined and important points have been described. In second part of the thesis, drainage structures of highways and design principle in Turkey have been explained. In this section, floods, roadway drainage and drainage facilities have been described and hydrolic design principles have been explained.

In third part of the thesis, culverts and hydrolic design principle of culverts have been analyzed. In this section, functions of culverts and their design principles have been defined.

In forth part of the thesis, hydrolic design principles of bridges and viaducts have been studied. Firstly, design principles in Turkey have been explained and after this, hydrological and hydrodynamic design principles have been analyzed. In addition to these, local scour around bridge piers has been analyzed.

In fifth part of the thesis, problems about hydrolic design phase of drainage structures, culverts and bridges in Turkey have been defined.

Finally, the results of this study have been explained.

As a result, calculation methods and design principles of drainage systems of highways in Turkey are enough in their own scope but in some stages, some missing points about design principles have been found.

1. GİRİŞ

1.1. GİRİŞ VE İNCELENECEK KONUNUN TANITILMASI

Hidroloji genel olarak, dünya yüzeyinde, kayalarda, yeraltında ve atmosferde bulunan suyun özellikleri, döngüsü ve birbirleriyle olan ilişkilerini inceleyen bir bilim dalı olarak tanımlanır. Bu çok genel bir tanım olmasının yanında, suyla ilgilenen bütün alanları ilgilendiren bir tanımdır.

Yağmur ve kar gibi atmosfer olayları hidroloji biliminin ilgi alanına giren konular olmaları dolayısıyla, drenaj sistemlerinin hesap esaslarının başlangıç noktasında da hidroloji biliminin esaslarından faydalanılır. Hidroloji bilimi dünya yüzeyinde, kayalarda, yeraltında ve atmosferde bulunan suyun döngüsü ve birbiriyle ilişkilerini incelemek suretiyle, tüm ilgili sistemlerin mevcut su döngüsüne etkilerini ve bu sistemlerin su döngüsünden hangi açılardan etkilendiklerini ortaya çıkarmaya çalışır. Bu bağlamda düşünüldüğü takdirde, su döngüsüyle birebir etkileşim içerisinde olan en büyük sistemlerden bir tanesi karayolu ulaştırma sistemleridir.

Yağmur ve kar gibi doğa olayları sonrasında, ortaya çıkan suyun mevcut sistemlere zarar vermemesi için uygun yöntemler kullanılarak uzaklaştırılması gerekir. Karayolu sistemleri, yağmur ve kar gibi doğa olaylarıyla birebir etkileşim içerisinde oldukları için bu sistemlerde ortaya çıkmış olan suyun çok hızlı ve seri bir biçimde sistemden uzaklaştırılması gerekir. Bu amaca ulaşabilmek için drenaj sistemleri hazırlanır.

Karayolu ulaştırma sistemleri birçok bileşenden oluşur. Bu sistemler içerisinde birçok sanat yapısı inşa edilir. Bu yapılar temel olarak, menfezler ve köprülerdir. Menfezler, yağışla akışa geçen doğal dere yataklarının (kuru derelerin) yolu kesmesi durumunda, yağıştan dolayı yüzeysel akışa geçen yağmur sularının yola zarar vermeden yolun altından geçirilmesi amacıyla yapılan drenaj yapılarıdır.

Köprülerin projelendirilmesi, bir çok karmaşık sistemin aynı anda çözülmesini gerektiren bir süreçtir. Köprüler tasarlanırken, köprünün tipine ve inşa edilmesi düşünülen bölgeye bağlı olarak, köprünün özellikleri belirlenir. Bu süreçte köprünün

özelliklerini belirleyen en önemli faktör köprünün inşa edildiği yerdeki dere, nehir ve akarsu gibi su kaynaklarının özellikleridir.

Karayolu ulaştırma sistemleri, ulaştırma sistemleri arasında en yoğun olarak kullanılan sistemlerdir. Karayolu ulaştırma sistemleri planlanırken birçok faktör göz önünde bulundurulur. Genel olarak bu tip sistemlerde ilk aşamada ulaştırma kapasitesi dikkate alınarak sistemin boyutları ve sistemin özellikleri belirlenir. Ulaştırma sisteminin özellikleri belirlendikten sonra sistemin diğer bileşenlerinin planlaması yapılır. Bu aşamada dikkate alınan en önemli bileşenlerden bir tanesi drenaj sistemidir. Drenaj sistemi, karayolu ulaştırma sisteminin planlamasında ilk aşamalardan itibaren göz önünde bulundurularak karayolu ulaştırma sisteminin özelliklerinin şekillenmesinde rol oynar.

Karayolu sistemlerindeki üst yapı drenajı, hidrolik ve hidrolojinin az kullanılan uygulamalarından biri olmasından daha derin bir anlam içerir. İyi bir drenaj sistemi tasarımı, teknik ilkelerin ve eldeki verilerin dengeli bir değerlendirmesi ile ekonomi ve güvenlik faktörlerinin sisteme dahil edilmek suretiyle analiz edilmesini gerektirir.

Karayolu sistemlerinde yapılacak drenaj çalışmaları, yağmurdan dolayı oluşmuş olan yüzeysel suların karayolundan uzaklaştırılması, bu suların yapılacak kanal ve menfez sistemleriyle bölgeyi terketmelerini sağlamasının yanında, erozyon, menfezlerde oluşacak kabarmalar ve trafik güvenliği gibi konuları da gözönünde bulunduracak şekilde yapılması gerekir (CALTRANS, 2001).

Drenaj sistemi tasarımında, minimum tasarım kriterlerinin yanında, optimum bir tasarım yapılması fevkalade önem taşımaktadır. Diğer bir ifade ile, fonksiyonellik ve maliyet gözönünde bulundurularak tasarım yapılması gerekir.

Bir çok bilim dalında olduğu gibi hidroloji bilimi de istatistiksel metotları kullanarak eldeki verileri analiz etmeye çalışır. Belli bir bölgede ortaya çıkacak taşkın debisi o bölgedeki yağış miktarlarının belli bir zaman dilimi içerisinde analiz edilmesi sonucunda bulunur.

Karayolu sistemlerinde yapılacak olan drenaj projelerinde, oluşacak olan taşkınların olasılıkları gözönüne alınmalı ve bu doğrultuda bir tasarım yapılarak karayolu yapıları ve çevrede bulunan yapıların zarar görmemesi sağlanmalıdır.

Genel olarak yapılan drenaj sistemi tasarımlarında, 10 yıllık ve 50 yıllık yağış değerleri gözönüne alınabilir. Köprü ve viyadüklerin tasarımındaysa, bu yapıların

önemine ve projedeki diğer kriterlere bağlı olmak üzere 100 yıllık ve 500 yıllık yağış değerleri kullanılır.

Karayolu üstyapısı gözönüne alındığı takdirde, yüzeysel hidroloji ve yüzeysel akışın kontrolü konuları öne çıkmaktadır.

Yüzeysel akışın kontrolü, menfezlerle suyun çapraz olarak tahliyesi ve yol yüzeyinde bulunan suyun yüzeyden uzaklaştırılması konularını kapsamaktadır. Bu konuların ayrı ayrı ele alınıp değerlendirilmesine rağmen sistem bir bütün olarak yapılandırılmalı ve sistemi oluşturan tüm bileşenler birbiriyle uyumlu olmalıdır.

2.KARAYOLLARINDAKİ BAŞLICA DRENAJ YAPILARI VE TÜRKİYEDEKİ MEVCUT PROJELENDİRME KRİTERLERİ

2.1. Drenaj Yapılarının Hidrolik Tasarımında Taşkın (Proje) Debilerinin Belirlenmesi

2.1.1. Giriş

Karayolu sistemleri içerisinde yer alan hidrolik yapıların planlama ve tasarımına başlamadan önce sistem içerisindeki hidrolik yapıları etkileyecek proje debilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Dizayn debisinin belirlenmesi, karayolu sistemlerinde hidrolik yapıların projelendirilmesi sırasında karşılaşılan en önemli ve en zor aşamadır. Dizayn debisinin hatalı belirlenmesi, yapılacak olan yapıların yanlış projelendirilmesine neden olur. Debinin gerçekte olması gerekenden daha küçük bir değer olarak belirlenmesi, dizayn edilecek hidrolik yapıların kapasitelerinin yetersiz olmasına neden olur ve bu da karayolu sisteminin zarar görmesine neden olur. Debinin olması gerekenden daha büyük belirlenmesi ise, yapılacak yapıların gereğinden daha fazla kapasiteye sahip olmalarına neden olur ve bu durum ekonomik bir tasarım yapılmasına engel olur.

Proje debisinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların en önemli adımı hidrolojik analizdir.

Yapılacak olan hidrolojik analizde en önemli amaç, toplam akıştan kaynaklanacak debiyi hesaplamak ve drenaj yapısının kontrol etmesi veya uzaklaştırması gereken akım miktarını hesaplamaktır.

Bu analizleri sağlıklı ve güvenilebilir boyutta yapabilmek için;

- Hidrolojik analizin hangi boyutta ve hassaslıkta yapılacağına karar verilmelidir.
- Analizin yapıldığı bölgeyle ilgili hangi verilerin mevcut olduğu ve analiz için tam olarak hangi verilere ihtiyaç olduğu belirlenmelidir.

- Analiz için hangi yöntemlerin kullanılabileceği ve herbir metodun maliyeti ve hassasiyeti belirlenmelidir.

Proje debisinin belirlenmesinde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin her birinin kendine göre kullanım yerleri bulunmaktadır. Havza doğru şekilde analiz edilmek suretiyle, proje debisinin hesaplanmasında hangi yöntemin kullanılabileceğine karar verilmelidir.

Proje debisinin hesaplanmasında havza boyutuna bağlı olarak Rasyonel Yöntem veya Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi kullanılabilir.

2.1.2. Rasyonel Yöntem

Rasyonel yöntem, hesap yöntemleri içerisinde en popüler ve en pratik olan yöntemdir . Fakat her koşul için uygun olmayıp, yalnız uygun havza koşullarında kullanılabilir.

KGM (2005b), rasyonel yöntemin, akış katsayısının yüksek ve toplama havzasının 10 km²'den küçük olduğu durumlarda iyi sonuç vermekte olduğunu ve havza alanının 10 km²'den büyük olduğu durumlarda bu yöntemin kullanılmasının hatalı sonuçlara ulaşılmasına neden olacağını belirtmiştir. Fakat bu metod incelendiği takdirde bu yöntemin kullanılabilir olduğu havza alanının 2.5 km²'den küçük olan havzalar olduğu görülmektedir (Avcı ve diğ., 1991). 2.5 km²'den daha büyük olan havzalarda ya havza küçük havzalara ayrılır veya bulunan debi 1'den küçük bir küçültme katsayısı ile çarpılır. Bu küçültme katsayısı havza alanına bağlı olarak bu konuda hazırlanmış olan grafiklerden elde edilebilir (Avcı ve diğ., 1991).

Rasyonel Yöntemde debi formülü:

$$Q_t = CxIx A \quad (2.1)$$

Q_t : Maksimum Debi (Taşkın Debisi) (m³/s)

C: Akış katsayısı

I : Tekerrür yıllarına göre yağış şiddeti (m/s)

A: Yağış havzası alanı (m²)

Bu yöntemin kullanılmasında yağış havzasının özelliklerine bağlı olarak alınacak yüzeysel akış katsayısının iyi seçilmesi gerekmektedir. Yağış havzasına düşen yağmur suları, zeminin yapısı, bitki örtüsü ve havza eğimine bağlı olarak bir kısmı

zemine sızarken bir kısmı da yüzeysel akışa geçmektedir. Yüzeysel akış katsayısı (C), yağış havzasına düşen yağmur sularının yüzde kaçının yüzeysel akışa geçtiğini ifade eden bir katsayıdır.

Yüzeysel akış katsayısı; arazinin eğimi arttıkça ve arazinin bitki örtüsü azaldıkça artış gösterir. Akış katsayıları, Tablo2.1’den alınabilir.

Tablo 2.1: Çeşitli arazi şartlarında akış katsayıları

Yol Platformu Yüzeyleri İçin	C Akış Katsayıları
Yol Platformu ve Kaplanmış Alanlar	0.9
Yüksek Eğimli Yarma veya Dolgu Şevleri ($\alpha > 45^\circ$)	0.8
Düşük Eğimli Yarma veya Dolgu Şevleri ($\alpha \leq 45^\circ$)	0.5
Düzenlenmiş Düşük Eğimli Alanlar (Refüj vs.)	0.3
Küçük Kırsal Havzalar İçin	
Geçirimsiz	0.90-0.95
Dik-Çıplak	0.80-0.90
Dalgalı-Çıplak	0.60-0.80
Düz-Çıplak	0.50-0.70
Dalgalı-Çayırılık	0.40-0.65
Yaprakları Dökülen Orman	0.35-0.60
Çam Ormanı	0.25-0.50
Meyve Ağaçlıklı	0.15-0.40
Ziraat Arazisi	0.15-0.40
Kentsel Havzalar İçin	
Yoğun ve Kesintisiz Biçimde Yapılaşmış Kentsel Alan	0.80-0.90
Ticari/Kentsel Alan Yakın Yapılaşma	0.70-0.85
Kentsel Konut Alanı Sınırlı Bahçeler	0.45-0.75
Banliyöde Bahçeli Konut Alanı	0.35-0.65
Kum Tabakası Üzerinde Bütünüyle Yapılaşmış Banliyö	0.25-0.55
Park, Bahçe ve Çayırlar	0.15-0.45

Yağış havzasının değişken karakterde olması durumunda, havzaya ait ağırlıklı ortalama akış katsayısı hesaplanmalı ve bu akış katsayısı kullanılmak suretiyle proje debisi bulunmalıdır.

$$C_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_i)}{A} \quad (2.2)$$

A: Yağış havzası alanı = $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$

C_i : A_i ’ye ait akış katsayısı

Rasyonel yöntemde, I yağış şiddeti toplanma (konsantrasyon veya geçiş) süresine bağlı olarak değişir ve I yağış şiddetini belirleyebilmek için öncelikle konsantrasyon (toplanma) süresinin hesaplanması gerekir. Yağış süresi ve yağış alanını dikkate alan konsantrasyon (geçiş) süresi, yağış şiddetinin doğru hesaplanabilmesi için hatasız olarak belirlenmelidir. Bu sürenin hesaplanmasında yapılacak hatalar, yağış şiddetinin hatalı olarak belirlenmesine neden olur.

Toplanma (konsantrasyon veya geçiş) süresi havzanın en uzak noktasından havza çıkışına suyun varması için geçen zaman olarak tanımlanır (Avcı ve diğ., 1991).

Konsantrasyon süresi iki aşamalı olarak hesaplanır. İlk olarak ana dere yatağındaki akış süresi hesaplanır. İkinci aşamada arazi üstü (dere yatağının başlangıcı ile yağış havzasının en uç ve/veya en yüksek noktası arasında kalan mesafe) akış süresi hesaplanır. Konsantrasyon süresi, hesaplanmış olan iki akış süresinin (dere yatağındaki akış süresi ve arazi üstü akış süresi) toplanmasıyla bulunur.

Arazi üstü akış süresi;

$$T_1 = \frac{L_1}{(V_1 * 60)} \quad (2.3)$$

T_1 : Arazi üstü akış süresi, dakika

L_1 : Arazi üstü akış uzunluğu, metre

V_1 : Arazi üstü akış hızı, m/s

Ana dere yatağındaki akış süresi;

$$T_i = 0.0195 * \left(\frac{L_i^3}{H_i} \right)^{0.385} \quad (2.4)$$

T_i : Dere yatağındaki akış süresi, dakika

L_i : Dere yatağı uzunluğu, metre

H_i : Dere yatağındaki kot farkı, metre

T_c konsantrasyon süresi;

$$T_c = T_1 + T_i \quad (2.5)$$

Konsantrasyon (toplanma veya geçiş) süresi hesaplandıktan sonra bu değer kullanılarak yağış şiddeti belirlenir. Yağış şiddeti, Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür

Eğrilerinden alınır. Hesabı yapılan havzanın yakınında bulunan ölçüm istasyonuna ait Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür eğrisi dikkate alınarak yağış şiddeti değeri belirlenir. Örnek olarak Ek-A`da Kumköy istasyonuna ait Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür eğrileri ile standart zamanlardaki max. şiddetli yağışlara ait tekerrür analiz hesaplamaları tablosu ve Türkiye genelinde 2 yılda bir 10 dakikalık şiddetli yağışların dağılım haritası verilmiştir.

2.1.3. Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi

Havzaların büyük çoğunluğunda gelen taşkınları ölçecek ölçüm istasyonları olmadığından bu havzaların birim hidrografları sentetik yoldan bulunmaktadır. KGM (2005b), havza alanının 10 km²'den büyük olduğu durumlarda Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi kullanılabileceğini belirtmiştir. Fakat bu yöntemin havza alanı 2.5 km²'den büyük olan havzalardan başlanarak kullanılması daha uygundur (Avcı ve diğ., 1991).

Yağış şiddeti ve süresi, havzanın toprak sınıfı ve bitki örtüsü ile yağış alanının topografik özellikleri gibi faktörler taşkın büyüklüğüne etki eder.

Havzanın zemin cinsi ve bitki örtüsüne bağlı olarak Tablo 2.2 'den bir eğri numarası seçilir. Eğer yağış alanı içinde birbirinden farklı toprak grupları ve farklı bitki örtüsü varsa bunların kapladığı alanlar da göz önünde tutularak bütün havza için ortalama bir eğri numarası hesaplanır (KGM, 2005b).

$$CN_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times CN_i)}{A} \quad (2.6)$$

A_i : Farklı karakterdeki alanlar (km²)

A : Yağış havzası alanı (km²)

CN_i : Farklı karakterdeki alanlara ait eğri numarası

Tespit edilen eğri numarası, Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'den yararlanılarak yağışın akışa geçen miktarının bulunmasında kullanılır.

Yağış alanı topografyasının taşkına etkisini belirleyebilmek için ortalama eğimin hesaplanması gerekmektedir. En uzun akarsu boyu L olmak üzere, drenaj alanı ağırlık merkezinin bu dere üzerindeki izdüşüm mesafesinden mansaba kadar olan mesafe L_c bulunur.

Tablo 2.2: Hidrolik Zemin Grupları ve Bitki Örtüsüne Göre Akış Eğri Numaraları

	Arazi kullanılması örtü	Muamele ve tatbikat	Sızma için hidrolik şart	Hidrolik toprak grubu			
				A	B	C	D
A. Çok kumlu zeminler B. Kumu çok, kili az zemin, derince bitkisel toprak C. Kumu az, kili çok zemin, sığ bitkisel toprak D. Çok ağır killi veya kayalık zemin, bitkisel toprak çok ince veya hiç yok	NADAS	SR	----	77	86	91	94
	DİZİ	SR	Zayıf	72	81	88	91
	NEBATİ	SR	İyi	67	78	85	89
	Pancar gibi	C	Zayıf	70	79	84	88
		C	Zayıf	65	75	82	86
		CT	Zayıf	66	74	80	82
		CT	İyi	62	71	78	81
	UFAK	SR	Zayıf	65	76	84	88
	DANELİ	SR	İyi	63	75	83	87
	Buğday gibi	C	Zayıf	63	74	82	85
		C	İyi	61	73	81	84
		CT	Zayıf	61	72	79	82
		CT	İyi	59	70	78	81
	SIK EKİLMİŞ	SR	Zayıf	66	77	85	89
	BAKLİYAT	SR	İyi	58	72	81	85
	VEYA OT	C	Zayıf	64	75	83	85
	RATOSYONU	C	İyi	55	69	78	83
		CT	Zayıf	63	73	80	83
		CT	İyi	51	67	76	80
	ÇAYIRLIK	----	Zayıf	68	79	86	89
	VEYA	----	Müsait	49	69	79	84
	MEYDAN	----	İyi	39	61	74	80
		C	Zayıf	74	67	81	88
		C	Müsait	25	59	75	83
		C	İyi	6	35	70	79
	DEVAMLI ÇAYIR	----	----	30	58	71	78
	ORMAN	----	Zayıf	45	60	77	83
	Çiftlik	----	Müsait	36	60	73	79
	Ağaçları	----	İyi	25	55	70	77
	ÇİFTLİK BİNALARI	----	----	59	74	82	86
	YOLLAR (Tozlu)	----	----	72	82	87	89
	YOLLAR (Sert zeminde)	----	----	74	84	90	92

TİCARİ VEYA MİLLİ ORMAN HAVZALARI İÇİN							
Hidrolojik Sınıflar		Hidrolojik Toprak Grubu					
		A	B	C	D		
I. En Zayıf		56	75	86	91		
II. Zayıf		46	68	78	84		
III. Orta		36	60	70	76		
IV. İyi		26	52	62	69		
V. En İyi		15	44	54	61		

SR =	Muntazam sıralı
C =	Tesviye münhanilerine paralel
T =	Teraslanmış
CT =	Tesviye münhanilerine paralel ve teraslanmış

Ortalama eğimin hesaplanabilmesi için ana kolun boy kesiti haritadan çıkarılarak yatay uzunluk 10 eşit parçaya bölünür. Her parçanın kotları ve ara mesafeleri bilindiği için eğimleri hesaplanır. Bu değerler kullanılarak harmonik ortalama eğim bulunur.

$$S = \left[\frac{10}{\sum_{i=1}^{10} \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \right]^2 \quad (2.7)$$

S : Harmonik ortalama eğim (m/m)

S_i : Her parçanın eğimi (m/m)

q_p, iki saat sürdüğü ve havza üzerinde 1 mm'lik bir dolaysız akış meydana getirdiği kabul edilen bir yağıştan sonra, akış debisinin azami değere ulaştığında, yağış alanının her km²'sinde beklenecek debiyi ifade eder (lt/sn/km²/1 mm). q_p değerine 1 mm'lik akış için verim de denilmektedir.

Yağış havza alanı (A) ve (L*L_c/√S) değerlerine bağlı olarak, şekil 2.3 kullanılmak suretiyle q_p değeri bulunur (L toplayıcı ana kolun boyu (km) ve L_c ise yağış alanının ağırlık merkezinin ana toplayıcı üzerindeki izdüşümü ile ana toplayıcının yağış alanını terk ettiği nokta arasındaki uzaklıktır (km)). q_p değeri (2.8) bağıntısı kullanılarak hesaplanabilir.

$$q_p = \frac{414}{\left[A^{0.225} \left(\frac{L \times L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.16} \right]} \quad (2.8)$$

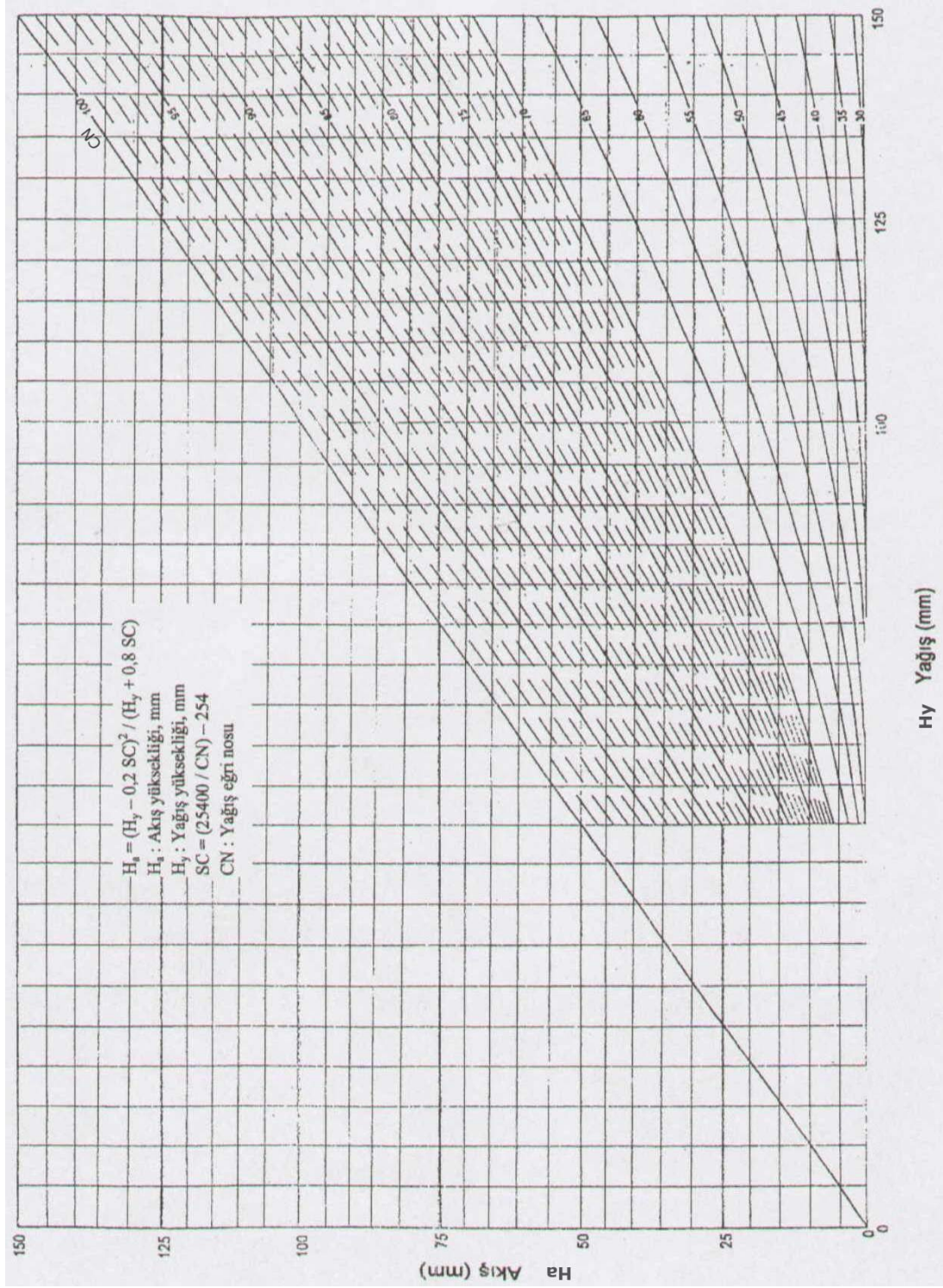
Birim hidrograf kuralına göre, h_a (mm) yüksekliğinde bir artık yağışın sebep olacağı maksimum debi (Q_p), 1 mm'lik artık yağıştan bulunacak değerin h_a katıdır.

$$Q_p = \frac{A \times q_p \times h_a}{1000} \quad (2.9)$$

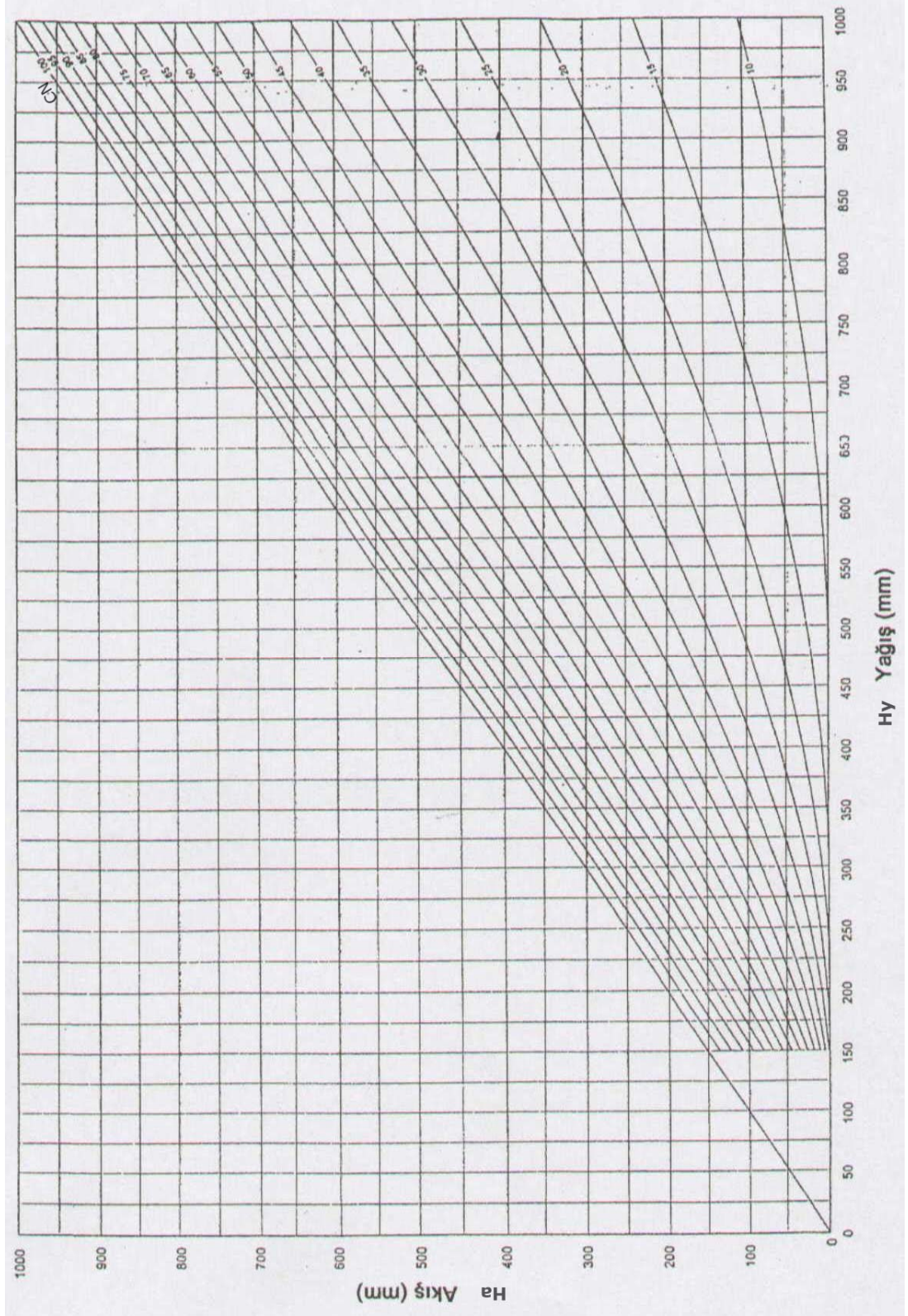
Q_p : Birim hidrograf pik debisi (m³/s)

A : Yağış havzası alanı (km²)

q_p : (2.8) nolu bağıntıdan hesaplanan değer (lt/sn/km²/1 mm)



Şekil 2.1: Yağış Akış İlişkisi



Şekil 2.2: Yağış Akış İlişkisi

Tipik hidrografın geometrik özellikleri dolayısıyla hidrograf taban genişliği (Taşkın süresi);

$$T_t = 3.65 \times \frac{\nabla}{Q_p} \quad (2.10)$$

Burada,

h_a : Artık yağış = Dolaysız akış yüksekliği, 1 mm

∇ : Dolaysız akış hacmi (= $A \times h_a \times 1000$; A:km²), m³

T_t : Taşkın süresi

Taşkın başlangıcından maksimum debi değerine (Q_p) ulaşmaya kadar geçen hidrografın yükselme zamanı;

$$T_p = \frac{T_t}{5} \quad (2.11)$$

Tablo 2.3’de verilen tipik hidrograf değerleri kullanılarak hesabı yapılan havzaya ait hidrograf koordinatları T_{hk} (saat), Q_{hk} (m³/s) olarak hesaplanır ve yatayda süre, düşeyde debi değerleri alınarak birim hidrograf çizilir.

Q_p değerlerinin bulunmasında yararlanılan Şekil 2.3’nin hazırlanışındaki özellik dolayısıyla bu hidrograf iki saatlik bir akıştan meydana gelen taşkın hidrografıdır.

Taşkın tekerrürlerinin hesabına esas alınacak yağış süresi aşağıdaki üç yöntemle bulunur (KGM, 2005b).

$$T_c = 0.000032 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2.12)$$

T_c : Toplanma Zamanı (saat)

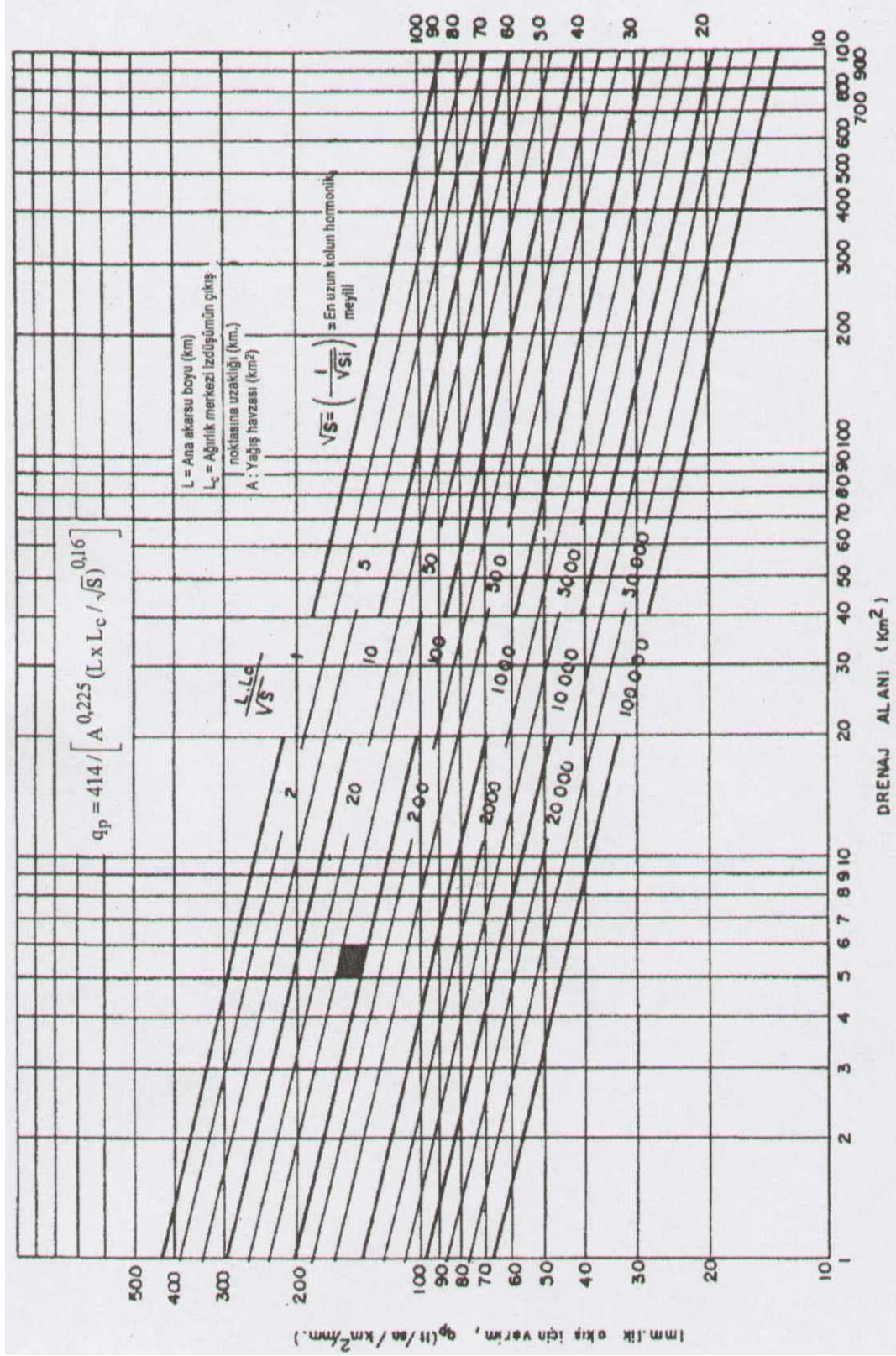
L : Havzanın en uç noktasından olan yatay mesafe (m)

S : Harmonik ortalama eğim

$$D_b = 2\sqrt{T_c} \quad (2.13)$$

D_b : Birim sağanak süresi (saat)

T_c : Toplanma Zamanı (saat)



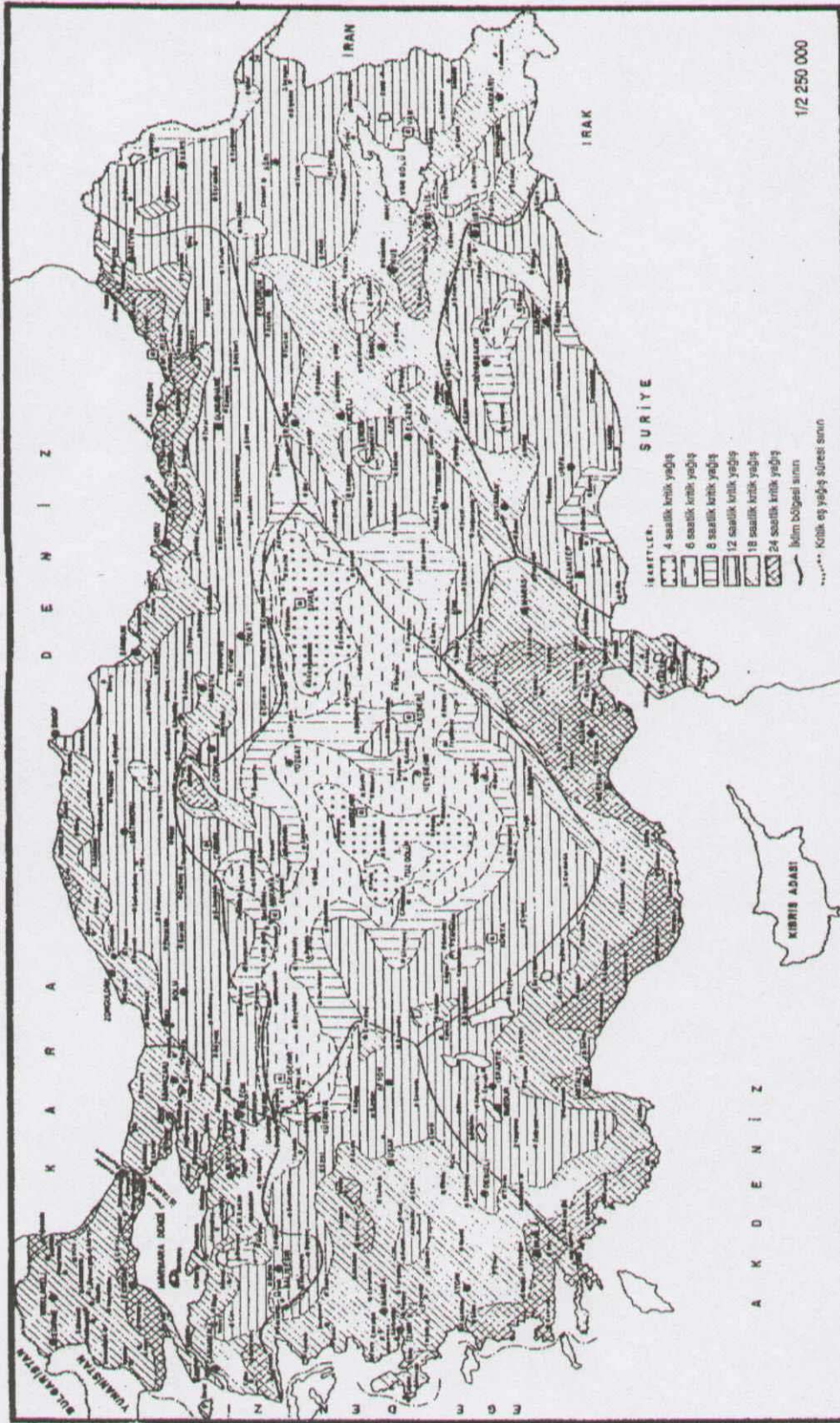
Şekil 2.3: Yağış - Havza Alanı - Verim Grafiği

Tablo 2.3: Boyutsuz Birim Hidrograf Koordinatları

Zaman Oranları T_{hk}/T_p	Debi Oranları Q_{hk}/Q_p
0.0	0.000
0.1	0.015
0.2	0.075
0.3	0.160
0.4	0.280
0.5	0.430
0.6	0.600
0.7	0.770
0.8	0.890
0.9	0.970
1.0	1.000
1.1	0.980
1.2	0.920
1.3	0.840
1.4	0.750
1.5	0.660
1.6	0.560
1.8	0.420
2.0	0.320
2.2	0.240
2.4	0.180
2.6	0.130
2.8	0.098
3.0	0.075
3.5	0.036
4.0	0.018
4.5	0.090
5.0	0.004
Sonsuz	0.000

Kritik Bölge Yağışı: Yağış alanının bulunduğu bölgenin iklim özellikleri göz önüne alınarak hazırlanmış Şekil 2.4'teki Kritik Yağış Süreleri Haritasından alınan hesabı yapılacak havzanın bulunduğu bölgeye ait kritik yağış süresidir (saat).

Hesaplanan bu yağış sürelerinden en büyüğü sağanak süresi (proje yağışı süresi) olarak alınır (KGM, 2005b). Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür eğrilerinden sağnak sürelerine göre yağış şiddeti değerleri alınır.



Şekil 2.4: Türkiye'deki Kritik Yağış Süreleri

2.2. Yol Gövdesi Drenajı

Karayolu ulaştırma sistemlerinin sistem olarak etkin bir biçimde hizmet verebilmesi için yol gövdesi drenaj sisteminin doğru olarak projelendirilmesi gerekir.

Yol gövdesi drenajının temel amacı; yüzey ve yer altı sularının hem yolun alt ve üst yapısına zarar vermeden, hem de yol üzerindeki trafik akışının süreklilik ve emniyetini azaltmadan en etkin biçimde uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

Bu amaca ulaşabilmek için, yol gövdesi üzerinde ve içerisinde hendekler, kanallar, borular, bacalar ve deşarj yapıları kullanılarak bir drenaj sistemi kurulmalıdır.

Hazırlanmış olan bu sistem bir bütün olarak çalışmalı ve her bir sistem elemanı sistemin diğer drenaj elemanlarıyla uyumlu olmalıdır.

Yol gövdesi drenaj sisteminin işlevi genel olarak aşağıdaki gibi açıklanabilir (KGM, 2005b).

- Yol yüzeyinde bulunan suyu yoldan çabuk ve emin şekilde uzaklaştırmak
- Orta refüjden ve şevlerden gelen suları toplamak ve bunların yola ulaşmasını önlemek
- Yola bitişik arazi parçasından gelen yüzey suyunu tutmak
- Yol tabanının yumuşamasını ve deformasyonunu veya kaplama tabakasında olabilecek don hasarını önlemek için yolun altındaki yeraltı su seviyesini kontrol etmek
- Kaplama tabakasından alt temele sızan suyu toplamak
- Yarmalarda şev stabilitesini korumak için yer altı su seviyesini kontrol etmek

Bu işlevler, yüzey suyu drenajı ve yüzeyaltı drenajı olarak iki ayrı kategoride ele alınarak incelenecektir.

2.2.1. Yüzey Suyu Drenajı

Yüzey suyu drenajı, yol yüzeyinden, şevlerden veya yola doğru eğimli doğal araziden gelen yağmur sularının drenaj sistemi elemanları ile toplanarak uygun bir dere yatağına deşarj etmek üzere taşınmasıdır. Bu, esas olarak yolun açık ve emniyetli bir durumda tutulması amacıyla yapılan bir işletme görevidir. Bu sistemde

kullanılacak drenaj elemanları refuj, kenar, palye, kafa ve topuk hendekleri ile asfalt bordür, toplayıcı borular ve enine deşarj yapılarıdır (KGM, 2005b).

Yol platformu ve yarma şevlerinden gelen sular üst yapı kenarında teşkil edilen hendekler ile toplanarak ızgaralı bacalarla sızdırmaz taşıyıcı borulara alınır ve deşarj noktasına ulaştırılır.

Dolgu olan kesimlerde yol platformundan gelen sular bordür ile toplanıp düşüm olukları ile topuk hendeklerine aktararak uzaklaştırılır.

Yarma üstü ve dolgu eteklerinde araziden gelen suyu toplayacak kafa ve topuk hendekleri, palyelerde şevden gelen suyu toplayan palye hendekleri yapılır.

Orta refüjde de hendek yapılarak hem refüje düşen yağış ve hem de deverli kesimlerde yol yüzeyinden gelecek su toplanıp deşarj noktalarına ulaştırılır.

2.2.2. Yüzeyaltı Drenajı

Yüzeyaltı drenajı yol gövdesi drenajının bileşenlerinden biridir. Uygun biçimde yapılandırılmasıyla yol gövdesinin hasar görmesini engeller.

Yüzeyaltı drenajının amacı, yolun üzerinde bulunduğu zeminden sızıntı yolu ile giren sular nedeniyle yol tabanı ve dolgusunun zayıflamasını önlemek, stabilitelerini arttırmak ve bu suların donması nedeniyle oluşan genleşme ve kabarma etkilerini ortadan kaldırmak için bu suların en çabuk şekilde uzaklaştırılmasını sağlamaktır .

Su, yol üstyapısını oluşturan tabakalara çeşitli şekillerde girmektedir. Bunlar, kaplama yüzeyindeki küçük çatlaklardan, tabandaki suyun kapilarite ile yükselmesiyle ve hasar gören boru sisteminden sızıntılarla giren su olarak sınıflandırılabilir (KGM, 2005b).

Suyun yol tabanına girişi ise sızıntı sularının emilmesi ile yarmalarda yeraltı su seviyesine inilmesi ile yağışlı dönemlerde yer altı su seviyesinin yükselmesi ile ve kırılmış borulardan sızma ile olmaktadır.

Yol üstyapısı ve yol tabanına çeşitli yollarla giren suyun tahliye edilmesi ve belli bölgelere ise suyun sızmasını engellemek gerekir. Bunları sağlamak için yeraltı drenaj sistemi yapılır. Yeraltı drenaj sistemi, yeraltı suyunun belli bir seviyenin üzerine çıkmasına engel olmak ve yolun taban mukavemetini mümkün olduğunca arttırmak için yapılmaktadır.

Yol drenaj sistemlerinde kullanılan çeşitli drenaj metotları bulunmaktadır. Örnek olarak, yol tabanındaki su, terasman yüzeyinde sağlanan yeterli bir enine eğimle platformun kenarlarında ve refüjde yüzey drenaj hendeklerinin altında yapılan geçirimli dren boruları ile toplanıp, taşıyıcı borular veya uygun durumlarda doğrudan deşarj noktalarına ulaştırılmak suretiyle drene edilebilir.

2.3. Drenaj Elemanları ve Projelendirme Kriterleri

Drenaj sistemleri birçok bileşenden oluşan sistemlerdir. Oluşturulacak olan drenaj sistemlerinde bulunan drenaj elemanlarının birbirleriyle uyumlu şekilde çalışacak ve sistemin bütünlüğünü bozmayacak şekilde yapılandırılması önemlidir. Yüzey suyu ve yeraltı drenajı hendekler, borular, bordür ve düşüm olukları ve bacalardan oluşan bir sistemle sağlanır. Drenaj sistemlerinde basınçlı akım koşullarının oluşması kesinlikle istenmez ve yapılan hidrolik tasarımlarda basınçlı akım koşullarının ortaya çıkması engellenir.

Drenaj sisteminin tüm elemanlarında akım, serbest yüzeyli olacak biçimde projelendirilir. Serbest yüzeyli akımlar, içinde bulundukları kesite basınçlı akımların uyguladıkları şekilde ek bir basınç kuvveti uygulamazlar. Serbest yüzeyli akımlarda su yerçekimi kuvvetinin etkisiyle hareket eder. Bu nedenle projelendirilen drenaj sistemlerinde uygulanacak eğim de büyük önem taşır. Drenaj sistemini oluşturan elemanlar (hendekler, borular, bordür vb.) projelendirilirken, bu elemanların kesitleri uygulanacak eğime göre belirlenir. Bu yapılarda uygulanacak eğim de genel olarak ilgilenilen karayolu sisteminin o bölgedeki eğimine yakın bir değer seçilir. Karayolu sisteminin yakınında olmayan sistemlerde genel olarak o bölgedeki doğal eğim kullanılmak suretiyle mali ve teknik açıdan en uygun çözüme ulaşılmaya çalışılır.

Tüm hazırlanan projelerde doğal eğimin kullanılması mümkün olmayabilir. Genel olarak bu tip durumlarla, ters eğimin kullanılması gereken durumlarda karşılaşılır. Ayrıca doğal eğimin sistem içerisinde gerekli olan akım koşulları sağlayabilecek eğim miktarından büyük veya küçük olması durumunda da farklı eğimler kullanılarak sistemin bütününde akım koşullarının benzer özellikler taşıması sağlanır. Özel durumlarda kullanılacak olan eğimler, drenaj yapısının sistemin bütünüyle uyumlu olarak çalışmasını sağlamalı ve drenaj sisteminde herhangi tıkanmaya sebep olmamalıdır.

Ayrıca drenaj sistemi içerisinde akım hızı da büyük önem taşımaktadır. Sistem içerisinde akım optimum bir hızla akması sistemin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Akım hızının çok büyük değerlerde olması sistem içerisinde düzensizliğe yol açmasının yanında, sistemi oluşturan drenaj elemanlarının erozyon sonucuyla aşınmasına ve zarar görmesine neden olur. Akım hızının çok küçük değerlerde olmasıysa, su içerisinde bulunan katı maddelerin kesit içerisinde birikerek sistemi tıkamasına neden olur.

Serbest yüzeyli akımlarda Manning formülü kullanılarak hız ve debi bulunabilir. Manning formülü aşağıda verilmiştir.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_k^{1/2} \quad (2.14)$$

$$Q = V \cdot A_k \quad (2.15)$$

V: Akım hızı (m/s)

n: Manning pürüzlülük katsayısı

S_k: Kanal eğimi

R: Hidrolik yarıçap (m)

A_k: Alan (m²)

Q: Debi (m³/s)

Bu ifade incelendiğinde, debinin kanal kesitini veya kanal eğimini arttırmak suretiyle arttırılabileceği görülmektedir. Ayrıca kanalın pürüzlülüğü azaltılarak da belli bir eğim altında belli bir kesitte taşınabilecek debi miktarı arttırılabilir.

2.3.1. Hendekler

Hendekler karayolu drenaj sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Hendeklerin doğru olarak projelendirilmesi drenaj sisteminin kusursuz olarak işlemlerini sağlar. Temel olarak hendeklerin tasarımı iki aşamada yapılır. Birinci aşamada, taşınacak debiye bağlı olarak hendeğin kesiti belirlenir. İkinci aşamada hendekte herhangi bir aşınma riskinin olup olmadığı araştırılır ve eğer gerekiyorsa aşınmayı önlemek için kullanılabilecek önlemler belirlenir (Wright ve Dixon, 2004). Hendekler drenaj sisteminin birçok noktasında kullanılırlar. Örnek olarak, kenar hendekleri, refüj hendekleri, palye hendekleri, kafa hendekleri, topuk hendekleri ve kademeli hendekler sıralanabilir. Temel olarak hendeklerin projelendirme prensipleri

aynıdır. Temel hidrolik ilkeler kullanılarak hendeklerin boyutları ve kapasiteleri bulunur.

Hendeklerin kapasiteleri bulunurken Manning formülü kullanılabilir.

2.3.1.1. Refüj Hendekleri

Yolun deverli durumlarda orta refüje doğru akan platform yüzey suyu ile orta refüj yüzeyinin kendi suyunu toplamak amacıyla orta refüjde beton hendekler yapılır.

Yağış debisi rasyonel metotla hesaplanırken, yağış şiddetini bulmak için gerekli olan toplanma zamanı aşağıdaki şekilde hesaplanır (KGM, 2005b).

$$T_c = T_1 + T_2 \quad (2.16)$$

T_c : Toplanma Zamanı (dakika)

T_1 : Arazi üstü akış süresi (dakika)

T_2 : Hendek içindeki akış süresi (dakika)

$$T_2 = \frac{L_2}{V_2 \times 60} \quad (2.17)$$

L_2 : Bir önceki hendek kesimi uzunluğu (m)

V_2 : Bir önceki hendek kesiminde su hızı (m/s)

Toplanma zamanı bulunduktan sonra bu değer 5 dakikadan az ise toplanma zamanı 5 dakika, 5 dakikadan büyük olduğu durumlarda ise hesapla bulunan değer toplanma zamanı olarak alınır. Toplanma zamanı bulunduktan sonra, yağış şiddeti yağış-süre-tekerrür eğrileri kullanılmak suretiyle bulunabilir.

2.3.1.2. Kenar Hendekler

Yolun yarma kesimlerinde yol yüzeyinden ve yarma şevlerinden, kapasiteleri dolduğu noktalarda palye hendeklerinden ve bazı özel durumlarda kafa hendeklerinden gelen yüzey sularını toplamak amacıyla yol kenarına yapılan hendeklere kenar hendekleri denir.

Kenar hendeklerin altına drenaj borusu yerleştirilir ve bu borunun bakımı için her 100 m’de bir kapaklı bacalar ve ızgaralı bacalar yapılır (KGM, 2005b).

Projelendirilecek olan kenar hendeklerinin eğiminin yolun eğimiyle aynı olması yapım ve işletim açısından daha uygundur.

2.3.1.3. Palye Hendekleri

Yol projeleri yapılmadan önce yolun güzergahının geçtiği bölgede ayrıntılı bir geoteknik rapor hazırlanır. Bu geoteknik rapor yardımıyla yol yapısını oluşturan elemanların, yarma ve dolguların özellikleri belirlenir.

Palye hendekleri, hazırlanmış olan geoteknik rapora göre palyeli olarak yapılan yarma ve dolgularda şeve düşen yağmurun toplanarak uzaklaştırıldığı üçgen kesitli beton kaplamalı hendeklerdir.

Yarma kesimlerinde kafa hendekleri ile toplanamayan ara havzalardaki yağış, düşüm oluşuyla doğrudan palye hendeğine aktarılabilir. Dolgu kesimlerde ise dolgu yüzeyine düşen yağış, palye hendeği ile taşınır ve asfalt bordürle toplanan yüzey suyunun uzaklaştırıldığı düşüm oluklarına verilerek palye altından geçirilip topuk hendeklerine aktarılır (KGM, 2005b).

Palye hendeklerinin taban eğimi yol eğiminde yapılır. Zorunlu olmadıkça ters eğim yapılmamalıdır.

2.3.1.4. Yarma Üstü (Kafa) Hendekleri

Yarma kesimlerinde arazinin yola doğru olduğu yerlerde araziye düşen yağışın toplanarak menfezlere veya topuk hendeklerine ulaştırıldığı trapez hendeklerdir. Yarma bölgelerinde kesilen doğal dere yataklarından gelecek debilerde, mümkün olduğu durumlarda, yarma hendeklerine alınarak menfezlere taşınmalı ve bu sayede çok seri bir biçimde tahliye edilmelidir.

Hendeğin boyutlarının bulunabilmesi için hesap debisinin bulunması gerekir. Hendeklerin hizmet edecekleri yağış alanı ufak olduğundan hesap debisi rasyonel metotla hesaplanır. Hesabı yapılacak olan kesimde yağış havza alanı ve zemin özelliklerine bağlı olarak bulunacak akış katsayısının doğru olarak saptanması önemlidir. Akış katsayısının hatalı hesaplanması hesap debisinin de hatalı olarak bulunmasına neden olacaktır.

Burada toplanma zamanı (T_c); yağış başladığı andan itibaren yağış havzasının en uzak noktasından akışın deşarj yapısına ulaştığı ana kadar geçen zaman olarak tanımlanır.

$$T_c = T_1 + T_3 \quad (2.18)$$

T_c : Toplanma Zamanı (dakika)

T_1 : Arazi üstü akış süresi (dakika)

T_3 : Mecra içindeki akış süresi (dakika)

Burada T_3 mecra akış süresi (2.4) bağıntısı kullanılarak bulunur (KGM, 2005b). Bu bağıntı kullanılırken L_i ve H_i değerleri,

$L_i=L_3$: Akış Mecrası Boyu (m)

$H_i=H_3$: Mecranın menba ve mansabı arasındaki kot farkı (m)

olarak alınacaktır.

Hesabı yapılan yağış havzası değişken özellikte olabilir. Havza içindeki su yatağı eğiminde belirgin değişiklikler olduğunda toplanma alanı, (2.2) bağıntısına uygun olarak ikincil havzalara bölünerek zamanlar hesaplanır ve toplanma zamanı bunların toplanmasıyla bulunur (KGM, 2005b).

Hendek eğimi arazi eğimini takip ettiği için boyutlandırma minimum eğime göre yapılıp, maksimum eğimde de su hızı kontrol edilmelidir. Su hızı aşınma riskini ortaya çıkaracak boyutlarda ise gerekli önlemler alınarak bu risk ortadan kaldırılmalıdır.

2.3.1.5. Dolgu Şev Dibi (Topuk) Hendekleri

Yolun, dolguda yapıldığı kesimlerde dolgu taban hattını takip eden trapez kesitli hendekler topuk hendekleri denir.

Bu tip hendekler; kenar hendeklerden, palye hendeklerinden, kafa hendeklerinden, refüj hendeklerinden, dren boruları ve kollektörlerin enine deşarjından, bordür düşüm oluklarından, dolgu şevinden ve arazi eğiminin dolguya doğru olduğu kesimlerde araziden gelen suları toplayarak menfezlere, doğal derelere aktaran nihai hendeklerdir. Ayrıca gereken durumlarda yolun kestiği doğal derelerden gelecek suları da toplayarak menfezlere aktarırlar (KGM, 2005b).

2.3.1.6. Kademeli Hendekler

Kafa ve topuk hendeklerinin arazi eğimine uyma zorunluluğu olduğu için, eğimin çok yüksek olduğu durumlarda (%25'i aştığı durumlarda) beton kaplamalı kademeli hendekler yapıp suyun enerjisi kırılarak taşınması sağlanır.

2.3.1.7. Özel Hendekler

Standart olarak belirlenmiş olan hendek tipleri dışındaki hendeklerdir. Özel durumlarda standart olarak belirlenmiş olan hendekler uygun olmayacaktır. Bu durumlarda gerekli olan koşullara uygun olarak projelendirilen özel hendekler kullanılır. Bu tip hendeklerin hesap yöntemlerinde herhangi bir farklılık söz konusu değildir.

2.3.2. Borular

Yol drenaj sisteminde kullanılacak olan borulu sistem, yüzey altı drenaj sisteminin bir parçası olup yüzey sularını deşarj noktasına ulaştırmak için de kullanılır.

Refüj hendeği ve kenar hendekler altına da çeşitli tiplerde borular yerleştirilir ve bakım yapılabilmesi için her 100 metrede bir bacalar yapılır (KGM, 2005b).

Boru sistemlerinde de açık kanal akım koşullarının geçerli olması istendiğinden, boru sistemlerinde doluluk oranının % 80'i aşmaması gerekir.

2.3.2.1. Dren Boruları

Yol yüzey altı drenajını sağlamak amacıyla sızıntı sularını alacak açık derzli beton veya PVC borulardır.

2.3.2.2. Toplayıcı Borular (Kollektörler)

Boru sisteminin en önemli bileşenlerinden biri olan kollektörler, suları toplayarak deşarj noktalarına ulaştırmakla görevlidirler.

Toplayıcı borularda hidrolik hesap Manning formülü kullanılarak yapılır. Boru eğimi genel olarak yol eğimiyle aynı yapılır fakat gerektiğinde farklı eğimlerde kullanılabilir.

2.3.3. Deşarj Yapıları

Deşarj yapıları yol gövdesi drenajında toplanan suların uzaklaştırılmasını sağlayan yapılardır (KGM, 2005b). Yol gövdesi drenaj elemanları tarafından toplanan sular deşarj yapıları kullanılmak suretiyle karayolu sisteminden uzaklaştırılarak herhangi bir olumsuz durumda karayolu sistemi ve çevredeki diğer yapılar açısından bir tehlike oluşmasını önlerler.

2.3.3.1. Bacalar

Bacalar, refüj ve kenar hendeklerden suları almak, toplayıcı borunun çapını değiştirmek, toplanan suların deşarjını sağlamak ve boruların temizlik ve bakımının yapılabilmesi amacıyla yapılan yapılardır (KGM, 2005b).

Bacalar genel olarak ızgaralı ve kapaklı olarak iki kısma ayrılır. Bunun yanında bacalar kullanıldıkları yere, giriş ve çıkış özelliklerine göre de sınıflandırılabilir.

Kapaklı bacalar, kontrol bacası olup su girişine izin vermez. Boruların bakımı için kullanılır.

2.3.3.2. Enine Deşarj Yapıları

Refüj hendekleri ile yüzeyden veya toplayıcı borularla yüzey altından taşınan suyun otoyoldan uzaklaştırılması için yapılan ve drenaj sisteminin son kısmını oluşturan yapılardır.

Enine deşarj yapıları, refüjden gelen suyun boşaldığı tip bacalarla başlar ve yolu dik keserek suyu platform dışına çıkarırlar. Burada uygun durumlarda, kenardan gelen suyu da yine bir baca ile alarak düşüm oluğu ile topuk hendeğine, doğrudan topuk hendeğine, doğal dere yatağına veya menfeze aktarırlar (KGM, 2005b).

Enine deşarj yapıları yol platformu altında 1.00x1.00 m boyutlarında kutu kesitli ve betonarme yerinde döküm olarak imal edilirler (KGM, 2005b). Genelde yol profilinin en düşük kotta olduğu yerlerde yapılırlar. Fakat toplayıcı borunun büyük çapa ulaştığı ve boyunun fazla uzadığı kesimlerde en uygun yerden enine deşarj yapılabilir. Tarım yapılan arazi kesimlerinde veya meskun bölgelerde deşarjın zararlı etkileri de dikkate alınmalıdır. Deşarjın zararlı etkilerinden korunmak amacıyla özel önlemler alınması gerekmektedir.

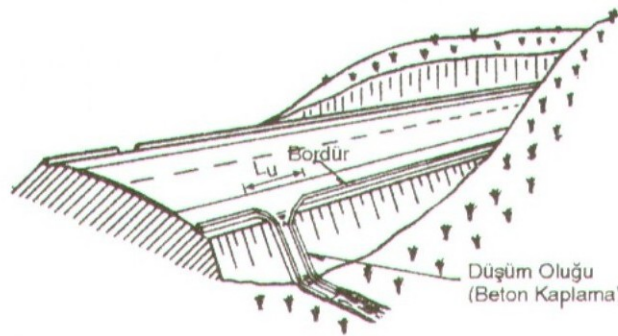
Refüj deşarjının olmadığı sadece kenar deşarjının söz konusu olduğu yarma sonlarında bir bacaya alınan su beton boru ile topuk hendeğine deşarj edilir. Eğer boru kotu topuk hendeğinin kotundan aşağıda ise enine deşarj refüje doğru yapılır ve en uygun yerde deşarj edilinceye kadar refüjdeki toplayıcı boru ile taşınır. Bu sayede drenaj sisteminin bir bütün olarak çalışması sağlanır ve sonuç olarak toplanan suyun uygun olarak deşarj edilmesi sağlanır.

2.3.4. Düşü Yapıları

Suyun toplandığı nokta ile deşarj noktası arasındaki kot farkının büyük olduğu yerlerde deşarj düşü yapıları yardımıyla yapılır.

2.3.4.1. Asfalt Bordür ve Düşüm Olukları

Dolgu kesimlerde platform enine eğiminin platform dışına doğru olduğu yerlerde kaplamalı banketin dışında çekme asfalt bordür yapılır. Bordürle oluşan üçgen kesitli hendekle toplanacak yüzey suyu, hesapla bulunacak aralıklarla yapılacak düşüm olukları ile topuk hendeklerine deşarj edilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Düşüm Oluğu

Bordürle oluşturulan üçgen kesitli hendeğin hidrolik hesabı için, Manning formülünün özel bir hali kullanılır (KGM, 2005b).

$$Q_h = \frac{0.00175}{S_e \times n} \times J^{1/2} \times d_s^{8/3} \quad (2.19)$$

Q_h : Hendek kapasitesi (lt/s)

S_e : Yolun enine eğimi

J : Yolun boyuna eğimi

d_s : Bordür kenarındaki su yüksekliği (cm)

n : Manning pürüzlülük katsayısı (0.020)

T_y : Suyun yayılma genişliği ($T_y=d_s/S_e$)

Burada d_s ve T_y için maksimum sınırlar belirlendiği için yolun enine eğimine göre kapasite hesabında kullanılacak su yükseklikleri hesaplanır.

Düşüm olukları ara mesafesi aşağıdaki formülle hesaplanır (KGM, 2005b).

$$L_d = \frac{6.3 \times J^{1/2} \times d_s^{8/3}}{C \times B_p \times I \times S_e \times n} \quad (2.20)$$

L_d : Ardışık düşüm olukları ara mesafesi (m)

C : Platformda akış katsayısı (0.9)

B_p : Platform genişliği (m)

I : Yağış şiddeti (mm/saat)

Bu formül, Rasyonel yöntem ile bordür kapasitesi formüllerinden elde edilmiştir. Suyun toplanma zamanı 5 dakika olarak kabul edilmiştir. Yağış şiddeti, 5 dakika toplanma zamanı ve 10 yıl tekerrürlü debi eğrisinden alınarak hesap yapılır (KGM, 2005b).

Hesapları etkileyen bir diğer faktör ise asfalt bordürden düşüm oluşuna girişi sağlayan giriş ağızlarının şekli ve kapasitesidir. Yolun boyuna eğiminin artması ile bordür hendeği kapasitesi artarken giriş ağzının kapasitesi azalır. Enine eğimin artması ile üçgen kesitin kapasitesi azalırken giriş ağzı kapasitesi artar. Bordür hendeği veya giriş ağzının kapasitelerinden hangisi küçük ise düşüm olukları ara mesafelerinin hesabında o kullanılır.

2.3.4.2. Şütler

Yolun doğal dere yataklarını kestiği yerlerde araziden gelen debinin güvenli bir şekilde uzaklaştırılması gerekir. Bu debinin yarma üstündeki kafa hendekleri ile toplanmasının veya tiplleştirilmiş prefabrik düşüm olukları ile uzaklaştırılmasının mümkün olmadığı durumlarda özel olarak projelendirilecek şütler yapılır (KGM, 2005b).

3. KÜÇÜK SANAT YAPILARI (MENFEZLER) VE MEVCUT HİDROLİK TASARIM İLKELERİ

3.1. Menfezlerde Hidrolik Analiz ve Hidrolik Tasarım Esasları

Yağışla akışa geçen doğal dere yataklarının (kuru derelerin) yolu kesmesi durumunda, yağıştan dolayı yüzeysel akışa geçen yağmur sularının yola zarar vermeden yolun altından geçirilmesi amacıyla yapılan drenaj yapılarına menfez denir (KGM, 2005a). Menfezler karayolu drenaj sistemlerinde kilit bir öneme sahiptir.

Yol gövdesi drenaj elemanlarıyla toplanan yüzey ve yüzeyaltı suları ile akışı yola doğru olan doğal derelerle toplanan arazi sularının yolun, bağlantı yolu ve kavşak kollarının altından güvenli bir şekilde geçirilmesi için menfezler yapılır. Yapılan menfezlerin diğer drenaj elemanlarıyla uyumlu olacak şekilde projelendirilmesi gerekir.

Menfezler uygun boyutta tasarlanmaz ise, drenaj sisteminin uygun bir biçimde çalışması mümkün olmaz. Tasarlanacak olan menfezlerin olması gerekenden daha küçük kesitli yapılması durumunda, aşırı yağışlardan sonra kuru dere yataklarında kabaran sular yol gövdesini aşarak yolun kapanmasına, yol dolgusunun erezyonuna veya dolgu yada dolgu altındaki zeminin taşıma gücü ve/veya stabilitesinin azalmasına neden olmaktadır (KGM, 2005a). Planlama aşamasında menfezlerin gereğinden daha büyük yapılması ise ekonomik olmayacak ve tüm projenin maliyetinin artmasına neden olacaktır.

Yol gövdesinde, menfez civarındaki kaplamalardaki oturma, deformasyon, vb. bozulmaların çoğunlukla yetersiz menfez tasarımından dolayı ortaya çıktığı belirlenmiştir (KGM, 2005a).

Menfezlerin boyutlarının yanında konumları da büyük önem taşır. Menfezler mevcut olan dere yatağıyla uyumlu olacak şekilde planlanmalıdır. Özellikle menfezlerin giriş ve çıkış ağzlarının mevcut dere yatağına uyumlu konumlandırılması gerekir.

Menfezlerin tasarımı aşamalı olarak yapılır. Menfez tasarımı yol güzergahının belirlenmesinden sonra başlar. Öncelikle 1/25000 ölçekli haritalar üzerinde dere

yatakları ve su toplama havzaları belirlenir. Dere yatakları ve su toplama havzaları belirlendikten sonra menfezlerin yerleri belirlenir. Menfezlerin yerlerini belirleme işlemi tamamlandıktan sonra her bir menfez için hesap yapabilmek için gereken verileri belirleme aşamasına geçilir. Bu aşamada menfezlerin hangi dere yataklarına ve hangi havza alanlarına hizmet verecekleri belirlenmiş olduğundan, havza alanları ve yağış miktarları gibi değerler belirlenir.

Hesap aşamasında, menfezlerin yağış havzaları genelde küçük olduğu için genel olarak rasyonel yöntemin kullanılması uygundur. Fakat özel durumlarda ve yağış havzasının daha büyük olduğu durumlarda farklı yöntemlerin kullanılması da gerekebilir. Yağış havzası 2.5 km²'den büyük ise sentetik birim hidrograf yönteminin kullanılması uygundur.

Menfez tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer parametre ise toplanma zamanıdır. Menfez tasarımında toplanma zamanının doğru hesaplanması büyük önem taşır. Toplanma zamanının yanlış hesaplanması durumunda yapılacak hesaplamalar sistemin bütününe etkileyecek biçimde yanlışlıklarla sonuçlanabilir. Toplanma zamanı yüzey akımı ve mecra akımı zamanlarının toplanması ile bulunmasına rağmen burada yüzey akımı toplanma zamanı hesaba katılmayarak tüm havzaya düşen yağıştan akışa geçen miktar mecra akımı olarak ele alınır. Bunun temel nedeni küçük havzalarda mecra akımının başladığı noktanın doğru olarak tayin edilememesidir. Ayrıca bu şekilde yapılacak bir hesap sonrasında toplanma zamanının küçük, yağış şiddetinin büyük olması nedeniyle debi emniyetli yönde kalacak şekilde hesap yapılır ve bunun yardımıyla ekstra bir güvenlik sağlanmış olur.

(2.4) bağıntısı kullanılmak suretiyle toplanma zamanı hesaplanabilir. Bu bağıntıdaki parametreler için;

T_c : Toplanma zamanı (dakika)

$L_i=L_4$: Havzanın en uç noktasının menfeze olan yatay mesafesi (m)

$H_i=H_4$: Havzanın en üst kotu ile menfez arasındaki kot farkı (m)

değerleri esas alınır.

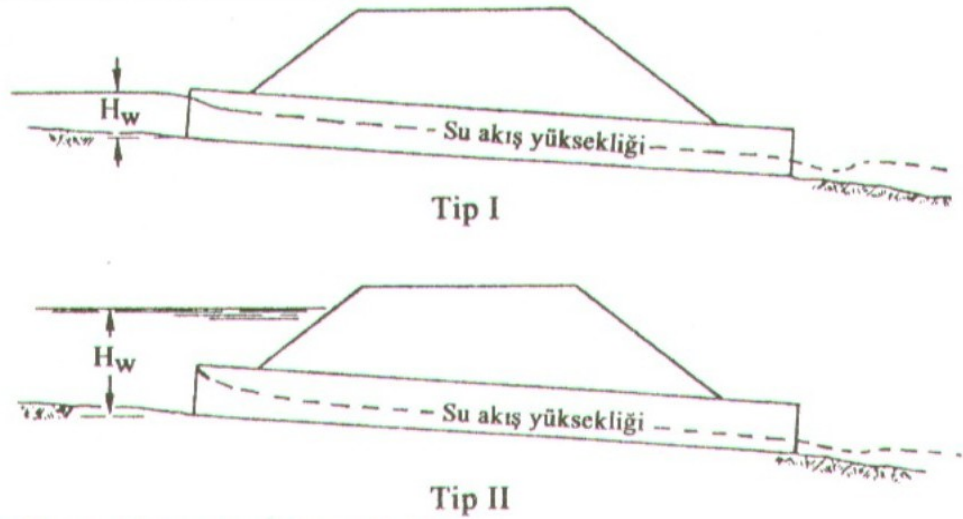
(2.4) formülü, arazi şartlarının değişmediği koşullarda geçerlidir. Arazinin eğiminin fazla değiştiği yerlerde H_4 ve L_4 değerleri ayrı ayrı saptanarak bu kesimlere ait toplanma zamanları bulunur ve T_c bunların toplamıdır.

Yağış havzalarının 2.5 km^2 'den büyük olduğu durumlarda da sentetik birim hidrograf yöntemi kullanılmak suretiyle proje debisi bulunabilir. Tekerrür debisinin hesabında kullanılacak sağanak süresi sentetik yöntem bölümünde anlatıldığı şekilde bulunmalıdır.

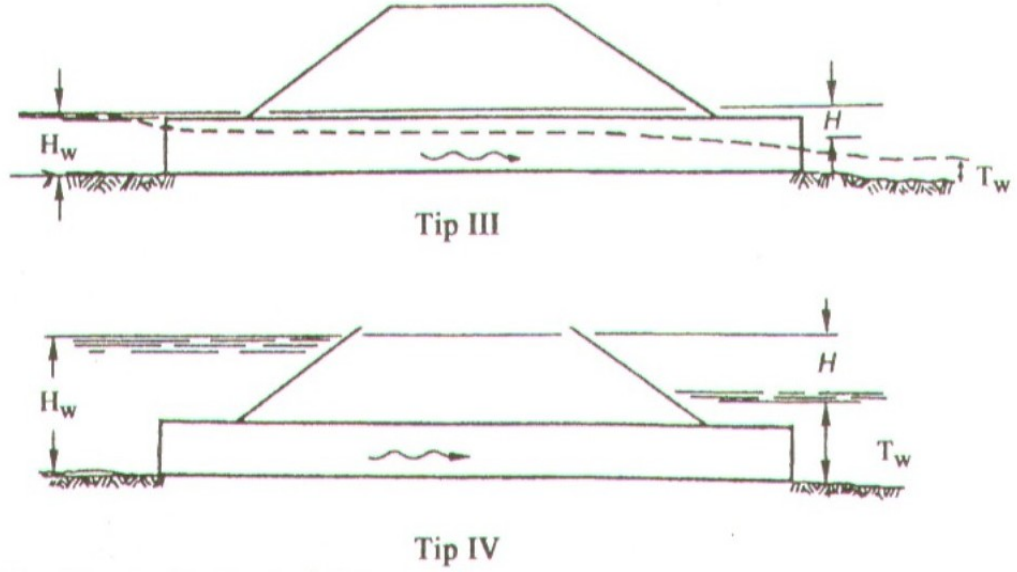
Menfez tasarımı yapılırken sistemin ihtiyaçları ve uygulama koşulları birlikte göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılacak olan menfezlerin tek gözlü olması tercih edilir, fakat gerekli durumlarda iki veya üç gözlü kutu menfezler de projelendirilebilir.

Menfezlerin yeterli olup olmadığını kontrol edebilmek amacıyla bazı standart nomogramlar hazırlanmıştır. Boyutları seçilen menfezin girişindeki enerji kaybını, debiyi ve Manning pürüzlülük katsayılarını hesaba katarak hazırlanmış nomogramlar yardımıyla giriş ve çıkıştaki kabarma yükseklikleri belirlenebilir. Bu kabarma yüksekliklerinin belirlenmesiyle menfezin konumunun ve boyutlarının yeterli olup olmadığı kontrol edilir.

Menfezlerin hidrolik tasarımında karşılaşılan akım tipleri, giriş kontrollü ve çıkış kontrollü akımlardır. Akımın normal derinliği kritik derinlikten küçükse ($d_n < d_k$), menfez girişinde kabarma kontrolü gerekir. Aksi halde ($d_n > d_k$), menfez çıkışında da kabarma kontrolü yapılır (KGM, 2005b).



Şekil 3.1: Giriş Kontrollü Menfez İşletme Şartları



Şekil 3.2: Çıkış Kontrollü Menfez İşletme Şartları

Kontrolün girişte olması durumunda akım kapasitesi kabarma suyunun derinliği, giriş geometrisi, gövde şekli ve kesit alanı tarafından kontrol edilir. Şekil 3.1’de giriş kontrollü menfez işletme şartları gösterilmektedir.

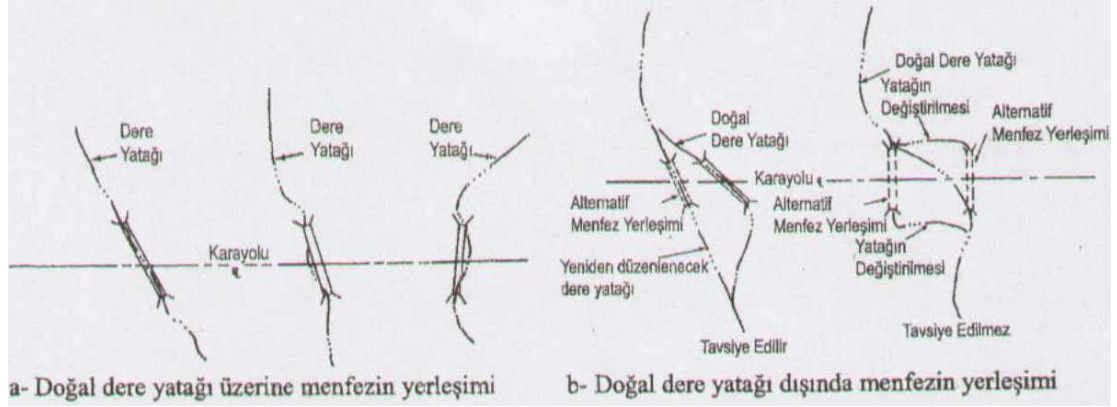
Kontrolün çıkışta olması durumunda ise menfezlerin hidrolik kapasitesi, menfez şekli, uzunluğu, gövde pürüzlülüğü ve çıkıştaki su derinliğinin kontrolü ile tespit edilir. Şekil 3.2’de çıkış kontrollü menfez işletme şartları gösterilmektedir.

3.2. Menfez Yerleşimi ve Eğimleri

Menfez boyutlarının yanında, menfezlerin yerleşimi ve eğimleri de büyük önem taşır. Menfezlerin yerleşimi uygun biçimde yapılmadığı takdirde menfez boyutları yeterli olmasına rağmen sistemin sağlıklı çalışmasının engelliycek problemler çıkar. Menfez yerleşimlerinde bakım kolaylıkları, stabilite, hidrolik verimlilik açısından menfez doğrultu ve eğimlerinde ani değişikliklerden kaçınılmalıdır. Doğrultunun değişmesinin zorunlu olduğu durumlarda düzgün ve geniş eğriler kullanılmalıdır. Düzgün ve geniş eğriler kullanılarak menfez doğrultusunun değiştirilmesi oluşacak olumsuzlukları minimuma indirecektir. Bunların yanında menfezler, mümkün olabildiğince doğal dere yataklarının doğrultu ve eğimlerine yakın düz hatlar boyunca yerleştirilmelidir. Bu menfezin doğal dere yatağıyla uyumlu çalışmasını sağlar ve sistemde oluşacak oyulma, tıkanma ve katı madde birikmesi gibi problemlerin en aza inmesi sağlar. Şekil 3.3’de menfezlerin yatay yerleşimi gösterilmiştir.

Menfez tabanı, mümkün olduğunca dolgu üzerinde değil, doğal zemin üzerine yerleştirilmelidir (KGM, 2005b).

Tüm bunların yanında her menfez tek bir doğrultuda olmalı, menfezin bir ucundan diğer ucu görülebilmelidir.



Şekil 3.3: Menfezlerin Yatay Yerleşimi

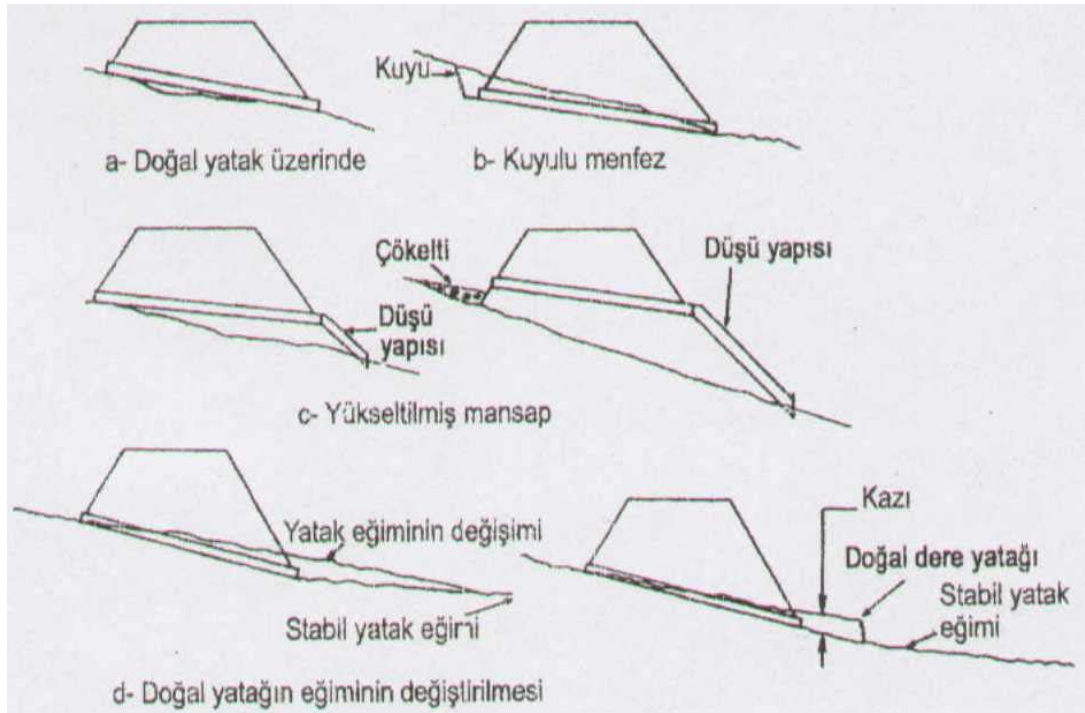
Menfezlerin eğimleri de planlama aşamasında dikkatli olarak incelenmeli ve uygun şekilde planlama yapılmalıdır. Genel olarak menfezin eğimi, menfezin konumlandırılacağı kesitteki arazi kesitinin özelliklerinden ve yol üst yapısının konumundan birebir etkilenir. Öncelikle menfezin konumlandırılacağı yol en kesiti bulunmalı ve menfezin eğiminin hangi aralıklarda olabileceği belirlenmelidir. Belli durumlarda yol en kesiti uygun olmadığından menfezin konumunda ufak değişiklikler yapılabilir. Şekil 3.4’de menfezlerin düşey yerleşimi gösterilmiştir.

Menfezin eğimi belirlenirken birçok husus dikkate alınmalıdır. Menfezin eğiminin büyük seçilmesi akım hızının artmasına, eğimin çok küçük seçilmesi de sürüntü malzemesinin çökmesine neden olur. Ayrıca menfez eğimi menfezin taşıma kapasitesini de etkilediğinden, hesaplarda menfezin eğiminin değiştirilemediği durumlarda menfezin boyutlarında değişiklik yapılması gerekebilir.

Minimum menfez eğimi, sürüntü malzemesinin çökmesini önlemek ve kendiliğinden temizlenmeyi sağlayabilmek, asgari akım hızlarını gerçekleştirebilmek için %0.5 yapılmalıdır (KGM, 2005b).

Menfez eğiminin büyük yapılması akım hızının artmasına neden olur. Aşırı yüksek akım hızlarından sakınmak için, maksimum eğim normal koşullar altında %10 olmalıdır (KGM, 2005b). Belli durumlarda mevcut akarsu yatak eğiminin bu değerden daha büyük olduğu yerler olabilir. Bu tip durumlarda menfez dolguya

yerleştirilerek ve menfez çıkışındaki menfez ve doğal yatak kotları arasındaki fark için, çıkış yapısının tasarımında gereken düzenlemeler yapılarak oluşabilecek problemler önlenir. Fakat uygulama aşamasında bunun pratik olmadığı durumlarda, yukarıda belirtilen maksimum eğimin üzerine çıkılabilir. Bu tip özel durumlarda artan hızlar için gerekli önlemlerin alınması gerekir. Bu durumda menfez tabanı dayanıklı yapılmalı ve memba kısmındaki dere yatağında dinlenme çukuru, enerji kırıcı, vb. önlemler ile suyun akış hızının azaltılmasına çalışılmalıdır. Artan hızlar için gereken önlemlerin alınmaması menfezin ve tüm drenaj sisteminin efektif olarak çalışmasını engeller.



Şekil 3.4: Menfezlerin Düşey Yerleşimi

Oturmaların oluşabileceği tahmin edilen yüksek dolguların altında, yol dolgusunun oturmalarını telafi etmek için menfezlere ters sehimler sağlanması gerekebilir.

Her bir menfezin baştan sona aynı eğime sahip olması gerekmektedir. Menfezlerin parçalı olarak yapılması veya belli bölgelerinde farklı eğimlerin kullanılması mümkün değildir. Menfez içerisinde basamak tipi yapıların yapılmaması gerekir.

Menfez içerisinde akım hızını belli sınırlar içerisinde tutmak büyük önem taşır. Özellikle akım hızının yüksek değerlerde olduğu durumlarda ek önlemler alınmalıdır. Su hızının 10 m/s'yi aştığı durumlarda betonda kavitasyona engel olabilmek için hız düşürücü önlemlerin alınması zorunludur (KGM, 2005b). Hız

düşürücü önlemler alınmak suretiyle menfez içerisindeki akım hızı düşürülür ve böylece betonda oluşacak kavite probleminin önüne geçilir.

3.3. Menfez Giriş Yapıları

Menfez girişlerinde yol dolgusuna istinat sağlamak ve yol dolgusunu suyun erozyonundan korumak amacı ile kafa ve kanat duvarları yapılır. Bunların konumu menfezin hidrolik karakterinde etkili olabilmektedir. Genelde giriş yapısı, yaklaşım kanalının yerleşimi ve boyutuna, silt ve erozyon kontrolüne, topografik yapıya bağlı olarak projelendirilir.

Kanat duvarları suyla gelen dal, yaprak gibi yüzen maddeleri kanalize ederek menfez deşarjını kolaylaştırır ve girişin tıkanmasını önler. Bu nedenle akımı dolgudan uzak tutacak kadar uzun olmalıdır (KGM, 2005b).

Kafa duvarları genellikle yol eksenine paralel olarak yerleştirilir. Özel durumlarda hidrolik açıdan en uygun giriş yapısı tasarımı yapılır.

3.4. Menfez Girişlerinde Koruma

Menfez girişlerinde koruma önlemleri, suyun taşıdığı moloz ve siltin menfez girişinde birikerek menfeze girecek suyun hidrodinamiğini bozmasını önlemek için öngörülürler.

Bununla beraber menfez girişinde daha düşük olan su hızı nedeniyle küçük boyutlarda gerçekleşen erozyona karşı da etkili olmaktadır.

Koruma önlemlerinin asıl nedeni erozyon olmadığı için suyun hızı da önlemlerin seçimi için en önemli parametre değildir. Girişte moloz ve silt birikiminin suyun hidrodinamiğinde yaratacağı türbülans ve bozulmaları tanımlayacak parametrelerin seçimi oldukça güçtür. Bu nedenle menfez girişlerindeki koruma tiplerinin seçimi zemin cinsine bağlı olarak yapılmaktadır. Sert veya yumuşak kaya zeminlerde herhangi bir koruma sağlanmazken diğer zeminlerde taş pere koruma uygulaması tavsiye edilmektedir (KGM, 2005b).

3.5. Menfez Çıkış Yapıları

Menfez çıkışlarında akımın hızını azaltarak doğal yataktaki hıza yaklaştırmak, yol dolgusunu desteklemek ve menfez çıkış ağzındaki oyulma ve erozyona karşı koruma sağlamak için çıkış yapıları yapılmalıdır (KGM, 2005b).

Çıkış hızı yüksek ve doğal dere yatağı kolay aşınabilir malzeme içerisinde yer almışsa bazı problemler oluşabilir. Örneğin, şevlerdeki erozyon, çıkış kenarlarında oluşan yüzey çevrintileri ve dalgalar yüzünden olur. Çıkış ağız hızları düşük olduğunda çıkış duvarları yeterli korumayı sağlar. Bunlar beklenen kuyruk suyu derinliğinin üzerinde olacak kadar yüksek, çevrinti akıntılarının şevle temasını önleyecek kadar uzun olmalıdır. Genellikle çıkış kanallarından az bir miktar geniş olmaları yeterlidir (KGM, 2005b). Çıkıştaki akımı çevreleyen kanat duvarları şevleri korumak için sıklıkla kullanılır. Kanat duvarının uzunluk ve açısı mevkinin koşullarına bağlıdır.

Çıkış duvarları ve kanat duvarlarının temelleri, şevin eteği veya menfez çıkışının altını oymaya yönelik su hareketini kesecek oranda derin olmalıdır. Menfez çıkışı doğal kanal kotundan daha düşük tutularak oyulma eğilimi azaltılabilir (KGM, 2005b).

Menfez çıkışında, beton bir platform menfezden gelen deşarjı kanalın tüm genişliğine yayarak, menfezin ve kanat duvarlarının altının oyulmasını önleyecektir. Platform sonunda hidrolik bir sıçrama yaratarak deşarjın enerjisi kırılabilir. Ayrıca platform üzerinde imal edilecek perde bloklar da bir başka alternatif çözüm olarak düşünülebilir.

Genelde yüksek hızlar dere yatağının çok dik olduğu yerlerde oluşur. Suyun enerjisini sadece menfez bölgesinde kırmak yeterli olmaz. Yapılacak beton yapılar ise aşınmaya maruz kalır. Dolayısıyla böyle yerlerde gabyon uygulaması en uygun çözümdür.

Menfezde oyulma olmayacağından erozyon problemi menfez çıkışında ciddiyet kazanır. Bu gibi durumlarda hıza göre özel seçilmiş anroşman veya harçlı pere ile çıkış kanalını takviye gerekebilir.

3.6. Menfez Çıkış Ağzlarında Koruma

Menfez çıkışlarında suyun hızı genellikle derenin doğal akış hızından daha yüksektir. Bu durum dere yatağında erozyona ve menfez çıkış apronu altında oyulmalara yol açarak, menfezin düzgün biçimde çalışmasını engeller ve bazı durumlarda dolgu stabilitesini etkiler.

Bu nedenle menfez çıkışlarında koruma yapılması gerekmektedir.

3.6.1. Taş Pere Uygulaması

Menfez çıkışında su hızının kohezyonsuz zeminlerde 1 m/s, kohezyonlu zeminlerde 2.5 m/s'den büyük olduğu durumlarda dere yatağı taşlar ile kaplanır.

Taş pere uygulaması taşların pürüzlülüğü ile su hızını azaltmak suretiyle koruma sağlamaktadır. Bu nedenle kullanılacak taşların boyutu önem taşımaktadır. Taş pere 30-50 cm aralığında boyutları olan taşlar kullanılarak 50 cm kalınlığında oluşturulabilir.

Taş pere, 10 yıl frekanslı yağışın yol dolgusunda erişeceği yüksekliği kadar yapılır. Taş pere uzunluğu ise hidrolik sıçramaya bağlı olarak belirlenir. Hidrolik sıçramanın uzunluğu çıkıştaki Froude sayısı ile bağlantılı olup aşağıdaki gibi gruplandırılır.

$$Fr = \frac{V_s}{\sqrt{g \times h_s}} \quad (3.1)$$

Fr : Froude sayısı

V_s : Su hızı (m/s)

h_s : Menfez gövdesi çıkışında su derinliği (m)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

Froud sayısı dikkate alınarak hidrolik sıçrama aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (KGM, 2005b).

Fr = 1.0-1.7 Dalgalı Sıçrama

Fr = 1.7-2.5 Zayıf Sıçrama (Sadece yüzey türbülansı)

Fr = 2.5-4.5 Salınımlı (kararsız) Sıçrama

Fr = 4.5-9.0 Kararlı Sıçrama

Hidrolik sıçrama boyu ile Froude sayısı arasındaki bağıntı ilgili çeşitli diyagramlar hazırlanmıştır (KGM, 2005b). Dere yataklarında yapılacak koruma bu tip diyagram

ve grafikler kullanılmak suretiyle elde edilen uzunlukta yapılır. Hidrolik sıçrama menfez gövdesi çıkışında başladığından, menfezin çıkış apronu korumanın bir parçası olarak düşünülür.

Taş pere uygulanacak net uzunluk içinde çeşitli diyagramlar, bu konuda araştırma yapmış olan araştırmacılar tarafından hazırlanmıştır. Bu tip diyagramlar kullanılarak bulunan hidrolik sıçrama uzunluğundan menfez çıkış apronu uzunluğu çıkarılarak taş pere uygulanacak net uzunluk bulunur. Bu uzunluk 5 m'nin altında olmamalı ve sonunda da 1 m derinlikte 50 cm genişliğinde parafuy duvar yapılmalıdır.

3.6.2. Enerji Kırıcı Koruma

Menfez çıkışında su hızının 6 m/s'yi aştığı yerlerde sert kaya dışındaki zeminlerde enerji kırıcı havuz yapılır (KGM, 2005b). Oluşturulacak basamaklar ile menfez içerisinde hızı artmış olan suyun enerjisi kırılacak, doğal dere yatağında oyulmaya neden olmayacak bir hızda verilmesi sağlanacaktır.

Enerji kırıcı havuz çıkışlarında hidrolik sıçrama oluşacağından, ilave olarak 5 m boyunda taş pere kaplaması yapılır.

3.6.3. Özel Tip Koruma

Standart olarak belirlenmiş koruma önlemleri her durumda yeterli olmayabilir. Bu tip durumlarda özel tip koruma yöntemlerinin kullanılması gerekir.

Özellikle doğal dere yatağına uymayan ve çıkış ağzlarında doğal yatak kotunda önemli ölçüde yüksekte kalan menfezler için özel düşü yapıları gerekebilir. Özel düşü yapıları projelendirilirken sistemin stabilitesini koruyacak bir tasarım yapılmalıdır. Ayrıca bu yapıların ekonomik olarak projelendirilmesi de yapılacak drenaj sisteminin maliyeti açısından önem taşır. Projelendirilecek olan özel tip koruma sistemi sistemin tüm gereksinimlerini karşılamalı ve ekonomik açıdan uygun sınırlar içerisinde kalmalıdır. Sistemin ihtiyacından daha fazla koruma önlemlerinin alınması ekonomik açıdan uygun olmayacaktır.

Menfez giriş ve çıkışlarındaki koruma yapılarının uzunluğunun tespitinde, menfez eksenini esas alınır.

4. BÜYÜK SANAT YAPILARI (KÖPRÜLER/VİYADÜKLER) VE MEVCUT HİDROLİK TASARIM İLKELERİ

4.1. Türkiye’de Uygulamada Bulunan Mevcut Tasarım İlkeleri

Büyük sanat yapıları kapsamı içerisine, menfezler dışında kalan, su yolu niteliği taşıyan, tek açıklıklı veya çok açıklıklı köprüler girmektedir (KGM, 2005b). Köprülerin tasarımında hidrolik tasarım ilkeleri büyük önem taşır. Tasarımı yapılmakta olan bir köprünün taşıması gereken statik yüklerin yanında bu köprünün karşılaşacağı hidrolik kuvvetler ve etkiler de gözönünde bulundurulmalıdır.

Köprü tasarımında genel olarak statik yükler belirleyici unsur olarak görünmesine rağmen, birçok köprünün tasarımında hidrolik etkenler belirleyici olmaktadır. Hidrolik etkiler yeteri kadar dikkate alınmayarak tasarlanan köprüler özellikle taşkın dönemlerinde hasar görmekte ve birçok köprü de yıkılmaktadır.

Karayolu ulaştırma sistemleri, yapıları itibariyle çok büyük alanları etkiler ve üzerinde bulundukları yağış havzalarının özelliklerinden yoğun olarak etkilenirler. Bu tip projeler için yağış havzaları büyük olduğundan proje debileri sentetik birim hidrograf metodu ile hesaplanabilir. Bu durum için 100 yıl tekerrürlü taşkın debileri kullanılır (KGM, 2005b).

Yağış havzalarının 100 km²’den büyük alanları kapsadığı durumlarda istatistiksel metodlar kullanılmak suretiyle proje debileri hesaplanabilir (KGM, 2005b). İstatistiksel metodlar yapıları itibariyle güvenilir verilere ihtiyaç duyarlar. İstatistiksel metodların kullanılmasını gerektiren durumlarda incelenmekte olan havzaya ait veriler doğru ve eksiksiz olarak bulunmalıdır. Kullanılacak verilerin hatalı olması ulaşılabilecek olan sonuçlarında hatalı olmasına neden olur.

Uygulamada bulunan mevcut tasarım ilkeleri gözönünde bulundurulduğunda, nehir yatağının genişliğinin hesaplanmasının en belirgin ilkelerden biri olduğu görülmektedir. Nehir yatağının genişliği hesaplanarak bu bölgeye yapılacak olan köprünün açıklığının olması gereken minimum uzunluğu belirlenir. Köprü açıklığının doğru olarak belirlenmesi suretiyle köprünün taşkın dönemlerinde

karşılaşacağı problemler minimum seviyeye indirilir. Nehir yatağı genişliklerini hesaplamak için Lacey's formülü kullanılır ve Manning formülü kullanılmak suretiyle gereken kontroller yapılır (KGM, 2005b).

Lacey's formülü:

$$W = C_L * Q^{1/2} \quad (4.1)$$

W: Doğrusal yatak genişliği (dik kesit) (m)

C_L : Dere yatağı, Alüvyon ve Zemin şartlarına bağlı olarak 3.4 ile 4.83 arasında değişen katsayı

Q : Debi (m^3/sn)

Maksimum taşkın kotu menba tarafından yapılacak taşkın hesapları ile saptanacak olup minimum düşey gabari maksimum taşkın kotundan 1.5 m daha yüksekte olmalıdır.

Genel olarak hidrolik amaçlı köprü açıklıkları akım hızlarını asgariye indirmek üzere projelendirilir. Bu sayede köprü civarında akarsu yatağı ve kanal şevlerinin erozyonu önlenir. Bununla birlikte taşkın koşullarında erozyon ve oyulma potansiyeli değerlendirilir ve gerekli koruyucu önlemler alınarak bu tip olumsuz durumların oluşması engellenir.

Köprü temellerinin ana akarsu yatağı tabanının ne kadar altında kalacağı her köprü ayağı için yapılacak oyulma tahkikinden sonra belirlenir.

Oyulma nedeniyle oluşabilecek stabilite problemlerine karşı gerekli görüldüğünde aşağıdaki önlemler alınabilir (KGM, 2005b):

- Köprü'nün menba ve mansap taraflarında uygun bir uzaklığa kadar nehir ıslahı
- Nehir yatağında köprü'nün altında uygun bir uzaklığa kadar menba ve mansap taraflarında büyük taşlarla anroşman yapılması

Köprü alanında izin verilen maksimum kabarma her köprü için menba tarafındaki taşkın durumuna göre ayrı ayrı belirlenir. Bir hazırlık kılavuz değeri olarak izin verilen maksimum kabarmanın 0.5 m'de sınırlanması önerilir. Bununla birlikte, bazı durumlarda menba tarafında suyun yükselmesiyle meydana gelecek taşkın hasarı

maliyeti, daha büyük bir köprü açıklığı maliyetini aşabilir. Bu durumda izin verilen maksimum kabarmada daha düşük sınırlama getirilmesi düşünülebilir.

Maksimum hidrolik etkinliği sağlamak için köprü kenar ayakları, kazıklar, kazık başları veya yapının suyla teması olan diğer herhangi bir kısmı akarsu akış yönüne paralel olarak konumlandırılmalıdır.

4.2. Köprü ve Viyadük Yapılarının Hidrolik Tasarımında Hidrolojik ve Hidrodinamik Analiz Esasları

Köprü ve viyadük gibi büyük sanat yapılarının tasarımında birçok etken gözönünde bulundurulmalıdır. Bu yapıların statik analizinin çok büyük önem taşımasının yanında, tasarım aşamasında hidrolojik ve hidrodinamik etkenler gözönüne alınmalıdır. Bu yapılarda statik analiz yapılırken yapıya etkiyen yükler analiz edilir ve bu yüklere göre yapının özellikleri belirlenir. Hidrolojik ve hidrodinamik etkenler gözönüne alınarak yapılan analiz sonucunda statik analiz aşamasında kullanılacak ek yükler bulunur. Bunun yanında statik analiz aşaması sonrasında yapının çeşitli özellikleri hidrolik ve hidrodinamik etkenler dikkate alınmak suretiyle tekrar kontrol edilir ve bu aşamanın sonrasında yetersiz görülen özellikler düzeltilerek yapının her açıdan güvenli olması sağlanır.

Köprü ve viyadükler, karayolu ulaşım ağlarının işlevlerini eksiksiz olarak yerine getirebilmeleri açısından çok büyük önem taşırlar. Köprü ve viyadüklerde oluşacak hasarlar, bu yapıların içerisinde bulunduğu karayolu ulaşım sistemlerini etkiler ve bazı durumlarda ise bölgesel olarak karayolu ulaşım sisteminin tamamıyla kullanılmaz duruma gelmesine neden olurlar.

4.2.1. Akarsu Havzası ve Dere Yatağına Ait Topoğrafik ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kentsel su temini, sulama, elektrik üretimi ve taşımacılık gibi çeşitli şekillerde kullanılan akarsuların zamanla doğal dengesi bozulur ve akarsuyun plan, profil ve tipinde zamanla belli değişiklikler oluşur.

Akarsuyun plan, profil ve tipinde zamanla oluşan değişimler morfoloji bilim dalıyla araştırılmaktadır. Çok uzun dönemli değişimler jeologlar için anlam ifade ederken,

inşaat mühendisliği için yapılacak olan yapının, örneğin bir köprünün fiziksel ömrü boyunca maruz kalabileceği değişimler önem taşımaktadır.

Akarsuyun doğal etkenlerle veya insan etkisiyle değişen dengesi sonucunda oluşan taban seviyesi değişimleri, yapı temeli ve yapı dengesi üzerinde etki yaratacaktır. Bu nedenle, yapının fiziksel ömrü boyunca yörenin olası hidrometeorolojik koşullarında temel seviyesinde uğrayacağı değişimler tahmin edilmeli, tasarım aşamasında herhangi bir olumsuzluğa meydan vermeyecek çözümler aranmalıdır (Yanmaz, 2002).

Akarsular plandaki görünümüne göre başlıca düz, parçalı ve menderesli olmak üzere üç gruba ayrılır.

Akarsular ayrıca akımın sürekliliğine göre sınıflandırılır. Sürekli akışlı akarsular yatağında yıl boyunca akım olan akarsulardır. Bu akarsuların yüzey genişliği fazladır. Periyodik akışlı akarsularda yatakta yalnız bol yağışlı dönemde akım mevcuttur. Bu tip akarsuların yüzey genişliği azdır.

İlgilenilen akarsu havzasının morfolojik özelliklerinin tam olarak analiz edilebilmesi amacıyla morfolojik modeller oluşturulur. Morfolojik modelde ilk adım, gerekli değişkenlerin belirlenmesidir. En önemli parametre debinin belirlenmesidir. Morfolojik süreçte zaman aralığı çok büyük olduğundan, bu aralıkta debi çok fazla değişim göstermektedir. Bu durumda morfolojik bir çalışmanın hangi debi kullanılarak yapılacağı sorusu ortaya çıkmaktadır.

Bu durumda Etkin debi kavramı ortaya çıkmaktadır. Etkin debi en fazla sürüntü yükü taşıyan debi veya ana yatağı taşkın yatağı seviyesine kadar dolduran debi olarak tanımlanmaktadır (Yanmaz, 2002). Morfolojik bir çalışma etkin debi kullanılmak suretiyle yapılmalıdır.

Havzanın topoğrafik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi bu bölgede yapılacak olan köprülerin çok daha güvenli olarak yapılandırılmasına olanak sağlar.

İlgilenilen akarsuyun taban eğimi belirlenir. Bu akarsuyuna ait havzaların özellikleri ayrıntılı olarak belirlenmelidir. Bu havzalardaki bitki örtüsü, yamaç erozyonunun miktarı ve havzanın yüzeyindeki arazi yapısı (toprak tabakasının özellikleri) doğru olarak belirlenmelidir.

4.2.2. Proje Taşkın Debisinin Belirlenmesine Yönelik Bölgesel Taşkın Frekans Analizleri

Köprü güzergahındaki sorunların belirlenebilmesi ve bu sorunlara çözüm getirilebilmesi için, köprünün yapılması planlanan bölgeyi kapsayan havzaya ait hidrolojik özelliklerin ve dere yatağındaki akıma ait hidrolik karakteristiklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, havzaya ve bu havzaya yakın hidrolojik bölgeye ait hidrometeorolojik veriler (yağış ve akış verileri) toplanır ve bu veriler kullanılarak “bölgesel taşkın frekans analizi” yapılır (Avcı ve Bayazıt, 1999).

Avcı ve Bayazıt (1999) tarafından yapılmış olan Asarsuyu ve Kom vadilerinin bölgesel taşkın frekans analizinde Batı Karadeniz bölgesindeki 36 akım ölçme istasyonundaki T-yıllık taşkın debileri alınmıştır. $T=2,5,10,25,50$ ve 500 yıl için Q_T/Q_{ort} oranları hesaplanmıştır. Her bir T dönüş aralığı için bölgesel ortalama Q_T/Q_{ort} değerleri bulunmuştur. Q_T/Q_{ort} değerlerinin $\log T$ 'ye karşı noktalanmasıyla bölgesel taşkın frekans eğrisi elde edilmiştir. Çeşitli akarsu kesitlerindeki ortalama akımlar bu ilişki kullanılmak suretiyle elde edilmiştir.

Avcı ve Bayazıt (1999) tarafından yapılmış olan Asarsuyu ve Kom vadileri bölgesel taşkın frekansı analizinde de görüldüğü gibi, bölgesel taşkın frekans analizi yapılırken ilgili bölgede akım ölçme istasyonlarından T-yıllık taşkın debileri alınarak bu debilerin çeşitli T dönüş aralıkları için Q_T/Q_{ort} oranları bulunur. Q_T/Q_{ort} değerlerinin $\log T$ 'ye karşı noktalanmasıyla bölgesel taşkın frekans eğrisi elde edilir. Bölgesel taşkın frekans analizinin yapılmasıyla akarsuyun çeşitli kesitlerindeki ortalama akımlar belirlenebilir.

Köprüler projelendirilirken kullanılacak olan tasarım akım parametrelerinin doğru olarak belirlenebilmesi için, köprü yapılacak olan havzanın hidrolojik özelliklerinin yeterli düzeyde araştırılması gerekir.

Köprü yapılması planlanan havzanın hidrolojik parametrelerinin değerlendirilmesiyle, pik akım özellikleri, taşkın dalgasının civarda su basma alanı, taşkın riski yaratacak akımların süresi, akarsuyun katı madde taşıma kapasitesi gibi etkenler bulunabilir (Yanmaz, 2002).

Hidrolojik tasarım parametrelerinin belirlenmesi kolay değildir. Yağış ve akış gözlem istasyonlarının yoğun olduğu havzalarda yeterli verinin bulunması durumunda bölgesel frekans analizleri yapılması mümkündür. Bölgesel frekans

analizlerinin yapılmasıyla, ilgili istasyona dayanan noktasal analizler yerine, havzanın rejimini de yansıtan bölgesel düzeyde bilgiye ulaşılır. Havzaya ait verilerin tam ve doğru olması bölgesel frekans analizlerinin güvenilir sonuç vermesi açısından önemlidir. Eksik ve çelişkili veriler kullanılarak yapılacak bölgesel frekans analizleri sonucunda havzanın rejimine ilişkin ulaşılacak bilgiler yanıltıcı ve eksik olacaktır. Bu durum tasarım akım parametre değerlerinin doğru olarak belirlenmesini engelleyerek, bulunan hatalı değerlere göre yapılan projelerin de hatalı olmasına neden olur.

İncelenen havzanın davranışını anlayabilmek için belirlenmesi gereken parametreler şunlardır; yağış rejimi, akarsu yoğunluğu ve frekansı, havzanın büyüklüğü, şekli ve ortalama eğimi, üst ve alt tabaka toprakların özellikleri, bitki örtüsünün yoğunluğu, taşkın yataklarının kullanımı, köprü yakınındaki mevcut yapıların tipleri ve yoğunluğu, akarsuyun kullanım amacı (Yanmaz, 2002).

4.2.2.1. Taşkın Risk Alanının Belirlenmesi

Akarsular üzerine inşa edilen, akarsu köprülerinin kenar ve orta ayakları nedeniyle akarsu kesitinde kesit daralması olduğu için, membada belli bir mesafe boyunca kabarma oluşmaktadır. Oluşan bu kabarmanın mertebesi, kesitteki daralma ve akım şartlarına bağlı olarak değişir. Taşkınlar esnasında fazla miktarda katı madde taşınımı olmakta ve bu katı madde belli bölgede ayaklar arasındaki boşlukları doldurarak kesitin daralmasına sebep olmaktadır.

Kesitin daralmasıyla akım, akarsu yatağından dışarı çıkarak akarsu civarında taşkına neden olmaktadır. Taşkın yatağının doğru olarak belirlenmesi ve bu bölgedeki yapılaşmanın kontrol edilmesiyle taşkın zararlarının en aza indirilmesi mümkündür.

Akarsu özellikleri, akarsu yatağındaki yapılaşma durumu, akarsu en kesitleri, taban eğimi ve taban malzemesinin özellikleri belirlenerek, akarsu için belirlenmiş olan bir debinin geçişi esnasında ortaya çıkacak su yüzey genişliği hesaplanabilir (Yanmaz, 2002).

Değişik dönüş aralıklı akımların arazide yaratacağı yayılım için taşkın risk haritaları hazırlanır. Taşkın risk haritaları yardımıyla taşkın havzasındaki hangi bölgelerin daha fazla risk altında olduğu kolayca belirlenir ve bu bölgelerde taşkın zararını azaltmaya yönelik önlemler kolaylıkla alınabilir.

4.2.2.2. Proje Taşkın Debisinin Belirlenmesi

Su yapılarının projelendirilmesinde, yapının özelliği, çevre koşulları ve hidrometeorolojik verilere göre değişik dönüş aralıklarına karşı gelen taşkın debileri “proje debisi” olarak alınır (Avcı ve Bayazıt, 1999). Örneğin bir baraj batardosunun projelendirilmesinde o akarsudaki 15 yıllık taşkın debisi esas alınırken, bir barajın dolu savağı için 1000 yıllık debi esas alınmaktadır.

Yapılması planlanan bir köprü için, tasarım dönüş aralığının seçilmesi köprünün önemine, çevresel koşullara ve köprünün yıkılması sonucunda oluşacak hasarın mertebesine bağlıdır (Yanmaz, 2002). Tasarım dönüş aralığı belirlenirken her bir köprünün özel durumu göz önüne alınmalıdır.

Örneğin, Avcı ve Bayazıt (1999) tarafından Asarsuyu ve Kom vadilerine yönelik olarak yapılmış olan hidrolojik etüd çalışmasının sonucunda Asarsuyu ve Kom dereleri üzerine yapılacak her türlü hidrolik düzenleme yapısı için proje debisi olarak 500 yıl dönüş aralıklı (Q_{500}) taşkın debisinin alınmasına karar verilmiştir.

Ortalama günlük trafiğin yoğunluğu, civardaki yerleşim merkezindeki yapılaşma, nüfus yoğunluğu, köprünün kullanılmayacak kadar hasar görmesi durumunda diğer (alternatif) köprülerin kullanılmasıyla oluşacak aksamanın maddi ve manevi boyutları tespit edilerek, her bir köprü için özel olarak tasarım dönüş aralığı belirlenmelidir.

Bazı durumlarda köprünün özel şartlarına uygun olarak makul bir dönüş aralığına göre köprü hidrolik tasarımını gerçekleştirmek ve köprü civarında bir dizi koruyucu yapı yapmak da uygun bir çözüm olarak kullanılabilir (Yanmaz, 2002). Dönüş aralığının çok büyük olması yapının güvenliğinin yüksek derecede olmasını sağlamasının yanında maliyetin de artmasına sebep olur. Toplam maliyeti düşürmek amacıyla makul bir dönüş aralığı belirlenerek bu dönüş aralığına göre köprünün tasarımı yapılır ve köprü civarında koruyucu önlemler alınarak köprünün taşkın dönemlerinde zarar görmesi önlenir.

Akımı akarsu yatağında düzenli tutmak için yatağın genişletilmesi, derinleştirilmesi, pürüzlülüğü az olan taşkın duvarları inşa ederek akış hızının arttırılması gibi önlemler alınmalıdır. Ayrıca yerleşim alanları dışında seddeler inşa ederek akımın tamamen taşkın yatağında kalması sağlanabilir.

Toplam maliyeti en aza indiren optimum dönüş aralığı hidro-ekonomik analizle bulunabilir. Toplam maliyet, yapının maliyeti ile taşkın riski maliyetinin toplamıdır. Dönüş aralığı arttıkça yapının yatırım maliyeti artmakta, yapı daha emniyetli olduğundan taşkın riski maliyeti azalmaktadır. Böylece, toplam maliyet bir optimum dönüş aralığı durumunda en aza inmektedir (Yanmaz, 2002).

4.2.3. Dere Yatağındaki Akım Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Bölgesel taşkın frekans analizleri yapılmasını takiben, bulunan sonuçlar değerlendirilir ve bu değerler yardımıyla dere yatağındaki akım karakteristikleri belirlenmeye çalışılır. Dere yatağındaki akım karakteristiklerinin belirlenmesi suretiyle, bu bölgeye yapılacak olan köprünün maruz kalacağı hidrodinamik etkilerin tam olarak analiz edilmesi mümkün olur.

Akım karakteristiklerinin belirlenmesindeki en önemli adımlardan biri, dere yatağının ilgilenilen noktasındaki en kesit formunu ve boyutlarını tespit etmektir. Bu bölgede yerinde yapılan incelemeler ve eldeki verilerin değerlendirilmesiyle; taban eğimi, taban malzemesinin cinsi ve özellikleri, cidar pürüzlülüğü, akım derinliği ve akım hızı belirlenmelidir (Avcı ve Bayazıt, 1999).

Yapılması planlanan köprünün ayaklarının mevcut akım özelliklerini değiştireceği gözönünde bulundurularak, değişecek akım özellikleri ve bu değişimin miktarı hesaplanmalıdır.

Dere yatağının taban eğimi, taban malzemesinin cinsi ve akım hızı gibi özelliklerin belirlenmesiyle, bu derenin sediment taşıma ve taban erozyonu yaratma potansiyeli de belirlenir. Taban eğimi ve akım hızının artmasıyla sediment taşıma ve taban erozyonu yaratma potansiyeli de artar. Taşkınlar sırasında akım içindeki toplam katı madde konsantrasyonunun çok yüksek değerde olması kadar, taşınan bu katı maddelerin boyutları da çok büyük ve önemli olmaktadır. Taşkın sırasında görülecek bu çok büyük akım hızları ile taşınan katı maddenin özellikleri köprü temel ve ayaklarının stabilitesi açısından çok büyük önem taşımaktadır (Avcı ve Bayazıt, 1999).

4.2.4. Akım-Yapı (Köprü/Viyadük Ayak/Temel) Etkileşimi

Geniş akarsuları geçen köprüler, ulaşım ağlarının çok önemli yapıları olup, tasarımları hidrolojik, hidrolik, yapısal, geoteknik ve ekonomik analizlere dayanır.

Emniyetli bir tasarımda her türlü hidrolik ve yapısal yükleme için bu etkileşimin derecesi incelenmelidir.

Bir akım ortamı içinde bulunan bir katı cisim, akımın yapısını (akım koşullarını) bozduğu gibi, akımın da katı cisim üzerinde değişik şekillerde etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bir katı cismin içinde yer aldığı akımın bu katı cisme olan başlıca etkileri, akımın hızı ve kinetik enerjisi dolayısıyla katı cisme aktaracağı “direnç kuvveti (dinamik kuvvet)”, katı cismin yüzeyi üzerindeki sürtünmeden kaynaklanan “erozyon etkisi”, yüksek akım hızlarının olduğu yüzey üzerinde “kavitasyon riski” ve katı cismin etrafında oluşan çevriler (vorteksler) sonucu meydana gelen “taban oyulmaları” şeklinde ortaya çıkar (Avcı ve Bayazıt, 1999). Bu etkilerin boyutu ve önemi, başta akım hızı olmak üzere akım ve akışkan karakteristiklerine bağlı olduğu gibi, katı cismin boyutları, şekli (geometrisi) ve akım içindeki konumuna göre de değişmektedir (Avcı ve Bayazıt, 1999).

Hidrolik etkenlerin yeterince değerlendirilmemesi sonucunda, özellikle taşkın dönemlerinde köprü açıklıklarında ve yakın civarda olumsuz koşullar oluşmaktadır.

Hidrolik etkenlerden kaynaklanan zafiyetler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Yanmaz, 2002):

- Köprü ayağı temelinin yeterince derine inmemesi
- Taşkınlar esnasında taşınan büyük taşların ve kayaların ayaklara uyguladığı dinamik itki
- Taşkınlar esnasında şev erozyonu nedeniyle yerlerinden sökülen ve akımla taşınan ağaç gövdesi ve dalların ayaklar arasındaki açıklıklarda tıkanması
- Akarsu rejimine bağlı olarak köprü açıklıklarında taban malzemesinin birikmesi; membada ve açıklıkta oluşan kabarma nedeniyle yüksek akımlarda basınçlı veya savak tipi akım oluşması olasılığı
- Korunaksız şevlerin kayması nedeniyle kenar ayakların temel seviyesinde oluşan çökmeler
- Taşkın yatağı geniş olan akarsuları geçen köprülerde, yaklaşım dolgusu boyunun uzun olması nedeniyle akımın daralmış bölgeden geçerken dolgu şevlerinde yaratacağı erozyon.

Köprü ayakları nedeniyle oluşan daralmanın yarattığı hidrolik ve yapısal etkileşim, daralmanın mertebesine ve köprü açıklığındaki alt yapı elemanlarının geometrik özelliklerine bağlıdır. Köprü tasarımında ilk adım, uygun bir yapım yeri tespit edilmesidir. Bu amaçla akarsuyun planda nispeten düz ve açıklığın az olduğu bir aks seçilmelidir.

Köprü açıklığının hidrolik yeterliliği, her türlü koşulda akımı rahatlıkla geçirilmesiyle ölçülür.

Hidrolik yeterliliği arttırmak için gerekirse yapısal tasarımda bazı düzenlemelere gidilebilir. Örneğin, akım alanı içine yerleştirilen kalın bir ayak yerine daha ince kesitli birden fazla ayak yerleştirme seçeneği yapısal açıdan denenebilir.

4.2.4.1. Ayaklara Gelen Direnç (Sürüklenme) Kuvveti

Akım içerisine yapılacak olan köprü ayaklarına belli bir direnç kuvveti etki etmektedir. Bu kuvvet;

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 D h_b \quad (4.2)$$

formülüyle ifade edilir (Avcı ve Bayazıt, 1999). Bu formülde;

ρ : Akışkanın özgül kütlesi

V : Katı cismin menba (ön) tarafındaki akım hızı

D : Katı cismin akım doğrultusuna (V hız vektörüne) dik doğrultudaki boyutu

h_b : Katı cismin akımın içine batma yüksekliği

C_D : Cismin geometrisine (hidrodinamik yapısına) bağlı olarak 1 ila 2.1 arasında değişen direnç katsayısıdır.

4.2.4.2. Ayaklar Üzerindeki Erozyon Etkisi

Köprünün yapılacağı deredeki sediment taşıyan yüksek akım hızlarının yaratacağı cidar kayma (sürtünme) gerilmeleri köprü ayakları yüzeylerinde zaman içinde belli düzeylerde erozyona neden olur (Avcı ve Bayazıt, 1999). Ancak, asıl önemli ve etkili olan, taşkın dönemlerinde akımla askıda veya sürüntü halinde taşınacak olan iri malzemelerin büyük hızlarla ayaklara çarpması sonucu oluşacak olan erozyondur. Taşkın dönemlerinde yaşanacak olan bu erozyonun etkisiyle köprü ayaklarının

stabilitesi bozulacaktır. Bu nedenle, dere yatağı içinde (akım ortamında) inşa edilecek olan köprü ayaklarını erozyon ve darbelere karşı koruyacak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Özellikle taşkın dönemlerinde akım hızının çok yüksek değerlere ulaştığı ve sediment taşıma potansiyeli yüksek olan derelerde bu konuya önem verilerek köprü ayaklarının erozyon etkisine karşı en iyi biçimde korunması gerekmektedir.

4.2.5. Ayaklar Etrafındaki Taban Oyulması Olayının İncelenmesi

Köprü ayakları sürekli olarak hidrodinamik etkilere maruz kalırlar. Köprü ayaklarının etrafında hidrodinamik etkiler sonucunda oyulmalar oluşur. Bu oyulmaların aşırı miktarda oluşması sonucunda köprünün stabilitesi bozulur ve köprü yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalır. Bir çok köprü, ayakları etrafında oluşan aşırı oyulmalar sonucunda yıkılmaktadır.

Akım ortamı içinde inşa edilecek olan köprü ayaklarının etrafında ve özellikle menba (önünde) ve mansabında (arkasında) çok şiddetli çevriler (vorteksler) meydana gelir. Bu çevriler ayakların hem ön hem de arka tarafında tabanda derin ve etkili oyulmalara neden olacaktır (Avcı ve Bayazıt, 1999). Bu oyulma alanları, gerekli önlemlerin alınmadığı bir ortamda ve ayak temelleri etrafında oluşmaları halinde, temel stabilitesini tehlikeye sokabilir.

4.2.5.1. Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler

Bir engel etrafında yer alan akımın en belirgin özelliği, büyük ölçekli çevrinti yapısı veya başka bir ifadeyle, vorteks sistemlerdir (Üç, 1988, Breuser ve diğ., 1977).

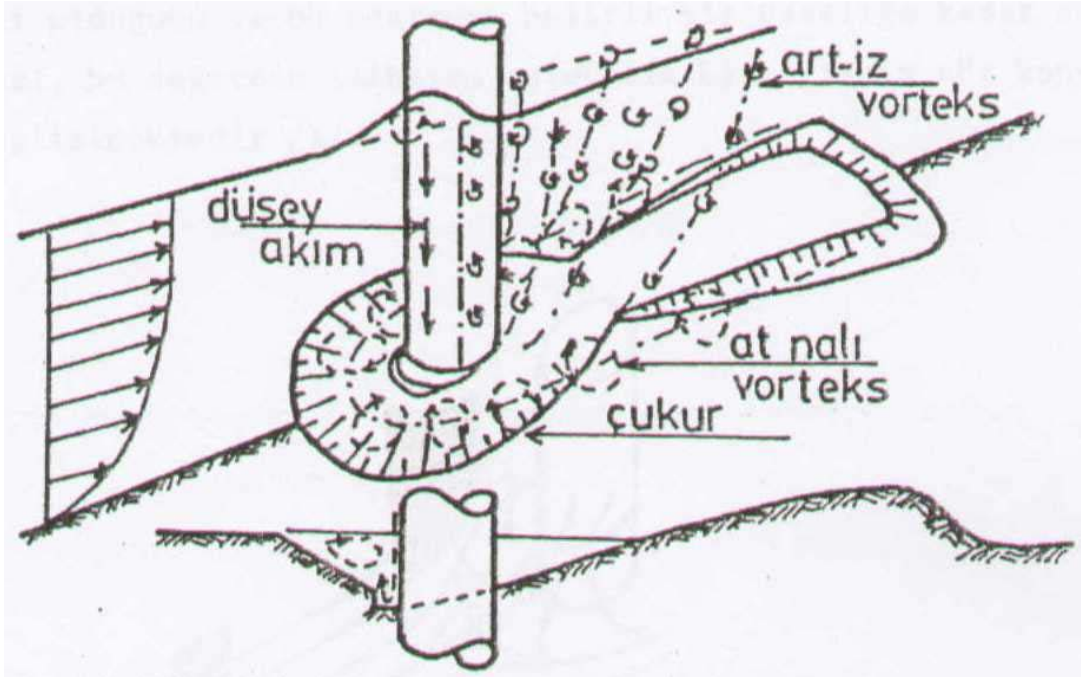
Çevrinti sistemleri akım yapısının bütünleyici bir parçasıdır ve akım içerisinde yer alan engelin yakınındaki hızın düşey bileşenine etki etmek suretiyle rahatsız edilmiş iki boyutlu bir hız alanındaki akımı enlemesine kesen vorteks katmanları (çevrinti ve dönümlü akım) oluştururlar (Üç, 1988, Shen ve diğ., 1969).

Eğer, sınır tabakası dışındaki akım çizgileri sınır yüzeyinin jeodezikleri ise, sınır tabakası üzerinde ikincil bir etki yoktur. Buna karşılık, akıma yerleştirilmiş bir silindirik engel dikkate alınırsa, bu olayda taban jeodezikleri doğrular, silindirin jeodezikleri ise, helisler olacağından sınır tabakası dışındaki akım çizgileri bu eğrilerden hiç birine uymayacaktır. Bu nedenle sınır tabakası içinde sökonder hareketlere neden olacak akım yönünde olmayan basınç gradyanları vardır. Sınır

tabakası dışındaki akımın bir engelle karşılaşması nedeniyle, engelin menba tarafından, harekete ters bir basınç artması meydana gelir (Üç, 1988).

Bu basınç gradyenlerindeki artım, engelin menbasında üç boyutlu sınır tabakasından ayrılma olayının meydana gelmesine neden olur. Bu ayrılma ve engelin menba duraklama düzleminde oluşan hızın düşey bileşenlerinin, taban zemini üzerinde yansımaları ve sapması sonucunda, engel yakınında vorteks sistemleri meydana gelir. Engel etrafında oluşan bu vorteks sistemleri, esas itibarıyla üç ayrı biçimdedir (Üç, 1988). Şekil 4.1’de görüldüğü gibi,

1. Sürüklenen vorteks sistemi
2. Atnalı vorteks sistemi
3. Art-iz (izli) vorteks sistemi



Şekil 4.1: Akım içerisinde bulunan engel etrafında oluşan vorteks sistemleri

Akıma yerleştirilen ayaktan dolayı (Şekil 4.1) harekete ters olarak meydana gelen basınç artışı, ayağın menbaında sınır tabakasından ayrılmaya neden olur. Bu ayrılma ve engelin menba durgunluk düzleminde oluşan hızın bileşenlerinin, tabanda yansımaları ve sapması neticesinde engelin menbaında “sürüklenen vorteks” diye tanımlanan ancak “Atnalı vorteksin” kaynağını teşkil eden vorteks sistemi meydana gelir (Yüksel ve Üç, 1993).

Maksimum oyulma derinliği, ayağın menbaında oluşan vorteks sisteminin katı madde kapasitesinin bir fonksiyonudur. Hareketli taban halinde vorteks çapının büyümesiyle doğru orantılı olarak oyulma ukuruda büyür ancak çapı gittikçe büyüyen vorteksin şiddeti buna ters orantılı olarak azalır. Ayak reynolds sayısının bir fonksiyonu olan vorteks şiddeti, ancak menbadan gelen malzemeyi taşıyabilecek sabit bir değere düştüğünde, maksimum denge oyulma derinliğine ulaşılmış olur. Bu duruma oyulma çukurunun “dinamik denge” hali denir.

Sürüklenen vorteks sistemler, aynı köşede birleşen yüzeyler arasında sonlu basınç farkları olan durumlarda meydana gelmektedir. Engelin duraklama düzlemi ile kanal tabanının birleştiği yerde, kabarmadan dolayı oluşan yüksek basınç gradyenleri bu vortekslerin oluşmasına neden olur. Genellikle, tamamen batık engellerde meydana gelir.

Akıma yerleştirilen bir engelin menba yüzünde oluşan sınır tabakası içinde kaymama şartının uygulanması, dU/dZ , düşey hız gradyenini yaratır ve bu da aşağı yönlü hareket eden akımı idare eder. Duraklama düzlemindeki basınç da, düşey basınç gradyenini doğurur. Bu akım tabanda saparak menba simetri düzleminde, belirli bir uzaklıkta ayrılma noktası oluşturur (, 1988, Carstens ve Sharma, 1975).

Duraklama döneminde aşağı doğru inen akımın sınır tabakasından ayrılması ve taban akımının sınır tabakasından ayrılması sonucunda oluşan çevri hareketlerinin, sürüklenen vorteks sistemini oluşurmaktadır (, 1988, Shen ve diğ, 1966). Bu evrileri oluşturan esas etki menba tarafındaki yüksek basınç alanıdır.

Atnalı vorteks sistemin oluşu karmaşık bir yapıya sahiptir. Engelin menbaında oluşan aşağı yönlü düşey hız bileşeninin tabana vardığında yansıdığı ve saptığı bilinmektedir. Yn değiştiren bu hız bileşenlerinin bir bölümü sürüklenen vorteks sistemini oluştururken, diğer bir bölümü de tekrar yükselerek hareketlerine devam eder. Bu olayların sonucunda engelin tabanı yakınında bir evrinti hareketi oluşur. Bu evrinti hareketine atnalı vorteks sistemi adı verilir. Gerçekte, bu hareketin hızları, genel hareketin hızları ile birleşerek bir helikoidal hareket oluştururlar (, 1988).

Atnalı vorteks sisteminin oluşması için, yeter büyüklükte bir basınç değişiminin olması gerekir. Bu ise, ancak kt burunlu engeller için söz konusudur. Bu takdirde,

sınır tabakasından ayrılma meydana gelir. Bu olayda, atnalı vorteks sistemi oluşturmak üzere engel önünde yuvarlanılır.

Küt burunlu engel, yukarıdaki olayı başlatacak yeter büyüklükteki yüksek basınç değişimini ortaya çıkaran engellere verilen addır. Diğer bütün engeller, sivri burunlu engeller adını alırlar. Sivri burunlu engeller etrafında, vorteks sistemi olmasına rağmen burun kısmında hiç bir vorteks sistem oluşmaz.

Art-iz vorteks sistemi, engel yüzeyindeki kararsız sürtünme tabakasının yukarı doğru dönerek çıkmasından meydana gelen vorteks sistemidir (Üç, 1988). Bu sistem içinde konsantre olan çevriler engelin kendisi tarafından meydana getirilir. Sürtünme tabakaları, ayrılma hattının her iki tarafından koparak ayrılırlar. Art-iz vorteks sistemde çevrilerin şiddeti, engelin şekline ve akım hızına bağlı olarak değişir. Ayağın arka tarafında, tabandan yukarıya doğru kalkan bir akım gözlenir.

Düşük reynolds sayılarında ($3 < Re < 50$), bu vorteksler stabildir ve ayağın mansabına yakın kalırlar. Ancak, reynolds sayısının daha büyük değerlerinde stabil değildirler ve ayaktan mansaba doğru yayılırlar. Bu vortekslerin şiddeti, ayak şekline ve akım hızına bağlıdır.

4.2.5.2. Katı Madde Hareketi ve Köprü Ayaklarının Katı Madde Hareketine Etkisi

Akarsu yatakları akımın belli şartları altında hareket edebilecek katı madde tanelerinden oluşmuştur. Bu taneler daha önceden akarsu yatağında bulunabileceği gibi, havzadan akarsuya taşınmış aşınma malzemeleri de olabilir.

Akarsu yataklarında bulunan tanelerin aralarında herhangi bir elektrokimyasal kuvvet bulunmamaktadır. Kum, çakıl cinsinden ayrık taneleri tabanda tutan en önemli faktör, tanelerin ağırlığıdır. Akım ise, taneye kayma gerilmeleri uygulayarak onu hareket ettirmeye çalışmaktadır. Akım şartlarının belli değerlere erişmesi halinde, tabanda bazı tanelerin kayarak ve yuvarlanarak ilerlediği görülür. Tabanda oluşan bu harekete sürüntü hareketi denir. Taban kayma gerilmesinin daha artması halinde, tanelerden bir kısmı tabandan kalkarak akıma karışır ve kısa bir zaman tabanın biraz üstünde ve içinde hareket ettikten sonra tekrar tabana döner. Böylece sıçrama hareketi başlamış olur. Akım hızının daha büyümesi halinde, artan taban kayma gerilmesinin etkisi ile, tabandan ayrılan taneler türbülans çevrileri aracılığı ile tabandan uzak noktalara taşınırlar. Bu hareket şekline askı hareketi adı verilir. Bu

hareket, tanelerin çökelme hızlarının, akımın türbülans hızının düşey bileşeni tarafından yenilmesiyle oluşur. Bu etkiler altında, tanelerin bir kısmı uzun zaman akarsu içinde askı maddesi halinde taşınırlar. Askı halindeki tane tekrar tabana dönebilir. Ancak, bu noktada da askı hareketine neden olan akım şartları varsa, tane yine tabandan ayrılıp askı halinde hareketine devam eder.

Tanenin tabandan ayrılmasında ve akım içerisinde askı halinde hareketine devam etmesinde, türbülansın önemli ölçüde etkisi vardır. Tanelerin hareketi türbülans yapısının başlıca rol oynadığı hidrolik alanlardan biridir. Türbülanslı hareketin, tanelerin sürüklenme gerilmesine, askı hareketine, yığılmasına ve difüzyonuna çok önemli etkileri vardır (Üç, 1988).

Katı madde hareketi taban kayma gerilmesinin belli bir değerinden itibaren başlar. Taban kayma gerilmesinin, tabandaki tanelerin hareketine neden olan bu değere kritik taban kayma gerilmesi adı verilir.

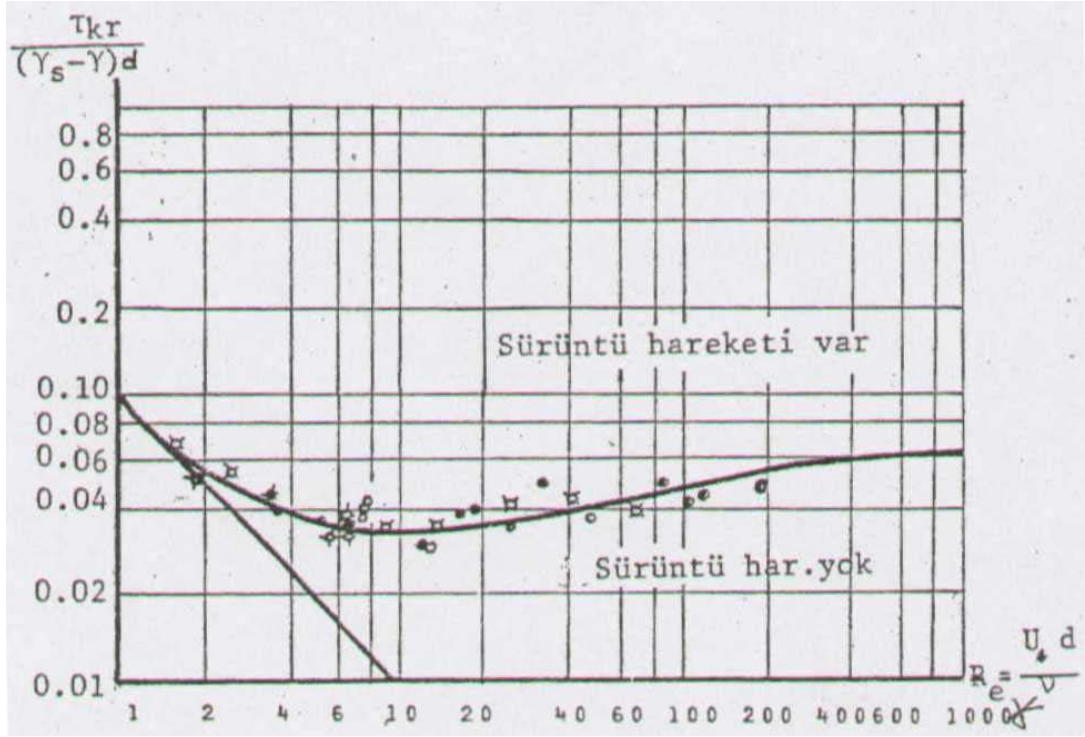
Kritik kayma gerilmesi kavramı, ilk defa Shields tarafından kullanılmıştır. Shields, kayma gerilmesinde yalnızca hidrodinamik kuvvetlerin rol oynadığını varsaymış ve yaptığı deneyler neticesinde şu sonuçlara ulaşmıştır.

1. Kritik taban kayma gerilmesi, yalnızca, verilmiş bir sıvıdaki, verilmiş bir malzeme tipi için, sürüklenme başlangıcı tane Reynolds sayısına bağlıdır.
2. Malzemenin sürüklenme başlangıcındaki kritik kayma gerilmesi tane çapıyla, üniform granülometrik malzeme gözönüne alınırsa, $(\gamma_s - \gamma)$ su altındaki birim hacim ağırlığı ile orantılıdır $(\tau_{kr}/((\gamma_s - \gamma) \cdot d))$.

Shield bu çalışmalarını kullanarak ulaştığı sonuçlar neticesinde, kritik kayma gerilmesini hesaplamaya yarayan şekil 4.2'de gösterilen Shields diyagramını elde etmiştir. Bu diyagram su altındaki yoğunlukları 0.03 ~ 3.3 olan malzemeler için geçerlidir.

Eğrinin altındaki bölgede taban hareketsiz, buna karşılık üstündeki bölgede ise hareketlidir.

Shields diyagramı kullanılarak akarsuyun herhangi bir noktasında tabanın hareketli olup olmadığı belirlenebilir. Diyagramda akarsuyun incelenen kısmı için bulunan değer eğrinin altında kalıyorsa taban hareketsiz, eğrinin üstünde kalıyorsa taban hareketlidir.



Şekil 4.2: Shields diyagramı

Aluvial bir akarsu, taşıdığı debi ve katı madde miktarına uygun bir denge konumuna ulaşır. Böyle bir akarsuyun tabanı hareketli olmakla birlikte taban seviyesinde bir değişim olmaz. Gelen malzeme miktarındaki değişimler, akarsuyun tabanında kısa süreli değişimlere neden olmakla birlikte, toplamda gelen malzeme miktarı ile, taşıma kapasitesinin eşit olacağı bir denge durumu oluşur. Bu şekilde oluşan dengeye dinamik denge adı verilir.

Aluvial bir akarsuda taşınan katı madde miktarında yerel bir değişiklik olursa, tabanda da bir değişim meydana gelir. Bu değişim, oyulma veya yığılma şeklinde kendini gösterir. Bu olay matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir;

$$\frac{dG}{dt} = q_T(B) - q_T(S) \quad (4.3)$$

Burada;

G: Tabanın geometrisini,

$q_T(B)$: Taban geometrisinin fonksiyonu olarak taşıma kapasitesini (söz konusu kesitten çıkan malzeme miktarı),

$q_T(S)$: Söz konusu kesite menbadan gelen madde miktarını göstermektedir.

Akım içerisindeki katı madde hareketi, akım karakteristiklerinin bir fonksiyonudur. $q_T(B)$ 'de akım karakteristiklerine bağlıdır.

Bu matematiksel ifade incelendiğinde anlaşılabacağı gibi,

$$q_T(B) = q_T(S) \quad (4.4)$$

olursa, $dG/dt=0$ olmaktadır. Bu durumda hareketli yatakta dinamik bir denge vardır. Aksi halde, iki durumda karşılaşılır;

- $q_T(B) > q_T(S)$, olması halinde yerel oyulma
- $q_T(B) < q_T(S)$, olması halinde yerel yığılma

Dinamik denge durumundaki akım içerisine bir engel yerleştirildiğinde, bu engel nedeniyle akım karakteristikleri değişir. Katı madde hareketi de akımın yakınındaki karakteristiklerinin bir fonksiyonu olduğuna göre, engel nedeniyle artan akım hızı, akımın taşıma kapasitesini de arttıracaktır. Artan yerel oyulma ve katı madde taşıma kapasitesi akarsu yatağında bir oyulmanın meydana gelmesine neden olur (Üç, 1988).

Akım içerisine yerleştirilen engelin, sürüntü hareketi üzerine etkisi sadece akım karakteristiklerini değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda engelden dolayı oluşan türbülans ve vorteks sistemlerin de etkisi önemlidir. Atnalı vorteks sistemi, art-iz vorteks sistemi ve sürüklenen vorteks sistemi nedeniyle oluşan dönümlü akımın hızlarından dolayı meydana gelen oyulma potansiyeli harekete karşı tanelerin direncini yenecek şiddette ise, engel yakınında oyulma başlar. Başka bir şekilde ifade edersek, oyulma, vorteksin yataktaki malzemeleri koparmak ve askıda tutmak için yeterli bir kayma gerilmesi oluşturduğu andan itibaren başlar.

Oyulma çukuru derinleştikçe, sınırdaki malzemeler tabana doğru kayar. Çünkü, vorteks dengede değildir. Fakat, vortekse çift yönlü periyodik değişimler etkindir. Böylece oyulma çukuru genişler. Oyulma, vorteksin taban malzemelerini taşıyacak veya askıda tutacak yeter kuvvete sahip olmadığı zaman oyulma durur. Bu yeni denge durumuna statik denge denir.

Oyulma olayının durmasının sebepleri net olarak açıklanamamakla birlikte, oyulma olayının esas fonksiyonu olan vorteks sistemlerinin hız ve şiddeti ile yayılma frekanslarının oyulma çukurunun büyümesiyle ters orantılı olarak azalmasıdır.

Oyulma olayının kantitatif değerlendirmesi 4.3 formülü esas alınarak yapılırsa (Üç, 1988, Laursen, 1963);

- $q_T(B) = q_T(S)$ ise, oyulma olayı yoktur.
- $q_T(B) \gg q_T(S)$ ise, yatakta sürüntü hareketi yokken oyulma vardır. Bu durumdaki oyulmaya “Temiz su halindeki oyulma” adı verilir.
- $q_T(B) > q_T(S) > 0$ ise, yatakta hem sürüntü hareketi hem de oyulma olayı vardır. Bu durumdaki oyulmaya “Daimi sürüntü maddesi taşınımı halindeki oyulma” adı verilir.

Tabanda sürüntü hareketi olmadığı halde bile engel etrafında oyulma meydana gelmektedir. Bunun nedeni, engelden dolayı oluşan türbülans ve vortekslerdir. Engel etrafında taban kayma gerilmesini etkileyen türbülans ve vorteksler, tabanda oyulmaya neden olurlar.

4.2.5.3. Köprü Ayakları Etrafındaki Oyulmaya Etki Eden Parametreler

Ayaklar etrafında taban oyulması olayı birçok parametreye bağlı olan karmaşık bir yapıya sahiptir. Kararlı ve uniform olarak kabul edilen bir akarsudaki, bir köprü ayağının etrafındaki oyulma olayına etki eden parametreler aşağıda sıralanmıştır (Üç, 1988).

- Akışkanı karakterize eden değişkenler: Yer çekimi ivmesi (g), akışkanın özgül kütlesi(ρ), akışkanın dinamik viskozitesi (ν).
- Akımı karakterize eden değişkenler: Akımın su derinliği (h), yaklaşım akımının hızı (U), tabandaki akımın teğetsel gerilmesi (τ).
- Taban malzemesini karakterize eden değişkenler: Taban malzemesinin özgül kütlesi (ρ_s), taban malzemesinin granülometrisi, danelerin büyüklüğü ve şekli, malzemenin kohezyonu.
- Köprü ayağını karakterize eden değişkenler: Ayağın şekli, ayağın boyutları, ayak yüzünün durumu.

Oyulma olayına etki eden parametrelerin sayısı oldukça fazladır. Bu değişkenlerin bazılarını ihmal etmek mümkündür. Taban malzemesinin granülometrisi, danelerin şekli ve taban malzemesinin kohezyonunun tayin edilmeleri oldukça zordur (Üç,

1988, Nicollet, 1971). Konu bu doğrultuda incelendiğinde aşağıdaki kabuller yapılarak parametre sayısı daha da azaltılabilir (Üç, 1988, Breuser ve diğ., 1977).

1. Taban malzemesi, kohezyonsuz olup uniform d çaplıdır.
2. Akımla ilgili olarak;
 - Köprü ayağının büzülmeye sebep olmaması için yeter genişliktedir.
 - Taban şekillerinin oluşmaması nedeniyle taban düz kabul edilir. Bu durumda k taban pürüzlülüğü d dane çapına bağlıdır.
 - Köprü ayağı silindirik olup yüzeyi pürüzsüzdür.

Bu kabullerin yapılması sonucunda oyulma derinliğinde etkili olan parametre sayısı 7'e indirgenebilir. Bunlar;

- Akışkan için: g, ρ, ν
- Akım için: h, U
- Taban malzemesi için: d, ρ_s
- Ayak için: D

olmaktadır. Bu durumda,

$$H_{d_{\max}} = f_1(g, \rho, \nu, h, U, d, \rho_s, D) \quad (4.5)$$

veya bazı parametreler eşdeğerleriyle değiştirilirse;

$$H_d = f_2(g, \rho, \nu, d, \Delta, h, U_*, D) \quad (4.6)$$

Burada;

$\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho$, rölatif batmış yoğunluk,

$U_* = (g.h.J)^{1/2}$, taban sürüklenme hızıdır.

Boyutsal analiz metodlarından birisi uygulandığında, rölatif oyulma derinliği;

$$\frac{H_d}{D} = f_3\left(\frac{U.D}{\nu}, \frac{U^2}{g.h}, \Delta, \frac{h}{D}, \frac{d}{D}\right) \quad (4.7)$$

veya,

$$\frac{H_d}{D} = f_4\left(\frac{U_* \cdot D}{\nu}, \frac{U_*^2}{\Delta \cdot g \cdot h}, \Delta, \frac{h}{D}, \frac{d}{D}\right) \quad (4.8)$$

Şeklinde boyutsuz değişkenlerin fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

Maksimum oyulma derinliği bulunması amaçlandığından, taban malzemesinin hareket başlangıcında etkili olan $(U_* \cdot D)/\nu$ ile $(U_*^2)/(\Delta \cdot g \cdot h)$ ve $\Delta = sb$ terimleri elimine edilerek;

$$\frac{H_{d_{\max}}}{D} = f_5\left(\frac{U}{U_{kr}}, \frac{h}{D}, \frac{d}{D}\right) \quad (4.9)$$

bağıntısı elde edilir.

Yukarıda başlangıçta ihmal edilen, ayağın şekli, malzemenin granülometrisi ve akımın atak açısı ile birlikte, (4.9) bağıntısından elde edilen akımın hızı, derinliği ve malzemenin çapı, maksimum oyulma derinliğinin oluşmasına etkili temel parametreler olarak elde edilir. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar da bu parametrelerin oyulma derinliğinin oluşmasında etkili temel parametreler olduğu doğrultusundaki görüşü doğrulamaktadır.

4.2.6.Dinamik Etkiler ve Oyulma Olaylarına Karşı Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi

Köprü tasarımı yapılırken statik etkilerin dışında, dinamik, hidrodinamik etkilerin de gözönüne alınması gerekir. Bu etkenler ve bölgenin geoteknik özellikleri dikkate alınarak tasarımı yapılan köprülerin dinamik etkilere ve oyulma olaylarına karşı korunabilmesi için bir dizi önlem alınmalıdır. Genel olarak köprü açıklığında ve köprü yakınında bir dizi düzenleme yapısı yapılarak bu etkilerin köprüye verecekleri hasar önlenmeye veya en aza indirilmeye çalışılır.

Köprü açıklığında ortaya çıkan en önemli problemler, ayaklar etrafındaki aşırı oyulmalar, aşırı kesit daralması sebebiyle açıklıkta hidrolik sıçrama oluşması, basınçlı ve savak tipi akımların oluşması, köprü ayakları arasındaki açıklığın taşkınlar esnasında ağaç ve dallarla tıkanması ve taşkın durumunda taşınan kaba malzemenin köprü altyapı elemanlarına uyguladığı dinamik etkilerdir.

Köprü tasarımı yapılırken oluşabilecek tüm olumsuz durumlar gözönüne alınarak en uygun çözümün bulunması hedeflenir. Tasarım çalışmalarına başlamadan önce köprü yeri seçilirken gelecekte köprünün maruz kalacağı tüm olumsuz etkiler gözönüne alınarak, en uygun bölge seçilmelidir. Köprü yerinin doğru olarak seçilmesi, köprünün hizmet ömrü boyunca karşılaşacağı riskleri azaltmanın yanında bu risklere karşı yapılması gereken düzenleme yapılarının maliyetini de düşürerek toplam proje maliyetini azaltır.

Hidrolik ve hidrodinamik etkiler dikkate alınarak uygun bir kesit belirlenirken aşağıdaki faktörler gözönüne alınmalıdır (Yanmaz, 2002).

- Depolama tesislerinin hemen mansabı uygun geçiş kesiti değildir. Tesis mansabında ortaya çıkacak temiz su oyulması potansiyeli mansaba doğru ilerleyen taban seviyesinde alçalmaya sebep olabilir. Taban seviyesinde ortaya çıkacak alçalma, yapılacak olan köprü için ciddi tehlike oluşturabilir.
- Köprü tasarımı yapılırken ayakların akım alanı içine yerleştirilmesi aşamasında kesitteki eş-hız eğrileri incelenmeli ve yapısal açıdan bir sorun yoksa, ayaklar yüksek hız bölgelerine yerleştirilmemelidir. Ayrıca taşkın yataklı akarsularda kenar ayağa en yakın orta ayak yerleştirilirken, kenar ayakla belli bir mesafe bırakılmasına dikkat edilmelidir. Bu iki ayağın birbirine yakın olması durumunda ayaklar etrafında oluşan oyulma çukurları birbiriyle girişim yapacağından toplam oyulma potansiyeli artacaktır.
- Bir regülatörün yakın memba tarafında yapılacak bir köprü, yüksek akımlarda kabarma bölgesinin etkisinde kalacağından hem basınçlı akıma, hemde artan su derinliğinin yaratacağı yüksek kayma gerilmeleri nedeniyle daha fazla oyulma problemiyle karşı karşıya kalacaktır.
- Akarsu tabanından inşaat malzemesi olarak kullanılmak için sürekli taban malzemesi çekilen bir kesit varsa bu kesitin yakın memba tarafına köprü inşa edilmemelidir. Taban malzemesi çekilmesi sonucunda mansaba doğru ilerleyen taban seviyesinde alçalma problemi ortaya çıkacaktır. Bunun yanında yapılması planlanan veya yapılmış olan köprülerin de stabilitesinin korunabilmesi için, bu köprülerin yakın mansap tarafından taban malzemesi çekilmesine izin verilmemelidir.

- Güzergah zorunluluğu nedeniyle akarsuyun bir kıvrımında geçilmesi gerekiyorsa, dış bükey kenarında akımı orta ayağa yönlendiren ve köprü ayaklarına açısız yaklaşım sağlayacak konumda ve sayıda mahmuz yerleştirilmelidir.
- Yan derelerin ana akarsuya birleştiği yerlerde veya parçalı bir akarsuda kolların birleştiği bölgede köprü yapılmamalıdır. Yan dereler taşkın dönemlerinde fazla miktarda sürüntü yükü taşırlar. Yan dereler geniş kesitli ana dereye ulaştığında derenin beraberinde sürüklediği kaba malzeme birikebilir. Bu durumda kesit tabanında düzensiz yığılmış malzeme, yaklaşım akımının köprüye açılı gelmesine neden olur. Ayrıca köprü açıklığında birikmiş olan sürüntü malzeme akım alanının azalmasına neden olur. Azalan akım alanının neden olduğu bölgesel akım hızında artış olur ve bu nedenle belli bölgelerde taban oyulmalarında artmalar olur.
- Akarsudan sulama ve benzeri amaçla fazla miktarda su çekilen bölgenin yakın memba tarafına köprü yapılmamalıdır. Ayrıca mevcut bir köprünün yakın mansabından fazla miktarda su çekilmemelidir. Su çekilen bölge memba tarafına doğru ilerleyen bir taban alçalması problemini ortaya çıkarmaktadır.

4.2.6.1. Köprü Ayakları Etrafında Alınması Gereken Önlemler

Akımdan kaynaklanan ve köprünün stabilitesini bozan en büyük yapısal etki köprü ayakları etrafındaki aşırı oyulmadır. Hareketli tabanlı akarsulara yerleştirilen köprü ayakları etrafında yapının güvenliğini azaltan oyulmalar meydana gelmektedir.

Köprü ayakları etrafında oyulmayı azaltmaya yönelik olarak bir çok çalışma yapılmış ve çeşitli önlemler geliştirilmiştir. Bu önlemlerden önemli olanları (Üç ve Yüksel, 1988):

- Keson temellerin teşkili: Akarsu yatağına yapılan, köprü ayağına temel teşkil edecek büyük boyutlu temellere keson temel adı verilmektedir. Bu temellerin yapılmasıyla köprü ayakları etrafında oluşacak olan oyulmanın maksimum derinliğinde %50'ye varan azalma olduğu belirlenmiştir.
- Ayakların etrafına anroşman yerleştirilmesi: Bu yöntem pratikte en çok uygulanan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde esas olan ayakların etrafına

büyük boyutlu taş blokların yerleştirilmesidir. Ayaklar etrafında oyulmaya neden olan, ayak önünde ve yan tarafında oluşan vortekslerin etkileri en aza indirilmektedir.

- Ayaklar etrafına yatay plakların yerleştirilmesi: Oyulmaya neden olan ayağın önünde ve ayak boyunca tabana inen düşey hızın etkisini azaltmaya yönelik olarak ayak etrafına su içerisindeki ayak yüksekliğine göre uygun yerlere bir veya daha fazla sayıda yatay plakalar ayaklar etrafına yerleştirilir. Bu plakalar yardımıyla oyulmanın azaldığı belirlenmiştir.
- Pilot ayaklarla oyulmanın azaltılması: Pilot ayakların yerleştirilmesiyle ayaklar etrafında oluşacak olan oyulmanın azaldığı tespit edilmiştir.

Ayaklar etrafındaki aşırı oyulmaya karşı alınacak önlemlerden bir tanesi, ayakların temel seviyelerinin düzenlenmesidir. Ayakların temel derinliklerinin artırılmasıyla köprünün karşılaştığı riskler azaltılabilir. Her köprü için ayak derinliğinin artırılması yalnız başına bir çözüm olarak uygulanamaz. Her bir köprü için ayrı ayrı analiz yapılmak suretiyle, tasarımı yapılacak köprünün ayakları etrafında alınabilecek diğer önlemler belirlenmelidir.

Taban seviyesinde kaplama yapılması köprü ayakları etrafında oyulmayı önlemek amacıyla kullanılabilir. Ortalama taban seviyesinin altında bir dizi riprap tabakası yapılmak suretiyle ayaklar etrafındaki oyulma önenebilir. Riprap büyüklüğünün doğru seçilmesi bu önlemin tam olarak işlevini yerine getirebilmesi açısından önemlidir. Riprap büyüklüğü yeterli değilse, yüksek hızlı akımlarda büyük kayma gerilmeleri sonucunda riprap tabakası harekete geçebilir. Riprap tabakasının harekete geçmesi halinde alttaki ince toprağın erozyonu sonucunda riprap tabakasında oturma problemi oluşabilir. Bu problemi önlemek için riprap tabakasıyla ince toprak arasına uygun bir filtre tabakası yerleştirilmelidir (Yanmaz, 2002).

Orta ayakların memba tarafında yaklaşım akım hızını azaltmak amacıyla membadaki akımı yönlendiren bazı yapısal önlemler kullanılabilir. Bunların başlıcaları; memba kazıkları ve memba plakalarıdır.

Memba kazıkları, köprülerin orta ayaklarının memba tarafında çakılan bir dizi kazıktan oluşmaktadır. Memba kazıkları, uygun sayı ve konumda

yerleştirilmeleriyle, akım hızını keserek akımı orta ayaklardan saptırmak suretiyle orta ayakların etrafında oluşacak oyulmaları azaltırlar.

Memba plakaları memba kazıklarına alternatif olarak kullanılabilir. Belli sayıda ve konumdaki plakalar orta ayaklar etrafına yerleştirilir. Bu plakaların kullanılmasıyla orta ayaklar etrafındaki oyulmanın azaldığı gözlenmiştir (Yanmaz, 2002).

Orta ayaklar üzerinde yapılacak bir dizi yapısal düzenleme ile ayaklar etrafındaki oyulmaya karşı önlem alınabilir. Ayaklar üzerinde taban seviyesine yakın dairesel plakalar yerleştirilmesiyle taban düşey akım ve at nalı çevrintilerinin etkisinden korunarak akım koşullarına karşı daha güvenli bir duruma gelir. Ayrıca ayaklar üzerine uygun boyutlarda yarıklar açılması suretiyle ayağın memba tarafındaki düşey akımı bozarak at nalı çevrintisinin etkisi azaltılabilir. Bu metodun uygulanabilmesi için akımın açılı gelmemesi gerekir (Yanmaz, 2002).

Kenar ayaklar etrafında da bir dizi koruyucu önlem alınabilir. Bu koruyucu önlemlerin başlıcaları; yaklaşım duvarları ve yaklaşım dolgularının konumları, uzunlukları ve bu elemanlarda kullanılacak koruyucu tabakaların tasarımıdır. Yaklaşım duvarları toprak, kaya dolgu veya pere kaplama olabilir. Yaklaşım duvarlarının temel işlevi akımın orta ve kenar ayaklara açısız yaklaşmasını sağlamaktır.

4.2.6.2.Yanal Erozyonu Azaltmak Amacıyla Kullanılabilecek Yapısal Düzenlemeler

Yanal erozyonu azaltmak için bir dizi önlem alınabilir. Şevlerin uygun kaplama malzemesiyle kaplanmasıyla şevlerde oluşacak erozyon azaltılabilir.

Ayrıca yanal ve kıyı erozyonunu önlemek için kıyıya dik veya belli eğimle bir dizi mahmuz yapılabilir.

Taşkın yatağı debisi fazla olan geniş akarsularda uzun yaklaşım dolgusu yapılması durumunda, dolguya dik olarak bir dizi mahmuz yapılarak dolgu şevindeki denge problemi çözülebilir (Yanmaz, 2002).

5. TÜRKİYE’DEKİ MEVCUT KARAYOLU DRENAJ VE SANAT YAPILARI TASARIM İLKELERİ VE YAŞANAN SORUNLARA İLİŞKİN GENEL BİR DEĞERLENDİRME

Türkiye’de mevcut tasarım metodları kendi içerisinde belli oranda tutarlı olmasına rağmen, birçok açıdan eksikleri bulunmaktadır.

Karayolu yüzeysel drenaj sistemleri projelendirilirken, uzun yıllardır uygulanmakta olan klasik yöntemler kullanılmakta olup bu konudaki gelişmeler yakından izlenmemektedir. Hazırlanmış olan projelerde uygulamaya yönelik kolaylıklar birinci planda tutulmak suretiyle, yeni gelişmeler gözardı edilmekte ve bu durum hatalı planlamaların yapılmasına sebep olmaktadır.

Drenaj sistemlerinde genel olarak alışlagelmiş yöntemler her tip tasarım koşulları için kullanılmaktadır. Bu durum, debi hesabında hatalı sonuçların oluşmasına sebep olmakta ve hatalı hesaplanmış olan debi kullanılmak suretiyle projelendirilmiş drenaj elemanlarının da doğru biçimde projelendirilmesine engel olmaktadır. Drenaj sistemleri özellikleri göz önünde bulundurularak ayrıntılı olarak incelenmeli ve her sistem için o sistemin özelliklerine uygun tasarım yöntemleri kullanılmalıdır.

Karayolu bünyesinde yapılandırılan drenaj sistemleri yapı olarak büyük ve komplike sistemlerdir. Bu durum sistemde yapılacak olan herhangi bir hatanın sistemin bütününe etkilemesine neden olur. Karayolu üstyapı sistemleri gibi büyük ve kapsamlı sistemler tasarlanırken, sistemi oluşturan tüm elemanların birbirleriyle uyumlu olması gerekir.

Türkiye’de özel mühendislik büroları tarafından hazırlanmış olan projeler, uygulanmadan önce idarenin onayına sunulur. Drenaj projelerinde yaşanan en büyük problem de bu aşamada ortaya çıkmaktadır. İdare birçok projede onay vermeden önce yapması gereken kontrol çalışmalarını yeteri kadar derinlemesine yapmamakta ve ilgili projeyi hazırlayan proje firmasını bu konuda gereken oranda yönlendirememektedir. İlgili idare tarafından tam olarak yönlendirilmeyen proje firmaları hazırladıkları projelerdeki eksikleri ve yanlışları doğru olarak görememekte

ve bu durumda ileride yapılacak diğ er drenaj sistemi tasarımlarında aynı eksik ve hataların bulunmasına sebep olmaktadır.

Türkiye`de, büyük sanat yapıları kapsamında incelenen, köprü ve viyadük tasarımları yapılırken hidrolik kriterlere gereken önem verilmemektedir.

Türkiye`de her yıl birçok bölgede yaşanan taşkınlar sonrasında, taşkın olan bölgelerde inşa edilmiş olan köprüler hasar görmekte veya yıkılmaktadır. Genel olarak tasarlanmakta olan köprülerin maliyeti düşürülmeye çalışılmakta bu durumda hidrolik açıdan alınması gereken önlemlerin ihmal edilmesine ve belli hidrolik kriterlerin de tamamiyle gözardı edilmesine neden olmaktadır.

 rnek olarak, hazırlanan birçok köprü projesinde köprü açıklığı maliyeti düşürmek için olabildiğince azaltılmaya çalışılmaktadır. Köprü açıklığı belirlenirken akarsuyun taşkın dönemlerinde taşıdığı debi tam ve doğru olarak dikkate alınmadığı için tasarlanan köprülerin yaşanacak olan taşkınlarda ağır hasar görmesi veya yıkılması kaçınılmazdır.

6. SONUÇ

Ulaştırma sistemleri toplumların gelişiminde tarih boyunca her dönemde çok önemli bir yere sahip olmuştur. Günümüzde toplumsal ve ticari gelişim açısından ulaştırma sistemleri çok büyük öneme sahiptir. Özellikle Türkiye koşulları gözönüne alındığında, ulaştırma sistemleri içerisinde karayolu ulaştırma sistemleri daha öne çıkmaktadır. Karayolu ulaştırma sistemlerinin işlevlerini tam ve eksiksiz olarak yerine getirebilmeleri için bu sistemlere ait drenaj sistemlerinin de eksiksiz ve doğru biçimde tasarlanmış olması gerekir.

Köprü ve viyadükler karayolu ulaştırma sistemlerinin ayrılmaz birer parçalarıdır. Köprü ve viyadüklerin tasarımında gerek yapı mühendisliği gerekse hidrolik mühendisliği açısından en son teknik ve yöntemlerin kullanılması tüm karayolu sisteminin işlevini yerine getirebilmesi açısından önemlidir.

Hazırlanmış olan bu çalışma neticesinde, karayolu ulaştırma sistemlerinde üstyapı drenajı konusunda Türkiye’de kullanılan hesap yöntemlerinin ve tasarım metodlarının kendi içinde tutarlı olduğu fakat belli alanlarda eksiklerin bulunduğu tespit edilmiştir. Belirlenmiş olan eksikler aşağıda sıralanmıştır.

- Yüzeysel drenaj sistemleri projelendirilirken, uzun yıllardır uygulanmakta olan klasik yöntemler kullanılmakta olup bu konudaki yeni gelişmeler yakından izlenmemektedir. Hazırlanmış olan projelerde uygulamaya yönelik kolaylıklar birinci planda tutulmak suretiyle, yeni gelişmeler gözardı edilmekte ve bu durum hatalı planlamaların yapılmasına sebep olmaktadır.
- Drenaj sistemlerinde genel olarak alışlagelmiş yöntemler her tip tasarım koşulları için kullanılmaktadır. Bu durum, debi hesabında hatalı sonuçların oluşmasına sebep olmakta ve hatalı hesaplanmış olan debi kullanılmak suretiyle projelendirilmiş elemanlarının da doğru biçimde projelendirilmesine engel olmaktadır.
- Türkiye’de, büyük sanat yapıları kapsamında incelenen, köprü ve viyadük tasarımları yapılırken hidrolik kriterlere gereken önem verilmemektedir.

Türkiye’de her yıl birçok bölgede yaşanan taşkınlar sonrasında, taşkın olan bölgelerde inşa edilmiş olan köprüler hasar görmekte veya yıkılmaktadır. Genel olarak tasarlanmakta olan köprülerin maliyeti düşürülmeye çalışılmakta bu durumda hidrolik açıdan alınması gereken önlemlerin ihmal edilmesine neden olmaktadır.

- Köprüler tasarlanırken hidrolik kriterlere yeteri kadar önem verilmemesi sonucunda köprü ayakları etrafında oluşacak olan oyulmalar yeterli düzeyde gözönüne alınmamaktadır. Köprü ayakları etrafında oluşacak oyulmalar yeterli düzeyde incelenmediğinden bu konuda alınması gereken önlemler alınmamaktadır. Sonuç olarak köprü ayakları etrafında oluşan oyulmalar nedeniyle birçok köprü hasar görmektedir.
- Köprü yapılması planlanan bölgedeki dere için dere yatağındaki akım karakteristiklerinin belirlenmesi, yapılacak olan köprünün hidrolik açıdan eksiksiz olarak tasarlanması açısından önemlidir. Dere yatağındaki akım karakteristikleri belirlenirken yapılacak olan hatalar o dere üzerine inşa edilecek köprülerin tasarımının da hatalı olmasına neden olur. Ayrıca akım karakteristiklerin doğru olarak belirlenmemesi durumunda tasarlanacak olan köprülerin karşılaşacakları olumsuz durumlar da eksiksiz olarak belirlenemez. Bu durumda alınması gereken önlemlerin doğru olarak belirlenmesi mümkün değildir. Yeterli önlemlerin alınmaması ve gerekli düzenlemelerin yapılmaması sonucunda olumsuz akım koşulları nedeniyle inşa edilecek olan köprüler hasar görecektir ve belli durumlarda köprünün yıkılma tehlikesi ortaya çıkacaktır.

KAYNAKLAR

- Avcı, İ. ve diğ.**, 1991. Hidrolojik Analiz ve Tasarım, (Kurs notu), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Hidrolik Anabilim Dalı
- Avcı, İ. ve Bayazıt, M.**, 1999. Gümüşova-Gerede projesi, kısım 2D 11+750 ile 15+330 arasında inşa edilecek olan 2, 3 ve 4 no'lu viyadük güzergahına (Asarsuyu ve Kom vadileri) ait hidrolojik etüd ve viyadük ayakları hidrolik düzenlemeleri hakkında sonuç rapor, İstanbul Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı.
- Breuser, H. N. C., Nicollet, G., Shen, H. W.**, 1977. Local Scour Around Cylindrical Piers, *Journal of I.A.H.R.*, Vol 3, p. 1
- CALTRANS (California Department of Transportation)**, 2001. Highway Design Manual. California Department of Transportation.
- Carstens, T., Sharma, H. R.**, 1975. Local Scour Around Large Obstructions, *Proc. I.A.H.R.*
- Hancu, S.**, 1971. Sur le Clcul des Affouillements Locaux dans la Zone des Piles du Pont, *Proc. I.A.H.R.*, Vol. 3, p. 299
- KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü)**, 2005a. Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Etüd ve Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü)**, 2005b. Proje ve Mühendislik Hizmetleri Kriter Raporları, Karayolları Genel Müdürlüğü, Otoyollar Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Laursen, E. M.**, 1963. An Analysis of Relief Bridge Scour, *Proc. A.S.C.E.*, HY 3, p. 3516
- Nicollet, G.**, 1971. Sur Problem des Affouillements au Pied des Piles de Pant Cylindriques, L.N.H. Chatau, Paris.
- Shen, H. W., Schneider, V. R., Karaki, S. S.**, 1969. Local Scour Around Bridge Piers, *Proc. A.S.C.E.*, HY, p. 6891
- Shen, H. W., Schneider, V. R., Karaki, S. S.**, 1966. Mechanics of Local Scour, Fort Collin, Colorado.

- Tumak (Türkiye Ulusal Meteoroloji ve Atmosfer Fiziği Komisyonu)**, 1987a. Türkiye'nin Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür Analizleri I, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- Tumak (Türkiye Ulusal Meteoroloji ve Atmosfer Fiziği Komisyonu)**, 1987b. Türkiye'nin Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür Analizleri II, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
- Üç, S. ve Yüksel, Y.**, 1988. Köprü ayaklarının menbâna yerleştirilen pilot ayaklar ile yerel oyulmanın azaltılması, *Yıldız Üniversitesi Dergisi*, **1988/1**, 8-16
- Üç, S.**, 1988. Vorteks yayılma frekansının oyulma derinliğine etkisi, *Doktora Tezi*, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wright, P. H. ve Dixon, K.**, 2004. Highway Engineering, John Wiley and Sons,
- Yanmaz, M.**, 2002. Köprü Hidroliği, ODTÜ Geliştirme Vakfı, Ankara.
- Yüksel, Y. ve Üç, S.**, 1993. Akıma yerleştirilen engelden dolayı oluşan türbülansın hareketli tabana etkisi, *Yıldız Üniversitesi Dergisi*, **1993/3**, 101-111

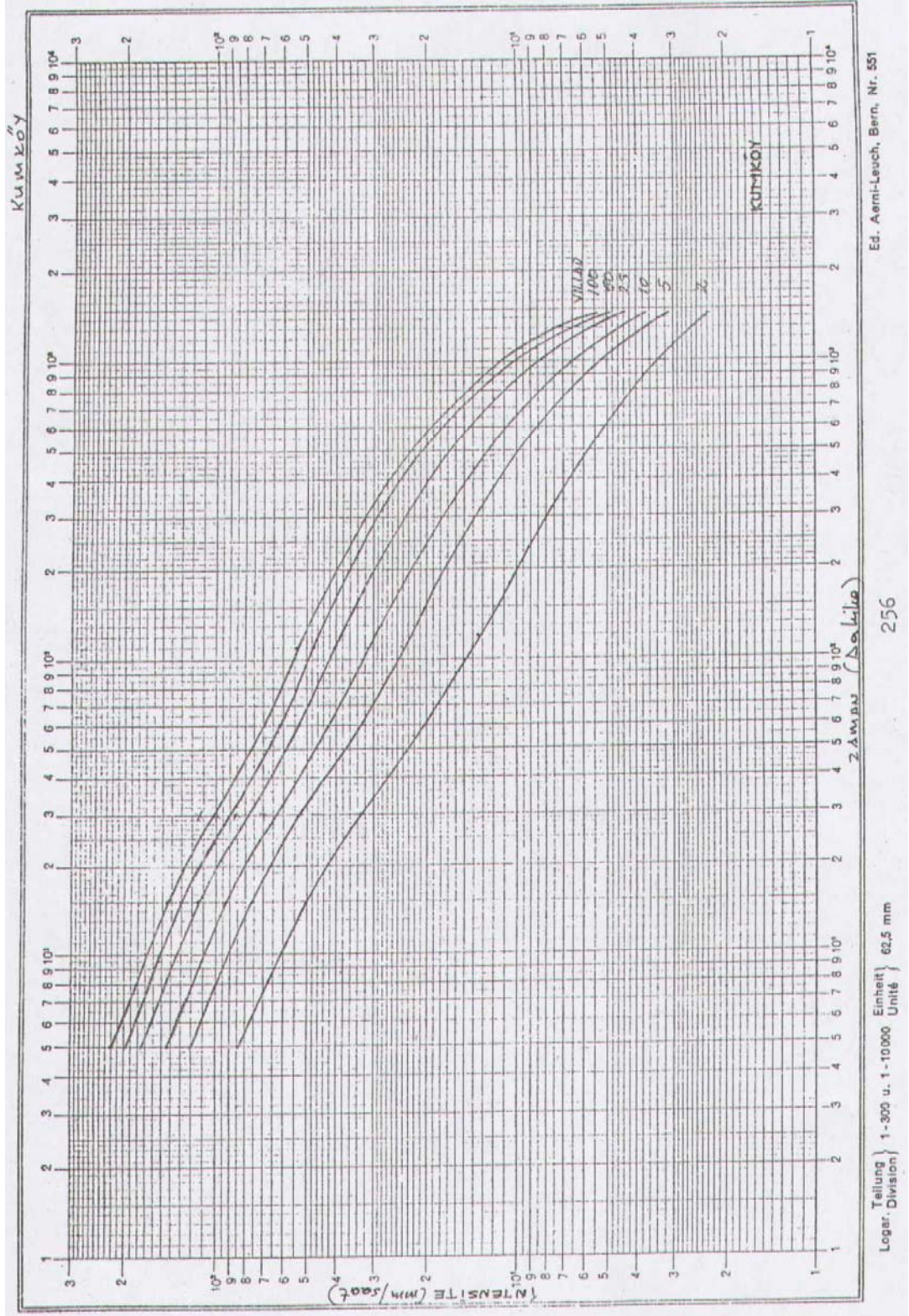
EKLER

Şekil A.1: Kumköy Yağış-Şiddet-Süre Tekkerrür eğrisi (TUMAK, 1987b)

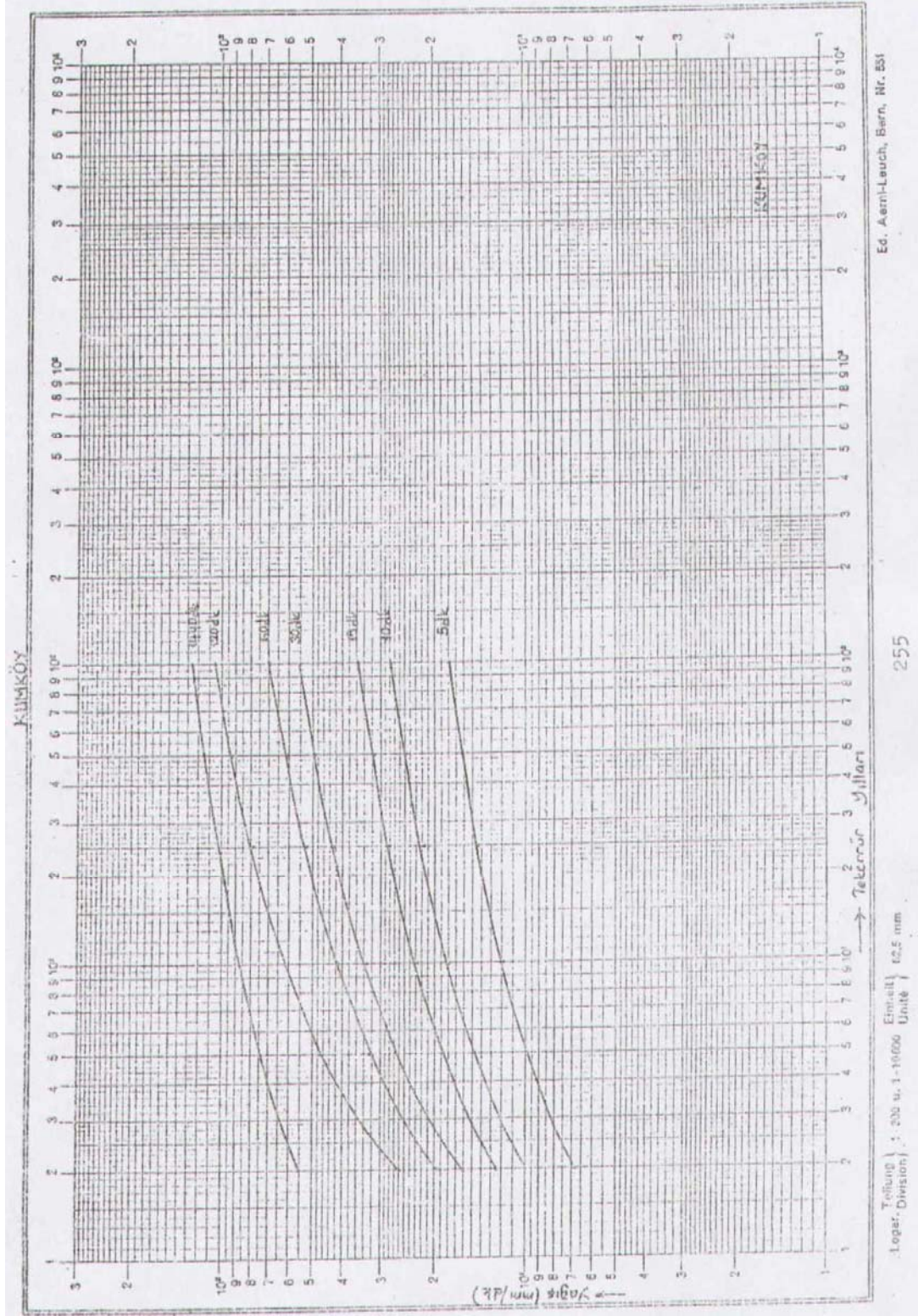
Şekil A.2: Kumköy Yağış-Şiddet-Süre Tekkerrür eğrisi (TUMAK, 1987b)

Tablo A.1: Kumköy standard zamanlardaki max. şiddetli yağışlara ait tekerrür analiz tablosu (TUMAK, 1987a)

Şekil A.3: 2 yılda bir 10 dakikalık şiddetli yağışların dağılımı haritası (TUMAK, 1987b)



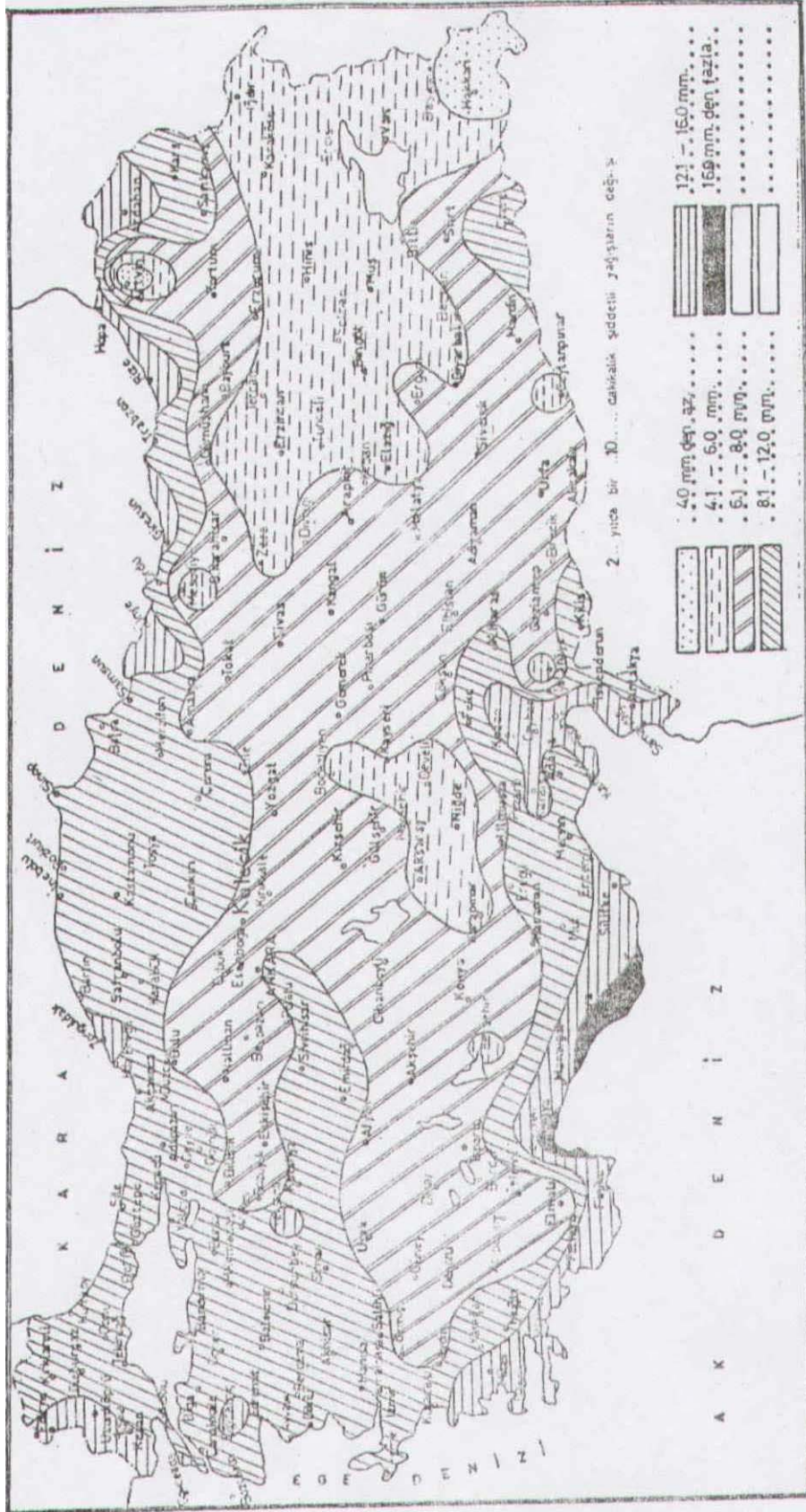
Şekil A.1: Kumköy Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür eğrisi (TUMAK, 1987b)



Şekil A.2: Kumköy Yağış-Şiddet-Süre Tekerrür eğrisi (TUMAK, 1987b)

Tablo A.1: Kumköy standard zamanlardaki max. şiddetli yağışlara ait tekrerr analiz tablosu (TUMAK, 1987a)

T.C. BAŞBAKANLIK DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ STANDART ZAMANLARDAKİ MAX. ŞİDDETLİ YAĞIŞLARA AİT TEKRER ANALİZ HESAPLAMALARI										
İSTİAD.	İSTANB.	YILLAR	5-DAK.	10-DAK.	15-DAK.	20-DAK.	30-DAK.	45-DAK.	2-SAT.	24-SAT.
KUMKÖY	59	1965	3.0	4.5	6.0	8.0	11.5	16.0	46.3	
		1966	6.4	9.2	12.0	12.9	14.7	14.7	45.7	
		1967	5.5	7.4	9.1	10.1	13.2	13.7	21.9	
		1968	5.5	8.5	11.0	14.7	16.2	17.5	48.4	
		1969	5.2	8.2	10.0	10.8	16.0	16.0	37.1	
		1970	6.7	9.1	11.8	12.8	12.8	17.0	61.8	
		1971	6.3	7.7	8.0	8.0	9.2	11.5	52.0	
		1972	7.4	11.6	14.4	17.5	15.3	28.9	74.6	
		1973	5.8	7.2	8.8	11.6	15.1	21.1	80.7	
		1974	10.2	16.0	20.5	26.5	44.5	67.2	82.5	
		1975	12.6	18.0	24.2	31.6	31.2	61.1	84.6	
		1976	10.2	18.5	23.5	26.0	26.1	30.4	46.3	
		1977	9.6	14.0	15.5	22.1	28.0	42.3	55.0	
		1978	5.2	7.2	10.6	17.1	21.5	24.1	57.6	
		1979	11.6	14.8	18.9	21.3	10.4	14.6	58.6	
		1980	6.1	8.1	9.4	10.4				
PLUVIOGRAFTAN ALGILAN MAX. ŞİDDETLİ YAĞIŞ VE YILI:										
		2 YILDA	12.6 (1975)	18.5 (1976)	24.2 (1975)	26.5 (1974)	49.4 (1974)	67.2 (1974)	89.7 (1974)	
		5 YILDA	6.9	10.2	12.5	16.2	19.5	26.0	55.2	
		10 YILDA	9.9	14.7	18.7	26.7	32.6	47.4	74.1	
		25 YILDA	11.9	17.9	22.8	33.6	41.3	61.5	86.6	
		50 YILDA	14.3	21.8	28.0	42.3	52.3	75.3	122.4	
		100 YILDA	16.2	24.7	35.7	48.8	60.4	82.6	114.1	
			18.0	27.6		55.3	68.5	105.7	125.7	
		2 YILDA	83.3	60.1	50.2	32.4	19.5	13.0	2.3	
		5 YILDA	118.8	88.4	74.9	53.3	32.6	23.7	3.1	
		10 YILDA	142.3	107.1	91.3	67.2	41.3	30.7	3.6	
		25 YILDA	172.0	130.8	112.0	84.7	52.3	29.7	4.3	
		50 YILDA	194.0	148.4	127.4	97.6	60.4	46.2	4.8	
		100 YILDA	215.8	165.8	142.6	110.5	68.5	52.0	5.2	



Şekil A.3: 2 yılda bir 10 dakikalık şiddetli yağışların dağılımı haritası (TUMAK, 1987b)

ÖZGEÇMİŞ

İnş. Müh. Uğur ÇALIŞKAN, 1980 yılında Diyarbakır`da doğmuştur. 1998 yılında Behçet Kemal Çağlar Lisesini bitirmiştir. 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği programında öğrenimini sürdürmektedir.