

T.C  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOYOLLARDA DRENAJ TEKNİKLERİ VE HİDROLİK ÇÖZÜMLER

RIZA TABANLIOĞLU

OCAK 2008

## ÖZET

### OTOYOLLARDA DRENAJ TEKNİKLERİ VE HİDROLİK ÇÖZÜMLER

TABANLIOĞLU, Rıza

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

Ocak 2008, 134 sayfa

Zemin kitlesinin fazla sudan korumak, sakıncalı dereceye ulaşmış ise su seviyesini düşürmek için yapılan işlemlere “drenaj” denilmektedir. Eldeki zemin ve yeraltı suyu verilerine göre bir şev stabilite analizi yapılarak şevin göçmeye karşı güvenliği bulunmakta, bu değerlerin istenilen bir değere çıkarılması için yeraltı suyu seviyesinde gerekli düşürülme kotu saptanarak arazide bunu gerçekleştirecek drenaj hendeği düzenlenmesine gidilmelidir. Drenaj kimi zaman yüzeysel, kimi zaman yol boyu hendeklerle, borularla, oluklarla ve bacalar yardımıyla yapılmaktadır.

Bu çalışmada otoyollar için drenaj esasları, yeraltı ve yüzey suyu drenaj sistemleri incelenmiştir. Yetersiz yeraltı ve yüzey suyu drenajın sonuçları ortaya konularak Kazancı-Gümüşova otoyolunun bu açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yağışlar sonucunda oluşan yüzey sularının yarma ve dolgu şevlerinin stabilitesine ve kaplama tabakasına etkileri saptanmıştır.

Otoyollarda drenaj yapılarına karşı yıllık ve aylık periyotlarda bakım ve kontrol servis birimleri oluşturularak uzun süreli, güvenli ve ekonomik hizmet sağlanmalıdır.

Bu alışma yapılırken otoyolu drenajı konusuna kapsamlı bir kaynak hazırlanması amaçlanmıştır.Bütün bu çalışmalar daha önce konu ile ilgili yapılmış çalışmalar ve şantiye uygulamaları ışığında şekillenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yollar, Otoyollar, Drenaj, Drenaj Teknikleri,

Hidrolik özümler

## ABSTRACT

### HIGHWAYS DRAINAGE TECHNIQUES AND HYDRAULIC SOLUTIONS

TABANLIOĞLU, Rıza

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ

January 2008, 134 pages

All of the things to protect ground mass from water level if it is inconvenient degree is drainage. We find slope safety to migration by analysing stability of slope depending on ground and underground water datum. After that we determine how many metres to drop elevation to raise the value of slope safety to migration in a wanted value. Finally we order drainage ditches to realize this. Drainage is made some times in the surface and some times throughout road with pipes, gutters and flues.

In this study the principles of drainage for highways, the systems of underground and surface water drainage are analysed. An evaluation of Kazancı-Gümüşova Highway is done according to the consequences of underground and surface water drainage. The effects of surface flow due to

rainfall to the stability of cut and fill slopes and the asphalt layer are investigated.

The effects of underground and surface waters to the road platform should be well identified while studying drainage in highways. Hence, it should be analysed how to deal with the problem of excessive amount of the water. The excessive amount of the water which leads to the decrease in resistance against slides and its bearing capacity besides the undesirable changes in soil characteristics.

Longlasting, reliable and economic service should be enabled by establishing revision and control units in monthly and annual periods about drainage structure of highways.

In doing this study, a well-prepared reference material about the highways drainage has been aimed. All these studies have been done under the light of works and applications which had previously been done.

Key Words: Roads, Motorways, Drainage, Drainage Techniques,

Hydraulic Solutions

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında öncelikle yardımlarını esirgemeyen, kıymetli vaktini bana ayıran tez danışmanım ve bölüm başkanım saygı değer Prof. Dr. Mustafa Yılmaz KILINÇ 'a, hem lisans hem de yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca bizlere değerli bilgilerini aktaran ve yol gösteren Yrd.Doç.Dr. Osman YILDIZ, Yrd.Doç.Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR, Yrd. Doç.Dr. Hüseyin İlter TAŐKIRAN ve Yrd. Doç.Dr. Orhan DOĞAN' a, ağabeyimiz Kerem YEĞNİDEMİR' e, çalışmalarımnda yardımını esirgemeyen Bektaş TAŞ'a, hayata adım attığım günden bu yana hep yanımda hissettiğim anneme ve babama, hayatımı paylaştığım sevgili eşim Funda TABANLIOĞLU' na ve biricik oğlumuz Eymen TABANLIOĞLU' na var oldukları için, sonsuz teşekkür ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

2.3.1. Standart drenaj hendeğinin genel yerleşimi .....	23
2.3.2. Geçirimli banket halinde genel yerleşim.....	24
2.3.3. Nitelikli banket halinde genel yerleşim .....	25
2.3.4. Kaplamada su süzülmesine karşı enine konmuş büz uygulaması .....	26
2.3.5. Yolun bir tarafına gelen suyu tutan dren hendeği.....	27
2.3.6. Yüksek refüj kenarında drenaj hendeği.....	28
2.3.7. Kabarık refüj ortasında drenaj hendeği .....	29
2.3.8. Kabarık refüj altında drenaj hendeği .....	30
2.3.9. Dolguda dren şiltesi uygulaması .....	34
2.3.10. Enine yatay dren yapısı .....	35
2.3.11. Yatay dren borularıyla suyu zeminden uzaklaştırma.....	37
2.3.12. Yatay drenle stabilizasyon hendeğinin bir arada uygulanması .....	40
2.3.13. Dolgu altına yapılmış stabilizasyon hendeği .....	42
2.3.14. Düşey ve yatay drenin bir arada uygulanması .....	44
3.1. Hendeplerdeki Sürekli Enerji Kırıcılar.....	119
3.2. Hendeplerdeki Küplü Enerji Kırıcılar .....	120
3.3. Menfez Girişindeki Kanat Duvarlarının 200 Dozlu Betondan Yapılması ....	121
3.4. Palye Hendeplerinin Tıkanarak Verimli Arazilerin Zarar Görmesi .....	122
3.5- 3.6. Menfez Girişindeki Toplanma Havuzlarının Geniş Tutulması .....	123
3.7. Kaskatlar.....	124

3.8- 3.9. Beton Hendek ve Şevden Selle Gelen Yüzeyin Tıkanmalara Yol Açması.....	125
3.10. Menfez Boyutlarını Tasarlarken Yol Kotunun Göz önünde Bulundurulması .....	126
3.11- 3.12. Boyuna Çatlak Oluşumu ve Tamirinde Faydasız Kalınması .....	127
3.13- 3.14. Refüjde bacanın mansap kesiminde beton kaplaması ile verimin artırılması ve ileride temizliğinin kolay yapılabilmesi için kapaklı Kontrol bacası tasarımı .....	128
3.15. Tüm Hendeklerden, Borulardan, Bordür ve Düşüm Oluklarından ve Bacalardan Gelen Suların Bir Yerde Toplanması .....	129



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

2.4.1. Drenaj elemanlarının taşkın tekerrür aralıkları .....	49
2.4.2. Akış katsayıları.....	51
2.4.3. Hendek tipine göre hesap kriterleri .....	58
2.4.4. Kaplama adına göre hesap kriterleri .....	59
2.4.5. Düşüm olukları ara mesafelerinin hesabında esas alınan değerler.....	67
2.4.6. Kabarma derinliğinin debiyle ilişkisini gösteren nomogram.....	71
2.4.7. Farklı tekerrür aralıkları için taşkın riski yüzdeleri .....	89
2.4.8. Menfez çıkışlarında koruma önlemleri seçimi .....	92
2.4.9. Çeşitli zeminlerde oyulmanın başladığı hızlar .....	100

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	3
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	7
2.1 Drenaj ve Önemi.....	7
2.2 Drenaj Etüdü .....	10
2.3. Yeraltı Suyu Drenaj Sistemleri.....	12
2.3.1 Standart Büzlü Drenaj Hendekleri Sistemi .....	12
2.3.2 Yeraltı Drenaj Yapıları .....	32
2.3.2.1 Enine Yeraltı Drenaj Yapıları.....	33
2.3.3 Boyuna Yeraltı Dren Yapıları .....	43
2.3.3.1 Düşey Kum Drenler .....	43
2.3.4 Drenaj Yapılarında Geotekstil Kullanımı .....	45
2.3.5 Yeraltı Suyu ve Sızıntı Suyu Drenajının Genel Prensipleri .....	46
2.4. Yüzey Sularının Drenaj Kriterleri.....	48

2.4.1 Yüzey Suyu Drenaj Sistemleri .....	51
2.4.1.1 Refüj Hendekleri.....	52
2.4.1.2 Yol Kenar Hendekleri .....	54
2.4.1.3 Palye Hendekleri .....	55
2.4.1.4 Yarma Üstü Kafa Hendekleri.....	56
2.4.1.5 Dolgu Şev Dibi (Topuk ) Hendekleri .....	59
2.4.1.6 Kademeli Hendekler .....	60
2.4.1.7 Özel Hendek.....	60
2.4.2 Borular .....	61
2.4.2.1 Dren Boruları .....	61
2.4.2.2 Taşıyıcı Borular .....	62
2.4.3 Deşarj Yapılar .....	63
2.4.3.1 Enine Deşarj Yapıları .....	63
2.4.3.2 Bacalar .....	64
2.4.4 Düşü Yapılar .....	65
2.4.4.1 Asfalt Bordür Ve Düşüm Olukları.....	66
2.4.5 Şütler .....	68
2.4.6 Sifonlar .....	68
2.4.7 Küçük Sanat Yapıları (Menfezler) .....	68
2.4.7.1 Menfezlerin Tasarım Metodu.....	69
2.4.7.2 Boru Menfezler ( Büzler) .....	72
2.4.7.3 Kutu Menfezler .....	78
2.4.7.4 Kemerli Menfezler .....	80
2.4.7.5 Tabliyeli Menfezler .....	80
2.4.7.6 Menfez Yerleşimleri ve Eğimleri .....	81

2.4.7.7 Menfez Giriş Yapıları.....	83
2.4.7.8 Menfez Girişlerinde Koruma.....	83
2.4.7.9 Menfez Girişlerinde Kabarma İncelemesi ve Öneri .....	84
2.4.7.10 Menfez Çıkış Yapıları.....	89
2.4.7.11 Baş Ve Kanat Duvarları.....	92
2.4.7.12 Menfez Tabanları .....	94
2.4.7.13 Menfez Etrafının Doldurulması .....	95
2.4.7.14 Taş Pere Uygulaması.....	96
2.4.7.15 Enerji Kırıcılı Koruma .....	97
2.4.7.16 Menfez Çıkışında Hız Azaltma Yöntemleri .....	97
2.4.7.17 Yüksek Çıkış Hızı Halinde Koruma Önlemleri .....	99
2.4.7.18 Menfezlerde Sürüklenme Maddesi Girişinin Kontrolü.....	100
2.4.7.19 Menfezlerde Temeller.....	102
2.4.7.20 Menfez Yarı ve Üst Dolguları.....	103
2.4.7.21 Menfezlerin Karşılaştırılması .....	104
2.4.8 Büyük Sanat Yapıları (Köprüler).....	105
2.4.9 Yüzey Suyu Drenaj Kriterleri.....	106
2.5. Şevlerin ve Şev Üstlerinin Drenajı.....	109
2.5.1 Yerlerin Tespiti Ve Aralıkların Seçilmesi .....	109
2.5.2 Kullanılış Yolları ve Tipler .....	109
2.5.2.1 Madeni Borular.....	109
2.5.2.2 Oluklar.....	110
2.6. Yol Kaplama Yüzünün Drenajı.....	110
2.6.1 Kaplama Boyuna Eğimleri.....	110

2.6.2 Kaplama Enine Eğimleri .....	111
2.6.3 Banketler.....	112
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	113
3.1 Yeraltı Drenajının Eksikliği Sonucunda Oluşan Zararlar .....	113
3.2 Yüzey Suyu Drenajının Eksikliği Sonucunda Oluşan Zararlar .....	115
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	130
KAYNAKLAR .....	133

## 1. GİRİŞ

Günümüzde bir ülkedeki yol ağının yeterliliği o ülkenin ekonomik düzeydeki gelişmişliğinin bir ölçüsü olarak düşünülebilir. Geometrik ve fiziki standartları yüksek yol ağına sahip bir ülke erişilebilirlik ve ulaşım kolaylığı ile ekonomik ve endüstriyel kalkınmayı sağlamış, sosyal, kültürel ve milli savunma alanlarında da gelişmiş demektir.

Yol ağının fiziki ve geometrik standartlarının yükseltilmesi ile insan ve eşya taşınmasındaki güven ve konfor artışıyla birlikte taşıt işletme maliyetlerinin azalması ülkeye sosyo-ekonomik yönde fayda sağlayacaktır. Ayrıca yüksek standartlı yoldaki taşıma ile bölge halkının büyük yerleşme merkezlerine gidiş gelişleri kolaylaştırılıp bölgeler arası kültür birliği temin edilmiş olur. Eğitim, sağlık, haberleşme gibi kamu hizmetleri daha etkin ve yaygın biçimde yapılmış olur.

Ülkemizde 1960'lardan sonra milli gelirin artışı, nüfus gelişmeleri, otomotiv sanayisinin hızla gelişmesi, araç sahipliğinin özellikle büyük şehirlerde artması sonucu mevcut yollar yetersiz kalmış ve yüksek kapasiteli yollara ihtiyaç duyulmuştur. Tam erişime kontrollü karayolu olan otoyolların diğer yol tiplerine göre daha güvenli ve konforlu yolculuk imkânı sağlamak, yolculuk süresini azaltmak ve daha fazla trafik taşımak gibi üstünlükleri vardır. Ayrıca yüksek trafiğe hizmet vermesi ve taşıt işletme giderlerinin düşük olması sebebiyle işletmeci ve kullanıcı açısından daha ekonomiktir.

Otoyollar yüksek yatırımlardır. Bu sebeple gerekli zamanda ve gerekli yere yapılmasının yanında yapılan otoyolun beklenen hizmet ömrü boyunca güvenli bir trafik işletimine olanak vermesi, bakım masraflarının olabildiğince az olması da büyük önem taşımaktadır.

Otoyolların bakım maliyeti ve trafik güvenliğinin yeraltı ve yüzey suyu ile ilişkisinin önemi büyüktür. Beklenenin üzerinde yüzey suyu ve yeraltı suyu etkisine maruz kalan otoyollarda şev kaymaları ve tehlikeli erozyonlar görülebileceği gibi üst yapının ömrü de kısalmaktadır. Bunun sonucunda ek bakım maliyeti oluşacağı gibi trafik güvenliği de azalır. Bu bakımdan otoyollarda drenaj sistemi çok iyi şekilde kurulmalı ve yeraltı ve yüzey suyunun yola zararlı etkilerine karşı gerekli tedbirler alınmalıdır.

Bu çalışmada; suyun yola etkileri, yeraltı suyunun etüdü ve drenajının türleri, yeraltı drenaj yapıları ve bunlarda geotekstil kullanımı, yeraltı ve sızıntı suyu drenajının genel prensipleri, yüzey suyu drenaj sistemleri ve genel prensipleri, şevlerin ve şev üstlerinin drenajı, yol kaplama yüzünün drenajı, yeraltı ve yüzey suyu drenajının eksikliği sonucunda oluşan zararlar ile otoyol gövdesi ve çevresinde drenaj çalışmalarının önemi ve alınması gereken önlemler ele alınmış, üzerinde durularak çözüm yolları hakkında öneriler geliştirilmiştir.

Yetersiz yeraltı ve yüzey suyu drenajlarının önemi ve sonuçları ortaya konularak drenaj elemanlarının ekonomik yönden analizi yapıp Kazancı-Gümüşova Otoyolunun bu yönden değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 1.1. Kaynak Özetleri

Sonuç T. <sup>(3)</sup> Yeraltı sularının hangi drenaj sistemi ve drenaj elemanlarıyla, zeminden uzaklaştırılması hakkında verilerle somut deliller ortaya koymuştur.

Karayolları Genel Müdürlüğü Yol Yapım Notları <sup>(4)</sup> de suyun drenajı için yapılan menfez sistemlerin etrafının doldurulması ve sağlamlaştırılması gerektiği, faydaları ile aksi takdirde oluşacak zararları anlatılmıştır.

Ledergen H.R. <sup>(6)</sup> Menfezlerin giriş-çıkış kotları arasındaki kot farkından kaynaklanan sıkıntıları olması muhtemel sıkıntılarla ele alıp, menfez tasarımı yapılırken hidrolik sıçramayı azaltmaya yönelik olan kırık profilli bir menfez tipinin seçilmesinin doğruluğu ve hesabı üzerinde durmuştur.

Çağlar B. <sup>(7)</sup> Drenaj elemanlarının en önemlilerinden biri olan menfezlerin çıkışlarında akımın hızını azaltarak doğal yataktaki hıza yaklaştırmak, otoyol dolgusunu desteklemek, menfez çıkış ağzındaki oyulma ve erozyona karşı koruma sağlamak amacıyla menfez çıkış yapılarının kanat duvarları, düz baş duvarları ile L şeklindeki duvarlardan tasarlanarak giderilmesini ve bunun yanında yüksek hızda gelen su ile sürüklediği malzemelerin hızına ve şiddetine dayanabilecek mukavemette menfezlerin tasarlanması gerektiğini belirtmiştir.

Bayındırlık Bakanlığı Yol Yapım Notları <sup>(8)</sup> Menfezlerin kötü durumdaki temel tabanlarının kum ve çakıl gibi zeminlerle sıkıştırılıp doldurularak tabanların ıslah edilmesi gerektiğini zemin mekaniği veri ve bilgileriyle beraber ifade etmiştir.



Çağlar B. <sup>(9)</sup> Uzun geçilen menfez yapıları tasarımında, yapı boyunca meydana gelmesi muhtemel farklı konsolidasyonlara karşı alınacak tedbirler; aşırı su muhteva eden yol gövdesindeki ve üst yapısındaki taşıma gücü düşüklüğünün nedenleri; yüzey drenajı ile yağmur, dolu, kar sularının ve sürekli akan suların yol gövdesinden güvenle uzaklaştırılması için gerekli drenaj yapıları; drenaj sistem türleri ve yeraltı suyu drenajının türleri, türlerin seçimine, yağışların etkisi, verilerle karşılaştırılarak buna bağlı seçimin yapılması; çevredeki iklim koşullarının, yağış mevsimlerinin, yağış rejimlerinin, don mevsimlerinin ve donma derinliğinin zaman aralıklarına bağlı verilerle karşılaştırılması, ele alınarak irdelenmiştir.

Karayolları Genel Müdürlüğü Hidrolik Sanat Yapıları Kurs Notları <sup>(10)</sup>  
Yeraltı suyu drenaj sisteminin kurulma amacı sızıntı sularının tahliye edildiği ve yeraltı suyu seviyesini gerektiğinde düşülmesi gerektiği örneklerle ortaya konulmuştur.

Önalp A. <sup>(11)</sup> Geotekstille beton hendeklerin diğer metotlara kıyasla bir kullanıldığı yer ve durumlar ile birlikte kullanılış biçimleri anlatılmıştır.

Üçüncü O. <sup>(12)</sup> Şev hendeklerinin yerleri ve aralıklarının zeminin durumuna, yolun profiline ve akımın miktarına göre belirlenerek tasarlanması gerektiği verilerle anlatılmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü Yol Standartlarında Yapılan Değişiklikler İç Genelge <sup>(13)</sup> Menfezlerin giriş ve çıkış ağızlarının çevredeki iklim koşulları, yağış mevsimleri, yağış rejimleri, don mevsimleri ve donma derinliği ile zaman aralıklarına bağlı verilerle karşılaştırılarak tasarı kriterleri sunulmuştur.

Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesi <sup>(14)</sup> Menfezlerin su çıkışının yüksek olması durumunda erozyonu engelleyici çözümler sunmuş ve bunları ekonomik açıdan ele almıştır.

Wasti Y. <sup>(16)</sup> Tüneller, düşey drenler, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi belirli miktarda suyun tahliye edilmesi gereken mekânlarda geotekstillerin uygulanması ile uygulama kriterleri ve uygulama yöntemleri hakkında bilgi vermektedir.

Sezginer Y. <sup>(17)</sup> Geotekstille beton hendeklerin bir arada kullanılarak agrega/filtre tabakasının görev yapmadığı durumlarda permeabilitesi yüksek malzemelerin yerine kullanılabilirliği incelenerek ele alınmıştır.

Umar F. Yayla N. <sup>(19)</sup> Suyun kontrol altına alınmaması halinde yarma ve dolgu şevlerinde göçmelerin meydana geleceği, kaymalar, dolguda oturmalar, zeminin taşıma gücü ve kayma mukavemetinin azalması ile don kabarmalarının meydana geldiği açık bir şekilde ifade edilmiştir.

Karayolları Genel Müdürlüğü Drenaj Kriterleri Raporu <sup>(20)</sup> Drenaj sistemi elemanının özelliklerine göre toplama zamanının hesaplanması; Menfez, yarma hendekleri, kafa hendekleri, asfalt bordürler, yükseltilmiş kenarlı dolgu banketleri, düşüm olukları gibi drenaj elemanlarıyla yüzeysel drenajın sağlanması karşılaştırılarak incelenmiştir.

Argun T. <sup>(24)</sup> Yeraltı drenajının yetersiz kaldığı durumlarda çıkacak sorunlar ile Madeni borular, oluk ve banketlerle iletimi ve bunların tasarımı, şevlerdeki basamaklardan toplanıp gelen suların şevlerden aşağı indirilerek yol dışına tahliyesi ve erozyondan korunması geniş bir biçimde ele alınmıştır.

## 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın esas amacı yüksek yatırımlı projeler sınıfında üst sıralarda yer alan Otoyol Projeleri'nde; yeraltı suları ile yüzeysel suların tahliyesini sağlayan metotları tespit etmeye çalışmaktır. Böylece elde edilen bu metotlarla Otoyol Projesinin ömrü uzayacak, yeni yapılacak olan Otoyolların projelendirme aşamasında drenaj sistemleri tasarımına katkı sağlayacaktır. Ayrıca tasarımı yapılan sistemlerde kesitlerin yeterliliği, ekonomik açıdan da irdelenirse daha büyük kesitli elemanlar yerine, yeterli kesiti olan elemanlar yapılarak projeye katkı sağlanmış olacaktır.

Çalışmanın bir diğer amacı da, drenaj sistemleri geliştirilirken kullanılacak olan drenaj elemanlarının taşkın tekerrür aralıkları ve yağış akış ilişkisinin bir karşılaştırmasını ortaya koymaktır. Bu karşılaştırma ile sistemlerin birbirine olan üstünlükleri tespit edilecektir.

Drenaj sistemlerinin geliştirilmesi ile uygun olan drenaj elemanının belirlenmesinin ardından yapılacak uygulamaların ileride yapılması muhtemel yeni Otoyol Projeleri'nin tasarımlarının daha sağlıklı bir şekilde yapılması ve projenin ömrünün uzatılması hedeflenmektedir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Genel anlamda drenaj yolun ve yol çevresinin yeraltı ve yüzey sularının zararlı etkilerine karşı korunması işlemidir. Buna göre yeraltı drenajı ile zemin kitlesinin su muhtevasının sakıncalı dereceye ulaşmasını engellenmesi ya da bu dereceye ulaşmış ise düşürülmesi, yüzey drenajı ile yağmur, dolu, kar sularının ve sürekli akan suların yol gövdesinden güvenli bir şekilde uzaklaştırılması amaçlanır.

### 2.1 Drenaj ve Önemi

Drenaj; yol platformu ve yol ile ilgili yağış havzasına yağmur, dolu ve kar halinde düşen ve doğal yataklarda akan ya da çukur yerlerde biriken yüzeysel sular ile zemin daneleri arasındaki boşluklarda durgun veya akar halde bulunan yeraltı sularının yola ve çevreye zarar vermeyecek şekilde kontrol altına alınıp uzaklaştırılmasıdır.

Su, yol alt yapısının inşası sırasında zeminin kolayca sıkıştırılmasına yardımcı olması bakımından kullanılması zorunlu olan bir gereçtir. Üst yapının teşkili sırasında da aynı maksatla sudan yararlanılır. Ancak, yapıyı tamamlanıp trafiğe açılan bir yolun gerek yüzeysel ve gerekse yeraltı suyuna karşı sürekli olarak korunması, suyun yola olan zararlarının önlenmesi bakımından büyük önem taşır. Bu itibarla, bir yol projesinde, yolun yüzeysel ve yeraltı suyuna korunması geçki seçiminden kaplama teşkiline yani yol inşaatının başlangıcından sonuna kadar her safhada düşünülmesi gereken

bir konudur. Basit bir tanımla, yolun suya karşı korunması olan drenaj bakımından iyi şekilde projelendirilmemiş bir yol, kısa zamanda elden çıkacağı gibi sürekli olarak büyük bakım ve onarım masrafları gerektirir. Ayrıca yoldaki trafik güvenliği de büyük ölçüde azalır.

Drenaj, yüzeysel drenaj ve yeraltı olmak üzere iki çeşit drenaj söz konusudur. Yüzeysel drenajda amaç, kaplama, banket ve şev yüzeyinin sürekli olarak akan veya yağış sonucu oluşan akarsulara karşı korunmasıdır. Bu da kenar hendekleri, kafa hendekleri ve çeşitli tip menfezleri içeren bir sistemle sağlanır.

Serbest, kapiler ve absorbe olmuş halde yeraltı suyuna karşı drenaj, yüzeysel drenaja (yüzeysel sulara karşı yapılan drenaja) göre daha zor olup bu drenaj için standart bir sistem tavsiyesi çok zordur. Zeminin cinsi, yeraltı suyunun derinliği, akış yönü ve miktarı gibi hususlara bağlı olarak özel projeler hazırlanır ve uygulanır.

Yeraltı suları drenajının amacı; yeraltı suyunun sakıncalı seviyesini indirmek ve böylece stabil bir yol yatağı tabanı ve şevleri sağlamaktır.

Yeraltı suyu kapiler sudan ayrı olan ve zemin altında doymuş bir kesimde bulunan serbest sudur. Yeraltı suyu hızı ya da debi etkili hidrolik yüke, permeabiliteye, derinliğe, eğime, kalınlığa ve su yüklü kısmın uzunluğuna bağlıdır. Debi birçok analitik metotlarla elde edilebilir. Bununla beraber bu metotlar yeterli değildir. Arazi araştırma ve yoklamaları daha iyi sonuçları gözetmek zorundadır.

Su kapsamının fazlalığı bir zeminde kayma direncini ve taşıma gücünü düşürür, sakıncalı aktif basıncı artırır, hacim değiştirmeyi kolaylaştırır. Donma olaylarına hazır bir ortam yaratır. Bu bakımdan yol mühendisinin karşısına yol gövdesi ve üst yapısında sakıncalı deformasyonlar ve bozulmalar, şevlerde dolgu tabanlarında ve sanat yapısı temellerinde denge ve oturma konuları çıkarır.

Yola zararlı olan tesirlerin başında yeraltı suyu tesiri gelir. Yeraltı suları heyelanlara, çökmelere, zemin taşıma güçlerinin düşmesine, yol yüzü batmalarına yol açar. Bu bakımdan yol inşaatında yeraltı suyu konusuna çok önem verilir.

Yeraltı suyu etütleri yapılırken şunlara dikkat edilir;

İnceleme ve gözlem için en uygun zamanlar yeraltı su seviyelerinin en yüksek olduğu zamanlardır. Memleketimizin iklim özelliklerine ve türlü bölgelere göre; Mart, Nisan, Mayıs, ayları bu zamanın içine girer.

Yeraltı su seviyesi çukur yerlerde, deniz, göl ve nehir gibi büyük sulara komşu yerlerde yüzeye yakın olabilir.

Ekseriye geçirimli geçirimsiz zemin tabakalarının ara kesitinde yeraltı suyu olabilir. Bu ara kesitin yolda hangi seviyeye rastladığı tespit edilir. Su seven nebatatların bol olduğu kesimlerde yeraltı suyu olabilir.

Kuyu, kaynak ve pınarlar yeraltı su seviyesi hakkında fikir verebilir. Her ne surette olursa olsun yeraltı suyu bulunduğu ve bunun zararlı seviyede olduğu tespit edilince mutlaka drenaj tedbirleri alınır.

Yeraltı suyunun etkisi sinsi, daimi ve birikip büyür bir şekilde olduğundan bazı ufak yeraltı suyu tedbirlerini ihmal edip drenaj tedbiri almamak doğru değildir.

Önem verilmeyen çok küçük sızıntılar bile tehlikeli sonuçlara sebep olabilir. Bu bakımdan ufak belirtilerin olduğu yerlerde, kuru bile olsa bütün derin yarmaların olduğu yerlerde drenaj yapılır.

Yol yüzü bozulmalarındaki sebeplerin başında drenaj tedbirlerinin alınmamış olması veya yetersizliği gelmektedir.

## 2.2. Drenaj Etüdü

Drenaj konusunda verilecek kararlar ve yapılacak drenaj yapılarının projelendirilmesi; arazi üzerinde jeoloji, hidroloji, zemin mekaniği, iklim koşulları ve topografya yönünden yapılacak inceleme, gözlem ve deneylerden elde edilecek bilgilere sıkı sıkıya bağlıdır.

Jeolojik bilgiler bu konuda temel bilgiler olup drenaj alanında arazide yapılacak etüt ve araştırmalarda:

a- Zemin türleri, bunların yerleşimi, tabakaları, tabaka kalınlık, uzanım ve eğimleri;

b- Yeraltı suyunun ana kaynakları, su yüzeyinin mevsimlere göre yüksekliği ve derinliği, uzanımı, üzerinde aktığı zemin yüzeyinin eğimi, akımının doğrultusu, mevsimlere ve yeraltı suyu yüzeyinin yüksekliğine göre akım sarfiyatı;

c- Zeminlerin düşey, yatay doğrultuda permabilite katsayıları, yol gövdesi kapiler yüksekliği ve kapiler yükselme hızı, boşluk oranı, granülometrisi, birim hacim ağırlığı;

d- Zemin yüzeyinin topografyası, su akıtma bakımından eğimi;

e- Çevredeki akarsular, göl ve denizlerle yapma su birikimleri (baraj gölleri, göletler gibi), kuyular, sulama kanalları;

f- Çevredeki iklim koşulları, yağış mevsimleri ve yağış rejimleri, don mevsimleri, donma derinliği ve bunların zamanları saptanmalıdır. Diğer taraftan yakındaki eski yollar ve onlardaki drenaj yapıları, bu yapıların etkinliği, yetersiz kaldığı noktalar gözden geçirilmelidir.

Drenaj bakımından iyi bir ortamda:

1. Topografya yüzey sularının hızla akıp uzaklaşmasını sağlayacak durumda olmalıdır. Yani arazi yeterli eğimde olmalıdır.

2. Zemin iç drenaj nitelikleri bakımından otoyol üst yapı tabanında dolguda ve dolgu tabanında sulu bir bölgenin oluşumuna olanak vermemelidir.

3. Yeraltı suyu o düzeyde gerek kapilarite gerekse başka yollardan otoyol tabanında su emmiş bir bölge oluşmayacak şekilde olmalıdır.

Drenaj bakımından kötü bir ortamda:

1. Arazi deniz ya da su rezervleri düzeyinden çok yüksektir. Arazi eğimleri akışları güçleştirecek derecede azdır.



2. Su taşıyan geçirimsiz zemin tabakalarının derinliği azdır. Yeraltı su düzeyi civar zeminlerin kapiler yüksekliklerinden pek az derinliktedir.

3. Zemin özellikle otoyol gövdesi üst düzeyinde iç drenaj nitelikleri bakımından kapiler yüksekliği çok, kapiler yükselme hızı büyük olan bir zemindir.

### 2.3. Yeraltı Suyu Drenaj Sistemleri

#### 2.3.1 Standart Büzlü Drenaj Hendekleri Sistemi

Standart büzlü drenaj hendekleri genellikle yol eksenine paralel dar bir hendek, dibinde metal, beton, asbestli çimento gibi malzemeden yapılmış bir büzün üstünü örten filtre malzemesi, en üstte geçirimsiz zeminden bir tabaka vardır.

- 1- Büz Tipi
- 2- Büze Suyun Giriş Yeri
- 3- Drenaj Hendeğinin Yol İçindeki Yeri
- 4- Dolgu ya da Filtre Malzemesi
- 5- Sistemin Yapı Kuralları

#### 1 - Büz Tipi:

Bu tipi seçerken göz önünde tutulacak önemli noktalar şunlardır:

- Filtre Özellikleri
- Dayanıklılık ve Ömür
- Sağlanma Durumu ve Sağlama Kolaylığı

## - Filtre Özellikleri

Filtre özelliğinden anlaşılan büzün filtre malzemesi ile tıkanma konusunda niteliği ve drenaj için alınması gerekli, suyu almada kapasitesidir.

### Tıkanma Durumu:

Tıkanma konusunda türlü büzlerde, türlü şartlarda yapılan deneylerde bulunan sonuçları açıklayalım:

Amerika Birleşik Devletlerinde; U.S. Engineer Departmentnin "VICKSBURG" deney istasyonunda yaptığı deneylerde filtre karakteristiği 6 tür büz üzerinde incelendi. Bu incelemede 108 metre uzunlukla bir hendek ince kum ve çakıllı dolgu malzemesi 3/8 ile No;4 eleği üstü arasında bir malzeme ile dolduruldu. Kullanılan bütün büz tipleri 15 cm çapında idi. Hepsinde aynı hidrolik eğim kullanıldı. Boşluklu beton büz (ek yerleri bir asfaltlı malzeme ile tıkalı) ve delikleri aşağıda olmak üzere yerleştirilmiş ve asfalt ile sırlanmış metal büz iyi bir sonuç verdi. Büzlerin her birinin 0,30 m boyuna 13,6 gram ağırlığında filtre malzemesi girdi.

Metal ve delikleri yukarıda büzün 0,30 m boyunda 90 gram filtre malzemesi girmesine karşılık delikli beton ve pişmiş kilden aralıklı dizilmiş büzlerin her bir 0,30 m boyunda 589 gramdan 1676 grama kadar filtre malzemesi girmiş oldu. Basit beton büzler aralıklı ve aralıkları açık olarak dizilmiş olanlar 3624 grama kadar filtre malzemesi girmesine olanak verdi. Bu da normal bir sonuçtur. Büz tipi seçiminde, yerleştirilişinde, ek yerlerinde alınacak önlemlerde bu sonuçlardan yararlanılır. Aralıklı dizilmiş büzlerde yüksek hızda bir akımın filtre malzemesini sürüklemesi ile büze bol filtre

malzemesi girebilir. Eğer beton kumu gibi ince bir filtre malzemesi kullanılırsa delikli ve birleşimleri iyi tıklalı büzler delikleri aşığıda olmak üzere kullanılmalı ya da bu büzler aralıklarında koruma tedbiri alınmadan kullanılmamalıdır. Eğer birinci tip büz delikleri yukarıda olmak üzere kullanılırsa 5 cm. ve 7,5 cm kadar yükseklikte 1/2' lik kırma taştan bir bilezik yaptıktan sonra kum filtreyi koymalıdır.

Aralıklı dizilmiş büz kullanıldığında birleşim yerinde üst kısmı kapatan, birleşen her iki büze de yapışan rüberoit bir şerit konur. Bunun boş bıraktığı alt kısma, aralık genişliği boyutunda kırma taştan bir dolgu yapılır. Bu dolgu dışına 1/4" ya da 3/4" boyutunda kırma taştan bir bilezik rüberoit'in üzerini kapatmak üzere konur.

Bunların üzerine filtre malzemesi doldurulur. Bununla beraber komşu zeminin gradasyonu 1/2" boyutunda kırma taşı filtre malzemesi olarak kullanmaya müsait ise bu özenmeye o kadar gerek kalmaz.

Drenajda kullanılan büzler metal (çelik ve dökme demir), beton, asbestli çimento, asbestli bitüm ve plastik malzemelerden yapılmış olabilir. Bunların yüzeyi delikli ya da deliksiz olanları kullanılabilir.

Normal drenaj hendeklerinde 15 cm – 30 cm çaplı büzler yeterlidir. Aralıklı dizilmiş büzler kullanılıyorsa tıkanma olasılığı azaltmak için 30 cm çapında olanlarına yeğlemelidir.

Su Alma Kapasitesi:

Drenaj hendekleri ya da büzlerin gerekli drenaj için her bir metre boy başına alması gereken su debisi bulunur. Bu  $q$  ( $m^3/sn \times M$ ) olsun. Bu  $q$ 'nın tümünün büz deliklerinden girmesi ve büz içinden akması şart değildir. Hendeğe gelecek suyun bir kısmı da filtre malzemesinden akacaktır. Böyle olmasına rağmen  $q$  değeri, büze girmesi ve büz içinden akması şart olduğu varsayımı ile incelenir.

Yüzey delikli büzün bir metresinden  $q$  akım miktarı girecektir. Bernuolli eşitliğini kullanarak oldukça yaklaşık bir sonuca varabiliriz. Bu eşitliğe göre:

$$q = n.a.Cd.(2.g.h)^{1/2} \text{ dir.}$$

$$Q = 1 \text{ m için akım değeri ( } m^3/sn \text{ )}$$

$$n = \text{büzün bir metre boyundaki delik sayısı}$$

$$a = \text{her bir deliğin } m^2 \text{ olarak alanı}$$

$$Cd = \text{her bir deliğin akım katsayısı } 0,65 \text{ ile } 0,85 \text{ arasındadır}$$

$$G = \text{yer çekimi ivmesi}$$

$$H = \text{büz deliğinin üzerindeki hidrolik yük yüksekliği}$$

Filtre Malzemesinin ve Drenaj Hendeğinin Su Akıtma Kapasitesi:

Drenaj hendeğine gelen yeraltı suyunun belki de büyük bir kısmı yukarıda belirtildiği gibi büz tarafından alınıp akıtılacaktır. Ancak filtre malzemesinin ne kadar akım geçireceği bilinmelidir.

Hendek içindeki filtre malzemesi suyu geçirgen bir zemin tabakasıdır. Bunun içinde akan su "DARCY" kanununa göre akar. Bu kanuna göre:

$Q = A \cdot k \cdot I$  'dır.

$Q$  = Filtre tabakasından akan suyun  $m^3/sn$  olarak değeri

$A$  = hendek içinden akan suyun aktığı mecra enine kesitinin  $m^2$  olarak değeri

$k$  = filtre malzemesinin permeabilite katsayısı  $m/sn$

$I$  = filtre malzemesinden akan suyun hidrolik eğimi

- Dayanıklılık ve Ömür:

Drenaj hendeğinin bulunduğu yerde zeminde çökme ve yan hareketler varsa büzlerin dayanıklılığı önem kazanır.

Taban çamur ve çökebilir bir cıvık zemin ise taban hareketleri büzün kırılmasına, birleşimlerin açılmasına yol açar. Böyle durumlarda metal büzler ve borular en iyisidir. Ancak metal büzler de korozyona maruz kalmaktadır. Korozyona karşı bir tedbir olarak metal büzler, ya galvanize edilmiş ya da bitüm ile sırlanmış olmalıdır.

Diğer taraftan yeterince sert ve dayanıklı plastik büzler özellikle oynak tabanlarda başarı ile kullanılabilir.

- Uygulanma Fiyatı:

En pahalı büzler, metal büzlerdir. Fakat döşeme yerleştirme harcamaları birlikte göz önünde tutulursa bazı durumlarda metal büzler ucuza gelebilir. En iyi ekonomik karşılaştırma yola döşenmiş büz, bir metre boyu bedellerinin belirli bir sürede örneğin 20 yıl gibi bir sürede bakım ve onarım harcamaları da göz önünde tutularak karşılaştırılmalıdır.

- Temin Edebilme Özelliği:

Büzün temin edilebilme durumu, yerine bağlı olarak değişen bir etkidir. Delikli beton büzleri pek yaygın değildir. Delikli olmak üzere metal, plastik, asbestli bitüm ve beton büzler ticari olarak üretilmektedir.

2 - Büze Suyun Giriş Yeri:

Aralıklı dizilmiş büzlerde birleşim yeri yukarıdan rüberoit şerit ile kapatılmış ve alt kesim açık bırakılmıştır. Suyun büz boyunda tek giriş yeri vardır. O da büz ucunda bırakılan bu alt kesim olacaktır. Böyle büzlerde, suyun giriş yerini büz çevresi içinde yukarıya alma olanağı yoktur. Oysaki bazı hallerde suyun giriş yerinin büzün üst kısmında olması gerekebilir.

Delikli büzlerde suyun büze giriş yeri yüzeyindeki deliklerdir. Büzü yerleştirirken bu deliklerin aşağı ya da yukarı olması konusundaki karar, durumun analizine bağlıdır.

Drenaj hendeğinin iki yanında su olduğu ve büzden daha yüksek düzeyde bulunduğu ya da bulunacağı yerlerde su deliklerden büz içine

girmeli ve dışarı çıkmayıp büz içinde akmalıdır. Bunu sağlamak üzere delikler aşağıda olmalıdır.

Yamaçlarda olduğu gibi su üst düzeyinin büze doğru eğimli olduğu yerlerde su yol altında büz yakınında, büz düzeyi altına inebileceğinden ya da akıntı yönünde böyle olacağından delikler yukarıda bulunmalıdır.

Su üst düzeyi hemen hemen değişmeyen bir düzeyi koruyor ise ve büz kuru tabakaya değişiyorsa, delikler yukarıda olmalıdır ve düzeyi de kuru tabakanın altında tutulmalıdır.

### 3 - Drenaj Hendeğinin Yol İçindeki Yeri:

Hizmette olan bir yolda yeni drenaj hendeği banket ve kaplamayı bozmamak için yol yan hendeği altına yerleştirilir. Ancak yan hendek yatağında oyulmalar ve drenaj hendeğine dış sulardan sızmalar bu hendek tabanının su geçirmez bir biçimde kaplanması önlenmiş olmalıdır.

Yeni bir yolda tutucu dren perdesi olarak kullanılacak bir drenaj hendeği, yarma hendeği altına konabilir. Fakat yatık ve yatay Y.A.S. düzeyi varsa drenaj hendeği yol kaplama kenarına yaklaştıkça etkinliği artacağından yan hendek altı yerine banket altına ya da kaplama kenar altına yerleştirilir.

Eğer amaç yolun bir kenarından gelen su sızıntılarını tutmak ise o zaman sızıntıların geldiği yana yol eksenine paralel olarak bir tek drenaj hendeği yapılır. Bu türlere kesici ya da “tutucu drenaj hendeği” denir. Bunların yerleri banket altından yarma hendeği altına kadar değişir. Fakat

hiçbir zaman yarma şev dibine yapılmamalıdır. Hendek kazısı sırasında şev stabilitesine zarar verebilir.

Eğer taban zemini oldukça geçirimli ve yeraltı su düzeyini istenen düzeye indirmek için drene edilecek su bakımından çok değilse yol eksenine paralel konacak bir drenaj hendeği yeterli olabilir.

Kaplama çatlaklarından girecek ya da kaplamadan süzülecek suları almak üzere de drenaj hendekleri yapılabilir. Bunlar kaplama kenarına konulur ve pek derine indirilmez. Alt temel ya da onunda altındaki şilte yolu ile gelen suları alırlar.

Yarmalarda platform yüzeyinin ortalarına rastlanan kısımların altında da drenaj hendeklerinin yapılması gerekebilir.

Bu hendekler genelde tabanda görülen su gözlerinden geçirilir. Hem gözlerin yoğun suları hem de tabandaki yaygın sular alınmış olur. Bunların derinlikleri duruma göre verilir. Filtre malzemeleri de alt temele çıkar ya da aşağıda kalır. Boyuna eğimler yol platform yüzeyinin genel eğimi ile aynı yöndedir. Bunlar banket ya da hendek altına konan drenaj hendeklerine boşalırlar. Bu drenlere "Kılçık Drenler" adı verilir.

Gidiş geliş yönleri bir refüj ile ayrılmış ise ve refüjler hendek biçiminde ise bu hendeğin altına bir drenaj hendeği yapılır. Eğer refüj kabarık ise refüjün iki kenarı altına birer drenaj hendeği yapılır.

Önemli bir nokta ise drenaj hendeklerinin çıkış uçlarının yeridir. Bu yer drenaj yolundan çıkan suların ana yola zarar vermeyecek şekilde seçilmelidir.



Diğer taraftan gerek şev döküntü ve heyelanları gerekse erozyon ve oyulma bu çıkış uçlarının harap olmasına yol açmamalıdır.

- Filtre Malzemesi:

Zeminde yeraltı suyu dren hendeklerine doğru akarken "sızma basıncı" denilen bir basınç doğar. Bu basınç ince daneli zeminleri sürükleyebilir. Bu olay sonucu zemin kitlesi içinde boşluklar meydana geleceği gibi drenaj kanal ve tertibatında bu zemin taneciklerinin çökmesi ile tıkanmalar oluşabilir. Bu tıkanmalar drenaj hendeklerini bir filtre malzemesi doldurmakla önlenir.

Yeraltı drenajında kullanılacak filtre malzemesinin granülometrisi drenlerin, su akımının sürüklediği ince malzeme ile kısa sürede tıkanmasını önleyecek ayrıca yüksek geçirgenlik gösterebilecek özellikte olmalıdır.

Bu esasa göre, filtre malzemesinin granülometrisi;

$D_{15F}$ : Elek analizinde, filtre malzemesinin ağırlıkça %15'inin geçebildiği elek çapı

$D_{85Z}$ : Elek analizinde, drenaj hendeğinin açıldığı yerdeki yani filtre malzemesinin çevresindeki zeminin ağırlıkça % 85'inin geçebildiği elek çapı

$D_{15Z}$ : Elek analizinde hendeğin açıldığı yerdeki zeminin ağırlıkça %15'inin geçebildiği elek çapı olduğuna göre,

$D_{15F} / D_{85Z}$  küçük eşit 5 (1); ve  $D_{15F} / D_{15Z}$  büyük eşit 5 (2)

koşullarını sağlamalıdır. Bunlardan birinci koşul filtre malzemesinin tıkanmaması, ikinci koşul ise yeterli drenaj kapasitesi gösterebilmesi için istenir. Şayet, drenajda delikli boru kullanılacaksa, bu iki koşula ilave olarak, d delik çapı ve  $D_{85}F$  filtre malzemesinin ağırlıkça % 85'inin geçtiği delik çapı olduğuna göre,  $D_{85}F$  büyük veya eşit 2d (3) koşulu da istenir. Bazı ülkelerde (1) ve (2) koşullardaki oran değeri olan 5 yerine 4 kabul edilmektedir. Türkiye'de filtre malzemesi için AASHTO M6-51 standartlarına uygun düşen beton kumu kullanılmaktadır.

### FİLTRE MALZEMESİ GRANÜLOMETRİLERİ

#### İnce Filtre Malzemesi

Elek Boyu	% Geçen
3/8"	100
No: 4	95-100
No: 16	45-80
No: 50	10-3
No:100	2-10

#### Kaba Filtre Malzemesi

Elek Boyu	% Geçen
1"	100
3/4"	80-90
3/8"	30-70
No: 4	15-45
No: 8	0-10

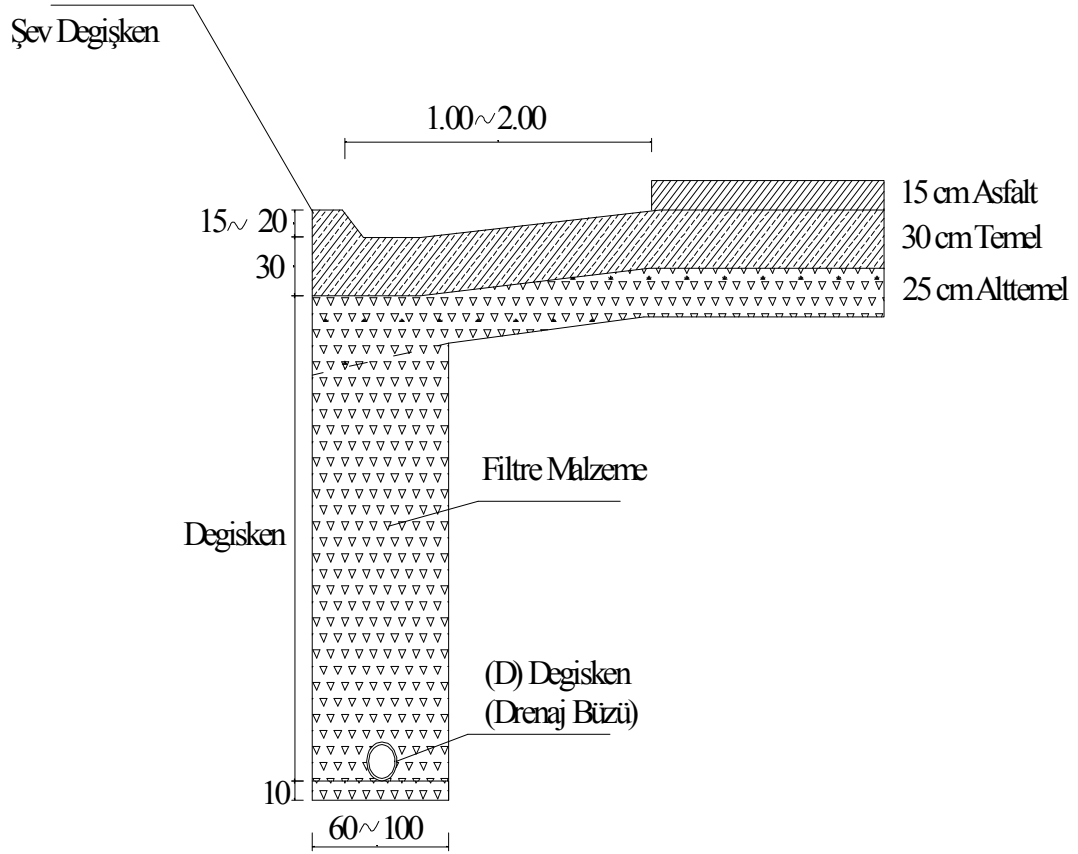
No: 10	0
Kum - Şilte	
Elek Boyu	% Geçen
3/8"	100
No: 8	5-50
No: 30	0-20
No: 50	0-5

- Sistemin Yapım İlkeleri:

Drenaj hendekleri ters kepçelerle ve yerine göre kullanılacak başka olanak ve araçlarla açılır.

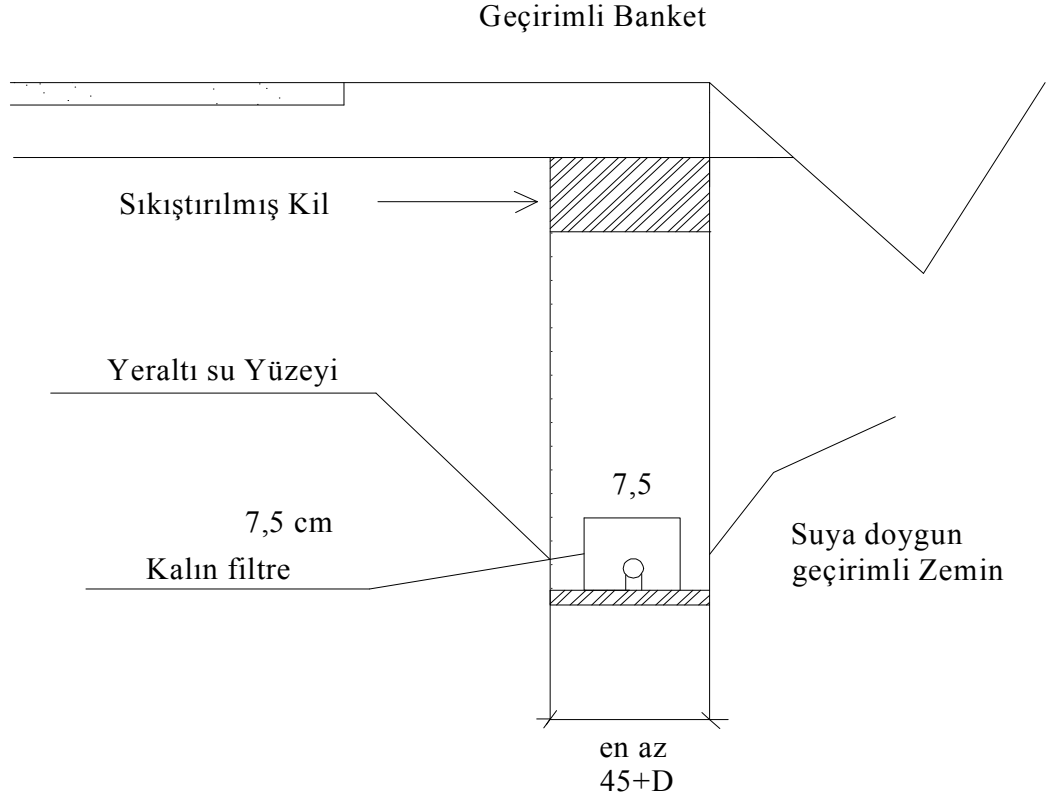
Kanal genişliğinin (büz çapı + 45 cm ) olması iyi bir değerdir. Yarma hendeklerinde açılan drenaj hendekleri yarma şevinin dibinden uygun bir uzaklıkta olmalıdır. Bu değer, şevin stabilitesi bakımından önemlidir.

Hendek tabanı yumuşak ise önce granüler malzeme ile özellikle filtre malzemesi ile bu taban stabilize edilir. Büz delikli ise ve delikleri aşağıda olacak şekilde döşenecek ise stabilize taban üzerine en az 7,5 cm filtre malzeme konur, sonra büz yerleştirilir. Büzün üzeri filtre malzemesi ile doldurulur. Delikler yukarı doğru ise stabilize taban üzerine büz yerleştirilir. Sonra hendek filtre malzemesi ile doldurulur.

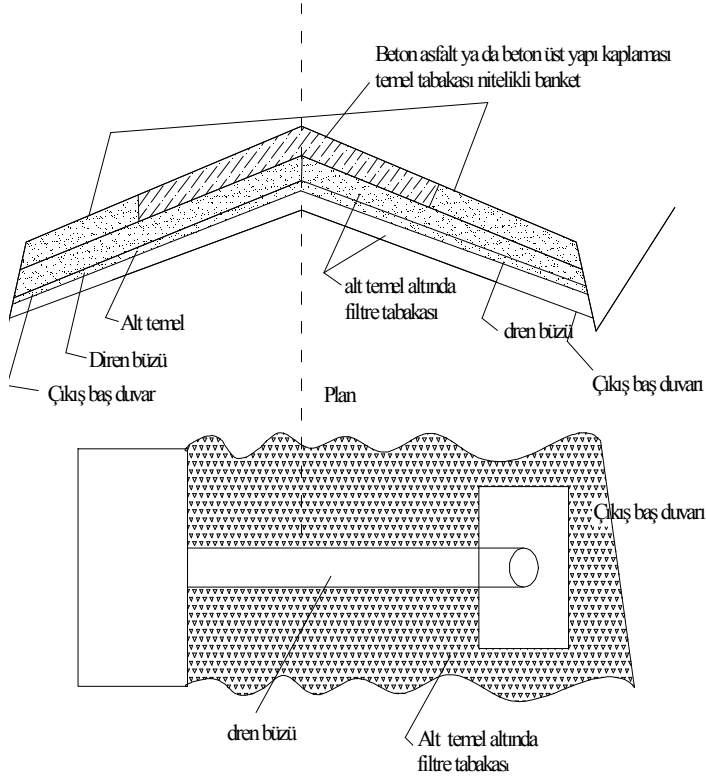


Şekil 2.3.1. Standart drenaj hendeğinin genel yerleşimi

Yeni bir otoyolda tutucu dren perdesi olarak kullanılacak bir drenaj hendeği, yarma hendeği altına konulabilir. Fakat yatay yeraltı su seviyesi varsa drenaj hendeği yol kaplama kenarına yaklaştıkça etkinliği artacağından, yani su düzeyini aşağı düşürme yeteneği büyüyeceğinden yan hendek altı yerine banket altına yerleştirilmelidir.

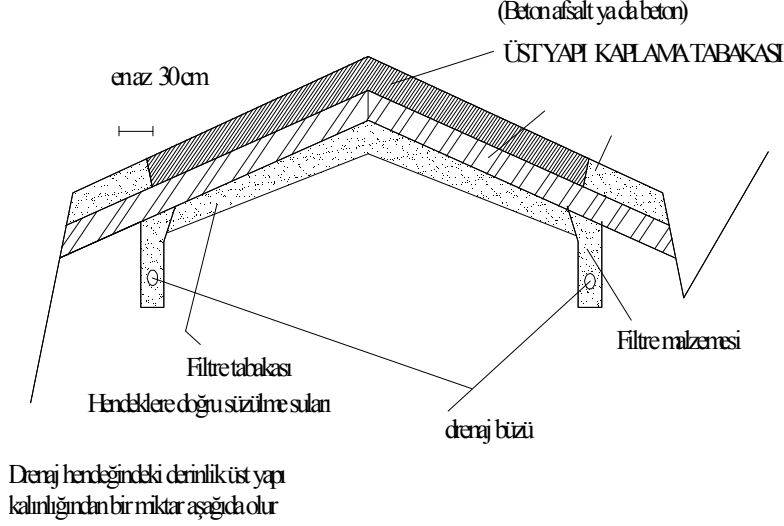


Şekil 2.3.2. Geçirimli banket halinde genel yerleşim



Şekil 2.3.3 Nitelikli banket halinde genel yerleşim

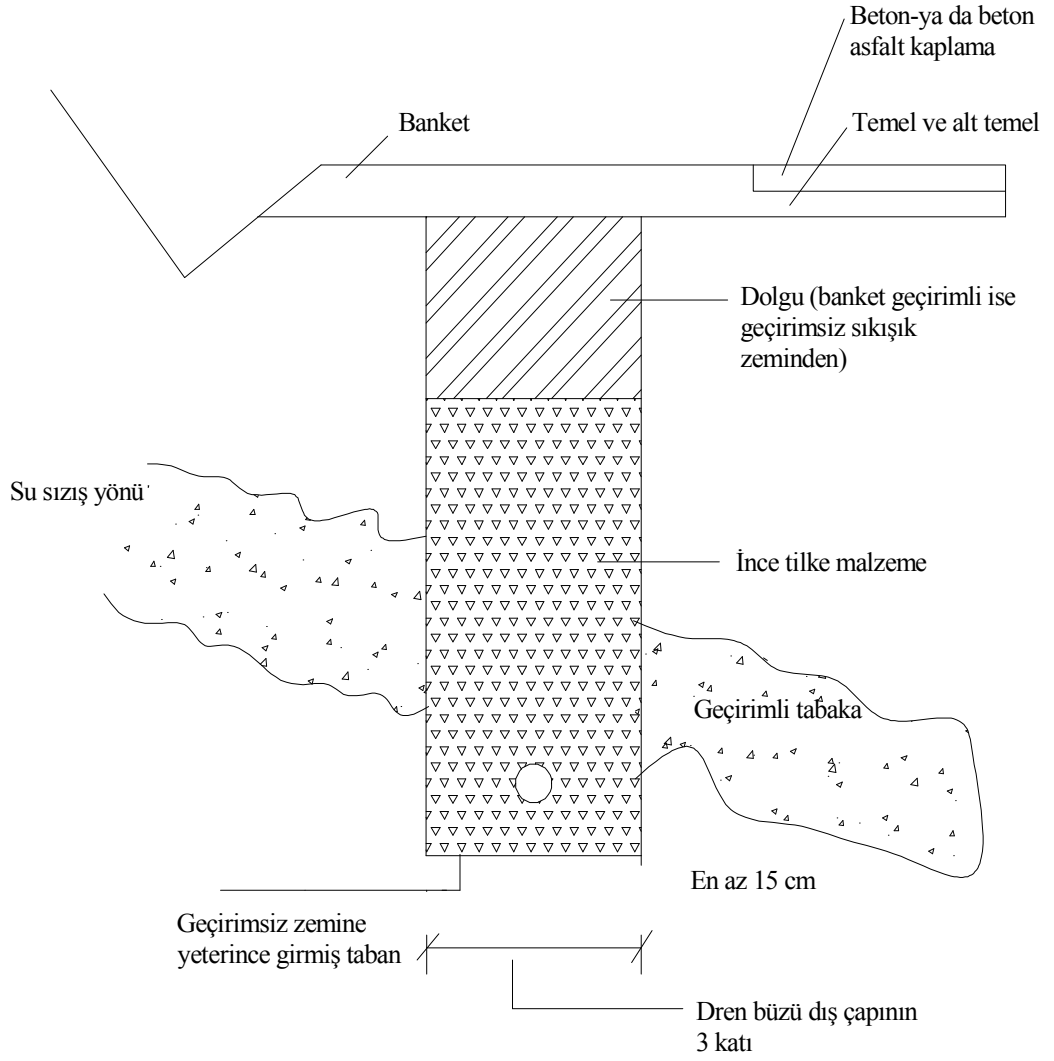
Kaplama çatlaklarında girecek ya da kaplamadan süzülecek suları almak üzere de drenaj hendekleri yapılabilir. Bunlar kaplama kenarına konulur ve pek derine indirilmez. Alt temel ya da onun da altındaki yoldan gelen suları alırlar.



Şekil 2.3.4 Kaplamada su süzülmesine karşı enine konmuş büz uygulaması

Yarmalarda platform düzeyinin ortalarına rastlayan kısımların altında da drenaj hendeklerinin yapılması gerekebilir. Bu hendekler boyuna eğimleri otoyol platform yüzeyinin genel eğimiyle aynı yöndedir. Bunlar banket ya da hendek altına konulan drenaj hendeklerine boşalırlar. Bu drenlere "kılçık drenler" adı verilir.

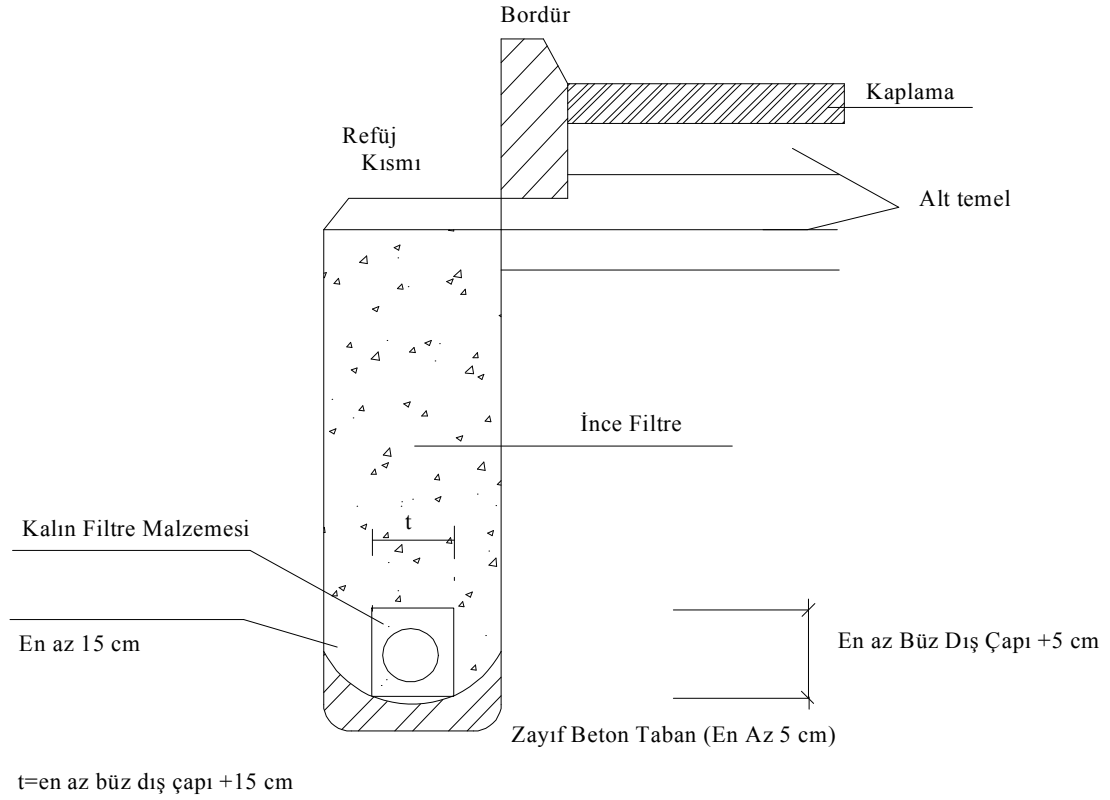
Eğer amaç otoyolun bir yanındaki bölgeden gelen su sızıntılarını tutmak ise o zaman sızıntıların geldiği yana otoyol eksenine paralel olarak tek bir drenaj hendeği yapılır. Bu türlere "kesici" ya da "tutucu drenaj hendeği" denir. Bunların yeri banket altından yarma hendeği altına kadar değişir. Yalnız hiçbir zaman yarma şev dibine yapılmamalıdır. Hendek kazısı sırasında şev stabilitesine zarar verebilir.



Şekil 2.3.5 Yolun bir tarafına gelen suyu tutan dren hendeği

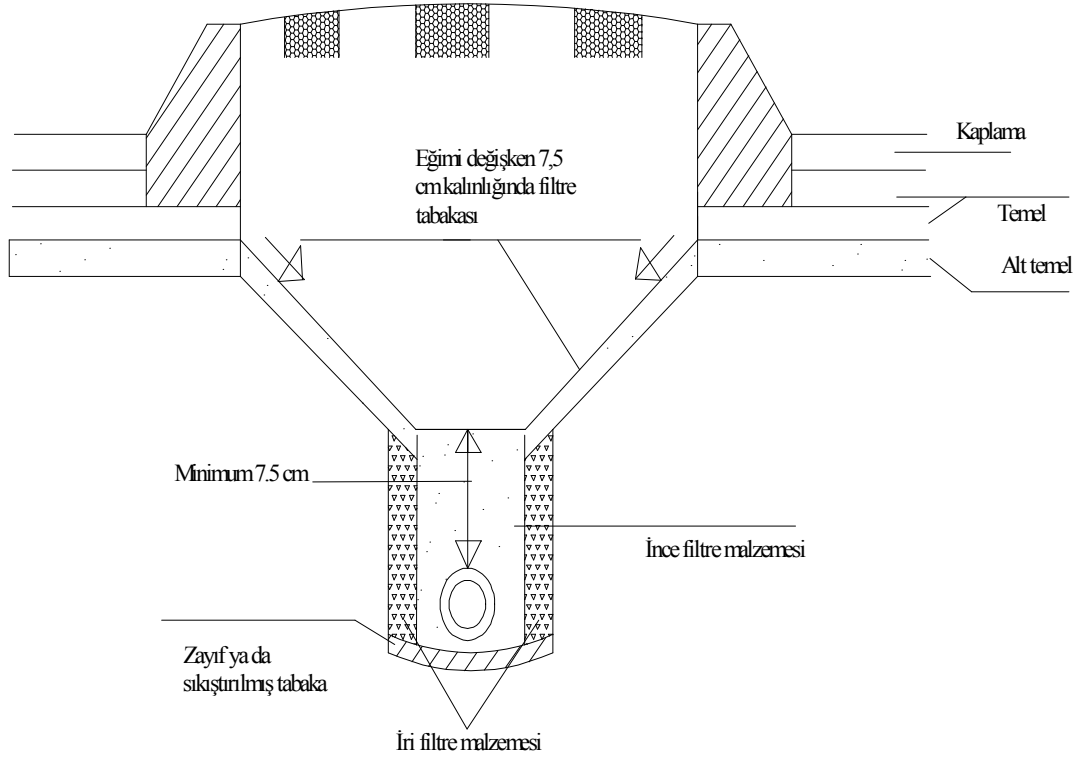
Eğer taban zemini oldukça geçirimli ve yeraltı su düzeyini istenen düzeye indirmek için drene edilecek su, debi bakımından çok değilse otoyol eksenine paralel olacak bir drenaj hendeği yeterlidir.





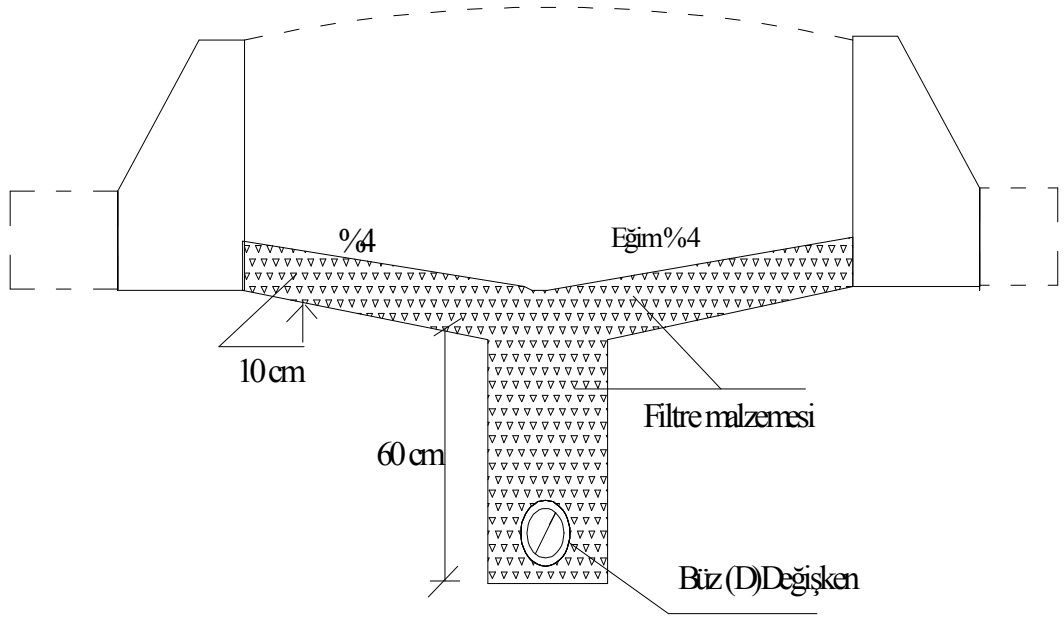
Şekil 2.3.6 Yüksek refüj kenarında drenaj hendeği

Pratikte önemli olan bir yerleşirme kriteri drenaj hendeğinin yapıldığı mevsimdir. Bahar sonunda ve yaz mevsiminde otoyol dışından otoyol altına su az gelir. Önemli olan otoyol tabanı altına yağışlı mevsimde birikmiş suyu almaktır. Bunun için drenaj hendekleri kaplama kenarı ile otoyol banketleri arasında konulmalıdır. Gerekirse kaplama altına kılçık drenler konulur. Böylece drenaj yapısı kışın don zamanına kadar otoyol altındaki su düzeyini alçaltmaya zaman bulabilir.



Şekil 2.3.7 Kabarık refüj ortasında drenaj hendeği

Kurutulmamış ve su düzeyi indirilmemiş taban üzerine üst yapı konulursa yol tabanında bozulmalar olacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Önemli bir nokta drenaj hendeklerinin çıkış uçlarının yeridir. Bu yer , drenaj yolundan çıkan sular ana yola zarar vermeyecek şekilde seçilmelidir. Diğer taraftan gerek şev döküntü ve heyelanları gerekse erozyon ve oyulma bu çıkış uçlarının harap olmasına yol açmamalıdır.



Şekil 2.3.8 Kabarık refüj altında drenaj hendeği

#### 4. Filtrasyon dizaynı;

Yarma ve dolgu şevlerinde ve dolgularda sudan ötürü kaymalar, göçmeler, oturmalar, vb istenmeyen durumları önlemek amacıyla yüzey altı drenaj hendeği ve yüzeysel drenaj hendeği (banket, kafa, topuk vb) birlikte yapılarak yüzeysel ve yüzey altı suları dren edilirler. Yüzey altı dizaynındaki amaç; dren hendeğinin konumu (derinlik ve yatay mesafe) boyutları ve filtre malzemesinin özelliklerinin belirlenmesidir. Zemindeki suyu dren hendeklerinde toplamak ve suyun getirdiği ince malzemelerin filtre malzemesini tıkamasını veya kirletmesini önlemek için filtre malzemesinin etrafını suyu geçiren fakat ince malzemelerin geçmesini önleyen geotekstil, delikli plastik elek, filtre kâğıdı, elyaf vb. malzemelerle kaplamak gerekir.

Filtre malzemesinde toplanan sular dren borusu ( perfore PVC boru, PVC boru, beton boru vb.) ile taşınarak uygun bir yerde yüzeye deşarj edilir.

Filtre malzemesinin özellikleri drenajın performansı açısından çok önemlidir. Çünkü kullanılacak filtre malzemesi:

- Dren edilen zemindeki ince malzemelerin hareketinin önlenmesi

- Yeraltı suyunun filtre malzemesi içinden süzülürken zeminin ince malzemeleri tarafından tıkanmasının önlenmesi gibi iki ana fonksiyonu aynı anda sağlamak zorundadır. Dren edilen zemindeki ince malzemelerin hareketinin önlenmesi yani zeminin iç erozyonu veya borulanmasının önlenmesi (filtre stabilitesi) ve tıkanmayı önleyecek kadar permeabilitenin sağlanması için bağıntı 2.1 ve 2.2'deki şartların aynı anda sağlanması gerekir.

$$D_{15}(\text{Filtre}) \leq 4 \quad 2.1$$

$$D_{85}(\text{Zemin})$$

$$D_{50}(\text{Filtre}) \geq 4 \quad 2.2$$

$$D_{85}(\text{Zemin})$$

$$D_{50}(\text{Filtre}) \leq 25 \quad 2.3$$

$$D_{50}(\text{Zemin})$$

Bağıntı 2.1 zemindeki borulanmadan ötürü zeminin filtre malzemesini tıkamasını önlemek için bağıntı 2.2 filtre malzemesinin permabilitesini sağlamak ve istenmeyen boşluk suyu basıncını önlemek için ve bağıntı 2.3 ise dren malzemesinin iyi bir gradyasyona sahip olması için gerekli şartları

göstermektedir. Filtre malzemesinin gradasyonu için gerekli olan bağıntı 2.3 aynı zamanda killi zeminler üzerine yapılan dren şilte tabakaları için de geçerlidir. Dren, borularının etrafındaki filtre malzemesinin perfore PVC borularının deliklerini ve aralıklı konan beton boruların (büzlerin) aralarını tıkamaması veya boruların içine ince kısımların girmesini önlemek için bağıntı 2.4 ve 2.5 'deki kriterler önerilir.

$$\underline{D_{85}(\text{Filtre})} \geq 2,0 \quad 2.4$$

Max delik çapı

$$\underline{D_{85}(\text{Filtre})} \geq 1,0 \quad 2.5$$

Max delik çapı

Son yıllarda çok yaygın olarak poroz beton boru ve geotekstil filtre kullanılmaya başlanmıştır. Buna ait kriterler de bağıntı 2.6 ve 2.7'de verilmektedir.

$$\underline{P_{15}(\text{Poroz beton boru agregası})} \geq 5 \quad 2.6$$

$D_{85}$  (Poroz beton boru çevresindeki filtre)

$$\underline{D_{15}(\text{Geotekstil etrafındaki filtre})} > 1 \quad 2.7$$

Geotekstil deliklerinin eşdeğer boyutu

### 2.3.2 Yeraltı Drenaj Yapıları

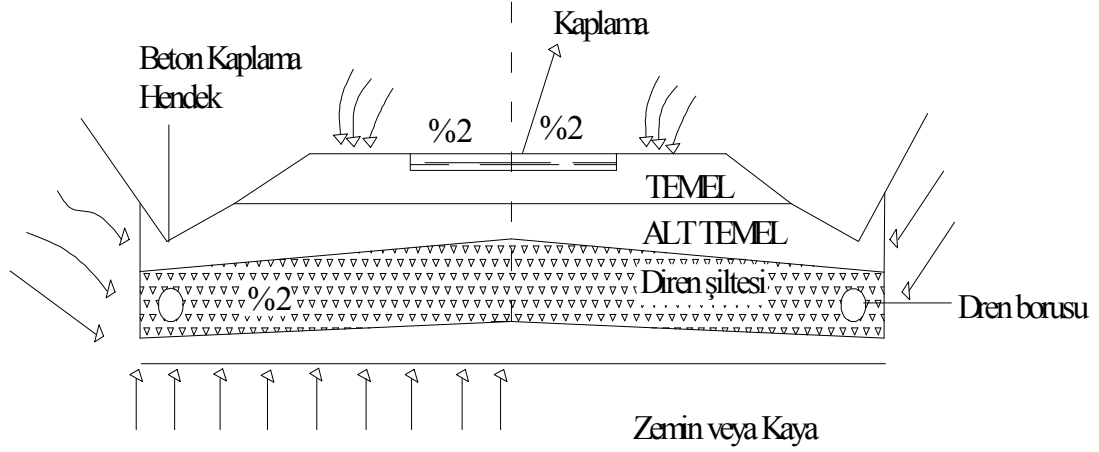
Otoyollardaki yeraltı drenaj sistemi;

- Enine dren yapıları
- Boyuna dren yapıları

olarak uygulanmaktadır. Bunlar fonksiyonel olarak aynı olup yol ekseninin konumuna göre adlandırılır.

#### 2.3.2.1 Enine Yeraltı Drenaj Yapıları

Enine dren yapıları yarma kesitli yollarda yarma şevlerinden önemli ölçüde su gelmesi halinde kaplama altına dren şiltesi olarak yapılmaktadırlar. Bu dren şilte yarma zemininden ve/veya tabandan kapilerite ile gelen suyu kolayca drene edebilmektedir. Yarma hendekleri betonla kaplanarak yarma şevlerinden gelecek suyu tabana iletmeden yolun boyuna eğimi ile drene edebilmektedir. Yol tabanının yan al eğimini yolun çatı eğiminden bir miktar daha fazla yaparak yeraltı suyunun dren borularına daha çabuk dren etmesi sağlanabilir. Kapileriteyi önlemek için mümkün mertebe kaba, iyi gradasyonlu ve ince içermeyen ince kırma taştan imal edilen granüler malzeme ile dren şiltelerinin yapılması uygun olur. Dolgu altında istenmeyen özelliklerde zemin varsa sağlam zemine kadar kazılıp atıldıktan sonra dren şiltesi uygulaması yapılır. Daha sonra uygun bir zeminle doldurulup dolgu tabanı iyileştirilir.



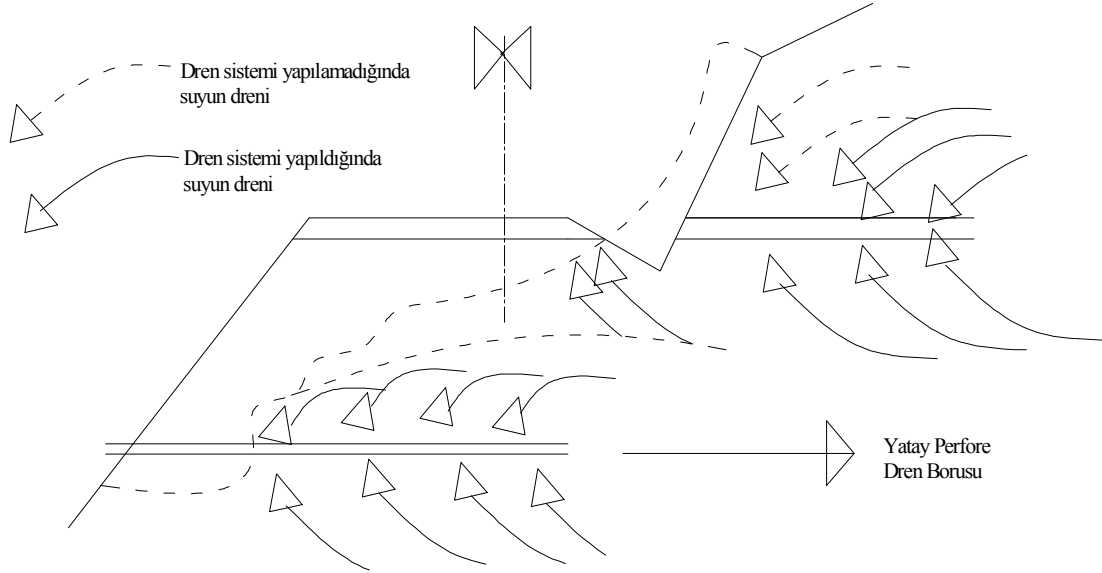
Şekil 2.3.9 Dolguda dren şiltesi uygulaması

Doğal şev eğimi fazla ve zemin suya fazla maruz ise ve taban zemini olarak uygun değilse stabilizasyon hendeği ve dren şilte birlikte uygulanarak dolgu altında stabil bir taban oluşturulur. Uygun olmayan zemin kalınlığı az ise tümünü kazıyıp atmak yerine uygun bir malzeme ile doldurmak ekonomik olabilir. Aksi halde stabilizasyon hendeği yapılmalıdır.

Bu tip uygulamanın amacı yeraltı suyundan dolayı şevin kaymasını önlemek yani şevin stabilitesini sağlamaktır. Her iki uygulamadaki amaç yeraltı suyunun uzaklaştırılması için dren şiltesi yapılarak dolgu altındaki taban zemininin stabilitesini sağlamaktır. Stabilizasyon hendeklerinde kazılan zemin atılıp yerine dren kabiliyeti yüksek ve iyi kalitede seçme malzeme konulmalıdır.

Zemin sondaj makineleri ile uygun aralıklarla delindikten sonra deliklere perfore (delikli) dren boruları çakarak enine yatay dren yapısı oluşturulur. Yarma yüzeyden yol gövdesine gelen suyu önlemek, yarma

şevinin stabilitesini artırmak, yarma şevinde erozyonu önlemek vb. amaçlar için yatay drenler yapılır. Bunlar dren şiltelerinde olduğu gibi kazı ve geri dolgu yapmadan yarma şevlerine ya da yüksek eğimli tabii zeminlere açılan deliklere yatay dren boruları suretiyle yapıldığından yeraltı drenajı daha ekonomiktir.



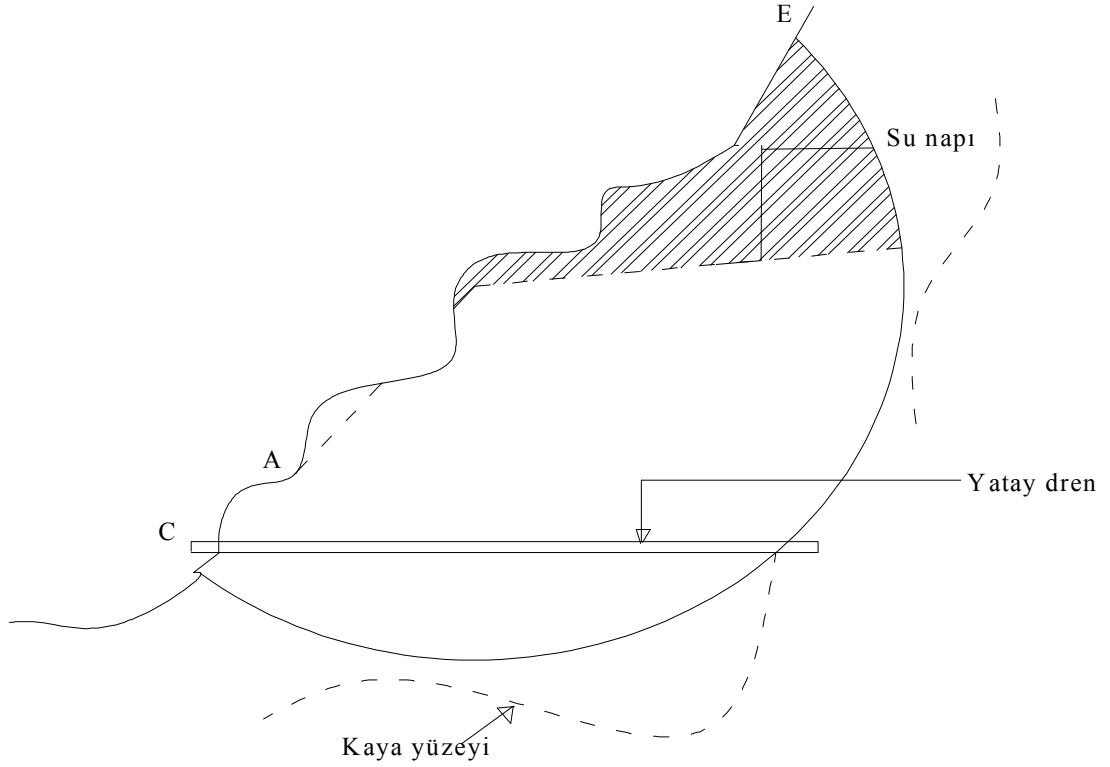
Şekil 2.3.10 Enine yatay dren yapısı

Bu tip uygulamalarda zemin sondaj makineleri ile delindikten sonra paslanmaz çelik borular yerleştirilir. Plastik borular 5 – 8 cm çapında ve çelik borular ise 10 – 20 cm çapında olup geotekstil malzemelerle etrafı sarılarak zeminin iç erozyonu önlenmelidir. Çünkü zemin içindeki su dren olurken ince malzemeleri dren boruların deliklerine taşıyarak zeminde oluşturduğu erozyon ile şevin stabilitesini bozabilir.

Zemine çelik boruların çakılarak yerleştirilmesi daha ekonomik ve kolay olmasına karşı geotekstille sarılmadığından dolayı çok ince malzeme



içeren zeminler için uygun değildir. Bu uygulama yarma yüzeyine dik olarak yapıldığı gibi belli açılarda da tatbik edilebilir. Dren boyları zeminin sertliğine ve aralıkları ise zeminin ihtiva ettiği su miktarına bağlı olarak saptanmalıdır. Eğimleri ise su tablasının durumu, zemin barakalarının durumu vb özellikler göz önüne alınarak karar verilmektedir. Yatay dren boruları yeraltı su seviyesinin yüksek ve bol olduğu durumlarda dikey dren kuyuları ile birlikte kullanılmaktadır. Sağlam zemin tabakası üzerindeki stabil olmayan bir zemindeki yüksek su tablasını derinlere düşürmek amacıyla yol boyunca belli aralıklarla açılan dikey dren kuyularında toplanan su yatay dren boruları ile zeminden uzaklaştırılmaktadır. Yeraltı suyunun çok derin olduğu durumlarda stabilizasyon ve standart drenaj hendeklerinin bu derinlikteki suyu alacak kadar yapılması ekonomik olmaz. Bu durumda bunların yerine yatay drenler kullanılır. Yatay dren bir yatay sondaj deliği ya da şevli bir kille içine açılmış bir yatay deliktir. Bu deliklerde yüzeyi delikli bir boru bulunur. Yatay drenler eğimli bir yüzeyin istenen düzeyine yerleştirilebilirler.



Şekil 2.3.11 Yatay dren borularıyla suyu zeminden uzaklaştırma

Heyelanlarda heyelan hareketi doğrultusuna dik yapılar bu hareket sırasında eksilip bozulabilirler. Yatay drenler heyelan hareketi doğrultusunda ya da bu hareketten az zarar görecektir doğrultuda yerleştirilebildiklerinden diğer drenaj yapılarından üstündürler. Bununla beraber diğer drenaj yapılarında ayrıca bir boşaltım kısmı söz konusudur. Bu kısımda boşaltım için bir eğim ve akıntı gerekir. Buna imkân olmaması durumunda güçlükler ortaya çıkar. Yatay drenlerde ise boşaltım kısmı dren kısmının bir uzantısı gibidir. Bu üstünlük nedeni ile boşaltım gücüne olan drenaj sistemlerinde boşaltım kısmı yerine de kullanılabilir.

Yatay drenlerin asıl fonksiyonu yarma ve dolgularda yamaçtaki yüzey altı sularını tutup uzaklaştırmaktır. Toprak ya da kaya zeminlerde şartları iyileştirerek heyelanları önleme ya da düzeltmede kullanılır. Bunu yüzey altı suyunu, gerek kaynağından uzaklaştırarak gerekse kaymış kitleden alarak gerçekleştirilir.

Yatay drenler zeminin yarı granüler ve az kohezyonlu, yüksek geçirimli olması halinde çok etkilidir. Bu halde geçirimli zeminden gelen sızıntıların kaydırıcı geçirimsiz zemine erişmesini önlemek amacıyla ikisinin arakesiti üzerine yerleştirilir. Heyelanlarda kayma yüzeyi belirli ise bu yüzeyin hemen üstü yatay drenlerin yerleştirileceği yerdir.

Dolgular altındaki eğimli yamaç arazi yatay drenlerle kurutulurken dolgu enine kesitte tam dolgu ise yukarı şev eteğinde önce bir yatay dren sırası ile yerleştirilir. Dolgunun üst ve alt şevi arasındaki kesimlerde yatay drenlerin konulacağı yeri sondaj belirleyecektir. Dolgunun alt şev eteğinden önce de bir sıra yatay dren yerleştirilmelidir.

#### 1. Yatay Drenlerde Yapım İşleri;

Yatay drenler bir nevi yatay sondajdır. Bu sondaj sırasında rastlanan zemin türleri, tutulacak suyun miktarı derinliği ve yeri kaydedilmelidir. Su kaynağının bulunup bulunmadığı kolayca anlaşılabilirse de bu suyun kitle içinden alınıp alınamayacağı zaman alan deneyleri dren ve sondaj deliklerine suyun akması için geçecek süre zarfında bir takım gözlemleri gerektirir. Drene edilecek kitlenin permeabilitesi iyi saptanmalıdır. Sondajlardan ve daha önceki araştırma ve gözlemlerden toplanan bilgiler yatay drenlerin sayı,

aralık ve düzeylerinin, eğimlerinin ve boylarının saptanmasına yararlı olacaktır.

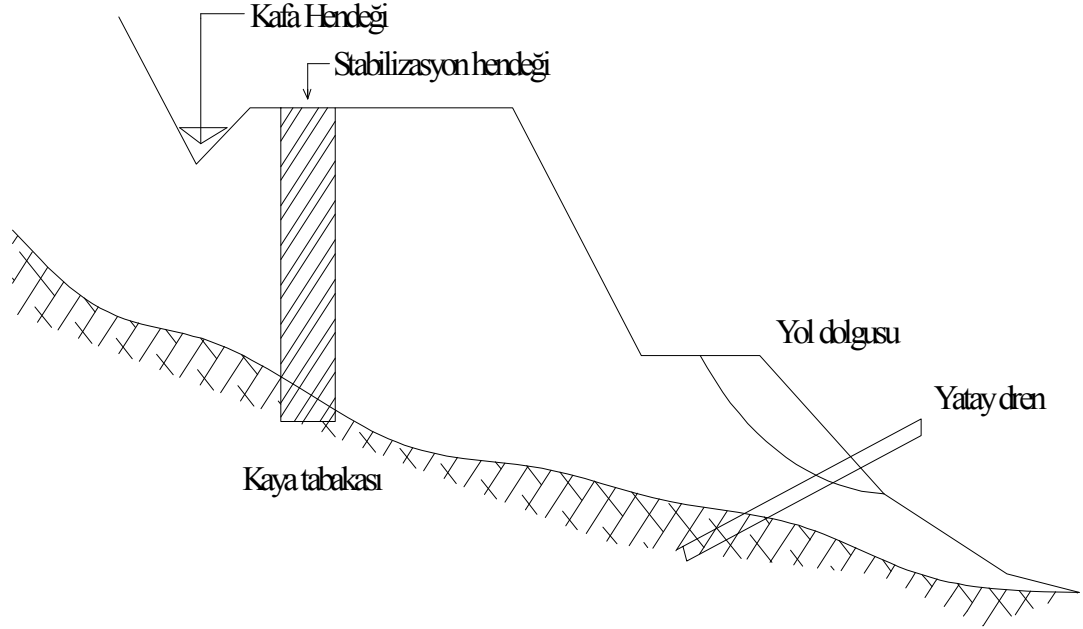
## 2.Yatay Drenlerin Bakım İşleri;

Yatay dren borularının çapları 5 cm kadardır. Daha önce açılan delik ise 7,5 – 10 cm çapındadır. Borular dikişli borulardır. Dikişler öyle yapılmalıdır ki drenaj deliklerinin sıraları doğru halinde olsun. Yatay delikler açılıp, delme aletleri alındıktan sonra bunlarla hazırlanmış delikli metal borular sürülür. Yerleştirme delikleri yukarı doğru olmalıdır. Çünkü tutulacak su aşağı inme eğilimindedir ve dışarı atılacaktır. Ancak zemin doymuş, ince siltli kumdan oluşuyorsa delikler aşağı yerleştirilebilir. Drenler genellikle yataya göre 0.03 ve 0.20 eğimlidir. Drenlerin aralıkları zemin drenaj niteliklerine, drene edilecek su miktarına kuru tutulacak kesimin boyutlarına bağlı olarak değişmek üzere 5 – 30 m arasında olur.

Eğer yatay drenlerin uzun süre etkili olması isteniyorsa bakımları gereklidir, Bakımın kapsamı yerel zemin tür ve şartlarına, arazi bitki örtüsüne, yağışlara ve yolun durumuna göre değişir. Yatay dren boyunun son 5–6 metresine deliksiz galvenize boru yerleştirmek bakım işlerini bir derece azaltabilir. Bu dren içinde ot ve kök bitmesini ve çıkışta da korozyonu önler.

Yatay drenlerin çıkışlarını bir galvenize toplayıcı ve taşıyıcı boruya bağlamak ve bu boruyu kaplanmış bir yatağa akıtmak yararlı olur. Çıkış ağzları dolgu şevinin ve tabii arazi şevinin hareketleri ve döküntüleri ile tıkanmayacak kadar şev yüzünden uzakta tutulmalıdır. Suyun borulardan uzaklaştığı yerlerde zemin oyulmaları da zararlı olabilir. Zararlı erozyon ve

oyulmaya karşı tedbir alınmış olmalıdır. Donma bölgelerinde yatay borunun çıkışları bir toplayıcı boru ile yerleştirilmiş ve bu boru zemine donma derinliğinin altında gömülmüş olmalıdır. Belirli zaman aralıklarında yatay drenleri gözden geçirmek şarttır.



Şekil 2.3.12 Yatay drenle stabilizasyon hendeğinin bir arada uygulanması

### 3. Stabilizasyon Hendeği;

Yeraltı suyu akıntı ve sızıntılarının, su muhtevasının artması istenmeyen bir bölgeye girişini önlemek ve böylece bu bölgede kayma direnci ve taşıma gücü sağlayarak stabil bir kitle elde etmek amacıyla kullanılan bir drenaj tedbiridir. Yeraltı suyu yüzeye oldukça yakın ise ve geçirimsiz zemin çok derinde değilse stabilizasyon hendeği çok uygun bir drenaj sistemidir.

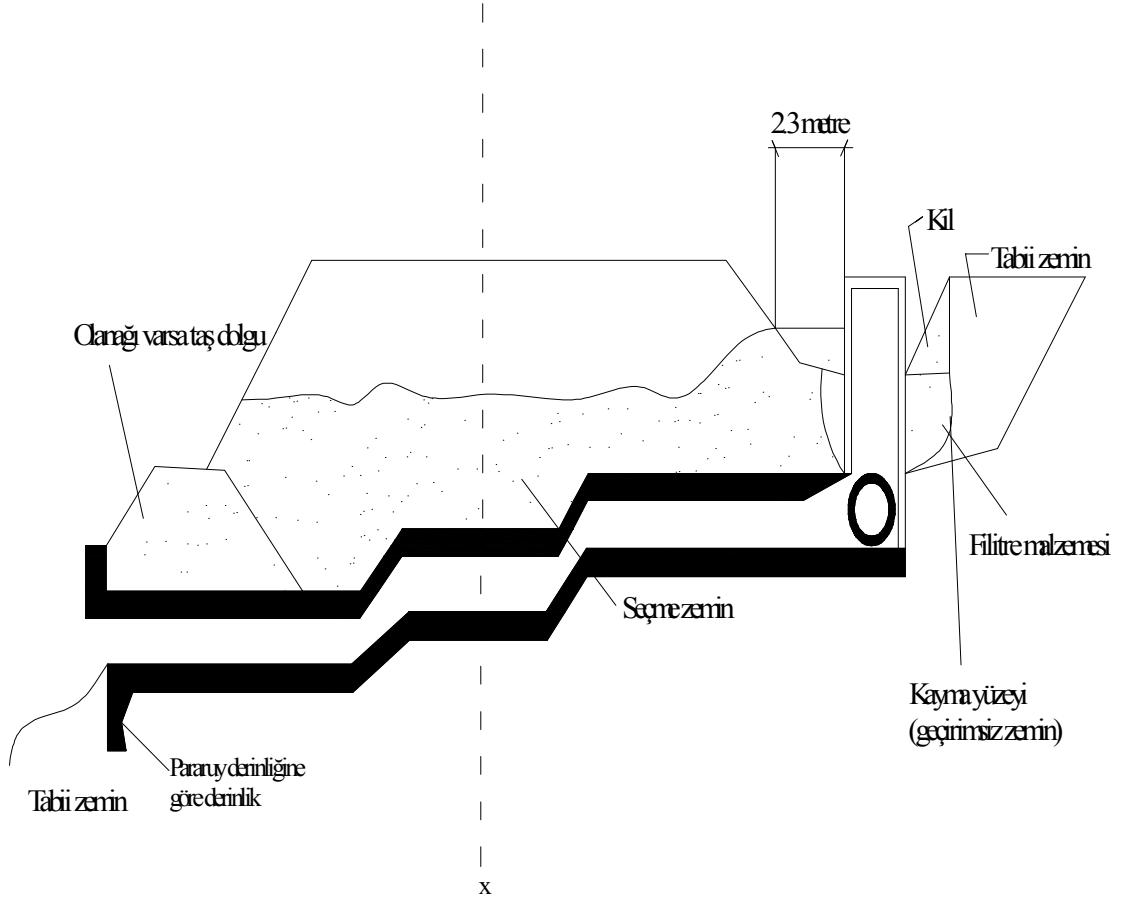
Genellikle dolgu ve yarma heyelanlarında kayma yüzeyinin tabii zemin yüzeyine yaklaştığı kesimin yola göre hemen dışına kurulur. Doğrultusu genellikle yol eksenine paraleldir. Bazen yol eksenine paralel bir kol ile ona dik bir başka kol olarak (T) biçiminde ya da (Y) biçimindedir.

Stabilizasyon hendekleri standart büzlü drenaj hendeklerinden daha derin ve daha geniş, kenarları şevli olmak üzere yapılır. Derinlikleri yapılmış olan sondajlara ve yeraltı suyunun indirilmesi istenen düzeye göre değişir. Hendeğin tabanı suyun üzerinden aktığı geçirimsiz zemine o kadar girmelidir ki hendeğe konulan büz içinde su akarken, üst yüzeyi geçirimsiz tabaka üst düzeyinin altında kalsın.

Bu hendeklerdeki dolgu malzemeleri standart büzlü drenaj hendeklerindeki gibi filtre malzemesi niteliğindedir. Hendek tabanında büyücek çaplı bir tek büz ya da oynak taban şartlarına göre birkaç büz kullanılır. Ayrıca yüzeyin delikli olması her noktada su alma yönünden önemlidir. Yamaç yerlerde ve yeraltı su akımının yola doğru eğimli olduğu yerlerde büzlerin delikleri yukarı doğru olmalıdır. Su düzeyi yükselmeye eğimli ya da yatay ise büzlerin delikleri aşağı konulur.

Hendek dolgu malzemesinin üstü geçirimsiz bir zeminle özellikle sıkıştırılmış kil bir tabakayla örtülüdür. Ancak bunun rötre ile çatlayıp yüzey sularının içeriye girmesini önlemek amacıyla göre kil tabaka üzerine uygun kalınlıkta bitkisel bir zemin konularak üzeri çimlenir. Bu hendeklerin toplandıkları yeraltı suyunu dışarı atabilmek için uygun bir eğim gerekir. Bu eğim yoksa ana kanala yaklaşık olarak dik olan bir boşaltım kanalı ile sular dışarı boşaltılır. Bu duruma daha çok yamaçlardaki dolguların tabanlarını

drene ederken rastlanır. Çünkü yol eksenine paralel olan stabilizasyon hendeği de yol ekseni gibi arazinin tesviye eğrilerine oldukça paraleldir ve pek eğimli değildir. Boşaltım kanalı bir büz veya betonarme menfez olabilir. Heyelanlı ve oynak tabanlarda bu kanallar betonarme kutu menfez olmalıdır.



Şekil 2.3.13 Dolgu altına yapılmış stabilizasyon hendeği

Bazen stabilizasyon hendeği ile drene edilecek alanda, mesela bir dolgu alanında ikinci derece drenaj hendekleri yapmak gerekebilir. Bunlar için de yol eksenine dik ya da çapraz drenaj hendekleri kullanılır. Bunlar bir çeşit "Kılçık Drenaj" lar olup ana stabilizasyon hendeğinin boşaltım borusuna sularını boşaltırlar. Heyelan etmiş bir yarma şevinde heyelan temizliğinden

sonra yapılan kademelerde de stabilizasyon hendekleri yapılır. Bu hendeklerin yerleri kademe diplerinde olmakla birlikte şevleri örselemeyecek biçimde olur. Bu hendeklerde yeraltı su düzeyi yaklaşık olarak büzleri birleştiren bir doğruyla çakışır.

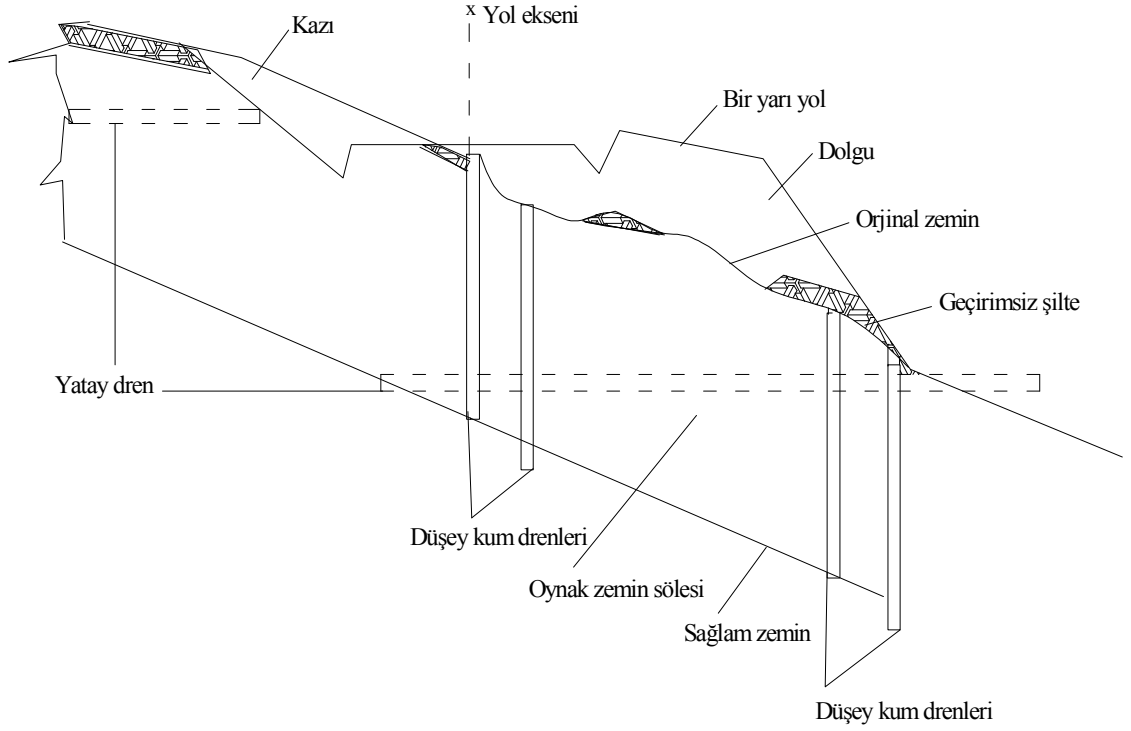
### 2.3.3 Boyuna Yeraltı Dren Yapıları

Boyuna yüzey altı dren yapılan yol gövdesinden zemin suyunun dren edilmesiyle zemin stabilitesini artırmak amacıyla yapılır. Özellikle yarma kesitli yol gövdelerinde yarma şevlerinden süzülen sular yol gövdesinde problem oluşturmaktadır. Yarma kesitlerde zemin içinde süzülen sular genel olarak tabii zemine paralel olmaktadır. Gerek yarma şevinin ve gerekse yol gövdesinin stabilitesini korumak için yarma şevi tarafına boyuna yüzey altı dren hendekleri yapılır.

#### 2.3.3.1 Düşey Kum Drenler

Düşey kum drenler çapları 30–75 cm arasında değişen bir tür kuyucuklardır. Derinlikleri konsolide olacak zemin tabakası kalınlığına ya da kullanma amacına göre değişmek üzere 30 m' ye varabilir. Kuyu aralıkları genellikle 3 m – 6 m olur. Aralıklar drene edilecek tabaka kalınlığından az olmamalıdır. Kuyuların yerleştirilişi planda kare, dikdörtgen ya da üçgen biçimindedir. Düşey kum drenler zemin içinde büyük olan ışınsal permeabilite ve drenaj olanağı ile kendilerine gelen suları zeminde bulunmayan yüksek düşey permeabiliteleri ile zemin üst yüzüne ileteceklerdir.





Şekil 2.3.14. Düşey ve yatay drenin bir arada uygulanması

Otoyol inşaatlarında drenaj işleri denince akla ilk gelen ve drenajın en önemli kısmını oluşturan yol platformunun seçme malzeme ile oluşturulan tabakasının altında, kenarlarda ve ortada yapılan dren ve kollektörden oluşan drenaj sistemidir.

Yeraltı drenajı genel olarak taşıyıcı bir kollektör borusu ve dren borusundan oluşup, genel olarak ilk 100 metrelik kısım yalnızca dren borusuyla geçilip daha sonra kollektör borulu drenaj sistemi uygulanır. Kollektör boruları yataklama malzemesi içinde boru yatağına yerleştirilir. Drenaj sistemi kollektöründe genelde iki tip boru kullanılır. Bunlar muflucantalı birbirine geçebilen kollektör boruları ve 0,15 cm çapında beton dren büzleridir.

Otoyolun yarma kesiminde kenar drenaj hattında sızıntı sularının ve yeraltı sularının beraberinde getirdiği küçük zemin danecikleri zamanla filtre malzemesini tıkamaması için filtre malzemesi terasman seviyesine kadar jeotekstil ile bohçalanarak sarılmıştır. Filtre malzemesi doğal taş ve çakıldan oluşur.

#### 2.3.4 Drenaj Yapılarında Geotekstil Kullanımı

Geotekstil ayırma, destek, güçlendirme, filtrasyon, drenaj gibi fonksiyonlarda kullanılan geçirimli bir tekstil ürünüdür. Geotekstiller genellikle topraktan daha fazla geçirgendir.

Özellikle gözenekli olduklarında bir meyil sağlandığında kendi düzlemlerinde su akışı mümkündür. Geotekstiller tüneller, düşey drenler, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi belirli bir miktar suyun tahliye edilmesinde kullanılırlar.

Geotekstiller drenaj hendeklerinde perfore boru etrafına veya hendek etrafına sarılarak kullanılırlar. Geotekstil kullanımı ile ince filtre tabakası teşkiline gerek kalmadığı gibi agrega/filtre tabakasının filtrasyon (dren tutma) işlevi kalmadığı için gradyasyonlu permabilitesi çok yüksek malzeme kullanılabilir. Drenaj hendeğinde boruya gerek kalmayabilir veya daha dar bir dren yeterli olabilir.

Otoyollarda orta refüj drenajı dolgu ve zemin özelliklerine göre üç değişik durumda olabilir.

1. Durum: Hem dolgu hem zemin geçirimi iyi olduğu durumlarda, yüzeysel drenaj yeterli olabilir.

2. Durum: Dolgu geçirimli, zemin geçirimsiz olduğu durumlarda refüjden gelen sular geçirimsiz zemine inmeden bir geomembran aracılığıyla dren borularına çekilmektedir. Bu uygulama yapılmazsa su geçirimsiz zemine inerek zemini doygunlaştırır ve stabilizasyonunu düşürür.

3. Durum: Olağan drenaj düzenine göre yapılan bu uygulamada geotekstile sarılı klasik drenaj hendekleri kullanılır.

Otoyol üstyapı teşkilinde alt temel tabakasının üzerine serilen geotekstil banket altındaki drenaj hendeğinin etrafını sararak teşkil edilir. Etrafı sarılan drenaj hendeğinin içi filtre malzemesi ile doldurulur. Geotekstil üzerine ise temel tabakası serilir ve onun üzerine de tekrar geotekstil kapatılarak kaplama tabakası teşkiline geçilir.

### 2.3.5 Yeraltı Suyu ve Sızıntı Suyu Drenajının Genel Prensipleri

1. Yeraltı suyu drenaj sisteminin kurulma amacı orta refuj ve yarma hendeği altında sızıntı suyunu almak ve yeraltı suyu seviyesini gerekirse düşürmek olmalıdır.

2. Dren borusunda toplanan yeraltı suyunun deşarjı için bulunduğu kesimin yüzey suyu deşarj sistemi kullanılmalıdır. Uygun aralıklarla teşkil edilerek kontrol bacaları iki sistemin bağlantısı için kullanılmalıdır.

3. Orta refüjde 400 metrede bir mevcut sanat yapısı veya enine geçişle deşarj verilebilmesi, taşıma mesafesinin 400 metreden az olması ve az su sızıntısı beklenen düz kısımlar ve dolgular için sistem kollektörsüz olarak sadece dren borulu sistem olarak uygulanmalıdır.

4. Ancak yer altı suyu seviyesinin sığ olduğu yarmalarda, bütün yüzey suyunun tek tarafa akıtıldığı kurplarda, dolgu ve yarmalarda orta refüj kanalı kapasitesinin yetersiz olduğu başka bir yapıyla deşarjın mümkün olmadığı durumlarda orta refüjde kollektör uygulanmalıdır.

5. Yarma kenarlarında şevlerden gelebilecek sızıntı suyunu, yoldan gelebilecek suyu ve yeraltı suyunu almak üzere yapılacak dren borulu sistemin bir kesiminde bloke olması durumunda, yol altının suya maruz kalması söz konusu olabilir. Yarma hendeği altında hem yeraltı suyu dren borusu hem de kollektör kullanılabilir. Bu kollektör birçok kanaldan gelen yüzey suyunu alır, yeraltı suyu drenaj sisteminin herhangi bir noktada bloke olması durumunda o kesim tamir edilene kadar diğer bütün sistem çalışır.

6. Zemin altındaki dren yapısının taşıt yolu inşaatındaki suyu en etkili biçimde taşıması için taban yüzeyi üzerinde yeterli bir eğim olması ve alt temel malzemesiyle alt zemin dreni arasında dolaysız bir bağlantı bulunması gerekir.

7. Şevlerde de toprak kaymasını önlemek için ilave alt zemin drenajı gerekebilir ve bunlar yan ve eğik drenler şeklindedir. Bu eğik drenler şev altlarında, kenar şeritte boyuna devam eden drenlere bağlanmalıdır.

8. Bütün sistemin çalışması ancak iyi bir bakımla mümkün olabileceğinden sistemin yerleştirilmesi ve detayları bakımı kolaylaştırıcı bir şekilde projelendirilmeli; sistemin kontrolü ve bakımı için 50 –100 metrede bir kapalı kontrol bacaları yapılmalıdır.

#### 2.4. Yüzey Sularının Drenaj Kriterleri

Yüzey suyu drenajında drenaj sisteminin amacı yüzey suyunu etkin ve güvenli bir şekilde toplamak, nakletmek ve otoyoldan deşarj suretiyle uzaklaştırmaktır. Bunun için akım tahminleri yaparak teknik ve ekonomik olarak uygun hidrolik yapı sistemleriyle toplama ve bir dere yatağına deşarj etme işlemi gerçekleştirilir. Bu nedenle otoyolu drene etmek ve korumak için hendekler, borular, bordur ve düşüm olukları ve bacalardan oluşan bir sistem kullanılır. Yüzeysel suların yolu en az etkileyecek biçimde hızla yoldan uzaklaştırılarak küçük hidrolik sanat yapıları (menfezler) aracılığıyla akarsu, dere, nehir, göl gibi doğal mecralara götürülmesi için gerekli yarma hendekleri, kafa hendekleri, yükseltilmiş kenarlı dolgu banketleri akarsuların dolgu şevine zarar vermeden akıtılması için yapılan düşüm olukları gibi şehir dışında alınan önlemlerle, refuj ve bordür olukları gibi yapılar ve önlemlerin tümü yüzeysel drenajı ve drenaj yapılarını oluşturur.

Drenaj sistemi elemanlarının tasarımında kullanılacak taşkın tekerrür aralıkları Çizelge 2.4.1’de verilmiştir.

Drenaj sisteminin projelendirilmesi çalışmaları, proje kapsamındaki bölge için geçerli ve yeterli çeşitli hidrolojik verilerin derlenmesi ve hidrolik

analiz yöntemleriyle drenaj elemanlarının proje debilerinin hesaplanmasıyla başlar.

Çizelge 2.4.1. Drenaj elemanlarının taşkın tekerrür aralıkları

DRENAJ ELEMANI	TAŞKIN TEKERRÜR ARALIĞI
Refüj, Kenar, Kafa, Topuk Hendekleri	10 Yıl
Palye Hendekleri	10 Yıl
Kademeli Hendekler	10 Yıl
Özel Hendekler	10–25 Yıl
Toplayıcı Borular (Kolektörler) 1. Kısım	2 Yıl
Toplayıcı Borular (Kolektörler) 2. Kısım	10 Yıl
Enine Deşarj Yapıları	10 Yıl
Asfalt Bordur ve Düşüm olukları	10 Yıl
Şütler (Kolektöre Deşarj Durumunda)	10 Yıl
Şütler (Menfeze Deşarj Durumunda)	Önemine Göre Seçilir
Menfezler (Projelendirme İçin)	10 Yıl
Menfezler (Kontrolü İçin)	100 Yıl
Menfezler (Taşkın Alanının Önemine Göre)	100 Yıl
Menfez Giriş ve Çıkış Yapıları	10 Yıl
Köprüler	100 Yıl
Not: 1. Kısım; Toplayıcı boru Başlangıcı - C tipi 2. Kısım; C tipi baca - Deşarj Noktası Arası	

Drenaj elemanlarının debileri şu rasyonel metoda göre hesaplanmaktadır:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600 \times 10^3}$$

Burada;

Q = debi(m<sup>3</sup>/sn)

I = yağış şiddeti ( mm / saat)

C = akış katsayısı (Çizelge 2.4.2'den)

A = havza alanı ( m<sup>2</sup>)

Akış katsayısı değerleri Çizelge 2.4.2'de verilmiştir.

#### Çizelge 2.4.2. Akış katsayıları

Yol Platformu Yüzeyleri İçin	C Akış Katsayısı
Yol Platformu ve Kaplanmış Alanlar	0.90
Yüksek Eğimli Yarma veya Dolgu Şevleri (>45°)	0.80
Düşük Eğimli Yarma veya Dolgu Şevleri (<45°)	0.50
Düzenlenmiş Düşük Eğimli Alanlar ( Refüj vs )	0.30
Küçük Kırsal Havzalar İçin	C Akış Katsayısı
Geçirimsiz	0.90-0.95
Dik - Çıplak	0.80-0.90
Dalgalı - Çıplak	0.60-0.80
Yumuşak-Çıplak	0.50-0.70
Dalgalı -Çayırılık	0.40-0.65
Yapraklı - 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	C Akış Katsayısı
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
Banliyö 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

#### 2.4.1 Yüzey Suyu Drenaj Sistemleri

Drenaj sistemi elemanın özelliğine göre toplanma zamanı çeşitli şekillerde hesaplanmaktadır. Birden fazla drenaj sisteminin bağlandığı herhangi bir hattın hidrolik hesabında, bağlanan sistemlerden daha uzun konsantrasyon süresine sahip olanın konsantrasyon süresi kullanılmaktadır.



#### 2.4.1.1 Refüj Hendekleri

Otoyollarda deverli durumlarda orta refüje doğru akan platform yüzey suyu ile orta refüj yüzeyinin kendi suyunu toplamak amacıyla orta refujde beton hendekler yapılmaktadır. Bu kesimde üç tip hendek kullanılmaktadır.

a. Otoyolun normal eğimli kesiminde

b. Otoyolun deverli kesiminde

c. Otoyolun aydınlatmalı kesiminde

Refüj hendeklerinin altına yerleştirilen boruların bakımının yapılabilmesi için maksimum 100 metrede bir baca konulmaktadır. Refüj hendeğinde, hendek kapasitesi yeterli olana kadar su taşıtırılır ve daha sonra bacayla suların hepsi alınmaktadır. Ancak refüj hendeğinde, hendek kapasitesi yeterli bile olsa, hendek maksimum 400 metre su taşımaktadır. 400 metreden sonra baca konulup, hendekteki suyun hepsi alınır ve taşıyıcı boru ile taşınır veya şartlar uygunsa 1x1 enine geçiş menfeziyle deşarj yapılmaktadır. 400 metrede bir baca konulmasının amacı yeraltı suyu miktarının bilinmemesinden otoyola verebileceği muhtemel zararları önlemektir.

Refüj hendeklerinde, hendek tipinin değıştiğı yerlerde de baca konulup, hendekteki suyun tamamı taşıyıcı boruya alınmaktadır. Refüj hendeklerinde yağış-tekerrür süresi 10 yıl alınmaktadır. Refüj hendekleri kapasite hesapları Manning formülü kullanılarak yapılacaktır.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times I^{1/2} \times R^{2/3}$$

Burada;

Q = debi (m<sup>3</sup>/sn)    I = boyuna eğim (m/m)

R = hidrolik yarıçap (m)    A = kesit alanı (m<sup>2</sup>)

n = pürüzlülük katsayısı (0.016)

Yağış debisinin rasyonel metotla hesaplanmasında yağış şiddetini bulmak için gerekli toplanma zamanı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$t_c = t_1 + t_2$$

$$t_2 = \frac{L}{V_d \times 60}$$

Burada;

t<sub>c</sub> = toplanma süresi (dakika)

L = hendeğin boyu (m)

V<sub>d</sub> = hendek içindeki dolu akış süresi (m/sn)

t<sub>1</sub> = arazi üstü akış süresi (dakika)

t<sub>2</sub> = hendek içindeki akış süresi (dakika)

Hendek hesaplarında başlangıçta t<sub>1</sub> = 2 dakika olarak alınır. Daha sonraki kesimlerde ise t<sub>2</sub> hesaplanır ve t<sub>c</sub> toplanma zamanı bulunur. Hendeklerde akan suyun toplanma zamanı 5 dakikadan küçük bile olsa, hendeklerden taşıyıcı boruya giriş süresi minimum 5 dakika alınacaktır.

Burada bulunan toplanma süresine göre, yağış-şiddet, süre-tekerrür eğrilerinden yağış şiddeti alınır.

#### 2.4.1.2 Yol Kenar Hendekleri

Yol yüzeyi, yarma şevleri ve bazı yeraltı drenaj tesislerinden gelen sular ile civar araziden yola doğru akan suların toplanıp uzaklaştırılması kenar hendekler ile sağlanır. Bu hendekler genellikle yarma içinde kalan yol kesimlerinde inşa edilirler. Dolgularda yol platformu doğal zeminin üzerinde kaldığından kenar hendek gerekmez. Kenar hendeklerin kesitleri, başlıca, üçgen ve yamuk şeklinde olmak üzere iki türdür. Makine ile tesislerin ve ayrıca bakımlarının daha kolay olması sebebiyle pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de çok zaman üçgen kesitli kenar hendekler tercih edilmektedir.

Hendek iç yüzeyleri genellikle toprak olarak bırakılır. Şayet, eğim durumuna göre su akımı hızlı oluyor ve bu hızlı akım zemin cinsi itibari ile önemli oyulmalara sebep oluyor ise hendek yüzeyleri kaplanır. Kaplamanın bir diğer amacı, sürüntü maddelerinin kolaylıkla çöküp hendeğin kısa sürede dolmasını önleyecek akım hızını verebilmektir. Bu duruma daha çok düz arazilerde rastlanır. Çökelmeyi önleyebilecek akış hızı için genel bir değer olarak 0,75 m/sn verilebilir. Bu hızı temin edebilmek için bazen hendeğin taban eğimi arttırılır ve bu durumda meydana gelebilecek oyulmalara karşı hendeğin yüzeyi kaplanır. Bu kaplama taş veya beton ile yapılırsa da bazı hallerde çimlendirmede yeterli olabilmektedir.

Kenar hendeklerin h derinliği, bölgenin yağış durumuna göre çoğunlukla 0,40 – 0,75 m arasında değişir. Ancak en iyisi bu derinliğin hidrolik esaslar ve manning bağıntısı ile hesaplanmasıdır.

Manning pürüzlülük katsayısı için uygun değerler kullanılması, sonucun geçerliliği için önem taşır. Tasarım standartlarına göre banketin hidrolik kapasitesi, 10 yıllık taşkının uzaklaştırılmasında önem taşır.

#### 2.4.1.3 Palye Hendekleri

Palye hendeği kaplama betonu palye içinde kalır. Palye yüzeyinin üstüne dökülmez. Beton dökülmeden önce hendek tabanı yeterince sıkıştırılır.

Palye hendeği kaplama betonları rötre çatlaklarının oluşmaması için şaşırtmalı anolar halinde dökülür. Ara anolar, diğer anoların betonlanmasından en az 24 saat sonra dökülür. Beton tokmakla yeterince sıkıştırılır. Betonun yeterince kuru yapılır.

Yarma ve dolgu kenarlarındaki şevlerin erozyondan korunması amacı ile palye hendeklerindeki suların uygun bir çıkış ağzından boşalması gerekir.

Yarma kesimlerinde kafa hendeği ile toplanamayan ara havzalardaki yağış, düşüm oluşu ile doğrudan palye hendeğine aktarılabilir. Dolgu kesimlerinde ise dolgu yüzeyine düşen yağış, palye hendeği ile taşınacak ve asfalt bordürle toplanan yüzey suyunun uzaklaştırıldığı düşüm oluklarına verilerek palye altından geçirilip topuk hendeklerine aktarılacaktır.

Palye hendeklerinin taban eğimi otoyol eğiminde olacak çok zorunlu olmadığı takdirde ters eğim yapılmayacaktır.

Hesap debisi rasyonel metotla hesaplanacak ve hidrolik hesabı manning formülü ile yapılacaktır. Toplanma zamanı refüj hendeğindeki gibi hesaplanacaktır.

İnşaatın tamamlanmasından sonra, palye hendeği kaplama betonu ön ve arka kenarları boyunca toprak dolgu yapılır ve dolgu sıkıştırılır.

#### 2.4.1.4 Yarma Üstü Kafa Hendekleri

Yarma kesimlerinde arazinin yola doğru olduğu yerlerde araziye düşen yağışın toplandığı menfezlere veya topuk hendeklerine ulaştırıldığı trapez hendeklerdir. Yarma bölgelerinde kesilen tabii dere yataklarından gelecek sular, mümkünse yarma hendeğine alınır ve menfezlere taşınması sağlanır. Kafa hendeğinde toplanan suların yarma dışına atılmaması durumunda yol kenar hendeğindeki bacaya verilir.

Hesap debisi rasyonel metotla hesaplanacak olup hesabı yapılacak hendek kesiminin yağış havzası alanı ve zemin özelliklerine bağlı akış katsayısının iyi saptanması gerekmektedir. Burada toplanma zamanı ( $T_c$ ) yağış başladığı andan itibaren yağış havzasının en uzak noktasından akışın deşarj yapısına ulaştığı ana kadar geçen zaman olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$T_c = T_1 + T_2$$

$T_c$  = Toplanma Süresi (dak)

$T_1$  = Arazi Üstü Akış Süresi (dak)

$T_2$  = Mecra İçindeki Akış Süresi (dak)

$$t_2 = \frac{L}{V_d \times 60}$$

Yarma üstü (kafa) ve dolgu şev dibi hendeklerinin hesap debisinin belirlenmesi için gerekli olan toplanma zamanı ( $T_2$ ) şu formüle göre hesaplanır:

$$T_2 = 0,0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Burada;

$L$  = Mecra boyu (m)

$H$  = Kot farkı (m)

$t_c$  = toplanma süresi (dakika)

$t_1$  = havzanın en uzak noktasından mecraya kadar olan uzunluktaki akış süresi (dakika)

$t_2$  = hendek içindeki akış süresi (dakika)

$L$  = hendeğin boyu (m)

$V_d$  = hendek içindeki dolu akış süresi (m/sn)

Hendek içinde belirgin eğim değişiklikleri olduğu zaman, hendek kısımlara ayrılarak bu eğimler için ayrı ayrı  $t_2$  ' ler hesaplanır ve bunların sonucunda toplam akış süresi bulunur.

Hendekler 10 yıllık tekerrür süresine göre boyutlandırılır. Ayrıca hendeklerde minimum hava payı %10 olarak alınır.

Kafa hendekleri dört tipe ve dört kaplama cinsine göre ele alınır. Bu hendeklerin hepsinin şevleri 1/1 olarak alınır. Bunlarla ilgili hesap kriterleri Çizelge 2.4.3 ve Çizelge 2.4.4 'de verilmiştir.

Çizelge 2.4.3. Hendek tipine göre hesap kriterleri

Hendek Tipi	Taban Genişliği (m)	Üt Genişlik (m)	Yükseklik (m)
1	0.50	1.50	0.50
2	0.50	2.00	0.75
3	0.50	2.50	1.00
4	1.00	4.00	1.50

#### Çizelge 2.4.4. Kaplama adına göre hesap kriterleri

Kaplama Adı	Kaplama Simgesi	Pürüzlülük Katsayısı
Kaplamasız (toprak kil)	Aa	0.03
Kaplamasız (sert kaya)	Ab	0.04
Beton Kaplama	Ba	0.016
Taş kaplama	Bb	0.025
<u>Hendek Tipi</u>	<u>Zemin Cinsi</u>	<u>Maksimum Su Hızı (m/sn)</u>
Kaplamasız	Sert kaya	Sınır yok
Yumuşak Kaya		6.00
İri taneli kohezyonlu		2.50
İri taneli kohezyonsuz		1.50
İnce taneli Kohezyonsuz		1.00
Beton Kaplamalı		6.00
Taş Kaplamalı		3.00

Hendekler suyun hızına, arazi örtüsüne ve arazideki yeraltı su seviyesine bağlı olarak kaplamasız, beton kaplamalı olarak kaplamasız, beton kaplamalı veya zorunlu hallerde taş kaplamalı olarak yapılır.

#### 2.4.1.5 Dolgu Şev Dibi ( Topuk) Hendekleri

Otoyolun dolguda yapıldığı kesimlerde dolgu taban hattını takip eden trapez kesitli topuk hendekleri yapılır. Bunlar kenar hendeklerden, palye hendeklerinden, kafa hendeklerinden, refuj hendekleri, dren boruları ve kollektörlerin enine deşarjından, bordür düşüm oluklarından dolgu şevinden ve arazi eğiminin dolguya doğru olduğu kesimlerde araziden gelen suları toplayarak menfezlere, tabii derelere aktaran nihai hendeklerdir. Ayrıca



gereken durumlarda otoyolun kestiği tabii derelerden gelen suları da toplayarak menfezlere aktarırlar.

Trapeziodal kesitli açık kanalların kullanılması, tasarım hızı 1,0 m/sn' yi aşan hızlar için beton kaplama yapılması önerilir. Hidrolik kapasite uygun bir Manning pürüzlülük katsayısı seçilerek Manning formülü kullanılarak belirlenir. Hava payı olarak 0,15 m' lik bir pay alınır.

Topuk hendeklerinin tipleri, hesap metodu ve kriterleri kafa hendekleri ile aynıdır.

#### 2.4.1.6 Kademeli Hendekler

Kafa ve topuk hendeklerinin arazi eğimine uyma zorunluluğundan dolayı, eğimin çok fazla ve hızın kriterlerin dışına çıktığı durumlarda beton kaplamalı kademeli hendekler yapılır. Böylece suyun enerjisinin kırılarak taşınması sağlanır.

#### 2.4.1.7 Özel Hendekler

Herhangi bir dere yatağının veya menfezin deşarj yapılmaksızın düşük eğimde uzun mesafe yapıldığı durumlarda, tipleştirilen hendeklerin kapasiteleri yetmeyeceğinden, gereken boyutlarda özel hendekler yapılır. Ayrıca dere yataklarının otoyol güzergâhını kestiği yerlerde, otoyol dolgusunun yeterli yükseklikte olmaması ya da çeşitli nedenlerle menfez yapılmadığı durumlarda, bu derelerin sularını en yakın dere yatağına veya menfeze ulaştırmak için derivasyon hendekleri veya kanalları yapılır.

Bu derivasyon kanallarının serbest yüzeyli akım olacak şekilde kapaksız yapılması tercih edilir. Ancak çok özel durumlarda kapaklı da yapılabilirler.

#### 2.4.2. Borular

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

Borulu drenaj sistemi refüj hendeği ve kenar hendeklerinin altında yapılır ve kullanım amaçlarına ve maruz kaldıkları yüklere bağlı olarak farklı yatak tiplerinde kullanılır. Her 100 metrede bir yapılan bacalarla da bakımı sağlanır.

##### 2.4.2.1 Dren Boruları

Otoyol yüzey altı drenini sağlamak amacıyla sızıntı sularını alan açık derzli 150 mm çapında beton dren boruları kullanılır. Dren boruları kapaklı bir baca ile başlar ve hendek kapasitesi dolmasa bile maksimum 400 metre uzunlukta yapılır ve bu noktada toplayıcı borulara bağlanır. Bu noktadan sonra üstten dren borusu, altta toplayıcı boru olarak devam eder. Yeraltı suyunun fazla olduğu kesimlerde ise, sadece dren borusu yapılan bu mesafe daha kısa tutulur. Dren borularının eğimi genelde otoyol eğimine paralel olarak döşenir.

### 2.4.2.2 Taşıyıcı Borular

Refüj ve kenar hendeklerinin altına C tipi baca ile başlayan ve her 100 metrede bir baca ile devam eden, esnek ve geçirimsiz ek yerleri olan muflu ve contalı, sızdırmazlığı sağlanmış, yüzey altı drenajının nihai kısmını oluşturan toplayıcı borular yapılır.

Taşıyıcı borular 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200 mm çapında muflu ve contalı beton boru olur ve pürüzlülükleri ise 0,016 olarak alınır. Taşıyıcı borularda toplanan su mümkün olan en kısa yerden deşarj edilir.

Taşıyıcı borularda, borunun başlangıcında hendekteki akış süresi taşıyıcı boru akış süresine eşit alınır. Ancak bu değer min. 5 dakika alınır. Taşıyıcı borularda hesaba esas alınan tekerrür süresi 10 yıldır. Başlangıçta esas alınan toplanma süresinden sonra bir sonraki boru için yapılan toplanma süresi hesabı ise şöyledir:

$$T_f = \frac{L}{V \times 60}$$

$T_c$  = Toplanma zamanı (dakika)

$T_e$  = Bir önceki bacaya kadarki toplanma zamanı (dakika)

Eğer toplayıcı boru yeni başlıyorsa hendek hesaplarında bulunan başlangıç noktasına kadarki toplanma zamanı alınır. (min. 5 dk.)

Birden fazla drenaj elemanından gelen debi taşınacaksa bu noktadaki en büyük konsantrasyon süresi ilk toplanma zamanı olarak alınır.

$T_f$  (dakika), bir önceki baca ile hesabı yapılan borunun başladığı bacaya kadarki borudaki akış süresidir. Toplayıcı borunun başladığı noktada bu değer sıfırdır. Deşarj noktasına kadar her iki baca arasındaki taşıyıcı boru için toplanma zamanları hesaplanır ve boru başlangıcına kadarki drenaj alanları da ölçülerek Rasyonel metotla hesap debileri bulunur. Taşıyıcı boruların hidrolik hesabı Manning formülüyle yapılır. Boru eğimi genelde otoyol eğiminde olur ancak gerektiğinde farklı da olabilir.

### 2.4.3 Deşarj Yapıları

Otoyol gövdesi deşarjında toplanan suların uzaklaştırılmasını sağlayan yapılar “deşarj yapıları” olarak adlandırılır. Bu yapılar bacalar ve enine deşarj yapılan olarak ele alınır.

#### 2.4.3.1 Enine Deşarj Yapıları

Refüj hendekleri ile yüzeyden veya taşıyıcı borularla yüzey altından taşınan suyun otoyoldan uzaklaştırılması için yapılan yapılardır.

Enine deşarj yapıları, refüjden gelen suyun boşaldığı tip bacalarla başlar ve yolu dik keserek platform dışına çıkarlar. Burada uygun durumlarda kenardan gelen suyu da yine bir baca ile alarak bazen düşüm oluğu ile topuk hendeğine bazen tabii dere yatağına bazen de menfeze aktarırlar.

Enine deşarj yapıları yol platformu altında 1x1 m boyutlarında kutu kesitli ve betonarme yerinde dökme olarak imal edilirler. Genelde otoyol profilinin en düşük kotta olduğu yerlerde yapılırlar. Fakat taşıyıcı borunun büyük çapa ulaştığı veya taşıyıcı boru yapılmasının gerek olmadığı yerlerde (arazinin uzun süre dolguda gittiği yerlerde) uygun yerden enine deşarj yapılır. Tarım yapılan arazi kesimlerinde veya meskûn bölgelerde deşarjın zararlı etkileri dikkate alınmalıdır.

Refüj deşarjının olmadığı sadece yarma deşarjının söz konusu olduğu yarma sonlarında bir bacaya alınan su beton boru ile topuk hendeğine deşarj edilir. Eğer boru kotu topuk hendeği kotundan aşağıda ise veya araziye deşarjın o bölgede uygun olmadığı durumda ise enine deşarj refüje doğru yapılır ve en uygun yerde deşarj edilinceye kadar refüjdeki taşıyıcı boru ile taşınır. Enine deşarj yapımında min. eğim 0,005 yapılır ve o noktaya kadar toplanan debiyi geçirip geçirmediği Manning formülüyle kontrol edilir.

#### 2.4.3.2 Bacalar

Bacalar refüj ve kenar hendeklerinden gelen suları almak, toplayıcı borunun çapını değiştirmek, toplanacak suların deşarjını sağlamak ve boruların temizlik ve bakımının yapılması amacıyla yapılan yapılardır. Bacalar genel olarak ızgaralı ve kapaklı olarak iki kısma ayrılır. Ayrıca kullanıldıkları yerlere giriş ve çıkış özelliklerine göre de tiplere ayrılabilirler. Kapaklı bacalar, kontrol bacası olup su girişine bu kısımda izin verilmez.

Sadece boruların bakımı amacıyla kullanılırlar. Izgaralı bacalar ise hendekteki tüm suyun alınması gereken durumlarda kullanılmaktadır.

- Refüj Giriş Bacaları;

Suyun miktar ve hız sınırını aştığı durumlarda refüje giriş bacaları yerleştirilir. Baca tiplerinin oldukça değişik türleri vardır ve kapasitelerini tayin etmek için genel bir kural verilemez.

Refüj bacaları genellikle ızgara ya da yarıklarla donatılmış düşümlü yapılardır. Bacalar ve kapakları vasıta ve bakım ekiplerinin çarpışına dayanıklı olmalı fakat onlara hasar verecek yapı ve biçimde olmamalıdır. Yarık biçimli kapaklar alçak seviyeli yani hendek yüzüne çok yakın olmalı ki kontrolden çıkıp bunlara çarpan vasıtalarla hasar vermemesi sağlanmalıdır. Bacaların üzeri koruyucu bir ızgara ile kaplanmalıdır. Enine drenajı sağlayan büzlerin giriş bacalarına ızgara yerleştirmek sakıncalı görülmez. Çünkü ızgaraları tıkayacak birikintiler refüjlerde pek bulunmaz.

#### 2.4.4 Düşü Yapıları

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

Genel olarak otoyolun dolguda olduğu kesimlerde yapılan asfalt bordur ve düşüm olukları ile yarmalarda özel durumlarda yapılan şütler bu kapsamda ele alınır.

#### 2.4.4.1 Asfalt Bordur ve Düşüm Olukları

Dolgu kesimlerinde platform enine eğiminin platform dışına doğru olduğu yerlerde kaplamalı banketin dışında asfalt bordur yapılır. Bordürle oluşan üçgen kesitli hendekle toplanan yüzey suyu hesapla bulunan aralıklarla yapılan düşüm olukları ile topuk hendeklerine deşarj edilir.

Ayrıca enine deşarj yapılarının dolgu şevine çıkışının doğal zeminden yukarda kaldığı durumlarda, palye hendeğinin kapasitesinin dolduğu durumlarda, otoyolun yarmada küçük dere yataklarını kesmesi durumunda suyun otoyol şevine zarar vermeden hendeklere aktarılması için prefabrik düşüm olukları kullanılır.

Bordürle oluşturulan üçgen kesitli hendeğin hesabı için özel geliştirilen Manning formülü kullanılır:

$$Q = \frac{0.00175}{S \times n} \times J^{1/2} \times d^{8/3}$$

Burada:

Q = Hendek kapasitesi (lt/sn)                      S = Yolun enine eğimi (m/m)

d = bordur kenarındaki su yüksekliği(cm)    J = Yolun boyuna eğimi

B = platform genişliği                              I = 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık  
yağış şiddeti (mm/ sa)

n = Manning pürüzlülük katsayısı ( 0.02 )    T = Suyun Yayılma  
Genişliği (m)

Burada d ve T için maksimum sınırlar belirlendiği için yolun enine eğimine kapasite hesabında kullanılacak su yükseklikleri hesaplanır. Yolun enine eğimine göre T değerleri Çizelge 2.4.5'den alınır.

Çizelge 2.4.5. Düşüm olukları ara mesafelerinin hesabında esas alınan değerler

m < % 25 için	d < 5 cm	T = 200 cm	D = m x T
m = % 2.5 için	d = 5 cm	T = 200 cm	
M > % 2.5 için	d = 5 cm	T < 20 cm	T = d/m

Düşüm olukları ara mesafesi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$L = \frac{6.3 \times J^{1/2} \times d^{8/3}}{C \times B \times I \times S \times n}$$

Burada;

C = platformdaki akış katsayısı ( 0,9 )

B = platform genişliği

I = 10 yıl tekerrürlü 5 dakikalık yağış şiddeti (mm/ sa)

Düşüm oluğu yerleştirme aralıkları 5 metrenin katları olarak alınır. Ayrıca maksimum düşüm oluğu ara mesafesi 50 m olarak alınır, düşüm oluğu kapasitesi minimum kesite göre Manning formülünden hesaplanır. Düşüm olukları eşikli döşenmesine rağmen hesaplarda ortalama eğim kullanılır.



Palye hendeklerinin kapasitelerinin aşıldığı yerlere de ve özel durumlarda yarma şevine yapılan düşüm oluklarının hesabında kullanılacak debi yukarıdaki gibi hesaplanır. Manning formülü kullanılarak ve ortalama eğim alınarak düşüm oluğu kapasitesinin yeterli olup olmadığı kontrol edilir.

#### 2.4.5 Şütler

Otoyolun tabii dere yatağını kestiği yerlerde özellikle yarma bölgelerinde araziden gelen debinin güvenli bir şekilde uzaklaştırılması gerekir. Bu debinin yarma üstündeki kafa hendekleri ile toplanmasının veya tipleştirilmiş prefabrik düşüm olukları ile uzaklaştırılmasının mümkün olmadığı durumlarda özel olarak projelendirilen şütler vasıtasıyla sağlanır.

#### 2.4.6 Sifonlar

Otoyol güzergâhı boyunca etek hendeklerinin veya kafa hendeklerinin rastladığı sulama kanalları vb. yapıların geçilmesi için menfez koşullarının olanaksız olduğu yerlerde sifon geçişi yapılır.

#### 2.4.7 Küçük Sanat Yapıları (Menfezler)

Yüzey ve yeraltı suları ile akışı otoyola doğru olan tabii derelerle toplanan arazi suları yol gövdesi drenaj elemanlarıyla toplanarak bağlantı yolu ve kavşak kollarının altından güvenli bir şekilde menfezler aracılığıyla geçirilir.

Menfezlerin giriş ve çıkış ağızları mümkün olduğu kadar mevcut dere yatağına uyumlu konumlandırılır. Ancak yapılabilecek yatak düzenlemelerine karşı menfez giriş kotları mevcut dere yatağından 30 cm altında projelendirilir.

#### 2.4.7.1 Menfezlerin Tasarım Metodu

Menfezler 10 yıl tekerrürlü debiye göre projelendirilir ve 100 yıl tekerrürlü debiye göre kontrol edilir. Ancak kabarma seviyesi çevredeki yerleşim bölgelerinde veya tarım arazilerinde su basmasına sebep olacaksa projelendirme 100 yıl tekerrürlü debiye göre yapılır.

Menfezlerin yağış havzaları hesaplanırken toplanma zamanı şu formülle bulunur:

$$T_c = 0,0195 \times \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Burada:

$T_c$  = Toplanma zamanı (dakika)

H = Havzanın en üst kotu ile menfez arasındaki kot farkı (m)

L = Havzanın en uç noktasının menfeze olan yatay mesafesi (m)

Arazi eğiminin değiştiği yerlerde H ve L değerleri ayrı ayrı saptanarak bu kesimlere ait toplanma zamanları bulunur ve  $T_c$  bunların toplamıdır,

$$F = 5.791 \times C \times A^{3/4}$$

C = Çıkış katsayısı

$$F = \text{Menfez için gerekli kesit alan (m}^2\text{)} \quad A = \text{Drenaj alanı (km}^2\text{)}$$

Hesaplanan kesit alanına göre menfez boyutları seçilir. Menfez gerektiğinde çok gözlü olabilir. Ancak iki veya üç gözlü kutu menfezler ortak ayırıcı duvarlara sahip olarak tek bir yapı halinde projelendirilirler.

10 yıl tekerrürlü taşkın debisinde menfez girişinde suyun % 10'luk hava payı kalacak şekilde kabarmasına izin verilir. 100 yıl tekerrürlü taşkın debisinde ise kabarma dolgu yüksekliğini veya menfez yüksekliğinin üç katını aşmamalıdır.

Menfez içinde hızın 10 m/sn' yi geçmesine 1m/sn' den de düşük olmasına izin verilmemelidir. Topografik şartların zorlamasıyla hızın 10 m/sn' yi aştığı durumlarda bu değere düşürmek için suyun menfezlere giriş kısmına "giriş bacaları" projelendirilir.

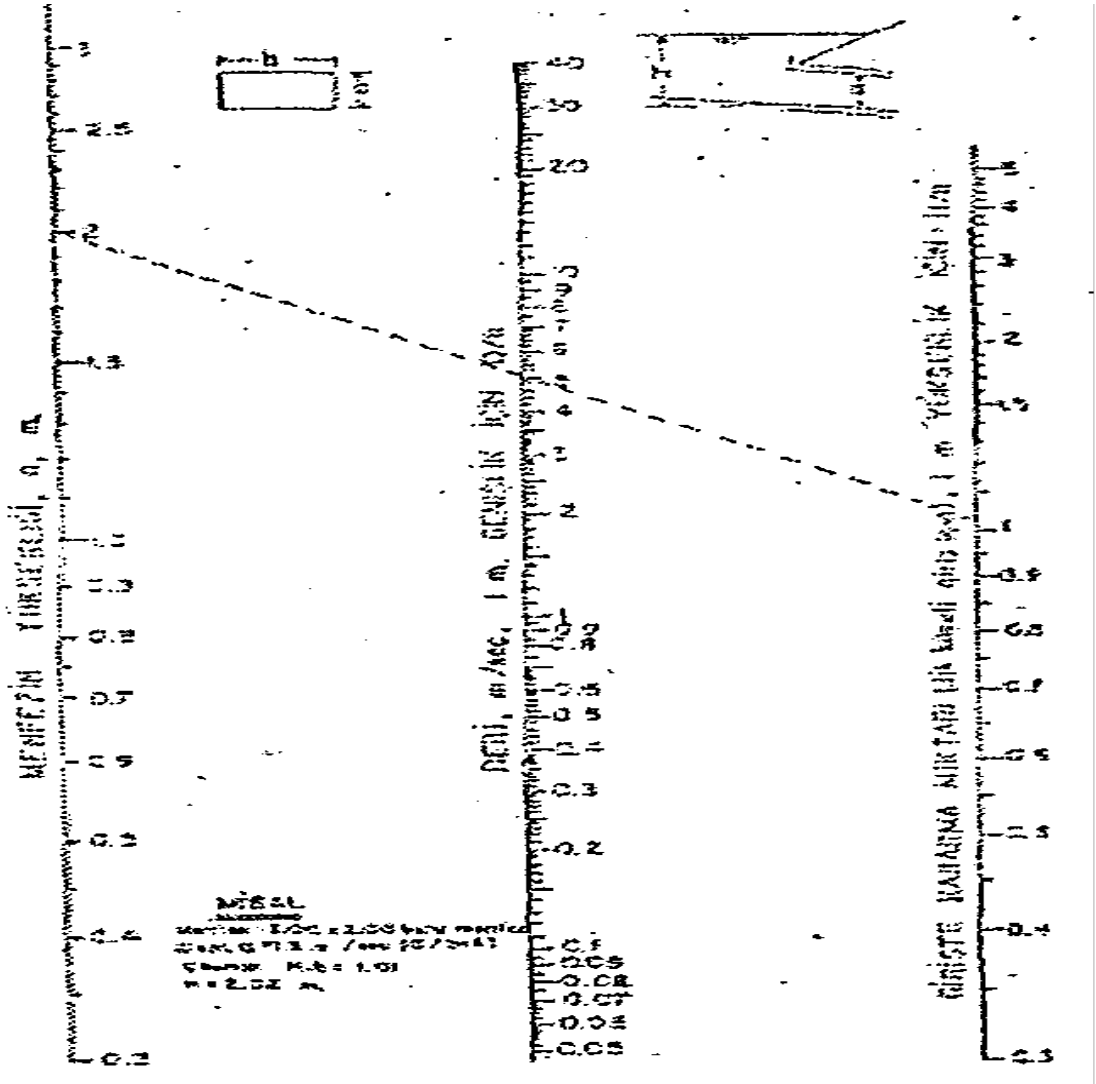
Arazide otoyol dolgusunun izin verdiği uygun yerlerde hem hidrolik menfez olarak çalışan hem de tarım araçlarının geçişine izin veren 5 x 5 m boyutlarında geçişler yapılır.

Menfezlerin hidrolik tasarımında karşılaşılan akım tipleri giriş kontrollü ve çıkış kontrollü akımlardır. Akımın normal derinliği kritik derinlikten küçükse menfez girişinde kabarma kontrolü gerekir. Aksi halde menfez çıkışında kabarma kontrolü yapılır.

Kontrolün girişte olması durumunda akım kapasitesi kabarma suyunun derinliği, giriş geometrisi, gövde şekil ve kesit alanı tarafından

kontrol edilir. Giriş kontrollü kutu menfezlerin boyutlandırılmasında Çizelge 2.4.6 'da kabarma derinliğinin debi ile ilişkisini gösteren nomogram kullanılır. Genelde menfezler giriş kontrollü projelendirilir.

Kontrolün çıkışta olması durumunda ise menfezlerin hidrolik kapasitesi, menfezin şekli, uzunluğu, gövde pürüzlülüğü ve çıkıştaki su derinliğinin kontrolü ile tespit edilir.



Çizelge 2.4.6: Kabarma derinliğinin debiyle ilişkisini gösteren nomogram

#### 2.4.7.2 Boru Menfezler (Büzler)

Menfezlerin en basit şekli boru menfezler olup bunlar az miktarda suyun geçirilmesi bahis konusu olduğu zaman kullanılırlar. Şu avantajları vardır:

Kâgir menfezlere göre çok ucuzdurlar ve bunların inşası çok çabuk olur. Çünkü boru menfezlerin yerine konması genellikle pek az hazırlığa ihtiyaç gösterir.

Boru menfez inşasında başlıca seramik künk borular, çimento borular, demir borular, betonarme borular ve çok seyrek olarak da tuğladan yerinde inşa edilen borular kullanılır. Boru menfez, inşasında şuna dikkat etmek gerekir:

Menfezin uzunluğunca homojen ve sağlam bir temel teşkil edilmelidir. Böylece homojen olmayan çöküntülerin, sıkışmaların ve kırılmaların önü olanaklar oranında alınmış olur.

Bundan başka boru menfezin taşıtların ağırlıkları altında kırılmaması için üzerinde yeteri kalınlıkta bir dolgu tabakasının bulunması gerekir.

Boru dolgu tabakasının kalınlığı boru menfezin yapıldığı malzemenin cinsine göre değişir. Genellikle demiryolu altındaki boru menfezlerin üzerindeki dolgu kalınlığı büyük ağırlıklar ve çarpmalar dolayısıyla yollardakine göre daha fazla olmalıdır.

Geçirilecek su miktarına göre büyük çaplı boru menfez gerekir, fakat dolgu yüksekliği az olursa büyük çaplı bir boru yerine daha küçük çaplı iki veya daha fazla borulu bir menfez kullanılabilir.

Büyük çaplı boru menfezlerin uçlarına çoğu kez kâgir cephe duvarı yapılır. Bütün boru menfezlerin üzeri inşadan sonra dikkatli bir şekilde doldurulur.

Boru menfezlerin içinde akacak suların hızları fazla olmamalıdır. Aksi halde suyun çıktığı ağzın oyulması ve hendek kenarların yıkılması, dolgu eteklerinin harap olması tehlikesi vardır. Boru menfezlerin içindeki hızın 1,2–1,5 m/sn.'yi geçmemesi iyi olur. Bununla beraber bazen uygun yerlerde maksimum hız 3,00 m/sn' ye kadar kabul edilmelidir.

Boru menfezin giriş ağzında tabanın ve gerekirse şevlerin kaplanması genellikle yeterlidir. Suyun çıkış ağzında ise boru dolgu eteklerine göre bir miktar uzatılıp, suyun yatağı kâgir veya betonla itina ile kuvvetlendirilmelidir.

Suyun çoğunlukla kâgir kaplı mecralarla getirildiği eğimi fazla yerlerde boru menfezin giriş ağzına bir kuyu yapmak uygun olur. Bu kuyu gerektiğinde temizlenmelidir. Bunun içinde 0,8–1,0 m genişlikte daire veya dört köşe kesitli kuyular yapılmalıdır.

Kuyuların temeli sağlam olmalı ve dipleri taş veya betonla takviye edilmelidir. Kuyunun dip yüzeyi menfezin tipine göre 0,3 m kadar aşağıda olmalıdır. Bu suretle suyun sürükleyeceği maddelerin burada toplanması ve daha sonra temizlenmesi olanağı bulunmuş olur. Bundan başka iri taşların

menfezi tıkamaması için kuyunun ağzına bir ızgara veya suyun yanlardan gelmesine engel olmayacak şekilde bir kapak taşı koymak gerekir.

Boru menfezlerin şu türleri vardır;

- Seramik Künk Menfezler

Menfez inşası için en uygun olarak içi ve dışı sırlanmış ve dairesel, elips veya oval kesitli borular kullanılır. Bu boruların boyları genellikle 1 m olmakla beraber 0,80 m veya başka uzunlukta olanları da vardır. Çaplar 0,30m den 0,60m' ye kadardır.

Boruların birbiri ile iyi birleşimleri için uçlarında Ambuantman vardır. Borunun diğer ucunun dış çevresinde ve Ambuantmanın da iç çevresinde vida helezonu oluşturulmuş olup birbirleri ile iyi bir şekilde birleşimleri sağlanmıştır.

Seramik künk borular yerlerine konurken ambuantman boyunca birbiri içine girerler. Boruların ambuantmanın ağızları menfezin kaynak tarafına doğrudur. Seramik künkler ancak zemin sağlam ve homojen ise doğrudan doğruya yere konur. Bu halde bile hiç olmazsa 2–3 cm' lik bir kum tabakası üzerine konulmalıdır. Genellikle kum tabakası 10–15 cm kalınlıkta olur. Döşeme sırasında ek yerleri altları hiçbir zaman kamalanmaz. Borular bütün uzunlukları boyunca yere istinat etmelidir.

Seramik künk menfezler üzerindeki dolgu karayollarında 0,50 m demiryollarında ise en az 0,80 m olmalıdır. Ayrıca maksimum dolgu yüksekliği -1,0 m' yi geçmemelidir. Seramik boruların faydalan şunlardır. İç

yüzleri kaygandır, kum aşındırması ve asitlerin etkisine karşı dayanıklı olurlar.

#### - Çimento Boru Menfezler

Çimento borular daha önce kalıplarla prefabrike olarak yapılırlar. Uygulamada doz genellikle 400–450 kg kadardır. Çimento boruların uzunlukları 1–1,25 m' dir. Bir ucuna dıştan bir ucuna da içten oyuk açılır. Böylece birbirlerine bir miktar girebilirler. Bazen uç uca konurlar bu halde birleşimleri manşonlarla gerçekleştirilir.

Dairesel kesitli çimento borular 150 cm çapına kadar yapılmaktadır, daha büyük olanların kesitleri oval yapılıdır. Fakat bunlar hem pahalı olur hem de dış basınçlara daha az mukavemetli olurlar.

Yeteri derecede basınç mukavemetleri olduğu için çimento borular, yüksek dolgular altında kullanılabilirler. Ayrıca dış etkilere de dayanıklıdırlar. Çapı 30 cm üstünde olunca seramik borulardan daha ucuza gelirler. Fakat 80 cm' den küçük çaplılar sık sık tıkanır. Bunlara karşın homojen olmayan çöküntülerde kolaylıkla kırılabilirler suların getirdiği kum ve asitlerden de yıpranabilirler.

Çimento boruların döşenmesi de dikkat ister. Borular 2–3 cm kalınlığında bir kum tabakası üzerine konarak borunun her tarafının zemine oturması sağlanır. Yumuşak zeminlerde çimento borular 15–30 cm kalınlığında kum ve çakıl tabakası veya yerine göre beton tabakası üzerine konur.



Ek yerleri çimento harcı ile örtülür ve bunların iç yüzleri perdahlanır. Uzun borularda biraz oynaklık sağlamak amacı ile ek yerleri kil çamuru ile sarılır. Cephelerde uçları dolgu sevi eğiminde eğik kesilmiş borular da kullanılabilir. Çaplar büyüyünce boruların yapımında içlerine bir miktar demir teçhizat konur.

Küçük çaplı betonarme borular kalınlıkları daha az olacağından, daha hafif ve kullanışlı olurlar uçlarına seramik borularda olduğu gibi ambuatman verilir böylece eklemeleri de seramik borulardaki gibi yapılır.

Büyük çaplı betonarme borularda ambuatman yoktur. Bunlar uç uca getirilir ve ek yerlerinin üzerine özel bir manşon geçirilir. Betonarme boruların sakıncası, kalınlıklarının az olması yüzünden asitlerden daha kolay etkilenmesi ve kumlarla daha çabuk aşınmaya uygun olmalarıdır.

Karayollarında daha çok sepet kulplu yerinde dökme büzler kullanılır. Daire kesitli olanlara göre daha yüksek dolgu taşıyabilen bu menfezler, demirsiz olarak ve 250 dozlu betondan, kullanılacakları yerde hazırlanan kalıplar yardımı ile dökülürler. Memba tarafındaki baş duvarı, kanat duvar şeklinde teşkil edilen bu menfezlerin mansap tarafına baş duvar yapılmaz. Uygulamada bu menfezler daha çok f 80 büz olarak isimlendirilirler. Gelen suyun miktarına göre tek olarak veya iki ya da daha fazla sayıda olmak üzere yan yana konulabilirler.

#### - Yerinde Dökme Çimento Boru Menfezleri

Genellikle dairesel kesitli çimento boru menfezlerin gerekli çapları büyük olunca veya oval kesitli borular kullanıldığı zaman bunların yerinde

dökülmeleri gerekir. Bu menfezlerin şevlerdeki başları şev eğiminde kesilmiş boyutları da arttırılarak takviye edilmiştir. Dökme beton boruların, dökülmeden altlarına sağlam zeminlerde en az 15 cm, kum tabakası çürük zeminlerde 20 cm grobeton tabakası dökülür.

#### - Font ve Çelik Boru Menfezleri

Dolgu yüksekliği çok fazla veya pek az, menfez eğimi çok fazla ise font borular tercih edilir. Sifon yapımı için olduğu gibi, çok çabuk inşa zorunluluğu olan yerlerde de font borular daha elverişlidir. Font boruların ekleri çoğunlukla ambuatmanlıdır. Font boruların iç çapları 0,30 -1,20 m ve faydalı uzunlukları 3,0 – 4,0 m' dir. Bu boruların kuyruk uçlarının kalınlığı biraz daha fazlacadır.

Boruların birleştirilmelerinde kuyruk uçlarına katranlanmış kenevir ipi 3–4 defa sarılır. Bu uç diğer borunun içine konulur. Boruların ambuatman uzunluklarının yarısı boş kalmalıdır. Bu boş kısım eritilmiş kurşunla doldurulur ve kurşun donduktan sonra kalafat edilir.

Borunun pasa karşı korunması için tercihen asfalt emülsiyonu sürülmelidir. Borunun yerine göre döşenmesinde, sağlam zemin halinde sadece zeminin düzeltilmesi yeter. Çürük veya yumuşak zeminde ise 0,50– 0,60 m kalınlığında bir kum tabakası üzerine bazen da beton yatak üzerine döşenirler, Font borular üzerinde kalan dolgu kalınlığının yüksekliği ( h ) borunun iç çapına göre değişir.

Font boruların sakıncası genellikle pahalı oluşlarıdır. Font borular özellikle menfez ve sifon inşaatında kullanılır.

### 2.4.7.3 Kutu Menfezler

Bu menfezler, serbest açıklıkları 1,00–1,50–2,00–2,50–3,00 m ve serbest yükseklikleri de 0,60–1,00–1,50–2,00–3,00 m olan, her iki ucunda yani memba ve mansap tarafında kanat duvarları bulunan kutu kesitli, betonarme menfezlerdir. Belli açıklık ve yüksekliklerde olmak üzere tek gözlü, iki gözlü ve üç gözlü olarak standartlaştırılmışlardır. Şekilde boyuna kesiti ile mansaptan görünüşü verilen tek gözlü menfezlerden serbest açıklığı 1,00 ve 1,50 m olanlar en fazla 15,00 m, serbest açıklığı 2,00–2,50 ve 3,00 olanlar ise en fazla 9,00 m yükseklikteki dolgular altında kullanılırlar. İki ve üç gözlü olanları ise en fazla 6,00 m dolgu yüksekliğine kadar uygulanabilir.

Standart kutu menfezlerin yapımı sırasında aşağıdaki esaslara uyulur;

- Menfezin yapımında kullanılan beton 350 dozudur.

Menfez taban betonarmesinin temiz ve düzgün bir yüzeyde olabilmesi için kutu menfezin altına yani zemin üzerine 5 cm kalınlığında 150 dozlu grobeton dökülür ve menfez bunun üzerine inşa edilir.

Menfez taban uzunluğu 15 m yi geçerse bir dilatasyon derzi bırakılır. Bu derz 30 m taban radye uzunluğuna kadar orta noktaya gelmek üzere bir tane, 30 m den daha uzun radye halinde ise banket uç noktalarında inen düşeylerin geldiği noktalara gelmek üzere iki tane bırakılır. Şayet, dolgu sevi altına rastlayan menfez uzunluğu 15 m den büyük olursa araya bir derz daha ilave olunur. Menfez taban eğimi % 2 den az ise dilatasyon derzlerinin altına betonarme yastık, eğim %2 den fazla ise betonarme brit yapılır.

- Menfezin konduğu kesitte arazi fazla eğim değişikliği gösteriyor ve menfezin tek eğimli yapılması fazla kazıyı gerektiriyor ise bu durumda menfez tabanı araziye uydurulur ve menfez birden fazla eğimde yapılır. Eğim değişme noktalarında dilatasyon derzi bırakılır.

- Menfezin yapımı bittikten sonra, yan ve üst yüzeylerine, ayrıca kanat duvarlarının dış yüzeylerine katran sürülür.

- Menfezin üzerine yapılacak dolgu, menfezin iki tarafında aynı zamanda teşkil olunur. Bu sırada, büz menfezlerde olduğu gibi, sıkıştırmaya önem verilir. Aksi takdirde, yol trafiğe açıldıktan sonra menfezin bulunduğu kesitlerde, menfezin iki kenarında olmak üzere, düzensiz oturmalar meydana gelir.

- Su akım hızı yüksek olan, fazla taş ve sürüntü maddesi getiren derelerde kutu menfez yerine başka tipte menfez yapımına çalışılmalıdır. Şayet bu mümkün olamıyor ve kutu menfez seçimi zorunlu oluyor ise, radye üzeri taş ile kaplanmalı, ayrıca yan duvarların aşınma etkisine maruz olan kısımlarının demir teçhizat dışında kalan beton et kalınlıkları 8 cm ye çıkarılmalıdır.

- Kutu menfezlerin tiplerine göre taban, tavan, yan duvarlar ile kanat duvarlarına ait ölçüleri, ayrıca kalıp ve demir teçhizatı, dilatasyon derzleri ile her türlü ayrıntılar KGM tarafından (standart kutu menfez tipleri) isimli kitap da verilmiştir.

#### 2.4.7.4 Kemerli Menfezler

Büzler ve kutu menfezler belli bir dolgu yüksekliğine kadar kullanılabilirlerinden yüksek dolgular altında kemerli menfezler uygulanır. Bu menfezler kâgir veya beton kemerli olurlar Üzerindeki dolgu yüksekliğine, geçireceği debiye ve taban eğimine göre boyutları belirlendikten sonra önceden hazırlanmış olan tiplere göre projeleri hazırlanır. KGM tarafından, serbest açıklığı 0,70– 1,00– 2,00– 3,00– 4,00– 5,00– 6,00– 7,00– 8,00– 9,00 ve 10,00 m olan kemerli menfezler için hazırlanmış tip projeler vardır. Kemer menfezler çok gözlü olarak ta yapılabilirler

Zemin emniyet gerilmesi 2 kg/cm" den küçük olan zayıf zeminlerde kemer menfez uygulanmaz. Kenar ayak yükseklikleri 0,60–1,00–1,53 m olarak alınır. Kenar ayağın ortasındaki kalınlık (  $E_m$  ) kemerin üzerindeki dolgu yüksekliğine göre değişir. Kenar ayaklar 250 dozlu çimento harçlı kâgirden yapılır. Kemerin ortasındaki (  $s$  ) kalınlığı da dolgu yüksekliğine bağlıdır. Duruma göre, suyun aktığı kısma 25– 30 cm kalınlıkta harçlı kâgir ya da beton radye yapılmalıdır.

#### 2.4.7.5 Tabliyeli Menfezler

Tabliyeli menfezler, beton veya kâgir kenar ayaklar ve ricat duvarları ile üst tahliyeden oluşurlar. Bu menfezler için açıklıkları 1,20 m ile 15,70 m arasında değişen muhtelif tip projeler geliştirilmiştir. Açıklık adedi ne olursa olsun iki kenar ayak mesnedi arasındaki mesafe 8,00 m' den küçük ise Tabliyeli menfez 8,00 m' den büyük ise köprü olarak isimlendirilir.

Köprüler üzerinde yaya kaldırımı ve korkuluk tesisi zorunludur. Menfezler üzerinde bu zorunluluk yoktur. Tabliyeli menfez ve köprülerde, tabliye betonu ara verilmeksizin sürekli bir çalışma ile dökülmelidir. Menfezlerde tabliye plak şeklinde, köprülerde ise kirişlidir.

Tabliyeli menfezler ve köprüler, genellikle dolgu altına yapılmazlar ve tabliye üst kotu kırmızı kot olarak alınır.

#### 2.4.7.6 Menfez Yerleşimleri ve Eğimleri

Menfez yerleşimlerinde bakım kolaylıkları, stabilite ve hidrolik verimlilik açısından menfez doğrultu ve eğimlerinde ani değişikliklerden kaçınılmalıdır. Doğrultunun değiştirilmesi zorunlu olduğu durumlarda düzgün ve geniş eğriler kullanılır. Mümkün oldukça doğal dere yataklarının doğrultu ve eğimlerine yakın düz hatlar boyunca yerleştirme yapılır.

Menfez boylarını kısaltmak için otoyol eksenine dik olarak geçilen ve doğal dere yatak doğrultusundan önemli ölçüde sapmaların gerekebileceği özel durumlar olabilir. Böyle durumlarda menba ve mansapta doğal yatak ve menfez açısından akım için yeterli bir geçiş sağlanması amacıyla uygun bir derivasyon kanalı gerekebilir.

Menfez yerleşimi ve eğim seçiminle şu kriterler uygulanır;

- Menfezler mümkün oldukça yol eksenine dik veya dike yakın açıda yerleştirilir,

- Menfez tabanı, mümkün olduğunca dolgu üzerine değil, tabii zemin üzerine yerleştirilir,
- Her menfez tek bir doğrultuda olmalıdır. Yani bir ucundan diğer ucu görülebilmelidir.
- Minimum menfez eğimi, sürüntü malzemesinin çökmesini önlemek ve kendiliğinden temizlenmeyi sağlamak, asgari akım hızlarını gerçekleştirebilmek için % 0,5 olur.
- Aşırı yüksek akım hızlarından sakınmak için, maksimum eğim normalde %10 olur. Mevcut akarsu yatak eğiminin bu değerden daha büyük olduğu yerlerde menfez dolguya yerleştirilebilecek ve menfez çıkışındaki menfez ve doğal yatak kotları arasındaki fark için çıkış yapısının tasarımında düzenlemeler yapılır.
- Bunun pratik olmadığı durumlarda maksimum eğimin üzerine çıkabilecek ve artan hızlar için gerekli önlemler alınır.
- Oturmaların oluşabileceği tahmin edilen yüksek dolguların altında yol dolgusunun oturmaları kompanse etmek için menfezlere ters sehimler sağlanması gerekebilir.
- Menfez giriş kotları verilirken menfeze deşarj edilen hendeklerin tipleri bu bölgedeki topografyayla birlikte dikkate alınır.
- Her menfez baştan sona aynı eğime sahip olup, menfez içinde basamağa izin verilmez.

#### 2.4.7.7 Menfez Giriş Yapıları

Baş duvarsız menfez giriş ve çıkışları, hidrolik açıdan uygun olduğu durumlarda kullanılabilir. Menfez baş duvar ve menfeze geçiş yapısı (transition) gerekli olduğu durumlarda inşa edilir.

Menfez girişlerindeki kanat duvarlarının genişleme ( yayılma ) açıları, genel olarak 30- 45 derece arasında olacaktır. Kanat duvarları taş örgü olacağına göre menfez giriş kısımları hidrolik verimliliği artırmak açısından yuvarlanabilir. Hazır (prefabrik ) boruların kullanımı dışında, hazır boru kullanılması durumunda menfez baş duvarları boru eksenine dik olmalıdır. Menfez baş duvarları genellikle otoyola paralel olarak inşa edilecektir.

Menfez girişi önünde, uygun bir biçimde boyutlandırılmış, Apron oyulmayı önlemek üzere (büyük parçalardan oluşan) anroşman veya betonarme apron yapılır. Hızları yüksek olması durumunda, iri taşlar çimento şerbeti ile harçlanır.

#### 2.4.7.8 Menfez Girişlerinde Koruma

Menfez girişlerinde koruma önlemleri suyun taşıdığı moloz ve siltin menfez girişinde birikerek menfeze giren suyun hidrodinamiğini bozmasını engellemek amacıyla yapılır. Bununla beraber menfez girişinde daha düşük olan su hızı nedeniyle küçük boyutlarda gerçekleşen erozyona karşı da etkili olurlar. Koruma önlemlerinin asıl nedeni erozyon olmadığı için suyun hızı önlemlerin seçiminde önemli bir faktördür. Girişte moloz ve şilt birikiminin suyun hidrodinamiğinde oluşturacağı türbülans ve bozulmaları tanımlayacak



parametre seçimi güçtür. Bu nedenle menfez girişlerindeki koruma tiplerinin seçimi zemin cinsine bağlı olarak yapılır. Sert ve yumuşak kaya zeminlerde herhangi bir koruma sağlanmazken diğer zeminlerde taş pere koruması tavsiye edilir.

#### 2.4.7.9 Menfez Girişlerinde Kabarma İncelemesi ve Öneri

Menfezlerin tasarım metodu bölümünde belirtildiği gibi 10 yıl tekerrürlü taşkın debisinde menfez hesaplarında menfez girişinde suyun %10'luk hava payı kalacak şekilde kabarmasına izin verilmektedir. Bu, suyun menfez yüksekliğinin maksimum 0,9'unda hareket edeceği anlamına gelmektedir. Oysa Amerika Birleşik Devletleri ve çoğu Avrupa ülkesinde kabarma değeri 1,2 olarak alınmaktadır. Ülkemizde ise son yıllarda menfez içindeki temizlik ve bakım çalışmalarının olmayacağı kabulüyle mevcut uygulamaya ısrarla devam edilmekte ve ekonomik olmayan boyutlandırmalar yapılmaktadır.

İncelediğimiz Kazancı-Gümüşova Otoyolunda suyun toplama havzası 5 km<sup>2</sup>'den küçük olan bölümü için yapılacak debi hesabı; Rasyonel Metot kullanılarak bulunacak olursa;

Rasyonel metoda göre pik debi bağıntısı:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \quad \text{şeklindedir.}$$

Burada:

Q = debi (m<sup>3</sup>/sn)

I = yağış şiddeti (mm/sa)

C = akış katsayısı (Çizelge 2.4.2)

A = havza alanı (km<sup>2</sup>)

Öncelikle Kazancı-Gümüşova Yağış-Şiddet - Süre tekerrür analizi diyagramından 10 yıllık tekerrüre ve minimum 10 dakika konsantrasyon zamanına göre yağış şiddet değeri 125 mm/sa olarak alınmış olsun.

C akış katsayısı ise Çizelge 2.4.2 'den yapraklı-dökülen orman arazi kriterine göre 0,55 alınsın.

Buna göre debi:

$$Q = \frac{0.55 \times 125 \times 1}{3,6} = 19,09 \text{ m}^3/\text{sn}' \text{ dir.}$$

Bu aşamada kutu menfezlerde kabarmayı veren nomogram kullanılır.

Yerinde yapılmış olan 2,5 x 3 kutu menfez boyutlarına göre Q/b oranı  $19,09 / 2,5 = 7,64$  'dir.

Buradan 1 m yükseklik için girişte okunan kabarma miktarı H/a değeri, 0,95 ve 3 m yükseklik için bu değer ( $H_w$ ) =  $3 \times 0,95 = 2,85$  m' dir.

Mevcut kritere göre kabarma miktarı ( $H_w$ ) =  $3 \times 0,9 = 2,70$  m olarak çıkar. Önerimizdeki çoğu Avrupa ülkelerinde kullanılan değere göre kabarma miktarı ( $H_w$ ) =  $3 \times 1,2 = 3,6$  m' dir.

0,9 kabarma değerine göre 10 yıl tekerrürle hesaplanmış olan 2,70 değeri, 2.85' den az olduğu için 2,5 x 3 kutu menfez boyutları yetersiz kalmakta ve en az 3 x 3 ebatlarında kutu menfez boyutu (  $H_w=2,4$  m) kullanılma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Oysa 1,2 kabarma değerine göre bulunan 3,6 değeri 2.85' den büyük olduğundan kabarma değerinin 1,2 alınmasında bir sakıncası yoktur. Çünkü 1,2 kabarma değerine göre 25 yıl tekerrürle hesaplanan debideki kabarma miktarı bile 3,03 olarak 3,6'nın altındayken; 0,9'a göre 10 yıl tekerrürle bulunan debideki kabarmayı karşılayacak 2,5 x 3 ebatlarındaki menfez boyutları yetersiz kalmaktadır. Bunun sonucunda 0,9 kabarma değerine göre ek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Yani sonraki yıllarda menfez içinde temizlik ve bakım çalışmalarının rahat sürdürülebilmesi için, yeterli kesitler yerine daha büyük kesitli menfezler yapılarak projedeki ve mühendislikteki, imalatın ekonomik yönü kriteri göz ardı edilmektedir.

Ancak 1,2 kabarma değerine göre daha ekonomik boyutların seçilmesiyle birlikte menfez içindeki su hızının 1m/sn' den küçük, 10 m/sn' den büyük olmaması için gerekli incelemenin de yapılması gerekmektedir. (Menfezlerin Tasarım Metodu)

Bunun için Manning debi formülünü kullanacak olursak ki, Bu bağıntı:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times I^{1/2} \times R^{2/3} \text{ Şeklindedir.}$$

Burada:

Q = debi (m<sup>3</sup>/sn)

I = boyuna eğim (m/m)

R = hidrolik yarıçap (m)

A= kesit alanı ( m<sup>2</sup> )

n = pürüzlülük katsayısı (0.012)

Minimum menfez eğimi sürüntü malzemesinin çökmesini önlemek ve eğimin minimum 1m/sn akım hızını gerçekleştirebilmesini sağlamak amacıyla % 0,4 alınır;

$$Q = \frac{1}{0,012} \times 7,5 \times (0,004)^{1/2} \times \left(\frac{7,5}{8,5}\right)^{2/3} = 36,36 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$V = \frac{36,36}{7,5} = 4,85 \text{ m/sn' dir.}$$

1 < 4,85 < 10 olduğundan 2,5 x 3 kutu menfez boyutları için hız sınırları da sağlanmış olur. Dolayısıyla 2,5 x 3 boyutundaki kutu menfezler için 1,2 kabarma değeri gerek nomogram değerleri ve gerekse hız sınırları değerlerini sağlamakta olup, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün de diğer ülkelerdeki gibi bu değeri kullanmasında hiçbir sakınca yoktur ve belirgin bir risk de bulunmamaktadır.

Sonuç olarak şunlar sıralanabilir:

1. Menfez çevresinde yapılacak taş pere koruması ile, kabarma yüksekliğinin menfez yüksekliğini ileriki yıllarda (10 yıldan fazla) geçme olasılığına karşın sağlıklı bir şekilde drene edilebilmektedir.

2. Menfezde daha düşük süreli (2 ve 5 yıl gibi) tekerrür debileri için daha yüksek temizleme hızları elde edilmektedir.
3. Aynı debi daha düşük menfez boyutlarında verildiğinden maliyet açısından ekonomi sağlanmaktadır.
4. Gereken yerlerde taş pere korumasından önce düşü, havuzu şeklinde rüsubat tutucu yapılar da yapılabilir.
5. Menfez girişlerinde suyun 1,2 olarak kabarma oranına karşılık düşük menfez maliyeti ve daha az risk avantajı ortaya çıkmaktadır.
6. 1,2 kabarma için menfez içindeki su hızından çok çevresinde pereli koruma ve rüsubat tutucu havuzlar düşünülerek menfez boyutlarından kazanılabilir.
7. Otoyollarda genellikle menfez üzerinde 2 metre dolgu yüksekliği vardır. 0,75 metre kaplama yüksekliği de düşünüldüğünde minimum 1,5 x 2 menfezde bile 1,2 kabarma oranına göre su 2,4 metrede hareket edeceğinden en kötü durumda dahi güvenli kabarma yüksekliği sağlanmış olur. Bu önerinin geçerliliği arazinin topografyasına ve menfezin dolguda yer almasına bağlıdır.
8. Düz alanlarda dolgular yüksek tutulmalı, mevcut dere yataklarına kadar hendekler yapılmalı, göllenme olmaması için yeraltı drenajı sağlam yapılmalı ve kabarma yüksekliği kontrol edilmelidir. Göllenmeye karşı eğime göre kabarma oranı 0,9'dan da düşük tutulmalıdır. Ayrıca sürüntü maddelerinin engellenmesi için çeşitli koruma tedbirleri alınmalıdır.

Çizelge 2.4.7 Farklı tekerrür aralıkları için taşkın riski yüzdeleri

Proje Ömrü	Tekerrür Aralığı ( Yıl)								
	5	10	20	30	50	100	200	500	1000
1	20	10	5	3	2	1	-	-	-
2	36	19	10	7	4	2	1	-	-
3	49	27	14	10	6	3	1	-	-
5	67	41	23	16	10	5	2	1	-
7	79	52	30	21	13	7	3	1	1
10	89	65	40	29	18	10	5	2	1
15	96	79	54	40	26	14	7	3	1
20	99	88	64	49	33	18	10	4	2
30	-	96	78	64	45	26	14	6	3
50	-	99	92	82	64	39	22	9	5
75	-	-	98	92	78	53	31	14	7
100	-	-	99	97	87	63	39	18	10
150	-	-	-	99	95	78	51	26	14
200	-	-	-	-	98	87	63	33	18
300	-	-	-	-	-	95	78	45	26
500	-	-	-	-	-	99	92	63	39
1000	-	-	-	-	-	-	99	86	63

#### 2.4.7.10 Menfez Çıkış Yapıları

Bütün önüne drenaj yapılarının, menfez çıkış hızlarını azaltmak veya menfez ağzındaki akımın oyma ve erozyon potansiyeline karşı koymak için, doğal yatağa kadar uygun çıkış yapıları ile donatılması gerekir.

Menfez çıkış yapısının iki türlü fonksiyonu vardır; birincisi bir enerji kırıcı olarak hizmet görmesi, ikincisi ise; menfez çıkışındaki hidrolik koşullardan doğal yataktaki hidrolik koşullara uygun geçişi sağlaması.

Üç temel menfez çıkış yapısı önerilir. Tipler, menfez çıkışındaki hidrolik ve fiziki koşullara göre saptanmıştır. Menfez, akarsu yatağı eğimine göre yapıldığında, menfez çıkış yapısının seçimi, elli yıllık tasarım akış değeri için, verilen froude katsayısı ile saptanır.

$$Fr = 0,38 V_0 / A_e^{0,25} \text{ Boru menfezler için ve}$$

$$Fr = 0,32 V_0 / d_e^{0,50} \text{ Kutu menfezler için burada;}$$

$$V_0 = \text{Çıkış hızı (m/sn)}$$

$$A_e = \text{Etkin çıkış alanı (m}^2\text{)}$$

$$d_e = \text{Etkin çıkış su yüksekliği (m)}$$

Tasarım Froude katsayısı 0,7 den küçük olan menfez çıkış yapıları, oyulmaz, oyulabilir (küçük taşlardan oluşan) veya melez standart kaya anroşmanlı düşüm havuzundan oluşur. Bu düşüm havuzlarının temel öğeleri apron, uç eğimleri, yan eğimleri, düşüm havuzunun kendi eğimleri ve dolgu eğimleridir. Verili çıkış koşulları seti için bu öğelerin boyutları kaya büyüklüğü (dm) 'ye bağlıdır.

Tasarım Froude katsayısı 1,7 'den büyük menfezler için, kısa bir beton apronun altında bir beton düşüm havuzu bulunur. Düşüm havuzu, enerji kırıcı ve yutucu özellikli hidrolik olay olarak bilinen hidrolik sıçramanın oluşmasını ve denetlenmesini sağlayacak bir biçimde oranlanır. Düşüm havuzunun tasarımı, havuz uzunluğunu minimize etmek üzere, şut blokları, enerji kırıcı

bloklar ve düşüm havuzu sonu eşikleri gibi elemanlar içerir. Bu gibi düşüm havuzları için mevcut yapıların uzun yıllar boyu deneyimine ve gözlemlerine göre geliştirilmiş birçok genel tasarım vardır.

Akarsu yatağı eğiminin, önerilen maksimum menfez eğiminden fazla olması durumunda, kot farkından dolayı, menfez çıkışındaki taşkın akımını doğal akarsu yatağına döndürmek için dikkatli bir çalışma yapılması gerekir. Optimum bir çözüm, ya uzatılmış bir apronun altında SAF tipi bir düşüm havuzunda veya doğrudan düşüm savaklı düşüm havuzunda bulunur. İkincisi, 1,0 D veya H'den (sırasıyla D boru çapı, H kutu menfez yüksekliği) az olmayan dik bir düşüm yapan menfez baş duvarlarından ve düşümün yapıldığı dik bir eşik ile alt tarafında yayılmış kanat duvarlarına sahip düşüm havuzundan oluşur. Eşik, tipik olarak, 1,0 m yüksekliğinde olur ve hidrolik sıçramayı teşvik etmek amacı ile yapılmıştır. Havuz, 3–10 D veya H ölçüsünde olacak ve çalıştığı zaman, havuz, düşen suyun etkisini ortadan kaldıran bir tampon görevi görebilmesi için en az eşikin üstüne kadar dolu olacaktır. Bununla birlikte, düşük akım sırasında, havuzun drenajı için gerekli önlem de alınacaktır.

Menfez çıkış ağız yapılarının tam ölçüleri ve düzenlemesi, detay projeleri aşamasında belirlenir. Genel olarak, menfez baş duvarları, otoyol orta çizgisine paralel olarak konumlandırılır.



#### Çizelge 2.4.8. Menfez Çıkışlarında Korukta Önlemleri Seçimi

Zemin Cinsi	Menfezdeki Su Hızı (m/sn)			
	V<1	KV<2.5	2.5<V<6	6<V<10
Kohezyonsuz Zeminler	-	Taş Pere	Taş Pere	Enerji Kırıcı
Kohezyonlu Zeminler	-	-	Taş Pere	Enerji Kırıcı
Yumuşak Kaya	-	-	-	Enerji Kırıcı
Sert Kaya	-	-	-	-

Düşümlü yapılar:

Menfezlerin giriş başlarında beton kuyular, menholler yapılır. Bunlar iki maksatla kullanılır:

1. Menfez eğimini azaltarak akımın çıkıştaki hızını kabul edilen sınırlar içinde tutmak gerekir. Bu yapıların derinliği 3.66 metreden çok olmamalıdır. Diğer metotlarla karşılaştırıldığında bu yolun ekonomik olduğu tespit edilmiştir.
2. Menba tarafındaki arazi sahipleri tarafından teklif edilen drenaj sisteminin seviyesi ile menfez su seviyesini bağdaştırmak gerekir. Bu kuyular etrafına korkuluk olarak parmaklık yapılması bazı kazaları önler.

#### 2.4.7.11 Baş ve Kanat Duvarları

Menfez baş ve kanat duvarlarına giriş ve çıkışta fiziki, hidrolik ve estetik nedenlerle ihtiyaç duyulmaktadır.

Menfez girişinde:

1. Hidrolik kapasite için
2. Menfez gövdesi dışında yan dolgulara gelen akımı önlemek için
3. Menfez üstündeki dolgu sevi erozyonunu önlemek için

Aşağıdaki durumlarda açılan uçlar ve baş duvarları gerekmez:

1. Düşük hızlı akımlarda giriş korunması gerekmiyorsa
2. Akımın debisi en küçük debinin gerektirdiğinden küçükse

Menfez çıkışında:

Erozyonun etkin olduğu yerlerde çıkışta standart baş duvar ve kanat duvarları dikkatle kullanılmalıdır. Bu duvarlar yapılmazsa akımın çıkışta yapıya ve komşu araziye zarar verip vermeyeceği incelenmelidir. Büyük boyutlardaki menfezlerde baş veya kanat duvarı mutlaka yapılmalıdır.

1. Kanat Duvarları;

Bunlar daha iyi bir görünüş ve emin bir yol kenarı ve etkili bir giriş sağladıklarından daha ekonomik oldukları yerde baş duvarlarına üstün tutulmalıdır. 120 cm çaptan daha küçük çaplı büzlerde ya da bunlara denk menfezlerde çıkışta kanat duvarı kullanılsa da olabilir. Şevlerin 2/1 den daha yatık olduğu çıkış yerlerinde kanat duvarları kullanılmalıdır.

## 2. Düz Baş Duvarları;

Bunlar istimlâk sınırının yetersiz olduğu yerlerde imla eteklerinin sınırlardan taşmasını önlemek amacıyla kullanılırlar.

## 3. Izgaralı Giriş Kuyusu;

Bunlar yarmalarda yapılan menfezlerin giriş başına yapılabilir.

## 4. "L" Şeklinde Baş Duvarlar;

Bu şekilde duvarlar menfeze girişte akıma birden bire doğrultu değiştirmek ve akım hızını azaltmak için kullanılır.

### 2.4.7.12 Menfez Tabanları

Menfezlerdeki bütün kötü durumdaki temel tabanları ıslah edilmelidir. Eğer temel alanı değişik taşıma kapasitesine sahipse temel seviyesinin altında uygun bir derinliğe kadar temel kazılır ve kazı seviyesi ile temel arası kum, çakıl gibi zeminlerle sıkıştırılarak doldurulur. Yumuşak ve stabilize olmayan malzemeler ufak parçalar halinde de olsa mutlaka dışarı atılır. Yerlerine kum çakıl doldurulur. Eğer ıslaklık derecesi fazla ise kum, çakıl yerine kırma taş dolgular kullanılmalıdır.

Kayalık yerlerde yerleştirilen bütün menfezlerin altında en az 15 cm tabaka kalınlığında granüler malzemedan yastık bulunmalıdır. Sıkışmış yastık tabakasının kalınlığı menfezin boyutlarına ve üstündeki dolgu yüksekliğine bağlı olarak değişir. Beton büzler için yastık tabakasının kalınlığı

en az 30 cm ya da dolgunun her 30 cm si için 1,25 cm olmalıdır. Bu iki değerden büyük olan alınır. Fakat bu büzün çapının 3/4'ünden büyük olmalıdır.

#### 2.4.7.13 Menfez Etrafının Doldurulması

Menfez etrafının doldurulmasında herhangi bir boşluğun doldurulmasından farklıdır. Kullanılan malzeme, amaca uygun olmalıdır. Kil, kaya kil - silt, bitkisel toprak asla kabul edilmez. Kullanılan malzemeler sıkışabilir olmalıdır. En az boşluk ihtiva etmeli içinde büyük taş parçaları olmamalı, yükü üniform dağıtma özelliğinde olmalıdır. Dolgu sıkıştıktan sonra 15 cm yi geçmeyecek tabakalar halinde yapılmalıdır. Büzlerin diplerine yakın kısımların dolgusuna özel bir önem verilmelidir. Dolgu menfez için açılan yatağın bozulmamış, sağlam tabii kenarlarına veya menfez üzerindeki dolgu yükünün şevlendirilebileceği ve onun kaymasını sağlayacak bir uzaklığa kadar yapılmalıdır.

Dolgu altındaki menfezler asıl yol dolgu işinden önce yapılırsa dolgu yapı yanları üzerindeki dolgu ile birleşecek şekilde doldurulmalıdır. Büzün ve menfezin iki yanının dolgusu eşit seviyelerde ve dengeli olarak yapılmalıdır. Yapı üzerinde en az 30 cm dolgu olmalıdır. Eğer büz ve menfez üzerinde ağır araçlarla taşıma olacaksa bu değer daha da artırılır.

#### 2.4.7.14 Taş Pere Uygulaması

Menfez çıkışında su hızının kohezyonsuz zeminlerde 1 m/sn, kohezyonlu zeminlerde 2,5 m/sn' den büyük olduğu durumlarda dere yatağı taş pere ile kaplanır. Taş pere uygulaması taşların pürüzlülüğü ile su hızını azaltmak suretiyle bir koruma sağlamaktadır. Bu nedenle kullanılacak taşların boyutu önem kazanmaktadır. Taş pere 30–50 cm aralığında boyutları olan taşlar kullanılarak 50 cm kalınlığında oluşturulur.

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

$$F_r = V / (g \times h)^{1/2}$$

Burada:

$$F_r = \text{Froude sayısı} \quad g = \text{Yerçekimi ivmesi (m/sn}^2\text{)}$$

$$V = \text{Su hızı (m/sn)} \quad h = \text{Menfez gövdesi çıkışındaki su derinliği}$$

$$F_r = 1,0 - 1,7 \quad \text{Dalgalı Sıçrama}$$

$$F_r = 1,7 - 2,5 \quad \text{Zayıf Sıçrama ( Sadece Yüzey Türbulansı)}$$

$$F_r = 2,5 - 4,5 \quad \text{Salınımlı Sıçrama;}$$

$$F_r = 4,5 - 9,0 \quad \text{Dengeli Sıçrama}$$

Dere yataklarında yapılacak koruma bu grafikten elde edilen uzunlukta yapılır. Hidrolik sıçrama menfez gövdesi çıkışında başladığından menfezin çıkış apronu korumanın bir parçası olarak düşünülür.

Taş pere uygulanan net uzunluk şekilden bulunan hidrolik sıçrama uzunluğundan menfez çıkış apronu çıkarılarak bulunur. Bu uzunluk 5 metrenin altında olmaz ve sonunda 1 metre derinlikte ve 50 cm genişliğinde parafuy duvarı yapılır.

#### 2.4.7.15 Enerji Kırıcılı Koruma

Menfez çıkışında su hızının 6 m/sn' yi aştığı yerlerde sert kaya dışındaki zeminlerde enerji kırıcı havuz yapılır. Oluşturulan basamaklarla menfez içersinde hızı artmış olan suyun enerjisi kırılarak tabii dere yatağında oyulmaya neden olmayan bir hızda verilmesi sağlanır.

Enerji kırıcı, havuzların boyu menfez çıkışındaki hidrolik sıçramaya bağlı olarak edilir. Enerji kırıcı havuz çıkışlarında hidrolik sıçrama oluşacağından 5 metre boyunda taş pere kaplaması yapılır.

#### 2.4.7.16 Menfez Çıkışında Hız Azaltma Yöntemleri

Menfezlerin çıkışında çok karşılaşılan sorunlardan birisi erozyondur. Çıkış hızının erozyona yol açacak biçimde yüksek olması durumunda çıkışta hız kırıcılar ya da durgunlaştırma kuyuları, havuzları kullanılır. Hız kırıcılar menfez çıkış duvarları bölgesinde çarpma levhaları, durgunlaştırma havuzları ise çıkış duvarlarının akıntı yönüne doğru belirli bir yükseklikte kalması ve bu uçlar arasına bir eşik, bir yükselti konmasından ibarettir. Hızın azaltılma yöntemlerinden biri de akımın girişinde düşümler yapmaktır. Düşümler giriş

başlarında yapılan beton kuyular, menholler gibi yapılar olabilir. Bunlar şu amaçları sağlayabilirler:

a. Menfez eğimini azaltarak akımın çıkıştaki hızını kabul edilen sınırlar içinde tutmak.

b. Kaynak yönündeki arazi sahiplerince önerilen drenaj sisteminin düzeyi ile menfez su düzeyini bağdaştırmak.

Hızın başka bir azaltılma yöntem ise türlü eğimlerde bölümleri içeren menfez tipleri yapmaktır. Bunlara kırık profilli menfez diyebiliriz. Çoğu kez menfezin giriş ve çıkış noktaları arasında doğal arazide büyük kot farkı olur. Bu fark nedeni ile menfezde hız kabul edilemeyecek değere çıkabilir. Bu durumda kırık profilli menfezler kullanılabilir. Bu menfezler içindeki akımda yüzeysel hidrolik sıçrama olayı olur ve çıkış hızı düşer. Hidrolik sıçrama bir hız kırıcı rolü oynar. Fakat hidrolik sıçrama şu hususları gerektirir:

a. Yeterli doğal su giriş yüksekliği; Ancak birçok durumda ana yatak çok dik olduğu için giriş su yüksekliği çok olmaz. Böyle yerlerde derinlik azdır.

b. Yeterli Bir Sürtünme; Eğer menfez yüzeyi çok pürüzlü ise ya da çıkış kesimindeki düz bölümün boyu uzun ise bu olanaklıdır. Normal eğimli menfezlerde yukarıdaki durumlar bulunmaz. Bunun sonucu olarak hidrolik sıçramayı ve hız kırılmasını sağlamak için özel önlemler alınır.

Hidrolik sıçrama süper kritik akım koşullarındaki bir akımdan alt kritik akım koşullarına geçilmesi durumunda olur. Başka bir deyimle kritik derinlikten az bir derinlikte ve kritik hızdan yüksek bir hız ile akan bir akım hidrolik sıçramadan sonra kritik derinlikten derin ve kritik hızdan az bir hızda

akar. Kırık eğimli menfezlerin projelendirilmesi pek zor değildir. Fakat hızın çıkışla azalması amacının gerçekleşmesi için belirli koşullar oluşturulmalıdır.

#### 2.4.7.17 Yüksek Çıkış Hızı Halinde Koruma Önlemleri

Menfezden su çıkışında hızın alınan önlemler ile azaltılması olanaksız ya da çok pahalı ise menfez çıkış bölümünde yüksek hızın erozyonuna karşı daha ucuz bir önlem aranır. Aslında bu her şeyden önce düşünülen çıkışta suyolu tabanını kaplama yöntemidir. Bu kaplama beton ya da taş bir kaplama olabilir. Uç kesiminde de zemin içinde "Parafuy" denilen yeterli derinlikte bir beton ya da kâgir duvar yapılır.

- Menfezler İçin Çeşitli Zeminlerde Erozyon Bakımından Müsaade Edilecek Maksimum Hızlar;

Erozyon bakımından müsaade edilen maksimum hızlar:

Alüviyonlu bölgelerde 2,44 m/sn.

Kayalık bölgelerde ise 3,66 m/sn' dir.



#### Çizelge 2.4.9. Çeşitli zeminlerde oyulmanın başladığı hızlar

Zemin Cinsi	Oyulma Hızları Sınırları M/san	Ortalama
Kumlu Şilt	0.36-0.75	0.54
Siltli Kil	0.57- 1.08	0.75
Kum	En çok 0.60	
Yumuşak Şilt	0.75- 1.99	0.84
Kil Çakıl	1.20-9.50	1.35
Kil	0.75-1.68	1.23
Yumuşak kum taşı	1.29-2.46	1.65
Sert kaya ya da beton kaplama	3.00-4.50	3.7

#### 2.4.7.18 Menfezlerde Sürüklenme Maddesi Girişinin Kontrolü

Menfezlerde hızın erozyona neden olacak kadar yüksek olması istenmediği gibi, çökelmelere yol açacak derecede düşük olması da istenmez. Uygun görülen hız, erozyona da çökelmeye de neden olmayan hızdır. Menfezlerin yapımı ile suyolunda çökelmeler artmamalıdır. Bu sağlansa bile erozyonun doğal bir sonucu olarak bir takım sürüklenme maddeleri su yatakları boyunca sürüklenirler ve sürükleyici güçlerin azalışına göre yatak tabanı ve kıyılarında çöklerler. Böylece sürüklenme maddelerinin çarpmasına dayanıklı tabiyeli menfez ya da kemer menfez kullanılır.

Sürüklenme maddesinin önlenmediği yerlerdeki menfezlerde bu durum göz önünde tutulmalıdır. Menfez kesitli akımı ve sürüklenme maddelerini geçirmelidir. Çok sürüklenici madde olması durumunda 0.80 cm'lik ya da daha küçük çapta büzler kullanılmamalıdır. Kesitin küçüklüğü nedeniyle bunların temizlenmesi güç olur. Öte yandan şunu da söyleyebiliriz

ki menfezlere büyük debuşe verilmesi, sürüklenme maddelerinin menfeze gelmeden önce tutulmasına yarayan yapılar yapılmasından daha pahalı olabilir.

Ancak böyle yapıların tuttuğu sürüklenici maddelerin dışarı atılması işleri, yani bakım masrafları göz önünde tutulursa bazı durumlarda menfez debuşesini artırmak en ucuz çözüm olabilir.

Menfezlerde giriş ağızları karşısına bazı yapı ve imalat yerleştirilerek sürüklenme maddelerinin menfez içine girmesi önlenir, bu yapı ve imalata "sürüklenme maddesi tutucusu" denir.

Bunları şöyle sıralayabiliriz:

a. Sürüklenme Maddesi Yansıtıcısı;

Planda v şeklinde olan, tepesi akım önünde bulunan bir tutucudur. Demir ya da ahşap çubukların (V) biçimindeki üst ve alt başlıkları arasına düşey parmaklıklar halinde yerleştirilmesi ile elde edilir. V' lerin taban uçları, pekiştirmek için birer yatay çubuk ile birleştirilir.

Bu aslında bir öncekinin aynısıdır. Alt ve üst başlıklar (V) biçiminde değil bir çubuktur. Akım eksenine dik ya da verev konabilir.

b. Sandık Biçimi Sürüklenme Madde Tutucusu;

Bu aralıklı çubuklarla sandık biçiminde imal edilmiş bir tutucudur. Kuyu ağızlı menfezlerde girişte düşey olarak yerleştirilir. Üstü ızgara ile kapanmış olanları daha etkindir.

c. Izgara Biçimli Sürüklenme Madde Tutucusu;

Bu tutucu (C) maddesindekinin hemen hemen aynıdır. Çubuklar daha ince ve sık olur.

d. Havuz ya da Şedde Biçimli Tutucular;

Bunlar menfezin girişinden önce yapılan şeddelerdir.

#### 2.4.7.19 Menfezlerde Temeller

Menfezlerin temel kazıları nitelik ve koşulların saptanması bakımından yakından izlenmelidir. Temel boyunca zeminin uniform bir taşıma gücü olmalıdır. Bu, özellikle uzun kutu ve kemer menfezlerde önemli bir nokta olarak göz önünde tutulmalıdır. Böylece yapı boyunca eşit olmayan oturumlarla karşılaşmaz. Eğer temel alanında değişik taşıma güçleri varsa menfez, hidrolik koşullara sakınca getirmeyen fakat temelde uniform taşıma gücü veren yakın bir yere yapılır.

Taban zemininin taşınma gücü bakımından çok zayıf ya da değişik değerleri içermesi durumunda temel tabanı boydan boya belirli bir derinliğe kadar kazılır. Zayıf zemin atılarak yerine granüler, temiz bir şilte malzemesi doldurulur. Ayrıca taban zeminin nitelik değişikliği gösterdiği yerlerde kesinlikle dilatasyon derzleri yapılmalıdır.

Kutu menfezlerin temelleri "Radyejeneral" gibi çalışır. Bu nedenle temel zemininde büyük bir taşıma gücü gerekmez. Yalnız tabliyeli menfezler ile kemer menfezlerde temeller, münferit temellerdir. Temel

alanları büyük değildir. Zeminden daha yüksek taşıma gücü gerekebilir. Bu bakımdan temel taşıma gücü iyi saptanmalıdır. Yeterli taşıma gücü veren derinliklere inilmelidir gereğinde temeller kazıklar üzerine yapılmalıdır.

Kutu menfezler yüzeysel temelli oldukları için kaynak ve akıntı yönünde oluşacak oyulmalara karşı önceki maddelerde sözü edilen hız kırıcı "oyulma önleyici" önlemler alınmalıdır.

#### 2.4.7.20 Menfez Yan ve Üst Dolguları

Menfezlerin yanlarının ve üstlerinin dolgusu simetrik yükleme sistemi ile inşa olmalıdır. Her iki yan dolguya aynı zamanda başlamalı, herhangi bir anda aynı düzeyde olmalıdır. Özellikle kâgir kemer menfezlerde bunun büyük bir önemi vardır. Bilindiği üzere kâgir çekme gerilmelerine dayanamaz. Eğer kâgir kemerli menfezin yan ve üstü simetrik doldurulmaz ise yükleme durumuna göre oluşan kemer "Basınç çizgisi" kemer kesitlerinin çekirdekleri içinden geçmez, kemerde çekme gerilmeleri oluşur. Bu da çatlamalara yol açar.

Yan dolgu malzemesinin granüler ve kolayca sıkışabilir zemin türlerinden olması tercih edilmelidir. Büzlerde ve menfezlerde yanların ve çevrenin doldurulması yollar fenni şartnamesinin ilkelerine uygun olmalıdır. Doğal zemin içinde sanat yapısı için temel kazarken zemin çeperlerinde kaplama kullanarak kazıyı yürütmek zorunlu olabilir. Ancak yapı bitip bu kaplamalar sokulurken düşey olan temel yan çeperleri yıkılır ve yıkıntı zemini

yanlarında zayıf bir dolgu oluşturur. Aynı zamanda oradaki yerin dar oluşu sıkıştırmayı da güçleştirir.

Bu duruma karşı kaplamaları söküldükçe alttan başlayarak yapı ile çeper arasındaki boşluğa uygun filtre malzemesi konulmalı ve sıkıştırılmalıdır.

#### 2.4.7.21 Menfezlerin Karşılaştırılması

Bir hidrolik yapı olarak akışa yeterli kesitli olan menfez tipleri arasında seçim yaparken aşağıdaki noktalar göz önünde tutulur:

- Kullanılabildikleri dolgu yükseklikleri
- Varolan temel koşullarına uyumları
- Yatağa uyacak biçimde projelendirme olanakları
- Ekonomik bakımından durumları
- İnşaat sürelerinin iş programına uyumları
- Olanaklar karşısında yapılabirlikleri
- Sürüklenme maddelerinin çarpışlarına dirençleri (kutu menfezler bu çarpışlara karşı dayanıksızdır.)

#### 2.4.8 Büyük Sanat Yapıları (Köprüler)

Bunlar tek açıklıklı veya çok açıklıklı köprülerdir. Yağış havzaları büyük olduğundan 100 yıl tekerrürlü taşkın debileri kullanılır. Eğer yağış alanı 100 km<sup>2</sup> 'den büyükse istatistiksel metotla debi hesabı yapılır. Nehir yatağı genişlikleri Lacey's formülü ile hesaplanır ve kısıtlamasız durumlar için Manning formülü ile kontrol edilir. Lacey's formülü şu şekildedir:

$$W = C \times Q^{1/2}$$

W = Doğrusal yatak genişliği (m)

C = Dere yatağı, Alüvyon ve zemin şartlarına bağlı olarak 3,4 – 4,83 arasında değişen katsayı

Q = Debi (m<sup>3</sup>/sn)

Maksimum taşkın kotu menba tarafında yapılan taşkın hesaplarıyla saptanır. Minimum düşey gabari maksimum taşkın kotundan 1,5 m daha yüksekte olur. Genel olarak hidrolik amaçlı köprü açıklıkları akım hızlarını asgariye indirmek üzere projelendirilir. Bu sayede köprü civarında akarsu yatağı ve kanal şevlerinin erozyonu önlenir. Bununla beraber taşkın koşullarında erozyon ve oyulma potansiyeli değerlendirilir ve gerekli koruyucu önlemler alınır. Köprü temellerinin ana akarsu yatağı tabanının ne kadar altında kalacağı her köprü için yapılacak oyulma tahkikinden sonra belirlenir. Oyulma ile stabilite nedeniyle gerekli görüldüğünde şu tedbirler alınır:

- Köprü'nün memba ve mansap tarafında uygun bir uzaklığa kadar nehir ıslahı,

- Nehir yatağında köprünün altından uygun bir uzaklığa kadar memba ve mansap taraflarında büyük taşlarla anroşman yapılması,

Köprü alanında izin verilen maksimum kabarma her köprü için memba tarafındaki taşkın durumuna göre ayrı ayrı belirlenir. Maksimum kabarmanın 0,5 m' de sınırlanması önerilir. Bununla beraber bazı durumlarda memba 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, kazık başları veya yapının su ile temas halindeki herhangi bir kısmı, akarsu akış yönüne paralel olarak konumlandırılır.

#### 2.4.9 Yüzey Suyu Drenaj Kriterleri

- Ülkemizde yüzey suları kil, şilt taşıdığı için, yüzey suları doğrudan yer altı suyu drenaj sistemine veya kollektöre verilmemelidir.
- Yüzey suları orta refuj ve yarma hendeklerinde kanallarda toplanmalı, geometrik, çevresel ve teknik şartların izin verdiği oranda yüzeyden akıtılmalıdır. Söz konusu kanallar akımı kolaylaştırmak ve sızdırmazlığı sağlamak amacıyla gereken yerlerde kaplanabilir Refüjde yapılacak drenaj hendekleri, kaplamalı ve bitki örtülü yapılabilmesi halinde yüzeysel suların yol gövdesine sızması engellenir.

- Kanallarda toplanan sular mümkün olduğu kadar yarmalarda hendekten veya sızdırmaz büzlerden orta refujde öncelikle menfezlerden deşarj edilmelidir.
- Otoyol üzerinde yeterli bir enine eğim sağlanmalı ve bu sayede yüzey suları yolun kenar kanalına akmalıdır. Minimum % 2,5 yatay eğim sağlanmalıdır.
- Kanal boyunca suyun bacalara taşınabilmesi için yeterli boyuna eğim sağlanmalıdır. En az eğim kanal yüzeyindeki malzeme cinsine göre saptanır. Kurblarda suyun göllenmesi ile ilgili muhtemel sorunları ortadan kaldırmak için gerekirse sık aralıklı bacalar yapılmalıdır.
- Hendek ve büzlerdeki yeterli boyuna eğim sistemdeki suyun akış hızının şilt parçacıklarını birlikte taşıyabilmesi ve bunların sistem içinde toplanmasını sağlayacak miktarda olmalıdır.
- Aynı şekilde büzlerin veya hendeğin eğimi sistemdeki akış hızının oyulmaya sebebiyet vereceği kadar yüksek olmamalıdır. Bu kritik eğimler büzlerde ve hendek yüzeyinde kullanılan malzemeye bağlıdır. Yüksek akış hızı olan yerlerde hızı azaltmak için düşü yapıları gibi önlemler alınmalıdır.
- Otoyol drenajına ilaveten yolun dolguda ve yarmada olduğu alanlarda şev tepelerinde su yakalama veya kafa hendekleri açılmalıdır. Bu sayede komşu alanlardan gelerek şev yüzeyinden akan ve şevi bozan yüzey suları önlenir.



- Uzun yarmalarda kanal kesiti artırılarak satıhtan akış sağlanabilir. Çok zorunlu hallerde uzun yarmalarda yan yarma kollektörünün kullanımı gerekebilir. Uzun mesafede suyun taşınması veya kanala fazla miktarda su gelmesi, kollektör veya menfez gibi mevcut deşarj sisteminin olmaması durumunda suyun deşarjı enine geçişlerle sağlanabilir.

- Ancak enine geçişlerin mümkün olduğu kadar az sayıda yapılmasına dikkat edilmeli, enine geçiş tipi, kesiti ve dayanımı hidrolik hesapların yanı sıra dolgu hareketleri ve üst yapıdan gelecek hareketli yüklere göre belirlenmelidir.

- Bu geçişlerde dolgularda doğrudan bir çıkış, yarmalarda hendek altı kollektörüne bağlantı yapılması gerekecektir. Enine geçişlerde uygun kesitli deliksiz esnek boru kullanımı uygun olacaktır.

- Dolgularda kanal genişletmeye gerek kalmadan enine geçişlerle 400 m aralıkla deşarj çoğunlukla mümkün olduğundan yüzey suyu için kollektöre gerek olmaz.

- Gerek yarma ve gerekse orta refüjde kullanılan kanal, otoyol yüzeyine düşen yağış suyu miktarına göre yeterli kapasitede boyutlandırılmalı, gereken yerlerde hem kapasiteyi artırmak hem de yeraltına sızmayı engellemek amacıyla kaplanmalıdır.

## 2.5. Şevlerin ve Şev Üstlerinin Drenajı

Şevlerin ve şev üstlerinin drenaj amacı şevlerin erozyona karşı korunmasıdır. Bunun için kullanılan yapılar yol yatağından, yarma ve dolgu şevlerinden, şevlerdeki basamaklardan toplanıp gelen suları şevlerden aşağı indirip yol dışına boşaltırlar. Bunlar büz, yarım büz, kaplanmış hendek biçiminde olabilirler.

### 2.5.1 Yerlerin Tespiti ve Aralıkların Seçilmesi

Bu tip drenaj yapılarının yerleri ve aralıkları zeminin durumuna, yolun profiline, akımın miktarına göre değişir. Bu yapıların bir su havzasından öbürüne uzatılmasından çekinilmelidir. Bu mümkün değilse drenaj bir tabii su kanalındaki ya da bir kapalı kanaldaki boşaltım noktasına taşınır. Bu drenaj sistemleri bazı yerlerde de kapalı yapılabilir.

### 2.5.2 Kullanılış Yolları ve Tipler

#### 2.5.2.1 Madeni Borular

Madeni borular her şeve uydurulabilir. Bununla beraber daha çok 4:1 ve daha dik eğimdeki şevlerde kullanılmalıdır. Minimum boru çapı 20 cm' dir. Fakat fazla akım ya da uzun parçalar zorunluluğu ile daha büyük çaplar kullanılabilir. Boyda ekonomi ve akıtma kapasitesinde artış sağlamak için giriş ucuna yeterli uzunlukta konik şekilde kılavuz boru konabilir. Bu kılavuz suyu toplayıp akım hızını arttırarak daha küçük çapta büz kullanmaya yardım eder.

### 2.5.2.2 Oluklar

Bunlar dikdörtgen kesitli galvenize maden oluklardır. Girişlerinde suları almak için toplayıcı kılavuz vardır. 2:1 eğimindeki ya da daha yatık şevlere iyi uygulanabilirler. Eğer 1,5:1 eğimindeki şevlerde kullanılırsa 18 metreden fazla uzunlukta olmamaları gerekir. Doğrultu ve eğimde fazla kırıklığa dayanıklı değildirler.

## 2.6. Yol Kaplama Yüzünün Drenajı

Yol standartları yüksek ve trafik emniyetine verilen önemin yüksek olduğu otoyollarda, yol yüzünden suların dışarı atılması çok önemlidir. Kaplama genişlikleri fazla olduğu için drene edilecek su miktarı fazladır. Yatık eğimler, yol yüzünde su akımının hızını düşürür ve olukların kapasiteleri azalır. Kaplama yüzeyinin kurumadaki güçlük ve yol yüzeyini kaplayan sulardan ileri gelen trafik kazaları da artar. Güçlüklerin ve etkili drenaja olan ihtiyaçtan dolayı enine kesit tipleri ve kaplama tipleri için gerekli giriş bacaları yerleştirme, boyutlandırma ve projelendirilmesine özel önem verilmesini gerektirmektedir.

### 2.6.1 Kaplama Boyuna Eğimleri

Yarma ve refüj hendeklerinde yatık eğimler akış güçlükleri doğurur, Tretuvarlı kaplamalarda boyuna eğim, suların yol yüzüne sakıncalı biçimde yayılmasını önlemek üzere en az % 0,5 olmalıdır. Eğer kaplama yüksek standartta ve iyi nitelikte ise drenaj için minimum boyuna eğim % 0,5 olmalıdır. Düşey kurplarda da bazı drenaj problemleri olabilir. Çukur ve

tümsek düşey kurplarda tepe noktasının iki yanında 15 metre içinde eğim en az % 0,35 olmalıdır.

## 2.6.2 Kaplama Enine Eğimleri

Trafik için fazla enine eğim uygun görülmez ve sürücüyü rahatsız edebilir. Drenaj bakımından su toplanmalarını asgariye indirmede gerek az boyuna eğimde gerekse tretuvarlı yollarda yeterli enine eğim olmalıdır. Minimum eğim gerektiği yerlerde kullanılabilir. Fakat enine eğimlerin değişim kesimlerinde yatık boyuna eğimlerin uzunluk ve miktarlarını çok az tutmak için projeler iyi kontrol edilmelidir.

A.A.S.H.T.O.da kaplama tiplerine göre enine eğim sınırları şöyledir:

<u>Yol Kaplaması</u>	<u>Enine Eğim</u>
Yüksek nitelikli	0,010 – 0,020
Orta nitelikli	0,015 – 0,030
Düşük nitelikli	0,020 – 0,040

Bordürlü tretuvarlı satırlarda yukarda ki minimum enine eğimler her bir trafik şeridi sayısı için 0,005 arttırılmalıdır.

Trafik şeridinin su ile kaplı genişliği yağış miktarı, enine eğim, olukların pürüzlülüğü, giriş bacaları ara uzaklıkları ve boyuna eğim ile değişir. Oluk eğimlerinin yeterince dik olduğu kesimlerde daha düşük enine eğimler kullanılabilir.

### 2.6.3 Banketler

Banketler genellikle yol yüzünden suları atmak üzere eğimlendirilir. Eğim kaplama yüzünden suları akıtmaya yetecek kadar olmalıdır. Ancak bu eğimler araçların banketi kullanmaları halinde tehlike doğuracak derecede fazla olmamalıdır. A.A.S.H.T.O. banket enine eğimleri için kaplama kenarının bordürsüz olması halinde 0,03- 0,05 arası değer; kaplama kenarının bordürlü olması halinde 0,02 değerlerini tavsiye etmektedir. Deverli kesimlerde alçak yandaki banket, kaplama yüzü ile aynı ya da daha dik eğimde olmalıdır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Otoyollarda su kontrol altına alınmazsa önemli tehlikeler oluşturur. Yarma ve dolgu Şevlerinde göçmeler - kaymalar, dolguda oturmalar, zeminin taşıma gücü ve kayma mukavemetinin azalması, don kabarması gibi durumlar, suyun etkisiyle olmaktadır.

#### 3.1 Yeraltı Drenajının Yetersizliği Sonucunda Oluşan Zararlar

Yeraltı suyu drenajının yapılmaması veya eksik yapılması halinde Şu sonuçlar ortaya çıkar.

- Zeminin kohezyon mukavemeti azalarak, kayma mukavemeti azalır.
- Boşluk suyu basıncı artarak kayma mukavemeti azalır.
- Zeminin Şev stabilizesi azalır.
- Deprem sırasında zeminin sıvılaŐması artar.
- Zeminde borulanma artarak zemin içindeki erozyon artar.
- Zeminin mukavemeti azalarak kalıcı deformasyonlar artar.
- Zeminin farklı su muhtevası deđiŐmesine uğrayan noktalarında farklı hacim deđiŐmeleri olacağından üstyapının hemen altında her noktada değişik büzölme ve kabarmalar sonucunda değişik gerilme durumu ve taşıma gücü meydana gelir.

- Özellikle rijit üstyapıların yüzeyinde çatlamlar ve bundan doğan batma ve çökmeler oluşur.

- Hacmi su muhtevası ile değişen zeminlerin gereğinden daha kuru bir halde sıkıştırılarak üzerlerine üstyapı konulmuş ise su muhtevası artınca özellikle alt tabakalardan kılcallıkla gelen ya da üst yapı çatlaklarından ve derzlerden, kaplama kenarlarından sızan su ile kabarrır, üst yapıyı ve kaplamayı kabartır. Dolayısıyla su, yeraltı drenaj yapıları ile zeminden uzaklaştırılmalıdır Bunun için aşağıdaki özellikler dikkate alınmalıdır:

- Yüzeysel ve yeraltı drenaj sistemleri birlikte ele alınmalı

- Yeraltı drenaj sistemi zemindeki suyun süzülmesini sağlayabilecek yerde ve uygun kapasitede yapılmalı

- Yeraltı drenaj yapısı için zemindeki suyu dren edebilecek permabiliteye sahip dren malzemesi kullanılmalıdır. Bu nedenle zeminden suyun uzaklaştırabilmesi için;

- Dren edilecek su miktarı ( debi)
- Dren kabiliyeti ( permabilite kriterleri)
- Drenaj yapısı kapasitesi (boyutları)

sağlıklı biçimde belirlenmeli ve buna göre yüzey altı drenaj yapıları tasarlanmalıdır.

### 3.2 Yüzey Suyu Drenajının Eksikliği Sonucunda Oluşan Zararlar

Yolun hizmet ömrü, bakım maliyeti ve trafik güvenliği açılarından yüzey suyu drenajının da önemi fazladır. Bu konudaki yetersizlik telafisi zor ve pahalı sorunlar ortaya çıkarır. Tüm bunların yoğun bir yağıştan sonra, Kazancı-Gümüşova Otoyolu'na gidilerek yerinde yapılan tespit ve gözlemlere göre; ortaya konulması gereken öneriler aşağıda verildiği gibi olmalıdır:

- Bordür hendeklerinde toplanan suyun geçirimsiz kaplamalar üzerinde yapılması gerekir. Aksi takdirde toplanan su, yolun boyuna eğimiyle iletilirken bir kısmı da yol gövdesine sızarak dolgunun stabilitesini olumsuz etkiler.
- Kafa hendekleri de yüzeysel suların zemine sızarak şev stabilitesini bozmaması için kaplamalı yapılır. Kaplamasız hendek yosun ve bitki gibi rüsubatları daha çabuk biriktirerek su akışını önler ve zamanla tıkanarak kullanılmaz hale gelir.
- Tabii dere yatağını eğimi çok fazla ise (minimum %15) suyun çok hızlı akması nedeniyle menfez tabanını aşındırması söz konusudur.
- Buna karşı menfez tabanı mukavemetli yapılmalı ve menba kısmında dere yatağının eğimini dinlendirme havuzu enerji kırıcı vb tedbirlerle suyun akış hızı azaltılmaya çalışılmalıdır. Enerji kırıcılar hendek eğimi % 15 – 25 arasında ise küplü, daha fazlaysa sürekli şekildedir. (Şekil 3.1- 3.2 ) Eğer eğim azaltılmak zorunda kalırsa menfezin mansabında dolgunun erozyona uğramaması için betonarme deşarj kanalları inşa edilmelidir.



- Refüjde yapılan hendekler kaplamalı ve bitki örtülü yapılmadığı takdirde yüzeysel sular yol gövdesine sızar ve dolayısıyla kaplama altındaki zeminin stabilitesi olumsuz etkilenir.

- Menfezler tabii dere yatağı ile aynı düzleme yerleştirilmeli ve mümkün olduğu kadar dere yatağı güzergâhı değiştirilmemelidir. Aksi takdirde oyulmalar, rüsubat birikimi, dolgu gövdesinde su kabarması, vb durumlar oluşabilir. Mutlaka dere yatağı güzergâhı değişimi gerekiyorsa menfez girişindeki kanat duvarları, 200 doz nervürlü betondan yapılmalıdır. Aksi takdirde sel halinde akım bu duvarı aşarak palye hendeklerinin tıkanmasına ve ekili-dikili arazinin zarar görmesine neden olur. ( Şekil 3.3- 3.4 )

- Su hızının 10 m/sn'yi aştığı durumlarda betondaki aşınmalara engel olmak için hız düşürücü önlemler alınır. Suyun hızını kesmek amacıyla menfez girişindeki toplanma havuzu genişletilebilir ve eğim fazla ise su havuza gelmeden hızını kesmek amacıyla hendek yerine kaskat yapısı kullanılır. (Şekil 3.5- 3. 6)

- Kaskat boyutları eğimin durumuna göre çok iyi saptanmalıdır. Yoksa işlevini kaybederek suyu hendek yerine araziye iletir ve derin çukurlar oluşturur. (Şekil 3.7)

- Yarma kafa hendeklerinde enerji kırıcılar, hendek güzergâhının değiştiği kısımlarda yapılmaz. Aksi takdirde su hendeği aşarak yarma şevinde oyulmalara ve hendek altında çukurlara sebebiyet vererek hendeği zamanla kullanılmaz hale getirir.

- Yarma şevinde toprak kayması olan kesimler mutlaka taş dolguyla stabilize edilmelidir. Aksi takdirde kayan yüzey hendekte birikerek tıkanmalara yol açar. (Şekil 3.8- 3.9 )

- Otoyol kıyısında tarla yolları büzlü menfezle geçilmelidir. Böylece havzadaki diğer su tahliyeleri de sağlanmış olur. Sığ dolgularda yapı üzerinde fazla dolgu yüksekliği olmadığı durumlarda yolun kırmızı kot yüksekliğinin geçilmemesi düşünülerek 1x1 kutu menfez yerine 0,8 x 2 büz menfez tercih edilmelidir. Yoksa tek büzle geçiş sağlanır (Şekil 3.10)

- Alt temeldeki sızıntı sularının dren borusuna ulaşamamasından dolayı zamanla yol kaplama yüzeyinde hendek kenarında ve refüje yakın kısımlarda boyuna çatlaklar oluşur. Alt temel yaz mevsiminde, kısa sürede kuru zemin üzerine yerleştirilmeli; dren ve kollektör borularına suyun sağlıklı biçimde ulaşması temin edilmelidir. (Şekil 3.11- 3.12)

- Suyun otoyol altından menfezle karşıya geçişi yapılması durumunda bazen deşarj noktasının yoldan çok uzak olması durumunda aşırı derecede arazi kamulaştırılması gerekir. Bunun yerine daha ekonomik çözüm olarak su otoyol üzerinden akedük yapılarla verilmelidir.

- Bacaların kapasiteleri bir parça çukurlatma ile artırılmalı ve refüjde bacanın mansap kesiminde beton kaplanarak verimi artırılmalıdır. Tıkanmaya karşı ızgaralı yapılarla gerekli tedbirler alınmalıdır. Kapaklı kontrol bacaları ise ilerde temizlik ve bakım işlerinin rahat

yapılabilmesi için kesinlikle su girişine izin verilmeyecek şekilde dizayn edilmelidir. (Şekil 3.13- 3.14)

- Tüm hendeklerden, borulardan, bordür ve düşüm oluklarından ve bacalardan gelen sular genel bir havzada toplanıp açık bir kanalla denize tahliye edilebileceği gibi ilerde olabilecek muhtemel imar yolları düşünülerek menfezle iletimi sağlanır. (Şekil 3.15).



Şekil 3.1: Hendeklerdeki Sürekli Enerji Kırıcılar



Şekil 3.2: Hendeklerdeki Küplü Enerji Kırıcılar



Şekil 3.3: Menfez Girişindeki Kanat Duvarlarının 200 Dozlu Betondan Yapılması



Şekil 3.4: Palye Hendeklerinin Tıkanarak Verimli Arazilerin Zarar Görmesi



Şekil 3.5- 3.6: Menfez Girişindeki Toplanma Havuzlarının Geniş Tutulması





Şekil 3.7: Kaskatlar



Şekil 3.8- 3.9: Beton Hendek ve Şevden Selle Gelen Yüzeyin Tıkanmalara Yol Açması



Şekil 3.10: Menfez Boyutlarını Tasarlarken Yol Kotunun Göz önünde Bulundurulması



Şekil 3.11- 3.12: Boyuna Çatlak Oluşumu ve Tamirinde Faydasız Kalınması



Şekil 3.13- 3.14: Refüjde bacanın mansap kesiminde beton kaplaması ile verimin artırılması ve ileride temizliğinin kolay yapılabilmesi için kapaklı Kontrol bacası tasarımı



Şekil 3.15: Tüm Hendeklerden, Borulardan, Bordür ve Düşüm Oluklarından ve Bacalardan Gelen Suların Bir Yerde Toplanması

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Su muhtevası fazlalığının zemine etkileri iyi incelenmelidir. Bunun için otoyollarda, drenaj çalışması yapılırken yeraltı ve yüzey suyunun yola etkilerinin çok iyi etüt edilmesi gerekir. Su muhtevası fazlalığının zeminin kayma direncinin ve taşıma gücünün düşmesine sebep olduğu, hacim değiştirmeyi kolaylaştırdığı ve don olaylarını kolaylaştırarak zemin stabilitesini düşürdüğü görülmüş olup, drenaj eleman ve sisteminin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Suyun zeminden uzaklaştırılabilmesi için kullanılacak drenaj yöntemleri iyi incelenip, buharlaştırma, konsolidasyon, elektro-osmos ve yerçekimi etkisini yöntemlerinden biri kullanılarak zemine gelen su tahliye edilmelidir.

Yol gövdesi ve çevresinde drenaj yapılması gereken yerler iyi irdelenerek su muhtevası fazlalığının yol gövdesi ve yol üst yapısı altında deformasyonlara ve bozulmalara; yarma şevlerinde, dolgu tabanlarında ve sanat yapılarının temellerinde de denge ve oturma sorunlarına sebep olması engellenmelidir.

Yağışlar sonunda oluşan yüzeysel suların da otoyola zararlı etkileri iyi saptanmalıdır. Bu sulara karşı önlem alınmazsa yarma ve dolgu şevlerinin stabilitesi bozulmakta, kaplama tabakası ve banket deforme olmaktadır.

Yol platformu üzerinde birikebilecek yüzeysel sular taşıt lastiği ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme kuvvetini azalttığından trafik güvenliğini etkileyerek, sonucu üzücü olaylara sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle yüzeysel suların drenajı için gerekli tespitler yapılarak uygun eğimler seçilmeli ve yerinde yapılmalıdır. Otoyollarda drenaj yapılarına karşı yıllık ve aylık periyotlarda bakım ve kontrol servis birimleri oluşturulmalıdır. Özellikle şiddetli yağışlar sonucunda menfez girişinde biriken sürüntü maddeleri tıkanmaya yol açmadan derhal temizlenmelidir.

Ayırma, destek-güçlendirme, filtre ve drenaj gibi özelliklere sahip olan geotekstil malzemesini; projede kullanıma elverişli yerler seçilerek uygulanması sağlanmalıdır.

Otoyol çevresindeki yağış havzasının ağaçlandırılmasında çok büyük fayda vardır. Bu sayede yağışlar sonucunda şev stabilitesinde yola zararlı olacak bozulmalar doğal olarak önlenmiş olur. Ancak her şeye rağmen otoyol kenarında kaplamalı kenar hendekleri yapılmalı, menfezler tekerrür aralığına göre yeterli boyutta ve sıklıkta yerleştirilmeli ve yağışlarla oluşan suların getirdiği sürüntü maddeleri otoyola zarar vermeden toplanıp uzaklaştırılmalıdır.

Ülkemizdeki otoyollarda menfezler, menfez içinde daha hızlı su akımı sağlanması için 0,9 kabarmaya göre boyutlandırılmaktadır. Bunun yerine 1,2 kabarmaya göre boyutlandırma yapıldığında, sürüntü maddeleri için tutucu havuzlar veya menfez girişi çevresinde pereli koruma yapılarak daha küçük yani daha ekonomik kesitler yeterli olabilmektedir. Kazancı-Gümüşova Otoyolu menfez hesabı kriterlerinde; öncelikle kullanacağımız drenaj elemanı



seçimi, daha sonra ekonomikliği ve kullanmaya en elverişli kesit hesabı yapılmasının ne kadar önemli olduğu gösterilmiş oldu.

Otoyollarda projelendirme yapılırken drenaj sistemlerinin ekonomik sebeplerden dolayı tercih edilmemesi, yapılan yolun uzun ömürlü olmasını engeller. Bu nedenle drenaj yapılarıyla yolun korunması hem yolun ömrünü uzatacaktır hem de yolun bakım-onarım masraflarını azaltacaktır. Drenaj yöntemlerine uygun olarak yapılan bir otoyolu projesi uzun yıllar güvenli ve ekonomik hizmet verecektir.

İleride konuyla ilgili yapılacak olan çalışmalarda; yeni drenaj elemanları bulup, drenaj sisteminin gelişmesini sağlayarak hem daha ekonomik hem de daha elverişli yollarla suyu tahliye etmenin yolları bulunmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Chow V.T. Open Channel Hydraulics, Mc Graw Hill, New York, 1959.
2. Department Of Commerce, Breau Of Public Roads, Washington, 1965.
3. SONUÇ, T. Karayolu Tekniği, Cilt 1–2–3, Ankara, 1973.
4. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yol Yapım Notları, Yayın No. 210, Ankara, 1973.
5. CS. Soilhall, H.O. Pearce ,Drainage - Design and Construction, New York, 1974.
6. Ledergen, H.R, Drainage of Highway and Airfield Pavements, John Willey & Sons, New York, 1974.
7. Çağlarer, B, Yer Üstü Sularının Drenajı, Karayolları Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara, 1975.
8. Bayındırlık Bakanlığı, Yol Yapım Notları, Ankara, 1977.
9. Çağlarer, B. Yollarda Yeraltı Suyu Drenajı, Karayolları Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara, 1979.
10. Karayolları Genel Müdürlüğü, Hidrolik Sanat Yapıları Kurs Notları, Ankara, 1983.
11. Önalp, A. , İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, Özkan Ofset Matbaacılık, Trabzon, 1983.

12. Üçüncü, O. , Şev Eğimi Duyarlılığı ve Toprak Koruması, Ankara, 1984.
13. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yol Standartlarında Yapılan Değişiklikler İç Genelge, Ankara, 1989.
14. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yollar Fenni Şartnamesi, Ankara, 1989.
15. Çağdaş F. Yeraltı Suyu ve Heyelanlarda Drenaj Projelendirme Esasları, 1990.
16. Wasti, Y. Geotekstillerin Kullanım ve Seçim Esasları, Vateks A. Ş. Teknik Yayınları, Ankara, 1991.
17. Sezginer, Y. , Yol Gerecinde Drenaj, Otoyollarda Geoteknik Problemler ve Çözümleri Teknik Toplantısı, Ankara, 1991.
18. Özdirim. M, Trafik Mühendisliği I,II Ankara, 1994.
19. Umar, F. , Yayla N. , Yol İnşaatı, İTÜ, İstanbul, 1994.
20. Karayolları Genel Müdürlüğü, Drenaj Kriterleri Raporu, Ankara, 1996.
21. Yüksel Domaniç Müh.Ltd.Şti.-Eser Müşavirlik Müh.A.Ş.Ort. İstanbul, Bursa, Balıkesir, İzmir Otoyolu Kriter Raporları, 1998.
22. L. Wolley, ed, Phil Stronach, Drainage Details, New York, 1998.
23. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayollarında Yeraltı Suyu Drenaj Borusu Şartnamesi, 1998.
24. Argun, T. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Ankara, 2001.