

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI MADDE TAŞINIMI VE DİNAMİK YÜKLERİN
ETKİSİ ALTINDA KÖPRÜ AYAKLARININ,
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şükrüye ZENGİN

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL

Temmuz 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATI MADDE TAŞINIMI VE DİNAMİK YÜKLERİN
ETKİSİ ALTINDA KÖPRÜ AYAKLARININ,
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şükrüye ZENGİN

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 15 / 06 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
Jüri Başkanı


Doc. Dr. İbrahim YÜKSEL
Üye


Yard. Doc. Dr. Mehmet SANDALCI
Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her safhasında değerli bilgilerinden yararlandığım, yakın ilgi ve alakasını esirgemeyen saygı değer hocam Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL' e teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmamda örnek olarak kullandığım Lala Deresi Köprüsü ile ilgili yapmış olduğum çalışmalarımda bana yardımcı olan, DSI 11. Bölge Müdürü Sadettin MALKARALI ve Kalite Yönetim Birimi Başmühendisi, Mehmet S.KORKMAZ' a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yardım ve destekleri ile her zaman yanımda olan ablalarım, Ayşe ve Aslı ZENGİN' e; çalışmamda beni teşvik eden ablam, Hatice ZENGİN' e teşekkür ederim. Maddi ve manevi destekleri ile beni her zaman destekleyen sevgili ağabeylerim, Murat ve Yavuz ZENGİN' e, sevgili anneme ve tüm aileme bana gösterdikleri sevgi ve anlayış için teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca anlayışı ve desteği ile her zaman yanımda olan nişanlım Mehmet BAKAR' a teşekkür erdim.

Bu çalışmamı eğitimime devam etmem konusunda beni yüreklendiren ve bana her zaman güvenen sevgili babam Salih ZENGİN' e ithaf ediyorum...

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| TEŞEKKÜR..... | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | viii |
| TABLolar LİSTESİ..... | x |
| ÖZET..... | xi |
| SUMMARY..... | xii |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM 2. | |
| KÖPRÜ AYAKLARININ AKIM ALANINA ETKİSİ | |
| 2.1.Giriş..... | 4 |
| 2.2.Köprü Ayağının Hız Dağılımına Etkisi | 5 |
| 2.3.Köprü Ayağının Basınç Dağılımına Etkisi..... | 6 |
| 2.4.Sınır Tabakasının Oluşumu Ve Sınır tabakasından Ayrılmalar | 10 |
| 2.5.Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler..... | 11 |
| 2.5.1.Sürüklenen vorteks sistemler..... | 12 |
| 2.5.2.Atnalı vorteks sistemler..... | 13 |
| 2.5.3.Art-iz vorteks sistem..... | 14 |
| BÖLÜM 3. | |
| KATI MADDE HAREKETİ VE KÖPRÜ AYAKLARININ KATI MADDE HAREKETİNE ETKİSİ | |
| 3.1. Katı Madde Hareketi..... | 16 |
| 3.1.1.Taban hareketinin başlaması | 17 |
| 3.1.2.Kritik kayma gerilmesi | 18 |

| | |
|---|----|
| 3.1.2.1.Kritik hız | 21 |
| 3.2. Taban Şekillerinin Oluşumu | 22 |
| 3.3. Katı Madde Taşınımında Denge Ve Dengenin Bozulması | 24 |
| BÖLÜM 4. | |
| KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDAKİ OYULMALARA ETKİ EDEN PARAMETRELER | |
| 4.1. Giriş..... | 34 |
| 4.2. Akım Özelliklerinin Oyulmaya Etkisi..... | 34 |
| 4.2.1.Akarsu derinliğinin oyulmaya etkisi..... | 34 |
| 4.2.2.Akım hızının oyulmaya etkisi..... | 36 |
| 4.3. Taban Malzeme Özelliklerinin Oyulmaya Etkisi..... | 37 |
| 4.4. Ayak Karakteristiklerinin Oyulmaya Etkisi | 38 |
| 4.4.1.Ayak şeklinin oyulmaya etkisi | 41 |
| 4.4.2.Akıma dik ayak genişliğinin oyulmaya etkisi | 42 |
| 4.4.3.Atak açısının oyulmaya etkisi..... | 43 |
| 4.5. Re ve Fr sayılarının oyulmaya etkisi | 43 |
| BÖLÜM 5. | |
| KÖPRÜ AYAKLARI İÇİN OYULMA BAĞINTILARI | |
| 5.1. Giriş..... | 45 |
| 5.2. Orta Ayaklar Etrafındaki Oyulma Bağlılıları..... | 47 |
| 5.3. Kenar Ayaklar Etrafındaki Oyulma Bağlılıları..... | 49 |
| 5.3.1. kenar ayak oyulmalarında taşkın yatağının etkisi..... | 51 |
| 5.3.2.ayak temel geometrisinin oyulmaya etkisi | 53 |
| 5.4. Ayaklar Etrafındaki Oyulma Bağlılılarının Geçerlilik Sınırları | 58 |
| BÖLÜM 6. | |
| LALA DERE KÖPRÜSÜ ÜZERİNE YAPILAN İNCELEME, SONUÇLAR VE ÖNERİLER | |
| KAYNAKLAR..... | 73 |
| EK-1..... | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 83 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---------------|--|
| Re_D | :Atak Reynolds sayısı |
| δ/D | :Yatak sınır tabakası kalınlığının ayak çapına oranı |
| 1 | :Kanal üst yolu |
| 2 | :Çekilmiş bölge |
| A | :Çevrinti çekirdeğinin alanı |
| a | :Kare kesitli köprü ayağının kesiti |
| A_0 | : $t=0$ anında ilk çevrintinin kesit alanı |
| A_{st} | : t anında oyulma çukurunun çapı |
| A_t | : t anında tekil çevrintinin çapı |
| b | :Ayak genişliği |
| b_t | :Ayaklar arası izdüşüm genişliği |
| C | :Deneylelerden elde edilen sabit |
| C_0 | :Çevrintinin şiddeti |
| D^* | :Üniform olmayan ayakta etkili ayak çapı |
| D | :Dairesel kesitli köprü ayağının çapı |
| d | :Kıyı boyunca ayağın akım tersi köşesinden olan proje uzaklığı |
| d_{50} | :Malzeme parçacıklarının çapı |
| d_0 | :Yaklaşan akım derinliği |
| d_s | :Yerel oyulma derinliği |
| d_{se} | :Genel oyulma derinliği |
| $d_{se\ max}$ | :Maksimum denge oyulma derinliği |
| d_{st} | :Oyulma derinliği |
| D_v | :İlk çevrintinin çapı |
| e' | :Zırh bölgesinin porozitesi |
| e | :Alt yüzey yatak malzemesinin porozitesi |
| F | :Froude sayısı |

| | |
|---------------|--|
| F_D | :Sedimenti dışarıya çıkan ajitasyon kuvveti |
| F_{di} | :Başlangıç Froude sayısı |
| F_R | :Ajitasyon kuvvetine karşı oluşan direnç kuvveti |
| F_r | :Yaklaşım kesitindeki Froude sayısı |
| F_{re} | :Froude sayısının kritik değeri |
| g' | :Azaltılmış yerçekimi ivmesi |
| g | :Yerçekimi ivmesi |
| h | :Akım derinliği |
| H | :Akıntının ters yönünde akıntı derinliği |
| h_1 | :Ayak yüksekliği |
| H_{do} | : $\alpha = 0^0$ için oyulma derinliği |
| $H_{d\alpha}$ | : α atak açısındaki oyulma derinliği |
| H_e | :Üniform D çaplı ayakta yatak seviyesi üzerinde etkili yükseklik |
| k_1 | :Yatak maddesi ve taşınmasına bağlı üslü değer |
| K_{1-4} | :Yatak formu, malzeme çekilmesi, akıntı yapısı için düzeltme faktörü |
| K_3 | :Yatak hareketleriyle ilgili bir faktör |
| K_{a1} | :Ayak temeli şekil sabiti |
| K_{a2} | :Ayak temeli eğrilik sabiti |
| K_b | :Yatak durumu faktörü |
| K_d | :Tane büyüklüğü için düzeltme faktörü |
| K_j | : U/U_c etkilerini bize gösteren eğrilere bağlı faktör |
| K_l | :Akım şiddeti düzeltme faktörü |
| K_s | :Ayak şekli faktörü |
| k_s | :Eşdeğer kum pürüzlüğü |
| K_Y | : Y/D etkilerini bize gösteren eğrilere bağlı faktör |
| K_{yb} | :Akım derinliği ve ayak çapına göre düzeltme faktörü |
| K_α | :Yaklaşım açısı |
| K_σ | :Gradasyon etkisi düzeltme kat sayısı |
| L ve b | :Dikdörtgen kesitli ayağın köşe uzunlukları |
| L | :İki komşu taş arası mesafe |
| L_b | :Ayak boyu |
| m | :Verilere bağlı sabit |

| | |
|------------|---|
| n | :Manning pürüzlülük kat sayısı |
| N_s | :Tane sayısı |
| P_a | :En küçük taşınamayan parçacığa göre yüzey altı yatak malzemesinin ondalık freksyonu |
| Q | :Akım yüzdesi |
| Q_1 | :Mamba toplam debisi |
| Q_2 | :Daralan kesitteki debi |
| q_{vt} | :Birim genişlikteki oyulma çukuru hacmi |
| r | :Radyal kordinat |
| r_1 | :Silindirik ayağın yarıçapı |
| r_0 | :Çevrintinin çapı |
| S | :Hidrolik sabit |
| $s_ç$ | :Kontrol hacminden çıkan sürüntü yükü |
| s_g | :Kontrol hacmine giren sürüntü yükü |
| S_h | :Strouhal sayısı |
| S_0 | :Uzun ayaklar için oyulma derinliği |
| s_t | :t zamanında boyutsuz bölgesel kuvvet |
| t | :zaman |
| t_R | :Referans zamanı |
| u^* | :Kayma hızı |
| u_c^* | :Kritik hareketlilikteki hız |
| u_t^* | :Ayak burun kısmında yatak kesme hızı |
| U | :Akım hızı |
| $u_{0.6D}$ | :Taban seviyesindeki ortalama akım hızı |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.1. | Engel Etrafındaki Akım Değişimi | 5 |
| Şekil 2.2. | Silindirik Koordinat Sisteminde Ayak Etrafındaki Hız Bileşenleri ve Durgunluk Eksenleri | 6 |
| Şekil 2.3. | Köprü Ayağı Etrafında Akımın Ayrılması ve Basınç Gradyanı Değişimi | 8 |
| Şekil 2.4. | C_p Basınç Katsayısının Dağılımı | 9 |
| Şekil 2.5. | Sınır Tabaka Bölgeleri ve Hız Dağılımları..... | 10 |
| Şekil 2.6. | Engel Boyunca Hız Dağılımı ve Sınır Tabakasının Ayrılması..... | 10 |
| Şekil 2.7. | Bir Köprü Ayağı Etrafındaki Çevrintiler ve Oyulma Çukuru | 11 |
| Şekil 2.8. | Sürüklenen Vorteks Sistem | 12 |
| Şekil 2.9. | Atnalı vorteks sistem | 14 |
| Şekil 2.10. | Dikdörtgen Kenar Ayak Civarında Meydana Gelen Vorteks Yapı | 15 |
| Şekil 3.1. | Tabandaki Bir Daneye Etki Eden Kuvvetlerin Gösterimi | 17 |
| Şekil 3.2. | Kritik Kayma Gerilmesini Veren Shields Eğrisi | 19 |
| Şekil 3.3. | Shields Eğrisinin Belli Bir Tanenin Kritik Kayma Gerilmesini Doğrudan Doğruya Bulmak İçin Kullanılabilen Şekli | 20 |
| Şekil 3.4. | Bonefille'nin Hazırladığı Diyagram | 20 |
| Şekil 3.5. | Taban Şekilleri | 23 |
| Şekil 3.6. | Ayak Önünde Başlangıç Vorteksinin Oluşumu | 25 |
| Şekil 3.7. | Oyulma Derinliğinin Zamanla Değişimi | 26 |
| Şekil 3.8. | Stouhal Sayısı İle Daire Kesitli Ayaklar İçin Reynolds Sayısı Değişimi | 27 |
| Şekil 3.9. | Maksimum Oyulma Derinliğinin U / U_{cr} İle Değişimi | 31 |
| Şekil 3.10. | Rölatif Oyulma Derinliğinin Çevrinti Yayılma Frekansı İle Değişimi. | 32 |
| Şekil 4.1. | Görelî Oyulma Derinliğinin Görelî Akım Derinliğiyle Değişimi | 35 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 4.2. | Kayma Hızının Veya Yaklaşım Hızının Fonksiyonu Olarak, Yerel Oyulma Derinliğinin Değişimi | 36 |
| Şekil 4.3. | Çeşitli Ayak Formları | 39 |
| Şekil 4.4. | Ayak Uzunluğunun Oyulmaya Etkisi | 40 |
| Şekil 4.5. | Farklı Atak Açılarının Oyulmaya Etkisi | 42 |
| Şekil 4.6. | (A)Atak Açılılarıyla K_α Katsayısının Değişimi | 43 |
| Şekil 4.7. | Oyulmanın F_r Sayısı İle Değişimi | 44 |
| Şekil 5.1. | Kenar ayak etrafındaki çevrıntiler ve oyulma çukuru | 49 |
| Şekil 5.2. | Yaklaşım dolgusunun akımla açığı yapması hali | 51 |
| Şekil 5.3. | Yaklaşım dolgusunun hız dağılımına etki | 52 |
| Şekil 5.4. | Yaklaşım dolgusu uzunluğu (Richardson ve Davis, 2001) | 52 |
| Şekil 5.5. | Kenar ayakların akım alanındaki olası konumları | 53 |
| Şekil 5.6. | Ayak temel şekilleri ve olası konumları (Melville ve Coleman,2000) | 54 |
| Şekil 5.7. | K_{hp} kat sayısının h_1/b ile değişimi | 55 |
| Şekil 5.8. | Eşdeğer kazık başlığı genişliğinin bulunması | 57 |
| Şekil 5.9. | Sömeli seviyesindeki ortalama hız | 57 |
| Şekil 5.10. | Orta ayak oyulma bağıntılarının $F_r = 0,3$ karşılaştırılması | 59 |
| Şekil 5.11. | Orta ayak oyulma bağıntılarının $F_r = 0,5$ karşılaştırılması | 60 |
| Şekil 5.12. | Kenar ayak oyulma bağıntılarının $F_r = 0,3$ karşılaştırılması | 60 |
| Şekil 6.1. | Müteferrik Batı Karadeniz Suları Havzası | 62 |
| Şekil 6.2. | D.S.İ. detaylı havza haritası, Laladeresi | 63 |
| Şekil 6.3. | Havza eş yükselti eğrileri haritası, yıkılan Laladere köprüsü | 63 |
| Şekil 6.4. | Akım derinliği kesiti, Membada Q500 | 65 |
| Şekil 6.5. | Akım derinliği kesiti, Mansapta Q500 | 66 |
| Şekil 6.6. | Akım derinliği kesiti, Profilde | 66 |
| Şekil 6.7. | Yıkılan Laladere köprü ayakları yerleşimi | 69 |
| Şekil 6.8. | Yıkılan Laladere köprü kesiti | 69 |
| Şekil 6.9. | Yeni yapılan köprü ayakları yerleşimi | 70 |
| Şekil 6.10. | Yeni yapılan Laladere köprü kesiti | 70 |
| Şekil 6.11. | Önerilen Laladere köprüsü ayak kesitleri | 72 |

TABLO LİSTESİ

| | | |
|------------|---|----|
| Tablo 3.1. | Kohezyonlu zeminlerde kritik ortalama hız | 21 |
| Tablo 4.1. | Larras (1963) ve Başak (1977)'in araştırmaları sonucu ortaya çıkan değerler. | 40 |
| Tablo 5.1. | Orta ayak etrafında oyulma bağıntıları | 46 |
| Tablo 5.2. | K_b değeri | 48 |
| Tablo 5.3. | Kenar ayaklar etrafındaki oyulma bağıntıları | 50 |
| Tablo 5.4. | Kenar ayaklar için K_θ kat sayısı | 51 |
| Tablo 6.1. | Taşkın hidroğraf sonuçlarının karşılaştırılması | 64 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Köprü ayakları, yerel oyulmalar,

Köprüler ulaşım ağlarının vazgeçilmez öğelerinden biridir. Köprülerin tasarlanmasında statik ve betonarme hesaplamalar çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bunun en önemli sebebi köprü üzerindeki hidrolik etkilerin incelenmesinin zorluğudur. Köprülerin tasarım aşamasında havzanın hidrolojik etüdü, akarsu bazında ise, akarsuyun doğal katı madde taşıma kapasitesi, mevcut düzenleme yapıları ve morfolojik yapısı incelenmelidir. Bu veriler dâhilinde köprü yapımı için en uygun akarsu kesiti, ayak şekli ve yerleşimi belirlenmelidir.

Bu tez çalışmasında; köprü ayakları etrafında akımdan dolayı meydana gelen yerel oyulmalar ve köprü ayak geometrisinin oyulma olayına etkileri araştırılmış, bu güne kadar yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilen verilerden yararlanılarak köprü ayakları etrafında meydana gelen oyulma miktarı hesap edilmeye çalışılmıştır. Tez altı bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde; hareketli tabana yerleştirilen köprü ayaklarının akım alanına etkileri incelenmiş, akımda meydana gelen değişimle beraber ayak etrafında oluşan yeni sistemler incelenmiştir.

Üçüncü bölümde; hareketli tabana sahip akarsularda katı madde hareketi ve köprü ayaklarının katı madde hareketine etkileri incelenmiş ve bu güne kadar yapılan deneysel çalışmaların karşılaştırılması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, köprü ayakları etrafındaki oyulmalara etki eden parametreler açıklanmaya çalışılmıştır. Beşinci bölümde ise, köprü ayakları etrafındaki oyulma ile ilgili bu güne kadar yapılan deneysel çalışmalara ve bu çalışmalar neticesinde elde edilen ampirik bağıntılara yer verilmiştir.

Altıncı bölümde ise, Edirne havzasında, Lala Deresi üzerinde bulunan ve 8 Eylül 2009' da meydana gelen şiddetli yağışlar sırasında kenar ayağı ve tabliyesi çöken köprü incelenerek, yapılan incelemeler sonucunda köprü için en uygun akarsu kesiti ve ayak tipi önerisi geliştirilmiştir.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM DIMENSIONS FOR THE BRIDGE PIERS UNDER THE EFFECT OF SEDIMENT TRANSPORT AND DYNAMIC LOADS

SUMMARY

Key words: Bridge piers, local hollows

Bridge is one of the essential parts of the transportation network. Static and reinforced concrete calculations in the design of bridges are often insufficient. The most important reason of this is the difficulty of examining the hydraulic effect on the bridges. Hydrological survey of the river-basin, river's natural sediment transport capacity, the existing regulation buildings and morphological structure should be examined during the design phase of the bridge. The most appropriate stream section, pier form and location for the bridge should be determined in accordance with these data.

Under the scope of this thesis, local hollows on the piers of the bridge caused by the stream and the effect of the bridge pier geometry have been studied. The level of the hollow occurred around the bridge piers has been tried to be calculated, based on the academical studies done until today. The thesis consists of six chapters.

In the second chapter, the effect of the bridge piers located on an unstable base on the stream area have been observed, and also the new systems that occur around the piers due to the change at the stream have been examined .

In the third chapter, the solid sediment movements in a river with an unstable base and the influence of the bridge piers on solid sediment movement have been examined. A comparison of the experimental studies made until today has been made.

In the fourth chapter, the parameters that affect the hollows around the bridge piers have been tried to be explained. The fifth chapter includes experimental studies about the hollows around the bridge piers made until today and empirical connections obtained as a result of these studies.

And in the sixth chapter, the bridge over the Lalariver in Edirne river-basin, the apron of which collapsed during the wild rain on 8 September 2009 has been examined. At the end of this analysis, a suggestion for the most appropriate river section and pier type for the bridge has been developed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Oyulma, akarsular ve sel yataklarındaki su akımının sebep olduğu tabii bir aşınmadır. Genellikle akarsu tabanları, aluvyal malzemelerden, bazen de su darbeleriyle parçalanan kaya parçacıklarından oluşur. Tecrübeler, oyulmanın, ilerleyerek akarsu içine yerleştirilen yapının temelini altını oyduğunu göstermiştir. Bu tür yerel oyulmalara, köprü orta ve kenar ayakları ile mahmuz yapılarının bulunduğu kesitler, bağlama etekleri ve çakıl geçitlerinin sonları gibi akımın hızlanıp çevrıntiler oluşturduğu yerlerdeki oyulmalar örnek olarak gösterilebilir, [1]. Nehir tabanları ve kıyıların davranışlarının bilinmesi, su yapılarının yok olmasına sebep olan yerel oyulmaların önlenmesi veya minimuma indirgenmesi, oyulma çukurunun derinliğinin tesbiti ve temelden gelecek tehlikelere karşı yapının korunması projelendirilmede oldukça önemli yer tutar,

Akım içine yerleştirilen köprü ayağı, köprü kenar ayağı ve mahmuzlar gibi yapıların bulunduğu daraltılmış kesitlerde türbülans şiddetinin artması, katı madde taşınımı ve bu ikisinin karşılıklı etkileşimi sonucunda, akarsuyun yerel katı madde taşıma kapasitesi artar, bunun sonucunda da yerel oyulma olayı başlamış olur. Daha sonra oyulma çukurunun geometrisi sürekli olarak değişir. Oyulma çukuruna gelen katı madde miktarı, giden katı madde miktarına eşit olunca dinamik denge oluşur. Bu durumdaki oyulma derinliğine, maksimum denge oyulma derinliği denmektedir, [2].

Köprü ayaklarının projelendirilmesinde yerel oyulmaya etki eden parametrelere, köprü ayağı şekli ve köprü ayağının akarsu üzerindeki yerleşiminin de etkileri ile oyulma derinliğini hesabı daha da güçleşmektedir. Oyulmaya etki eden parametrelerin çok oluşu nedeniyle, hesap edilen oyulma derinliği, gerçekte oluşacak oyulma derinliğinden farklı olacaktır. Problem çözümündeki bu sınırlılıklar sebebi ile teorik çalışmalardan çok deneysel çalışmalar gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Bu sebepten deneysel çalışmalar problem çözümü için kaçınılmazdır.

Akarsu taban malzemesinin granülometrisinin, akım derinliği ve hızının değişmesi ile meydana gelen taban kayma gerilmesinin; kritik taban kayma gerilmesinden büyük veya küçük olmazı durumuna göre, akarsu tabanında oyulma veya dolmalar meydana gelir. Tabanda meydana gelen oyulma ve dolma olayına sadece akarsu üzerine yerleştirilen köprü ayakları sebep olmaz, yapılar olmadan da akarsu taban eğiminin aniden değiştiği yerlerde, taşkın esnasında veya akımın azaldığı durumlarda da oyulma meydana gelebilir.

Oyulma olayım değişik karakterde pek çok parametre etkilemektedir. Bugüne kadar çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen, problemin bu denli karmaşık yapısından dolayı henüz genel bir teoriye ulaşılamamıştır,[3]. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarda birliktelik sağlanamamıştır.

Melville (1992), Briçe et. al. (1978)'in, Amerika'da yaptıkları detaylı bir araştırmada, 1964-1972 yılları arasında bölgesel taşkınlardan dolayı hasar gören köprülerin ve yüksek yolların zararının yaklaşık olay başına 100.10^6 \$ vardığını tesbit ettiklerini, Sutherland (1986)'nın, 1960-1984 arasında Yeni Zelanda'da meydana gelen büyük çaplı köprü yıkılmalarıyla ilgili hazırladığı arşivde, 29 tanesi köprü kenar ayaklarında olmak üzere, 108 yıkılma olayı kaydettiğini,

Kandasamy ve Melville (1989)'ın yaptıkları bir araştırmada, Yeni Zelanda'da tamamen yıkılan 10 adet köprüden 6 tanesine, köprü kenar ayaklarındaki veya yaklaşım sahasındaki oyulmadan dolayı meydana gelen çamur hortumunun sebep olduğunu tesbit ettiklerini,

Macky (1990)'nın yaptığı araştırmada ise, Yeni Zelanda'daki yollarda, oyulmalardan dolayı meydana gelen hasarların onarımı için yapılan harcamalar üzerine bir rapor hazırladığını; bu raporda, toplam harcamanın yaklaşık %50'sinin köprülere bunun da %70'den fazlasının, köprü kenar ayaklarına ve yaklaşım yapılarının a ait olduğunu tesbit ettiğini bildirmektedir.

Bu tesbitler köprü kenar ayakları ve mahmuzlar etrafında meydana gelen yerel oyulma derinliklerinin hesaplanmasının, akarsu üzerine inşa edilmesi planlanan yapıların tasarımı için ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasında; köprü ayakları etrafında akımdan dolayı meydana gelen yerel oyulmalar ve köprü ayak geometrisinin oyulma olayına etkileri araştırılmıştır. Çalışmada bugüne kadar yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilen veriler yardımı ile değişik geometrilere sahip köprü ayakları etrafında meydana gelen oyulma miktarı hesap edilerek, ayak geometrisinin oyulma çukuru üzerindeki etkilerini ortaya koymaya çalışılmıştır

Matematiksel modellemede, Tekirdağ'ın Saray ilçesinde bulunan ve 9 Eylül 2009 tarihinde meydana gelen taşkında yıkılan Lala Dere Köprüsü üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde akarsuyun yapısına en uygun köprü ayak geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada farklı geometrik kesitlere sahip köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulma miktarları hesaplanarak en uygun geometrik kesitin belirlenmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. KÖPRÜ AYAKLARININ AKIM ALANINA ETKİSİ

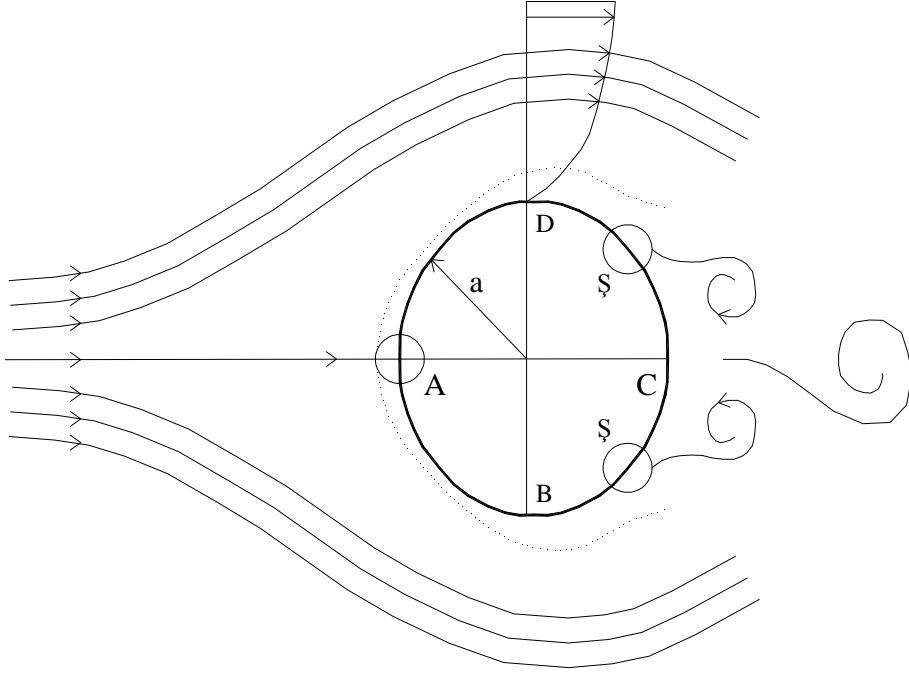
2.1. Giriş

Hareketli tabanlı bir akarsuya yerleştirilen köprü ayakları, akımın özelliklerini ve katı madde taşınımını değiştirir. Köprü ayaklarından dolayı artan akım hızı, akımın katı madde taşıma hızını artırır. Akarsu kesitine gelen malzeme miktarı taşınan malzeme miktarından az olduğu için oyulma olayı başlar.

Akarsu üzerine yerleştirilen köprü ayağı akarsu üzerinde, birbirinden çok farklı ve birbirinin tamamlayıcısı olan olaylar gözlenir. Bu olaylar oluşum sıralarına göre şu şekilde sıralanabilir;

- Ayaktan dolayı akım çizgilerinde meydana gelen sapmalar ve bunun neticesi olarak da, ayak etrafındaki hız ve basınç alanında ki değişiklikler,
- Ayak etrafında sınır tabakasının oluşması ve sınır tabakasından ayrılmalar,
- Sınır tabakasından ayrılmanın sonucu olarak, ayak etrafında çeşitli vorteks sistemlerin oluşması,
- Ayak etrafında oluşan vorteks sistemler etkisi ile tabanda dengede bulunan malzemelerin yerinden sökülmesi ve taşınması,
- Ayak etrafında oyulmanın başlaması ve oyulma çukurunun oluşması.

Akarsu üzerine yerleştirilen bir engelin akım üzerinde çok önemli değişmeler meydana getirdiği bilinmektedir. Bunun nedeni engelden dolayı akım çizgilerinde çevrıntilerin meydana gelmesidir (Şekil 2.1.). Bu çevrıntiler yerel oyulmanın en önemli etkenidirler.

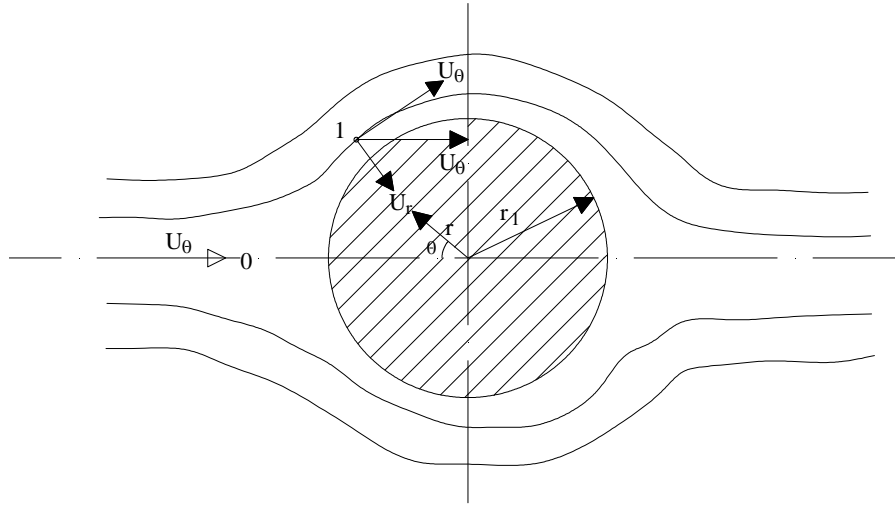


Şekil 2.1. Engel etrafındaki akım değişimi

2.2. Köprü Ayağının Hız Dağılımına Etkisi

Engelin simetri ekseni üzerinde olan sıvı ipçığının, engele yaklaştıkça hızının azaldığı ve nihayet, engelin cidarında sıfır olduğu, yapılan gerek teorik ve gerekse deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. Engel üzerine hızın sıfır olduğu bu noktaya "Durgunluk noktası" denir. Durgunluk noktasının konumu, akım yüksekliği, akım hızı ve engel önünde oluşan kabarma yüksekliğinin bir fonksiyonudur.[5]

Potansiyel akım kabulü ile silindirik koordinatlar da hız dağılımını aşığıdaki şekil üzerinde ifade edilmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2.: Silindirik Koordinat Sisteminde Ayak Etrafındaki Hız Bileşenleri ve Durgunluk Eksenleri

Engel etrafındaki hız dağılımını;

$$U_r = -U_0 \left(1 - \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right) \cos \theta \quad (2.1)$$

$$U_\theta = -U_0 \left(1 + \left(\frac{r_1}{r}\right)^2\right) \sin \theta \quad (2.2)$$

Burada, U_0 , membada daralmamış kesitteki hız, r_1 silindirin yarıçapı, r radyal koordinat, θ açısal koordinatı ifade etmektedir.

Herhangi bir (r, θ) noktasındaki toplam hızı ise;

$$U_1 = \sqrt{U_r^2 + U_\theta^2} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Yukarıdaki şekilde ayak önünde, türbülans çalkantı hızlarının çok büyük boyutlara vardığı, bunun da engel etrafındaki hız dağılımını önemli bir biçimde etkilediği açıkça görülmektedir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, engel boyutu arttığında türbülans çalkantı hızlarının da artmakta olduğunu göstermektedir.

2.3. Köprü Ayağının Basınç Dağılımına Etkisi

Hız alanında meydana gelen değişmelere paralel olarak, basınç alanında da önemli değişimler görülür. Engelden yeter uzaklıktaki bir nokta ile engel üzerindeki bir nokta arasında Denklem (2.1)' de 0 ve 1 numaralı kesitlerde yük kaybı ihmal edilerek enerji denklemi şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{U_0^2}{2g} + z_0 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 \quad (2.4)$$

Burada z_0 ve z_1 sırasıyla 0 ve 1 noktalarındaki taban seviyeleridir. Bu seviyeler arası fark ihmal edilerek denklem yeniden yazılacak olursa;

$$\frac{P_0 - P_1}{\gamma} = \frac{U_0^2 - U_1^2}{2g} \quad (2.5)$$

Denklemini elde edilir. Silindir yüzeyinde $r = r_1$ olduğundan, Denklem (2.1) ve (2.2.)'den $U_r = 0$ ve $U_\theta = 2U_0 \sin \theta$ buna göre $U_1 = U_\theta$ ifadesi gerçekleşmiş olur. Buna göre şu ifade elde edilir. Engel etrafındaki basınç dağılımı ise, akımın sıkışmaz ve viskozitesiz bir potansiyel bir akım olduğu kabulü ile

$$P_1 - P_0 = \frac{\rho U_0^2}{2} (1 - 4 \sin^2 \theta) \quad (2.6)$$

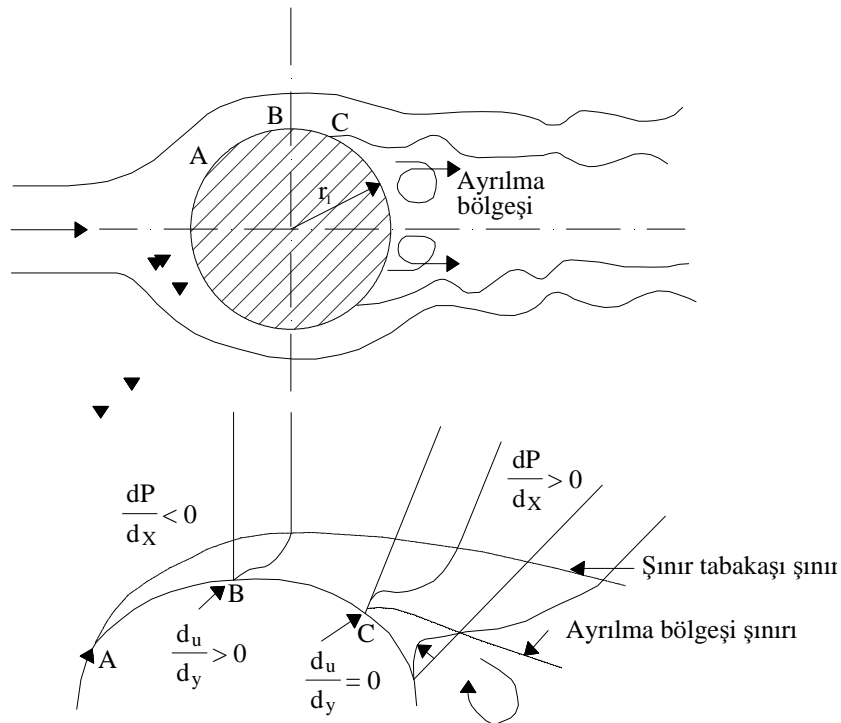
Köprü ayağının memba yüzünde $\theta = 0^\circ$ olduğundan Denklem (2.6) şu hale dönüşür.

$$P_1 = P_0 + \frac{\rho U_0^2}{2} \quad (2.7)$$

Formülden anlaşıldığı gibi, engelin membaında mansabına göre daha büyük bir basınç oluşmaktadır. Bunun neticesinde su yüzeyinde kabarma meydana gelmektedir.

Köprü ayağında meydana gelen basınç dağılımını daha iyi anlayabilmek için ayrılma bölgesi ve sınır tabakası konusunu açıklamak gereklidir[12]. Şekil 2.3’de görüldüğü üzere A noktasından B noktasına kadar kesit daralması sebebiyle hız artışı ve buna bağlı olarak Bernoulli prensibine göre basınç artışı görülmektedir.

B noktasından sonra ise tam tersi kesit genişlemekte; bu sebeple basınç arttığı ve hızın azaldığı görülmektedir. Bu basınç artışı sebebiyle bu sınır tabakası içindeki bir taneye etki eden sürtünme kuvvetlerine ek olarak basınç kuvveti de etkimektedir. Bu da doğal olarak tanenin hareketini zorlaştırmaktadır. Bu durumda C noktasından sonra sınır tabakasındaki akışkanın bir kısmı esas akım doğrultusuna zıt doğrultuda bir akım meydana getirecektir. Yüzeyden uzaklaştıkça sürtünme etkisi azalacağından sınır tabakası içindeki ikinci ayrılma sınırının üzerindeki akım genel akımla aynı yönde olacaktır. Türbülanslı yüksek akımlarda akım hızı ile enerji doğru orantılı olarak artacağından; A ve C noktalarında meydana gelen ilk ve ikincil ayrılmalar düşük türbülanslı akımlara kıyasla daha mansapta oluşacaktır.



Şekil 2.3. Köprü Ayağı Etrafında Akımın Ayrılması ve Basınç Gradyanı Değişimi[12]

HJORTH (1975), engel etrafında oluşan basıncın değişimini incelemek amacı ile yaptığı deneysel çalışma sonucunda, engel etrafındaki basıncın değişimini C_p cinsinden ölçmüştür. Burada C_p boyutsuz basınç katsayısı olup,

$$C_p = \frac{(P_a - P_0)}{\left(\frac{1}{2}\rho U^2\right)} \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

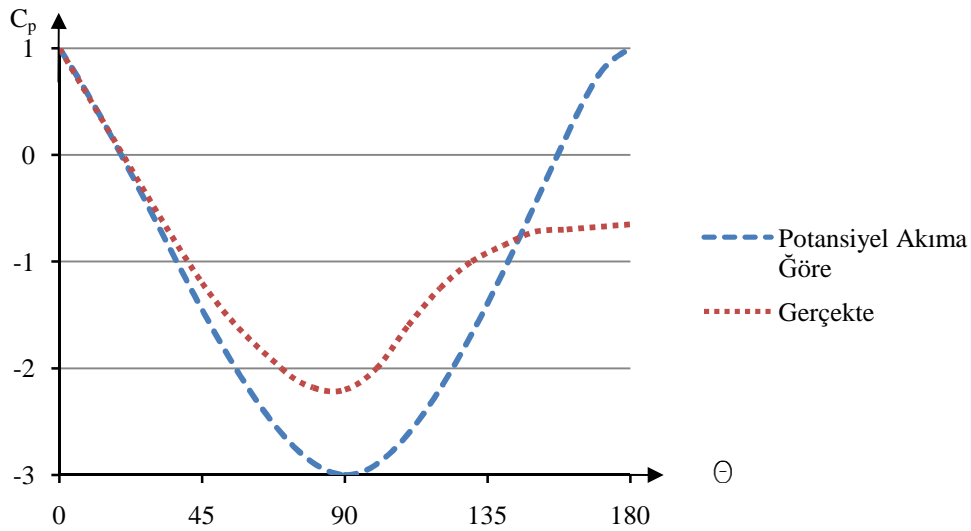
Burada;

P_1 : Engel durgunluk düzlemindeki bir noktanın basıncı

P_0 : Engelden yeter uzaklıktaki bir noktanın basıncı

U : Yaklaşım hızını ifade etmektedir.

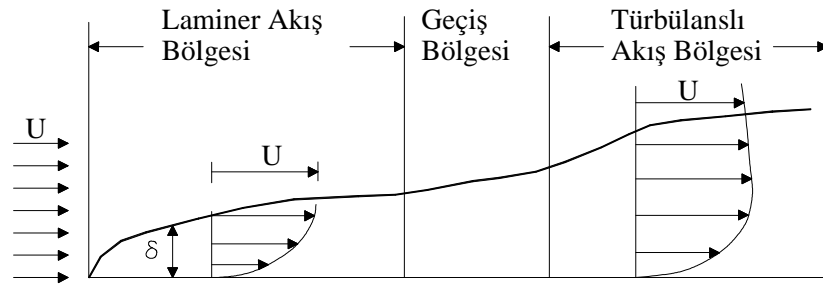
$\frac{\rho U_0^2}{2}$: Durgunluk basıncı ifade etmektedir



Şekil 2.4. C_p Basınç Katsayısının Dağılımı

2.4. Sınır Tabakasının Oluşumu Ve Sınır tabakasından Ayrılmalar

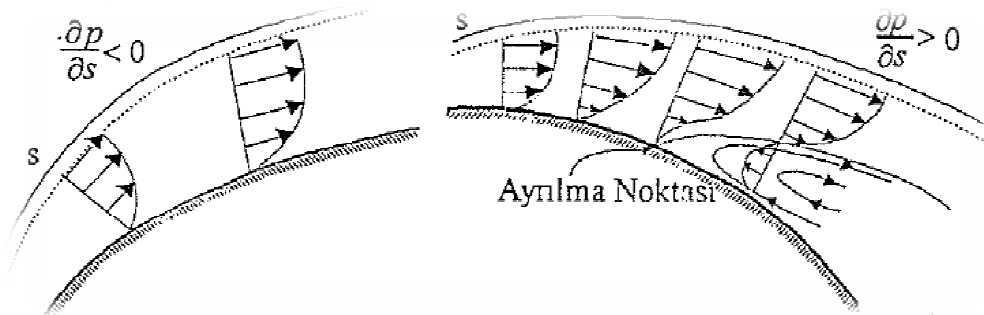
Akışkan hızının, cidardan itibaren viskozite etkisinin ihmal edildiği dış akım hızına %1 kadar yaklaştığı bölgeye sınır tabakası denmektedir. Akım içindeki oluşum özelliklerine göre sınır tabakaları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Sınır Tabaka Bölgeleri ve Hız Dağılımları

Akışkanın hareket yönünde basınç gradyenlerinin artması, sınır tabaka içerisindeki akışkan partiküllerinin, oluşan bu ters basınç gradyenlerine karşı hareket ederken, kinetik enerjilerinin büyük bir bölümünü kaybetmelerine neden olur. Hızlarının kaybeden partiküllerde yavaşlama başlar ve ardından ayrılmalar meydana gelir. Bu olaya sınır tabakasının ayrılması denir.

Sınır tabakasından ayrılma olayı, yüksek basınç artımı oluşturan küt burunlu engellerde veya sivri burunlu olmasına karşın akım doğrultusuna paralel yerleştirilmemiş engellerde meydana gelir. Bunun sebebi, engelin bütün yüzeyi üzerinde, sınır tabakasının bağlanması mümkün olmadığı gibi, engelin arka kısmında dış akım önemli derecede gecikmeye uğrar. Bu ise, sınır tabakasının sürekliliği ile uyumsuz bir özelliktir. Şekil 2.6.' de sınır tabakası içinde hız dağılımı ve ayrılma noktası verilmiştir. (Üç, 1988)



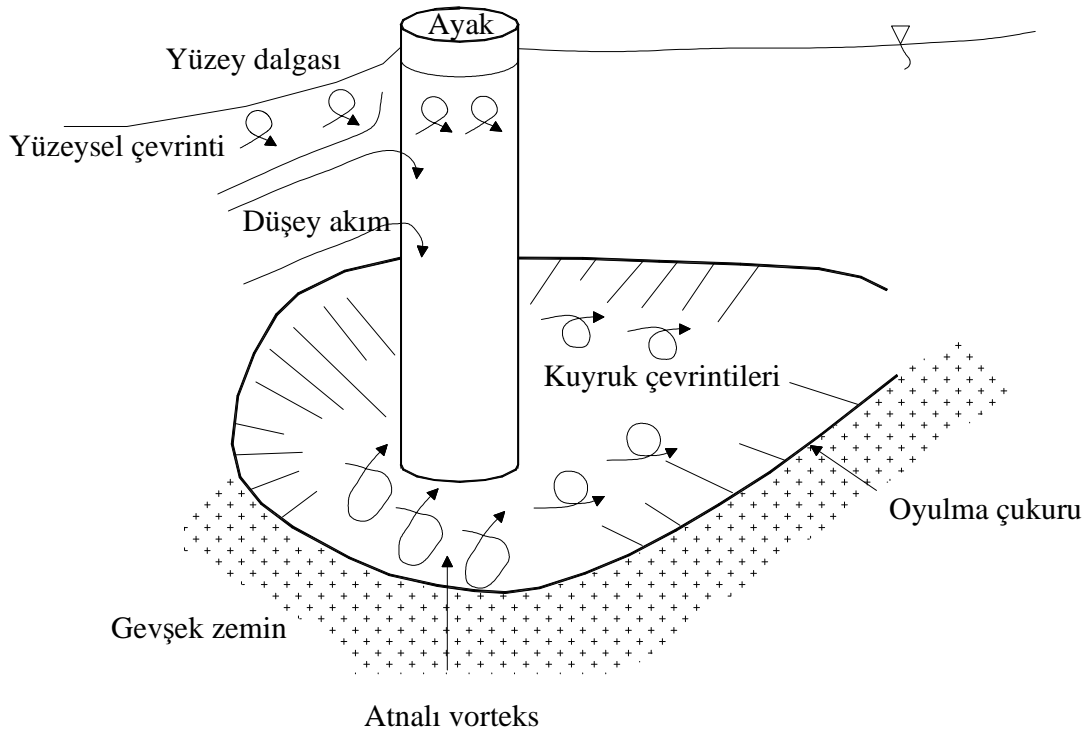
Şekil 2.6. Engel Boyunca Hız Dağılımı ve Sınır Tabakasının Ayrılması

2.5. Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler

Akım içine yerleştirilen bir engel etrafındaki akımın en büyük özelliği, vortekslerin oluşmasıdır. Vorteksler, engelin etkisiyle sınır tabakası içinde oluşan ters basıncın bir sonucu olarak meydana gelirler. Engelin membaındaki akımın düşey bileşenini etkiler ve hız alanını enlemesine kesen çevrıntiler meydana getirirler. Bu çevrıntiler engel etrafında oyulmanın başlıca nedenidirler.

Engel etrafında oluşan bu vorteks sistemler, esas itibariyle üç ayrı biçimdedirler. (Şekil 2.7.) de görüldüğü gibi,

- Sürüklenen vorteks sistem,
- Atnalı vorteks sistem,
- Art - iz (izli) vorteks sistem, oluşmaktadır.

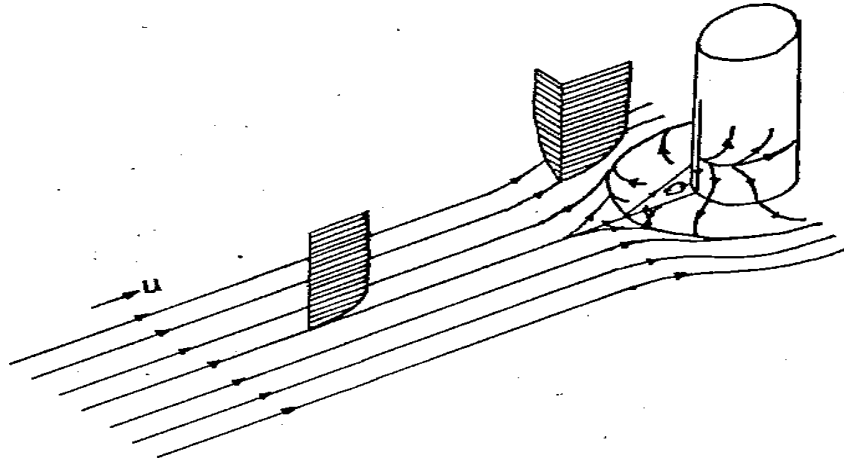


Şekil 2.7. Bir Köprü Ayağı Etrafındaki Çevrıntiler ve Oyulma Çukuru

2.5.1. Sürüklenen vorteks sistem

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

SHEN (1966), gerek durgunluk düzleminde aşağı doğru inen akımın sınır tabakasından ayrılması ve gerekse, taban akımın sınır tabakasından ayrılması neticesinde oluşan çevri hareketlerinin, bu vorteks sistemi meydana getirdiğini belirtmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Sürüklenen Vorteks Sistem

Bu çevrileri oluşturan esas etkinin, yukarıda belirtildiği gibi menba tarafındaki yüksek basınç alanıdır. DURGUN (1964) engel önündeki bu ayrılma noktasının engelle olan uzaklığına Δp ters basınç gradyanının etkili olduğunu ve bu noktanın belirli bir uzaklığa kadar artacağını, fakat bu değerden itibaren asimtotik bir artımın söz konusu olacağını belirtmektedir. [6]

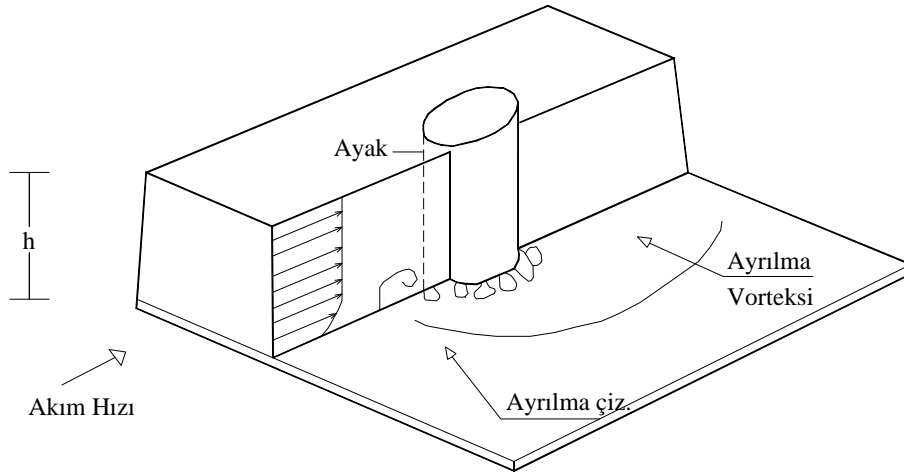
2.5.2. Atnalı vorteks sistem

Engelin membaında oluşan aşağı y6nl6 d6şey hız bileşeninin tabana vardığıında yansıyarak saptığı yapılan deneylerde g6r6lmektedir. Y6n değiştiren bu hızın bileşenlerinin bir b6l6m6 s6r6klenen vorteks sistemini oluştururken, diğer bir b6l6m6 de tekrar y6kselerek hareketlerine devam ettiği yapılan çalışmalar sırasında g6zlemlenmiştir. Bu olayların sonucu olarak engelin tabanı yakınında bir evrinti hareketi oluşmuş ve bu harekete atnalı vorteks sistem adı verilmiştir.

Atnalı vorteks sistemlerin oluşması için yeterli b6y6kl6kte bir basınç değişiminin olması gerekmektedir. Gerekli olan b6y6kl6kte basınç değişimi sadece k6t burunlu engellerde oluşmaktadır. Diğer b6t6n engeller, sivri burun engel olarak tanımlanmaktadır.

SHEN (1966) ve SCHNEIDER (1970), engelin burun açısı 30° den daha b6y6k olduğu zaman k6t burunlu engel olarak kabul edilebileceğini deneysel olarak g6stermişlerdir [8], [9]. Kama veya mercek biçimindeki bazı engel şekilleri, kamanın açısına ve tedirgin edilmemiş akımın geliş açısına g6re ya k6t burunlu veya sivri burunlu engel olarak tanımlanabilir.

Atnalı vorteksin şiddetine, yaklaşım akımının ortalama hızı, yaklaşım akımının hızı ve derinliği, ayağın şekli ve boyutları, oyulma çukurunun geometrisi ve akışkanın kinematik viskozitesi etkili olmaktadır. Fakat benzer çalışmalardan sonra araştırmacılar, kinematik viskozitenin etkisini 6nemsiz bulmuşlar ve olayda Froud sayısının daha etkili olduğunu savunmuşlardır.

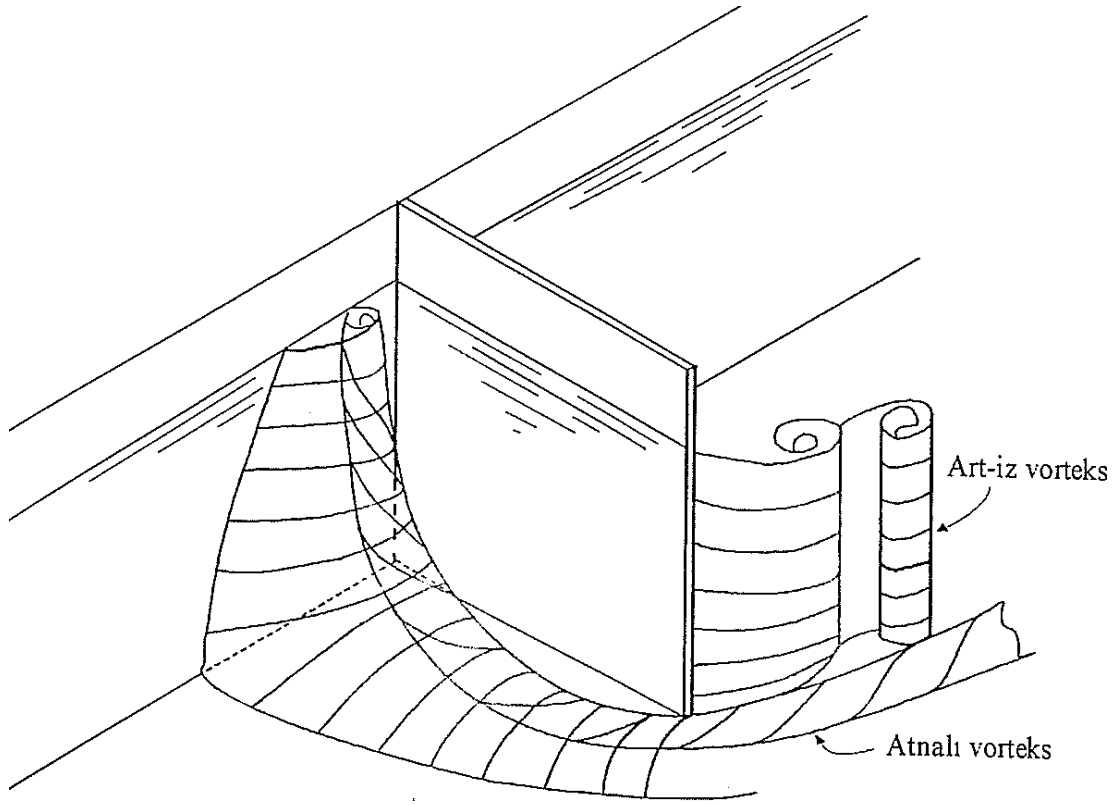


Şekil 2.9. Atnalı vorteks sistem

2.5.3. Art - iz (izli) vorteks sistem

Art çevrinti sisteminde yoğunlaşan çevrinti, ayak tarafından meydana getirilir. Bu sistem ayak yüzeyinde meydana gelen düzensiz kayma gerilmesi tabakalarının sarması sonucu oluşur. Bu sistem, ayağın öteki yüzünden büyük ayak Reynolds sayılarına sahip ayrılma tabakasıyla ayrılmıştır. Bu çevrintiler düzensiz ve yayılmış durumda olup, akım yönüne bağlıdır. Bu çevrintilerin gücü büyük ölçüde akışkan hızına ve ayağın şekline bağlı değişiklik gösterir. Shen ve diğerleri (1966)'nin deneylerinde atnalı çevrinti sistemleri meydana gelmediği veya uygun kontrol edilmediği zaman, ayaklarda akım yönünde de büyük oyulma çukurlarının meydana geldiği görülmüştür. Atnalı vorteks sisteminin ayağın arkasına taşıdığı malzemeyi, emerek oyulma bölgesinden uzaklaştırılır.

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



Şekil 2.10. Dikdörtgen Kenar Ayak Civarında Meydana Gelen Vorteks Yapı [2]

BÖLÜM 3. KATI MADDE HAREKETİ VE KÖPRÜ AYAKLARININ KATI MADDE HAREKETİNE ETKİSİ

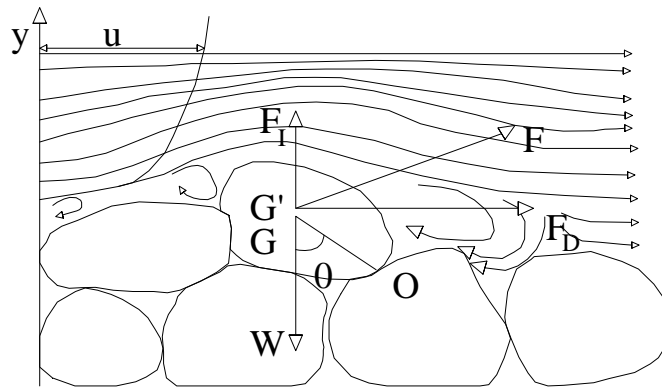
3.1. Katı Madde Hareketi

Tabiatta akarsu yatakları her zaman akımın belirli şartları altında hareket edebilecek kum, çakıl, kaya gibi katı madde tanelerinden oluşur. Aralarında elektrokimyasal kuvvetler bulunmayan ayrı tanelerin ağırlığı, tabanda kalmasını sağlamaktadır. Akarsu hızının artması ile tabandaki kayma gerilmesi artacağından tanelerin bazıları tabanda harekete geçerler. Kimisi yuvarlanır, kimisi de birbiri üzerinden kayar. Tanelerin bu hareketine "sürüntü hareketi" denir. Akım hızının tekrar artması ile bazı taneler tabandan kalkar, kısa bir süre sonra tekrar tabana dönerler. Buna da "sıçrama hareketi" denir. Sıçramanın nedeni, tane yakınındaki basıncın değişmesi veya bir başka tanenin çarpması olabilir. Bu hareket tarzı havada önemli olmasına karşılık suda göz önüne alınmayacak kadar önemsizdir. Bunun içinde sürüntü maddesi hareketine dâhil edilerek hesaplar yapılır. Tanelerin bu hareket tarzları ise akım hızının daha büyümesi sonucunda taban kayma gerilmesinde büyük artımlar meydana getirir. Bu gerilme ile tane yerinden sökülür, akım hızı ve türbülans ile hareket eder. Gerilme değeri küçülmedikçe dane, akımla beraber ve tabandan uzak olarak hareketine devam eder. Bu olay ile "askı hareketi" meydana gelir. Olayda önemli faktör, tanenin çökme hızını yenen türbülanstır [1].

3.1.1. Taban hareketinin başlaması

Danenin direnç kuvveti daneye etki eden hidrodinamik kuvvetlerden büyükse taban hareketi oluşmaz. Hidrodinamik kuvvetler danenin direnç kuvvetini yendiği durumda taban dane dengesi bozulur ve taban malzemesi harekete geçer.

Daneye etki eden akım, dane üzerinden geçerken yön değiştirir ve danenin arkasında şekilde görüldüğü gibi çevrintiler oluşturur. Bu çevrintiler tabandan ayrılmaların yukarı doğru olmasına neden olur.



Şekil 3.1. Tabandaki Bir Daneye Etki Eden Kuvvetlerin Gösterimi [2]

Hareketli tabanlı bir yatak içerisindeki sediment tanesine etki eden kuvvetler şunlardır:

- Ağırlık kuvveti (W)
- Kaldırma kuvveti (F_L)
- Sürüklenme kuvveti (F_D)

Şekil 3.1' den taneyi etkileyen kuvvetler için şunları söyleyebiliriz; ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni (genellikle akarsu eğimi küçük olduğundan ihmal edilebilir.) taneyi yerinde tutmaya, sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri ile ağırlığın akım doğrultusuna paralel bileşeni ise taneyi harekete geçirmeye çalışacağı görülmektedir. Düşey doğrultudaki bileşke kuvvetin sifıra eşit olması ya da bir değme noktasına göre bileşke momentin sifır olması halinde kritik durum denilmektedir.

Reynolds sayısının yüksek değerlerinde tane viskoz alt tabakanın dışına çıkar, tane yakınında akım çizgileri yer değiştirir ve tanenin arkasında ayrılmalar oluşur. Ayrılma bölgesinin büyüklüğü tanenin şekli ve Reynolds sayısının büyüklüğüyle orantılı şekilde oluşur. Ayrılmadan sonra tanenin önünde ve arkasında farklı basınçlar ortaya çıkar, oluşan bu kuvvetler taneyi akım yönünde hareket ettirmeye çalışan F_D kuvvetini meydana getirirler.

Akım çizgilerinin eğriliği ve hızın artması ile basıncın hidrostatik değer altına düşmesi ile kaldırma kuvveti, F_L meydana gelir.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \quad (3.1)$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A v^2 \quad (3.2)$$

Burada; C_L , kaldırma kat sayısı; C_D , sürüklenme kat sayısı; A , tanenin akıma dik alanı; v , tane yakınındaki hızı ifade etmektedir.

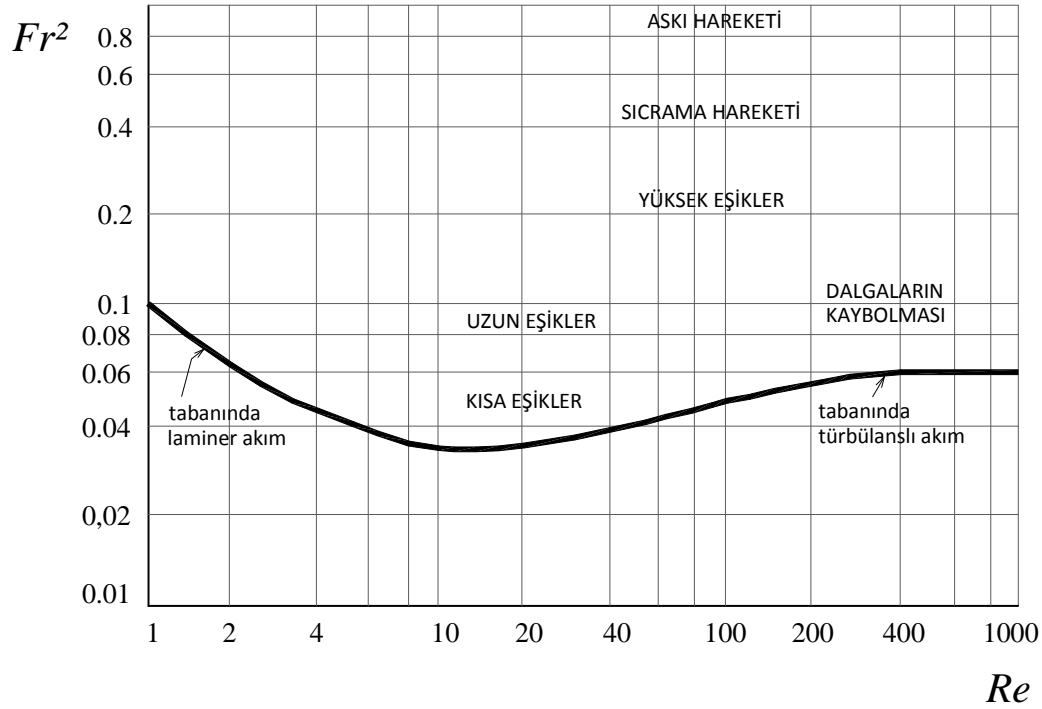
3.1.2. Kritik kayma gerilmesi

Akarsu tabanında katı madde hareketinin, kayma gerilmesinin belli bir değerinden sonra başladığı bilinmektedir. Akarsu tabanında tanelerin hareketinin başladığı bu kayma gerilmesine, *kritik kayma gerilmesi* denilmektedir.

Shields (1936) yapmış olduğu çalışmalarda ilk kez kritik kayma gerilmesi kavramını kullanmıştır. Kritik kayma gerilmesi için sadece düzen bozucu kuvvetlerin rol oynadığını varsaymış, kendi ve kendinden önceki deneysel çalışmalardan faydalanarak konuyu şu şekilde yorumlamıştır;

- Taban kayma gerilmesi, yalnızca, verilmiş bir sıvıdaki, verilmiş bir malzeme tipi için, sürüklenme başlangıcı, tane Reynolds sayısına bağlıdır ($Re = Ud/v$).
- Malzemenin sürüklenme başlangıcındaki kritik kayma gerilmesi tane çapıyla, uniform granülometrik malzeme için, $(\gamma_s - \gamma)$ su altındaki birim hacim ağırlığı ile orantılıdır $\tau_{kr} / d (\gamma_s - \gamma)$ [11].

Bu yorum ve çalışmalardan elde ettiği verilerle Shields kritik gerilmeyi hesaplamaya yarayan Şekil 3.2.'deki eğriyi elde etmiştir.



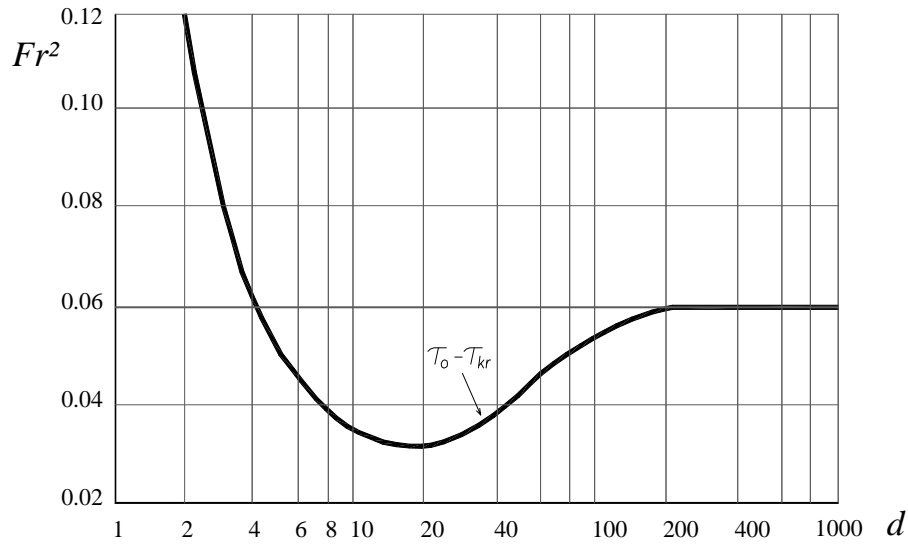
Şekil 3.2. Kritik kayma gerilmesini veren Shields eğrisi

Shields eğrisinin üst bölgesinde taban hareketlidir. Eğrinin altında kalan bölgede ise taban hareketi yoktur. Bu eğri su altındaki yoğunlukları 0,03 ~3,3 olan malzemeler için geçerlidir.

Shields eğrisinin her iki ekseninde de U bulunduğu için τ_c kritik kayma gerilmesini (Shields parametresinin sabit kaldığı tam türbülanslı bölge dışında) ancak deneme yanılma yolu ile belirlenebilir. Bundan kurtulmak için;

$$d = (\gamma_s * g D^3 / v^2)^{1/3} = (Re * Fr)^{2/3} \quad (3.3)$$

Parametresi kullanılabilir. Bu parametre τ_0 içermediğinden Şekil 3.3' de verilen Fr^2-d eğrisinden, d çaplı taneyi hareket ettirecek τ_c kritik kayma gerilmesi doğrudan doğruya okunabilen şekli yer almaktadır.

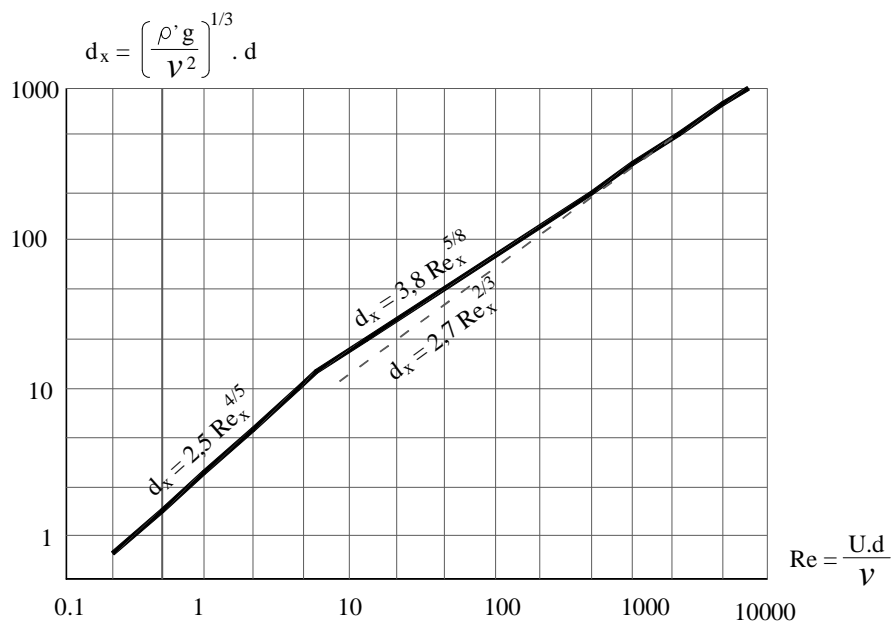


Şekil 3.3. Shields eğrisinin belli bir tanenin kritik kayma gerilmesini doğrudan doğruya bulmak için kullanılabilen şekli

Bazı araştırmacılar bu diyagramın kullanışlı olmadığını Fr ile Re sayıları arasında U^* bilinmeyen olduğundan sonuç için iterasyon gerektiğini söylemişlerdir. Bunu önlemek için Re^2 / Fr^2 oranından yararlanarak;

$$d_* = \{ (\gamma_s - \gamma) / (\rho v^2) \}^{1/3} \quad (3.4)$$

ifadesi elde edilmiştir. Buradaki d_* ' ye sedimentolojik çap denilmektedir. Bonefille, sedimentolojik çap ile Re arasında bağıntı kurarak Shields diyagramını yeniden düzenlemiştir.



Şekil 3.4. Bonefille' nin hazırladığı diyagram

3.1.2.1. Kritik hız

Yataktaki tanelerin harekete geçmesi yatak kayma gerilmesine bağlı olmakla birlikte pratikte akımın ortalama hızını kullanmak daha kolay olduğundan çeşitli araştırmacılar V_c kritik hızı için farklı formüller ortaya koymuşlardır.

MAVIS VE LAUSHEY (1948)
$$V_c = 0.22D_{50} \quad (3.5)$$

 $h > 1\text{mm}$ olan akımlarda

Bu formül 0.5mm'den iri kum taneleri için kullanılabilir.

GONCHAROV(1964)
$$V_c = \sqrt{\frac{2g\gamma_s * D}{\alpha}} \log \frac{8.8/h}{D} \quad (3.6)$$

Türbülans çalkantılarının en büyük değerinde bile yatakta hareket olmaması için $\alpha=3.5$, hızın zamansal ortalama değerinde hareket olmaması için $\alpha=1.75$ alınacaktır. Yataktaki tanelerin üniform olmaması halinde D_{50} değeri kullanılacaktır.

LEVY
$$V_c = \sqrt{gD} 1.4 \log \frac{12R}{D_{90}} \quad R/D_{50} > 60 \quad (3.7)$$

(Chien ve Wan,1999)
$$V_c = \sqrt{gD} \left(1.4 + 0.87 \log \frac{10R}{D_{50}} \right) \quad R/D_{90} > 10-40 \quad (3.8)$$

SHAMOV
$$V_c = \sqrt{gD} 1.47 (h/D)^{1/6} \quad (3.9)$$

 (Chien ve Wan,1999)

Kohezyonlu zeminlerde kritik ortalama hızının su derinliğine göre değişimi, Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Kohezyonlu zeminlerde kritik ortalama hız (Haris, 1988)

| y (m) | V_c (m/s) | | |
|-------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Yüksek oyulma potansiyeli | Orta oyulma potansiyeli | Düşük oyulma potansiyeli |
| | Çok yumuşak - yumuşak kil | Normal - sıkı kil | Sıkı – sert kil |
| 1.0 | 0.5 | 0.9 | 1.6 |
| 1.5 | 0.6 | 1.0 | 1.8 |
| 3.0 | 0.6 | 1.2 | 2.0 |
| 6.0 | 0.7 | 1.3 | 2.3 |
| 15.0 | 0.8 | 1.5 | 2.6 |

3.2. Taban Şekillerinin Oluşumu

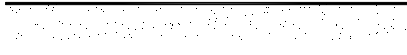
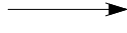
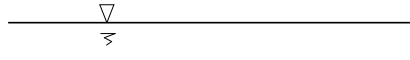
Tabanı kohezyonsuz gevşek malzemeden oluşan bir akarsuda akım koşulları taban hareketi için gerekli kritik şartları aştığında tabanda hareket başlamaktadır. Oluşan akım ile tabandan ayrılan taneler akarsu içerisinde rast gele hareket ederek taban boyunca geçici olarak depolanmaktadır.

Taban şekillerinin oluşum mekanizmasını şu şekilde özetleyebiliriz;

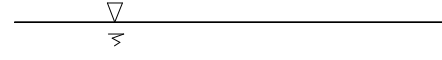
- Daha hızlı hareket eden danelerin, yavaş hareket eden daneleri engelleyip daha da yavaşlatması,
- Türbülans çevrilerinin tabandan söktüğü danelerin bir kısmının ortalama akım hızı ile taşınmadıkları için yeniden yığılmaları,
- Tanelerin üniform olmayışı halinde, iri tanelerin harekete geçemeyişi, taban şekillerinin meydana getirmektedir.

Akarsu tabanının zamanla alacağı şekiller Şekil 3.5 üzerinde ifade edilmeye çalışılmıştır. Tabanda tane hareketi başlangıcından sonra düzensiz taşınan malzeme tabanda kum dalgacıkları oluşturur (Şekil 3.5.b). Kum dalgacıklarının yükseklikleri 3cm ve uzunlukları da 30cm'den daha küçüktür. Kum dalgacıklarının yükseklikleri az olduğu için su yüzü profilinde değişime neden olmazlar. Kum dalgacıklarının mansabında oluşan çevrintiler nedeni ile kum tepeciklerinin arkalarında birikmeler olur ve dalgacıklar büyümeye başlar. Hızın artması neticesinde bu dalgalar daha büyür ve birikmeleri daha yuvarlak olarak geliştirir. Bunun neticesinde tabanda basamaklar oluşur ve su yüzü profilinde hareketlenmeler meydana gelir (Şekil 3.5.c). Nehir rejiminde oluşan basamakların tepe noktalarında su seviyesi alçalır. Düşük kotta ise yükselir. Su seviyesinin alçaldığı noktada akım yavaşlar, arttığı noktada ise akım hızlanır. Akımda meydana gelen bu hızlanma ve yavaşlamanın neticesinde tabanda oluşan basamaklar akım yönünde yükseklikleri azalarak tabana yayılmaktadır. Bunun neticesinde akarsu, düztaban ve su yüzü profilinde düzgün kesite geri dönmektedir (Şekil 3.5.d). Akım hızının daha da artmasıyla tabanda yüzey ile aynı fazda dalgalar oluşur (Şekil 3.5.e). Momba yönünde hareket eden dalgalara

ters basamak denilir. Hızın daha da artması sonucunda ters basamakların yerini düztaban alır (Şekil 3.5.f).



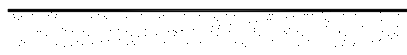
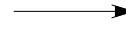
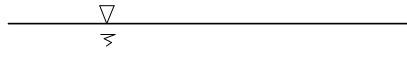
(3.10.) Düztaban



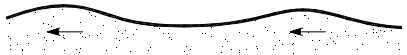
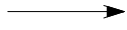
(3.11.) Kum dalgacıkları



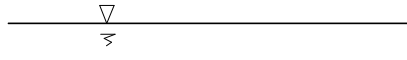
(3.12.) Basamaklar



(3.13.) Düztaban



Ters basamaklar



(3.14.) Düztaban

Şekil 3.5 Taban şekilleri

3.3. Katı Madde Taşımında Dinamik Denge Ve Dengenin Bozulması

Aluvyal bir akarsu taşıdığı debi ve katı madde miktarına uygun bir denge konumuna ulaşır. Böyle bir akarsuyun tabanı hareketli olmakla birlikte taban seviyesinde bir değişme olmaz. Yani, gelen malzeme miktarındaki değişmeler, akarsuyun tabanında kısa süreli değişmelere neden olmakla birlikte, neticede gelen malzeme miktarı ile taşıma kapasitesinin eşit olacağı bir denge durumu oluşur. Bu şekilde oluşan dengeye "*dinamik denge*" adı verilir.[6]

Akarsu tabanında meydana gelen katı madde miktarını hesaplamak için sürüntü yükü süreklilik denklemi kullanılabilir:

$$\frac{dV}{dt} = Q_t(B) - Q_t(S) \quad (3.10.)$$

Burada,

V: Göz önüne alınan kesitteki oyulan ya da yığılan miktar,

$Q_t(B)$: Kesitten çıkan madde miktarı,

$Q_t(S)$: Kesite giren madde miktarını ifade etmektedir.

Akarsu kesitine giren ve çıkan madde miktarlarının eşit olması halinde,

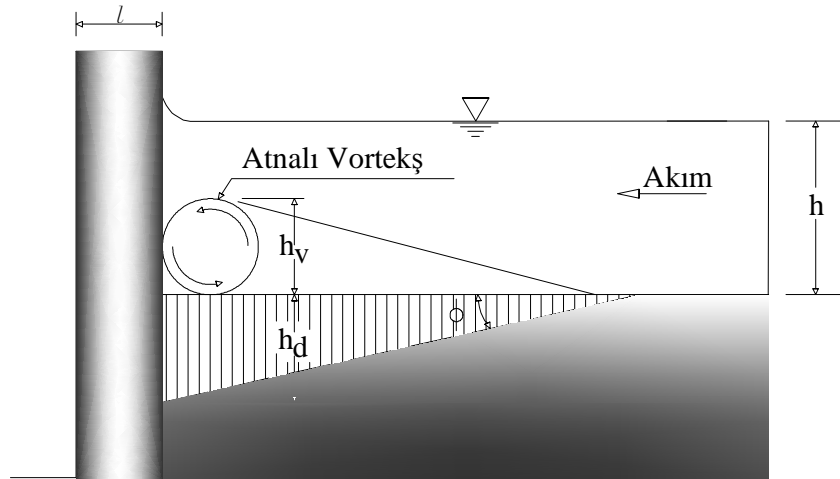
$Q_t(B) = Q_t(S)$ olursa, $dV/dt = 0$ olur. Bu durumda dinamik denge sağlanmış olur.

$Q_t(B) < Q_t(S)$ olursa, kesitte oyulma; $Q_t(B) > Q_t(S)$ olursa kesitte yığılma oluşur.

İçinde, değişken karakterde bir katı madde hareketi bulunan açık kanal içerisine bir engel yerleştirildiği zaman, engelin akım özelliklerini değiştirdiğini biliyoruz. Katı madde hareketi de akımın taban yakınındaki karakteristiklerinin bir fonksiyonu olduğuna göre, engel nedeniyle artan akım hızı, akımın taşıma kapasitesini de arttıracaktır. Artan yerel oyma ve katı madde taşıma kapasitesi yatakta oyulmanın meydana gelmesine neden olur.

Engelin, sürüntü hareketi üzerine etkisi sadece akım karakteristiklerini değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda engelden dolayı oluşan türbülans ve vorteks sistemlerin de meydana getirdiği değişimlerde önemlidir. Vortekslerin oluşturduğu dönümlü akımın hızlarından doğan oyulma potansiyeli harekete karşı tanelerin direncini yenecek şiddette ise, engel yakınında oyulma başlar.

Vittal et al. (1994)'a göre, ayağın akıma dik genişliği; oyulma çukurunu, ayak önünde oluşan aşağı doğru akımı ve atnalı vorteksi gelişimini sağlamaktadır. Atnalı vorteksi de, katı madde danelerinin yerinden sökülerek ayaktan uzaklaştırılması hareketinde oldukça etkilidir.



şekil 3.6. Ayak önünde başlangıç vorteksinin oluşumu

şekilde de görüldüğü gibi ayak etrafında oyulma başlamadan önce, esas vorteks daireseldir. Ayağın membaında kayma gerilmesi, yaklaşım akımdaki kayma gerilmesinin yaklaşık 4 katı olduğu, çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Bu durum, ayağın akıma dik genişliği göz önüne alınmadan, ayak membaında $U/U_{kr} = 0.5$ olduğu zaman, oyulma olayının başladığı anlamına gelir. Bu kabul yapılan deneysel araştırmalarla ispatlanmıştır. Burada U , akım hızını, U_{kr} , akımda katı madde taşınımı için gerekli olan kritik hızı göstermektedir.

Oyulma çukuru derinliği arttıkça, sınırdaki malzemeler tabana doğru iner. Vorteksin dengede olmadığı bu durumda oyulma çukuru genişler. Oyulma, vorteksin taban malzemelerini taşıyacak veya askıda tutacak güce sahip olmadığı an durmuş olur.

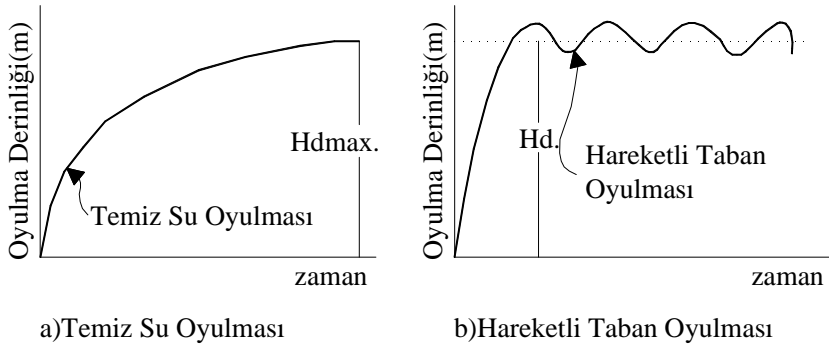
LAURSEN [13], Dinamik denge formülünden hareket ederek oyulma olayının değerlendirilmesini şu şekilde yapmıştır:

1 - $Q_T(B) = Q_T(S)$ ise oyulma yoktur.

2- $Q_T(B) \gg Q_T(S)$ ise oyulma vardır, akarsu tabanında sürüntü hareketi yokken bile oyulma olabilir. Bu durumdaki oyulmaya, temiz su oyulması denir.

3 - $Q_T(B) > Q_T(S) > 0$ ise yatakta hem sürüntü hareketi, hem de katı madde hareketi vardır. Bu oyulma şekline, daima sürüntü maddesi taşınımı halindeki oyulma denir.

Oyulma derinliği zamanla değişim göstermektedir. Yukarıda tariflenen iki farklı oyulma için taban oyulmasının zamanla değişimi aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Oyulma derinliğinin zamanla değişimi

Engelin menba tarafındaki taban kayma gerilmesi, engel olmadığı zamanki taban kayma gerilmesinin 12 katı kadar bir büyüklükte olduğu yapılan ölçümler neticesinde elde edilmiştir. Aynı zamanda türbülanslı bölgelerde ise bu değer 2,5 katı mertebesinde. [14]

Çevrinti yayılımı Reynolds sayısı aralığında periyodik bir değer olarak tariflenmekte ve Stouhal sayısı ile karakterize edilmektedir.

$$S_h = n \frac{D}{U} \quad (3.11.)$$

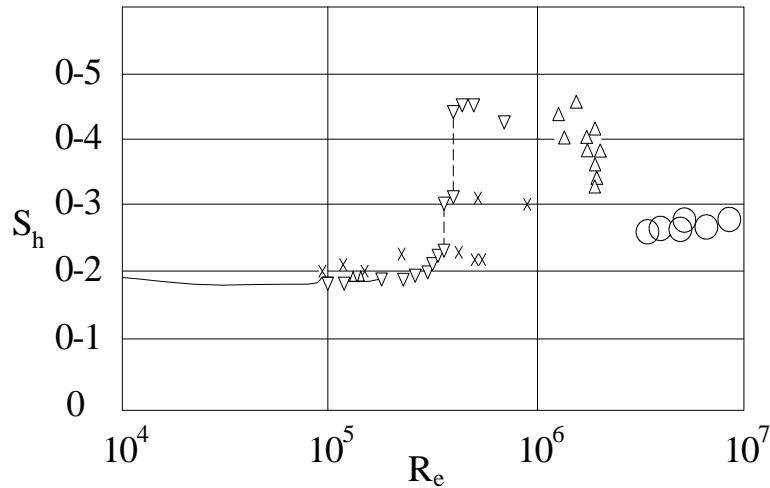
Burada;

n: Çevrinti yayılma frekansı

D: Köprü ayağı çapı

U: Akım yönü tesiri

İki boyutlu akım koşullarında Stouhal sayısı ile daire kesitli ayaklar için Reynolds sayısı değişimi Şekil 2.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Stouhal sayısı ile daire kesitli ayaklar için Reynolds sayısı değişimi (Hancu, 1971)

Şekil 2.9'den $Re < 2.5 \times 10^5$ ve $Re > 10^6$ olduğu zaman $Sh = 0.2$; $2.5 \times 10^5 < Re < 10^6$

Olduğu zaman $Sh = 0.4$ olmaktadır. Shen ve diğerleri (1966) atnalı çevrinti sisteminin gücünü silindirik ayaktaki durağan düzlemdeki bir kontrol hacminde çözmeye çalışmışlardır. Bu gücü ayak Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak şu şekilde bulmuşlardır.

$$\frac{\omega A}{v} = f \left\{ \frac{U_{\infty} D}{v} \right\} = f(Re) \quad (3.12.)$$

Burada;

ω = Çevrinti çekirdeğinin döngüsel hızı.

A= Çevrinti çekirdeğinin alanı.

ν = Kinematik viskozite.

D = Ayak çapı.

U_{∞} = Akımın tersi yönündeki hız.

Re= Köprü Ayağı Reynolds sayısı

olarak ifade edilir.

Atnalı çevrintisi bir yerel oyulma mekanizmasıdır ve atnalı çevrintisinin şiddeti köprü ayağı Reynolds sayısına bağlı bir fonksiyondur. O zaman oyulma derinliği de Reynolds sayısı ile doğrudan ilişkilidir.

$$d_{se} = f(Re) \quad (3.13.)$$

Burada d_{se} oyulma derinliğini ifade etmektedir. Üç ve Ağaçoğlu (2001) bu konuda yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu oyulma derinliği ve Reynolds sayısı arasında aşağıdaki üslü ifadeyi bulmuşlardır.

$$d_{se} = 0.0002222 Re^{0.619} \quad (3.14.)$$

Bu eşitlik tüm Reynolds sayıları için geçerlidir. Oyulma derinliğinin akım hızına bağlı olduğu da bilinen bir gerçektir. Şekil (3.9.) Chabert ve Engeldinger (1956) in geleneksel oyulma derinliğinin değişimini kayma veya akım hızının fonksiyonu olarak göstermektedir.

Bu şekle dayanılarak, D / d_{50} sabit olduğunda;

- $\frac{U}{U_{cr}} \leq 0.5$ oyulma yok,
- $0.5 \leq \frac{U}{U_{cr}} \leq 1$ temiz su oyulması mevcut. Bu aralıkta oyulma derinliği hızla lineer olarak değişim gösterir.

- $\frac{U}{U_{cr}} \geq 1$ devamlı malzeme hareketiyle oyulma.

Burada U akımın ortalama hızı, U_{cr} kritik hız ve d_{50} %50'si ince olan malzeme büyüklüğü olarak tanımlanabilir. Oyulma derinliği hız ile direkt olarak artmaz; çünkü oyulma çukurundan taşınan malzeme ile kaynak arasındaki dinamik eşitlik taşınma yüzdesinin büyüklüğünden etkilenmez. Chee (1982) ve Chiew (1984), yüksek akım hızının ($\frac{U}{U_{cr}} \geq 1$) etkisiyle oyulma derinliğinin değişimi hakkında deneyler yapmışlardır. Bu araştırmaların önemli sonuçları ;

1. $U/U_{cr} = 1$ durumunda oyulma derinliği en yüksek değerdedir.
2. $U/U_{cr} = 1.2 - 2.0$ aralığında oyulma derinliğinde azalma görülür.
3. $U/U_{cr} = 2.0 - 5.0$ aralığında oyulma derinliğinde tekrar bir artış görülür.
4. $U/U_{cr} \cong 5.0$ aralığında oyulma derinliğinde yine bir düşüş mevcuttur.
5. Şekil 2.10'da iki tane pik noktası mevcut olup ilki $U/U_{cr} = 1$ ve ikincisi $U/U_{cr} \cong 5.0$ değerlerinde olup ilk pik değeri ikincisinden büyüktür.

Baker (1979) çalışmalarında ise atnalı çevrintisinin üç tane boyutsuz parametreye bağlı olduğu kanısına varmıştır. Bunlar $\frac{\delta}{D}$, Re_D , Re_δ , Şekil'dir. Burada;

$\frac{\delta}{D}$ = Yatak sınır tabakası kalınlığının ayak çapına oranı

Re_D = Ayak Reynolds sayısı

$Re_D = \frac{UD}{\nu}$ şeklinde yazılabilir.

Re_δ = Yatak sınır tabakası için Reynolds sayısı

Reynolds sayısı formüllerindeki U = Yatak sınır tabakasının dış kısmındaki hız olarak tanımlanmaktadır. Yatak sınır tabakasının ayrılması ve oluşan atnalı çevrintisinin büyüklüğü $\frac{\delta}{D}$ değerinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Hatta bazen $\frac{\delta}{D}$ değeri o kadar küçük olur ki; sınır tabakası ayrılması ve atnalı çevrintisi oluşması olayları görülmez. Benzer olarak Re sayısında da, eğer bu değer küçükse laminar sınır tabakası ayrılmasında gecikmeler yaşanır. Çünkü Reynolds sayısı küçük

olduğu zaman, sınır tabakasında ayrılmaya karşı daha büyük direnç yaşanacağı bilinmektedir. Doğal olarak da daha küçük atnalı çevrintisi oluşacaktır.

Baker (1979) çalışmalarında atnalı çevrintisinin laminar sınır tabakasında ayak merkezinden uzaklık değişimlerini ölçmüştür. Burada x_v büyüklüğü atnalı çevrintisinin uzunluk ölçeğini temsil etmektedir. Baker, ölçümleri sonucu aşağıdaki ifadeyi bulmuştur.

$$U\delta^* = \int_0^{\infty} (U - u) dy \quad (3.15.)$$

Burada δ^* bozulmamış sınır tabakasının yer değiştirme genişliği olarak tanımlanabilir. Eğer sınır tabakası türbülanslı yapıya sahip olursa Reynolds sayısının rolü laminarın tabakadaki rolünün tersi olup, Reynolds sayısı arttığı zaman atnalı çevrintisinin büyüklüğü azalacaktır. Bu olay akışkanın tabakaları arasında momentum artışı esnasında gözlenen bir olaydır. Ayağın var olması da zıt basınç gradyanını etkilemektedir. Çizgisel kesitli bir ayak küçük ölçekte zıt basınç gradyanı meydana gelir. Ayak yüksekliğinin de zıt basınç gradyanı üzerinde doğru orantılı etkisinin bulunduğunu da eklemek gerekir. Laminar atnalı çevrintisi ve türbülanslı atnalı çevrintisi karşılaştırılmak istenirse $\frac{\delta}{D}$ ve Re_D nin çok küçük değerleri için atnalı çevrintisi laminar rejimdedir. Baker (1986) araştırmalarında laminar atnalı çevrintisinin salınımlardan sonra tamamen türbülanslı hale geldiğini bildirmektedir. Baker (1991) in deneylerinde ilk salınımlar (ayrılmış akım sistemlerinde meydana gelen salınımlar);

$$Re_D \left(\frac{\delta^*}{D} \right)^{0.5} = 800 \quad (3.16.)$$

İkincil salınımlar ise (çevrinti çekirdeğinde oluşanlar);

$$Re_{\delta^*} = 150 \quad (3.17.)$$

aralığında geçerli olmaktadır.

Qadar (1981) atnalı çevrintisinin şiddetinin oyulma üzerinde etkili bir parametre olduğunu bulmuştur.

$$d_{se \max} = 538 (C_o)^{1.28} \quad (3.18.)$$

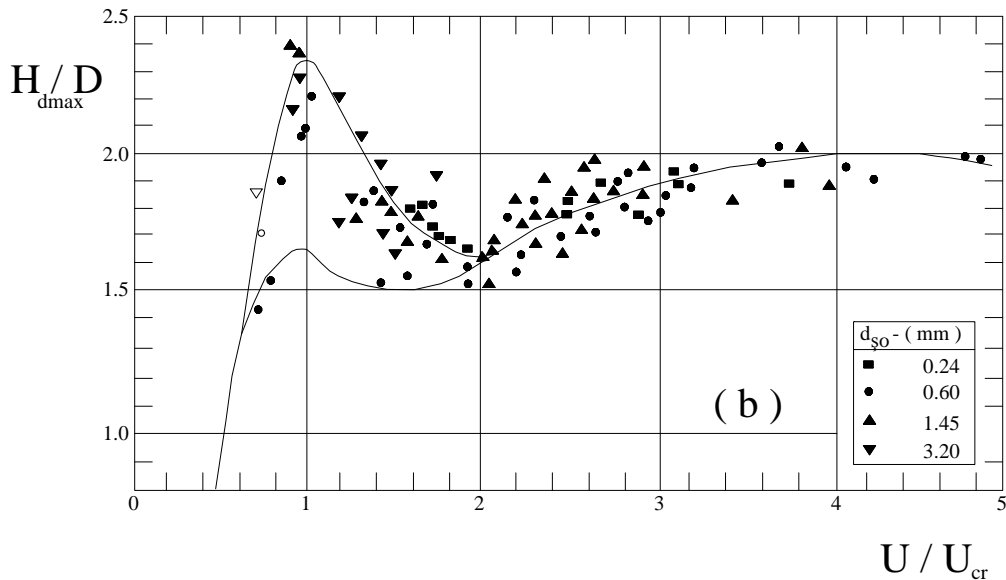
C_o burada çevrintinin şiddetini ifade etmektedir. Bu şiddet ifadesi de ;

$$C_o = U_o \cdot r_o \quad (3.19.)$$

şeklinde yazılabilir. Burada U_o çevrintinin hızı ve r_o çevrintinin çapıdır. Çevrintinin çapı da;

$$r_o = 0.1 D \quad (3.20.)$$

Burada da, D ayak çapıdır. Sonuç itibariyle yukarıdaki tüm ifadeleri birleştirirsek;



Şekil 3.9. Maksimum oyulma derinliğinin U / U_{cr} ile değişimi (Raudkivi, 1986)

$$\frac{d_{se \max}}{D} = 1.332 \frac{U_0^{1.0624}}{D^{0.36}} \quad (3.21.)$$

oyulma derinliği için boyutsuz ifadesi elde edilir.

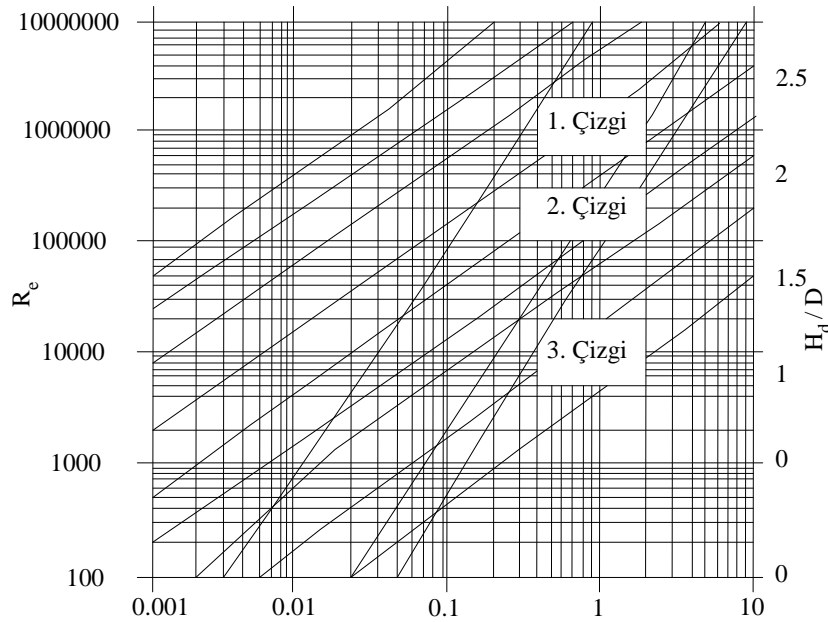
Üç (1988) , gerek kendi yaptığı deneysel çalışmalar ve gerekse literatürden elde ettiği deneysel ve prototip sonuçları kullanılarak, Reynolds sayısının üç ayrı aralığı için rölatif oyulma derinliğinin çevrinti yayılma frekansı ile değişimini incelemiştir.

Üç (1988), Reynolds sayısının üç farklı bölgesinde birbirinden farklı ancak birbirlerine yaklaşık olarak paralel üç bağıntı elde edilmiştir. Üç (1988) bu çalışması sonucunda, kolay ve pratik bir uygulama imkanı sağlamak amacı ile Reynolds sayısının üç ayrı bölgesi için elde ettiği üç ayrı bağıntıyı bir arada çizerek şekil 2.11. □ deki diyagramı elde etmiştir.

$$\frac{H_d}{D} = 1.22 \log f + 1.60 \quad (Re < 2.5 \cdot 10^5 \text{ için}) \quad 3.\text{Çizgi} \quad (3.22.)$$

$$\frac{H_d}{D} = 1.22 \log f + 1.95 \quad (2.5 \cdot 10^5 < Re < 1.0 \cdot 10^6 \text{ için}) \quad 2.\text{Çizgi} \quad (3.23.)$$

$$\frac{H_d}{D} = 1.22 \log f + 2.82 \quad (Re > 1.0 \cdot 10^6 \text{ için}) \quad 1.\text{Çizgi} \quad (3.24.)$$



Şekil 3.10. Rölatif oyulma derinliğinin çevrinti yayılma frekansı ile değişimi.

(Üç ve Ağaçoğlu, 1999)

Bu diyagramın elde edilmesinde, araştırmacı hem kendi deneysel çalışma sonuçlarını ve hem de literatürden elde ettiği çok sayıdaki deneysel çalışma datası ile 37 prototip veriyi birlikte değerlendirmeye tabi tutmuştur. Dolayısıyla, Şekil 3.10.□ de verilen diyagram, gerek laboratuvar ve gerekse prototip şartlarda maksimum denge oyulma derinliklerinin çevrinti yayılma frekansına bağlı olarak kolay ve güvenli bir şekilde elde edilmesinde kullanılabilir.

Bu çalışmada çevrintinin yayılma frekansı oyulmaya etkiyen bir parametre olarak tesbit edilmiştir. Daha sonra Reynolds sayısının fonksiyonel ifadesi ile oyulma derinliği arasındaki ilişki araştırılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yıldız Teknik Üniversitesi laboratuvarında yapılan deneylerde 0,9 m genişlikte, 0.6 m yükseklikte ve 14 m uzunluğunda dikdörtgensel yaklaşım kesiti olan bir kanal modeli kullanılmıştır. Yatak malzemesi olarak üç farklı granulometrede kuavers tipi malzeme kullanılmıştır. Bunun haricinde deneylerde beş farklı dairesel kesitli ayak kullanılmış olup çapları sırasıyla 3.8, 5.6, 6.5, 8.4 ve 11 dir.

Bu deneyde sürtünme etkisini en aza indirmek amacıyla camdan ayaklar kullanılmıştır. Deneyler esnasında her bir ortalama kritik oyulma derinliği değeri sürekli malzeme hareketi için hesaplanmıştır ve önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

BÖLÜM 4. KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDAKİ OYULMALARA ETKİ EDEN PARAMETRELER

4.1. Giriş

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalar akımın ve katı madde hareketlerinin etkisiyle oluşmaktadır. Hareketli tabanlı bir akarsu içerisinde inşa edilen köprü ayaklarında meydana gelebilecek oyulmaların incelenmesini ilk olarak TISON(1940) ele almıştır. Deneysel olarak ele alınan bu inceleme daha sonraları güncel bir konu olmuş, fakat matematiksel bir çözüm elde edilememiştir. Bunun nedeni oyulmaya etki eden parametre çeşitlerinin çok olmasıdır. Oyulmaya akarsuyun derinliğinin, akım hızının, taban malzeme özelliklerinin, ayak şeklinin, ayağın akıma dik genişliğinin, atak açısının ve Re ve Fr sayılarının etkili olduğu tüm araştırmacılar tarafından kabul edilmektedir.

4.2. Akım Özelliklerinin Oyulmaya Etkisi

4.2.1. Akarsu derinliğinin oyulmaya etkisi

Akarsu derinliğinin oyulmaya etkisinin araştırılması sonucunda aşağıdaki görüşler ileri sürülmüştür.

- LECLERC(1971) ve BAŞAK(1975) yaptıkları deneyler sonucunda su derinliğinin oyulmaya etkisi olmadığını tespit etmişlerdir.
- Su derinliğinin oyulmaya etkisi vardır.
- Su derinliğinin belirli bir değerden itibaren oyulmaya etkisi vardır.

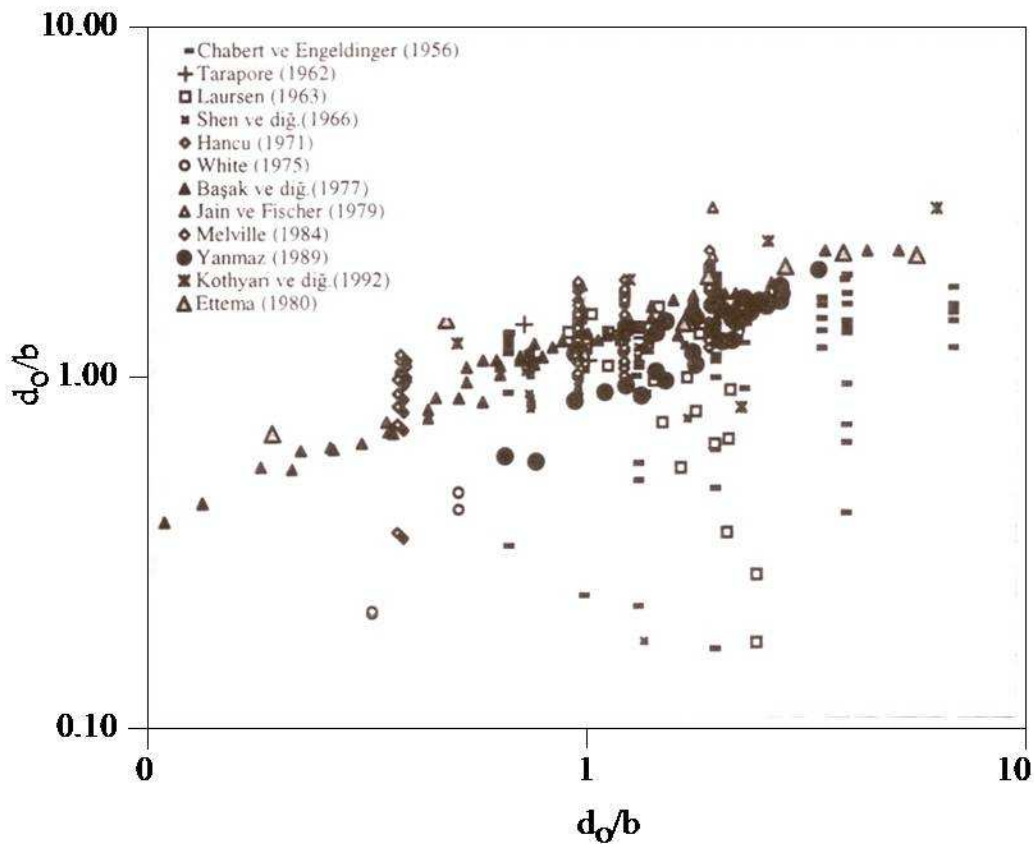
Bu görüşleri savunan araştırmacılar;

HANCU(1971) ; $h/D \geq 1$

QUESNOT ve NICOLLET (1971-1971) ; $h/D \geq 2$

LARRAS(1963) ; $h/d_m = 30 \sim 40$

değerlerini sınır olarak belirtmişlerdir. Su derinliğinin oyulma üzerindeki etkisi konusunda henüz ortak bir görüş oluşmamıştır. Ancak belirli bir değerden sonra oyulmaya etkisi olmadığı görüşü birçok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir.



Şekil 4.1. Görelî oyulma derinliğinin görelî akım derinliğiyle değişimi

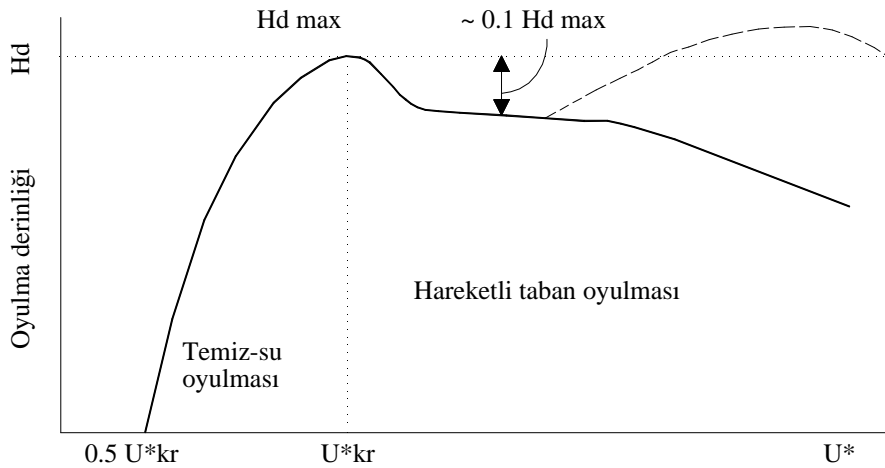
Akım alanına yerleştirilen ayaklar nedeniyle membada su kabarması sonucunda bir yüzey çevrintisi oluşmaktadır. (Bkz. Şekil 2.6.) yüzeyde ve tabanda oluşan çevrintiler birbirlerinden zıt yönde hareket etmektedirler. Oyulmanın akım derinliğine bağlılığı, yüzey ve taban çevrintilerinin birbirleriyle yaptığı girişime dayanmaktadır. Yaklaşım akım derinliği az ise bu iki çevrinti birbiriyle girişim yapmakta ve oyulmayı arttırmaktadır. Ancak akım derinliği arttıkça bu girişimde azaldığından

oyulma derinliği akım derinliğinden bağımsız oluşmaktadır. Melville ve Sutherland(1988), tabanda geçiş rejimine kadar olan hareketli taban oyulması donelerine dayanarak ince agrega için görelî oyulma derinliği, d_s/b 'nin görelî akım derinliğinin $d_0/b \geq \approx 3.0$ değerleri için akım derinliği etkisinin ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir. Kaba taban malzemesi için bu oran $d_0/b \geq \approx 6.0$ olmaktadır. Zira kaba malzemede taban çok pürüzlü olduğundan durgunluk basıncı ve düşey hız bileşeni daha büyük d_0/b değerlerine kadar etkili olmaktadır.[17]

Literatürlerde sunulan değişik akım koşullarındaki oyulma derinliğine göre değişimi Şekil 4.1.'de gösterilmektedir. Şekilde maksimum oyulma derinliği d_0/b yaklaşık olarak 2.5 mertebesindedir.[12]

4.2.2. Akım hızının oyulmaya etkisi

Tüm araştırmacılar tarafından akım hızının oyulmaya etkisi kabul edilmektedir. Oyulma, bir u hızı ile başlamakta ve U_{kr} değerine kadar yaklaşık doğrusal olarak ilerlemektedir. U_{kr} değerini aştıktan sonra, artık tabanda katı madde hareketi başladığından oyulma maksimum oyulma derinliği etrafında salınım göstermektedir.



Şekil 4.2. Kayma Hızının veya Yaklaşım Hızının Fonksiyonu Olarak, Yerel Oyulma Derinliğinin Değişimi

Yukarıdaki şekilde Raudkivi ve Ettema(1985) tarafından oyulma çukurunun gelişimi; kayma hızının veya yaklaşım hızının fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Oyulma hızın belli bir değerinde başlayıp giderek büyümektedir. Oyulmaya etki eden hız değerleri incelendiğinde aşağıdakileri söylemek mümkündür.

- $\bar{U}/\bar{U}_{kr} \leq 0,5$ ise oyulma yoktur.
- $0,5 \leq \bar{U}/\bar{U}_{kr} \leq 1.0$ ise, temiz su oyulması vardır.
- $\bar{U}/\bar{U}_{kr} \geq 1.0$ ise, hareketli taban oyulması vardır. Bu bölgede dinamik denge hareketi gerçekleştiğinden oyulma derinliği hızla birlikte artmaz.

Raudkivi ve Ettema(1983-1985), Raudkivi(1986) ve Breusers ve Raudkivi(1991) yukarıdaki şekilde kesik çizgi ile gösterildiği gibi maksimum oyulma derinliğinde ikinci bir pikin oluştuğunu belirtmişlerdir. Oyulma derinliği ve akım hızı arasındaki ilişki, meydana gelen oyulma tipine bağlıdır.

4.3.Taban Malzeme Özelliklerinin Oyulmaya Etkisi

Raudkivi ve Ettema(1983) taban malzemesi dağılımının dengeli ve temiz su oyulması derinliğine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda tane dağılımının oyulma derinliğini önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir. Tane dağılımı geometrik standart sapması σ_g arttıkça tabandaki zırhlanma etkisiyle, yani tanelerin ince tanelerin üzerini kaplamasıyla oyulma derinliği önemli ölçüde azalmaktadır. Bu etkiyi bir düzeltme katsayısıyla belirten Raudkivi'nin (1986)'nin verdiği düzeltme eğrisi için $1.0 \leq \sigma_g \leq 5.0$ aralığında;

$$K_\sigma = 0.013462\sigma_g^5 - 0.2232\sigma_g^4 + 1.4066\sigma_g^3 - 4.0864\sigma_g^2 + 5.007\sigma_g - 1.1179 \quad (4.1)$$

regresyon denklemi çıkarılmıştır. K_σ gradasyon etkisini düzeltme faktörüdür. Denklem kullanılmasıyla taban malzemesi kum-çakıl olan ($\sigma_g \approx 3.5$) bir akarsu tabanındaki yerel oyulma derinliğinin, taban malzemesi üniform olan bir akarsuyun sadece %20'si mertebesinde olduğu gösterilmektedir.

Taban malzemesi tane dağılımı büyük olan bir akarsuda hareketli taban oyulması durumunda da üniform malzemeye göre daha az oyulma beklenmektedir. Bu şartlarda mekanizma oldukça karışık olmaktadır. Tabanda yer alan sürüntü hareketi zırhlanma etkisinde olduğundan modellemesi zor olmaktadır. Bu nedenle hareketli taban oyulması koşullarında tane dağılımı etkisi tam olarak belirlenememiştir.[12]

Taban malzemesinin tane çapının oyulmaya etkisi konusunda aşağıdaki görüşler belirtilmektedir.

- Larras(1963) ve Coleman(1971) oyulmanın tane çapından bağımsız olduğunu kabul etmişlerdir.
- Tane çapının belirli sınırlar arasında oyulmayı arttırdığı, bu sınırlar dışında ise bağımsız kaldığı kabul edilmektedir.

4.4. Ayak Karakteristiklerinin Oyulmaya Etkisi

4.4.1. Ayak şeklinin oyulmaya etkisi

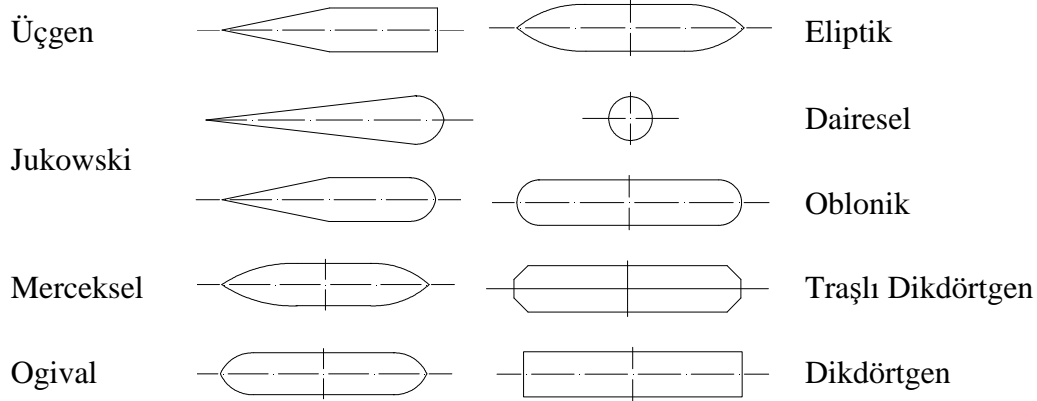
Ayaklar etrafındaki oyulmaya akım çizgilerinin eğriliklerinin etkili olduğu bilinmektedir. Ayak şekli iki kategoride sınıflandırmıştır.[8]

- Küt burunlu ayaklar, bunlar kuvvetli vorteksler meydana getirerek maksimum oyulma ayağın burnunda meydana gelmektedir.
- Keskin burunlu ayaklarda atnalı vorteksin etkisi zayıftır. Bunlarda oyulma derinliği mansap yakınında meydana gelmektedir. Laursen farklı ayak kesitlerinde yaptığı deneyler sonucunda şekil katsayıları tespit edilmiştir.

Akıma dik ucu küt burunlu ayaklar etrafında meydana gelen oyulmanın sivri burunlu ayaklara göre çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle akıma dik ayak genişliği oyulmada etkin bir rol oynamaktadır. Bu nedenle ayak şeklinin oyulmaya etkisi çok büyüktür.

Tison(1940)'a göre bu etkilerin nedenleri;

- Akım çizgilerinde büyük bir eğrilik oluşturan ayak şekilleri ayak önündeki düşey hız bileşenlerini büyütürken oyulmanın artmasına neden olurlar.
- Ön yüzü keskin olan ayak şekillerinde bu eğrilik daha küçük olduğundan oyulma daha az olmaktadır.



Şekil 4.3. Çeşitli ayak formları

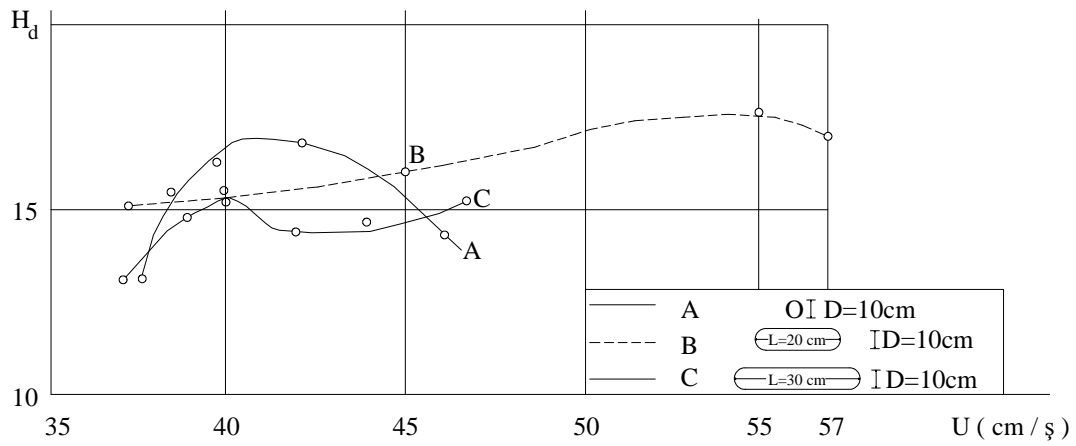
Dairesel silindirik bir ayak için elde edilen verilerin diğer ayaklar içinde uygulanabileceği fakat $K=0.41 \sim 1.40$ değerleri arasındaki ayak biçimlerine bağlı olan katsayılarla çarpmak gerektiğini belirtmiştir.[18]

Kare, dikdörtgen, dairesel, silindirik ve oblonik ayaklarda elde edilen neticeler sonucunda; kare kesitli ayaklara göre dairesel ayaklarda %20 , dairesel ayaklara göre oblonik ayaklarda %10 daha az bir oyulma meydana geldiğini belirtmiştir.[19]

| AYAK BİÇİMİ | LARRAS | BAŞAK |
|-------------------|-----------|-------|
| | K | |
| Daire | 1.00 | 1.00 |
| Jakowski | 0.80 | - |
| Üçgen | - | - |
| Elips | 0.83 | - |
| Mercek | 0.41-0.90 | - |
| Traşlı Dikdörtgen | 1.01 | - |
| Dikdörtgen | 1.40 | 1.20 |
| Oblonik | 1.00 | 0.90 |

Tablo 4.1. Larras(1963) ve Başak(1977)'in araştırmaları sonucu ortaya çıkan değerler.

Ayrıca ayak uzunluklarının da oyulmaya etkileri olduğu belirtilmiştir.[7] Şekil 4.4.'te yapılan deneysel çalışmanın neticesinde elde edilen değişim görölmektedir. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda köprü ayaklarının yan yüzeylerinin de oyulmaya etkisi olduğu tespit edilmiştir.[20]



Şekil 4.4. Ayak uzunluğunun oyulmaya etkisi

4.4.2. Akıma dik ayak genişliğinin oyulmaya etkisi

Genel olarak akıma dik ayak genişliği ne kadar büyük ise, diğer bir deyişle ne kadar küt burunlu ise ayaktaki oyulmanın da o derece büyük olacağı görüşü tüm araştırmacıların ortak görüşüdür.

Bir çok araştırmacı köprü ayaklarında meydana gelebilecek oyulmayı incelerken parametre olarak yalnızca ayağın akıma dik genişliğini dikkate almışlardır. Oyulma derinliği(H_d), ayağın akıma dik genişliğinin(D) bir fonksiyonu düşüncesiyle yapılan araştırmalar sonucunda aşağıdaki bağıntılara ulaşılmıştır.[21]

$$\text{NEİLL} \quad H_{d\text{max}} = 1.5 \sim 2.5 D \quad (4.2)$$

$$\text{LARRAS (1963)} \quad H_{d\text{max}} = 1.05 D^{0.75} \quad (4.3)$$

$$\text{BREUSERS(1965)} \quad H_{d\text{max}} = 1.4 D \quad (4.4)$$

$$\text{SHEN (1969)} \quad H_{d\text{max}} = D^{0.619} \text{ (sabit hız için)} \quad (4.5)$$

$$\text{BAŞAK (1975)} \quad H_{d\text{max}} = 0,558 D^{0.586} \text{ (dikdörtgen için)} \quad (4.6)$$

$$\text{BAŞAK (1977)} \quad H_{d\text{max}} = 0,446 D^{0.586} \quad (4.7)$$

$$\text{YÜKSEL} \quad H_{d\text{max}} = 0.61 D^{0.769} \quad (4.8)$$

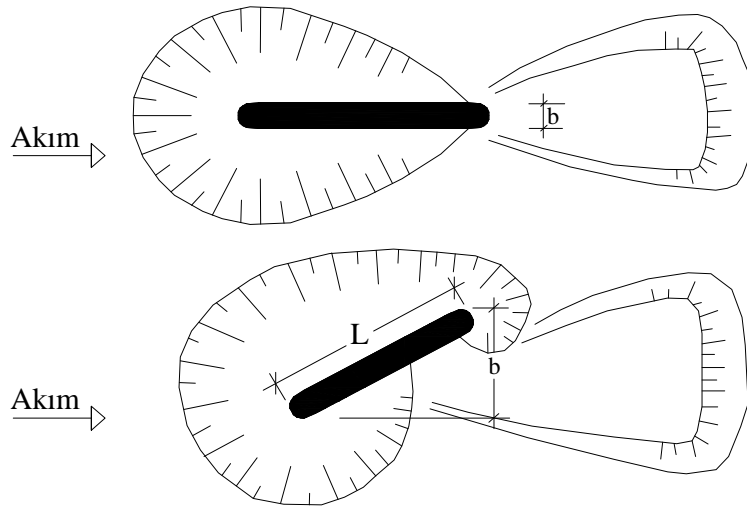
$$\text{ÜÇ (1979)} \quad H_{d\text{max}} = 0.61 D^{0.766} \quad (4.9)$$

Sığ sularda gerek köprü ayakları gerekse kenar ayaklar etrafındaki oyulma derinliğinin, ayağın akıma dik gelen genişliğiyle arttığını bunun akımın derinliğine bağlı olmadığını belirtmişlerdir.[22]

Yapılan bu tespite ek olarak derin akımlarda atnalı vorteksi gücünün, ayağın aşağı yöndeki bileşenleri ile kenar ayaktaki benzer akım bileşenlerinin ayağın akıma dik genişliğiyle bağlantılı olduğunu, belirtmektedir. Uzun kenar ayakların yerleştirildiği sığ sularda ise oyulma çukuru kenar ayağın memba yüzeti boyunca uzanamayacağından, kenar ayak uzunluğunun oyulma derinliğini daha az etkilediği belirtilmiştir. Çok uzun ayaklarda ise oyulma çukurunun ayağın her bir ucunda iki çukur olarak oluştuğu tespit edilmiştir.[23]

4.4.3. Atak açısının oyulmaya etkisi

Dairesel ayaklar hariç bütün ayak şekilleri için yerel oyulma derinliğinin atak açısından etkilendiği bütün araştırmacıların ortak görüşü olmuştur. Dairesel kesitli ayakların geometrisinden dolayı akım çizgilerindeki eğrilik değişmediğinden oyulma derinliği atak açısından etkilenmemektedir. Atak açısı oyulma derinliğinin oluşmasına etki eden en önemli faktördür.[6]

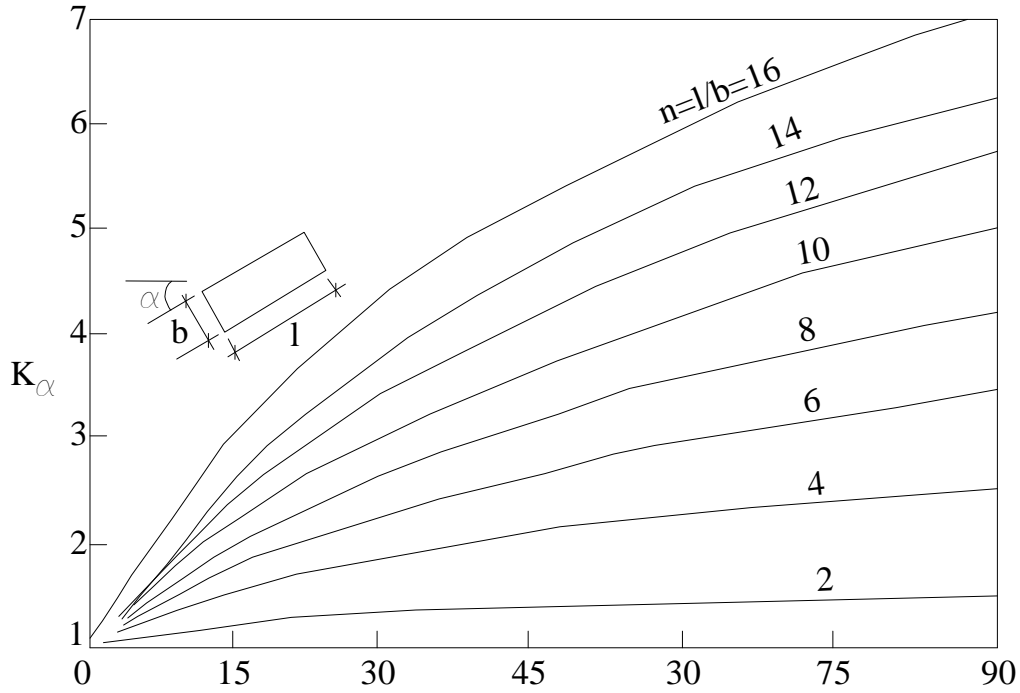


Şekil 4.5. Farklı Atak Açılarının Oyulmaya Etkisi

Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi atak açıları artarken maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ayağın açıkta kalan yanı boyunca arkaya doğru kayar. Burada ayağın ön tarafına göre daha büyük bir oyulma derinliği oluşmaktadır.[17]

Kenar ayaktaki oyulma derinliği genellikle atak açısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kenar ayağın membaya doğru yerleştirilmesiyle büyük oyulma derinlikleri oluşmaktadır. Atak açısı $\theta=90^\circ$ iken maksimum oyulma oluşmaktadır. Membaya doğru $\theta=30^\circ$ açıyla yerleştirilen kenar ayak oluşan oyulma derinliği, mansaba doğru $\theta=150^\circ$ açıyla yerleştirilen kenar ayak etrafında oluşan oyulma derinliğinden %17 daha fazladır.(Melville 1992-97)

Akımın ayağa belirli açı yaparak gelmesi halinde oyulmanın etkileneceği belirtilerek dikdörtgen kesitli ayak etrafında $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ arasında değişen atak açıları için K_α , katsayılarını gösteren grafik aşağıda gösterilmektedir.(Laursen ve Toch 1956)



Şekil 4.6. (α)Atak Açılılarıyla K_α Katsayısının değişimi

4.5. R_e ve Fr sayılarının Oyulmaya Etkisi

Yapılan teorik çalışmaların sonucunda vorteks çekirdeğinin hızının akımın R_e sayısı ile orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bunun neticesinde maksimum denge derinliğinin bulunması için; $H_{dmax} = 0.00222$, Reynolds sayısı için; $R_e = 0,619$ değerlerinin kullanılabilirliği önerilmektedir. [8]

R_e = Ayak Reynolds sayısını göstermektedir.

Oyulma R_e değeri ile belirli bir değere kadar artmakta fakat maksimum bir değere ulaştıktan sonra, R_e sayısının artmasına rağmen oyulma derinliği azalmakta hatta sabit kalmaktadır.[24]

Üç ayrı tane çapının incelendiği deneysel çalışma ile oyulmanın tane R_e sayısı ile değişiminin incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda; rölatif oyulmanın, R_e ; sayısı ile arttığını ve aynı zamanda her tane çapı için elde edilen neticelerin her birinde paralel olarak gerçekleştiği bulunmuştur. [25]

Froude sayısının oyulmaya etkisinin araştırılması sonucunda Shen ve Başak sayısının oyulmaya etkisi iki ayrı bölge için formülle bulunabileceği belirtilmiştir. Birinci bölge için yaklaşık olarak $=0,4$ değerine kadar devam etmekte ve

$$\text{---} \quad (4.10)$$

İkinci bölümde ise $=0,4-1.0$ arasındaki bölgede olup,

$$\text{---} \quad (4.11)$$

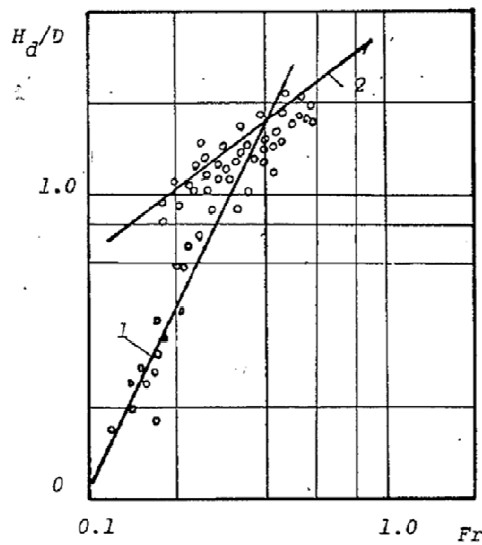
Formülü ile karakterize edilmektedir.

sayısının oyulmaya etkisinin ikinci dereceden bir etki olduğu belirtilmiştir. Froude sayısının aşağıdaki şartı sağlaması halinde bu sayının oyulmaya etkisinin olmayacağını dalgalar teorisinden hareketle bulmuşlardır. Bu şart,

$$\text{---} \quad (4.12)$$

Şeklinde sağlanmalıdır. [20], [24]

Bazı araştırmacılar ise Froude sayısının oyulmaya etkisinin olmadığı, buna karşılık yaklaşan akım özelliğinin tayininde etkili olabileceği belirtilmiştir. [26]



Şekil 4.7. Oyulmanın sayısına ile değişimi [6]

BÖLÜM 5 KÖPRÜ AYAKLARI İÇİN OYULMA BAĞINTILARI

Köprü ayakları etrafındaki oyulma problemi 1950' li yıllardan beri araştırılmaktadır, konunun karmaşık olması nedeniyle tüm koşullara uyan bir bağıntı elde edilememiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar sadece yapılan koşullarda geçerli olup, farklı akım ve taban malzemesi değerlerinde de farklılık göstermektedir. Köprü yapımı için üzerinde çalışılan akarsu üzerinde hesaplamalar yapmak için model kurulması, akarsuyun güzergâhı en kesit detayı akım ve taban malzemesi gibi değişkenler düşünüldüğünde oldukça kapsamlı bir iş olduğu açıktır. Her köprü için bu kapsamlı çalışmayı yapmak pratikte mümkün değildir. Bunun yerine her yöre için kendine özgü koşullarına benzer model koşullarında çalışılmış bağıntılar kullanılarak hesaplamalar yapılmalıdır.

Literatürde birçok oyulma bağıntısı verilmesine karşın, bu çalışmamda sadece aşağıda verilen formattakiler verilecektir.

$$\frac{d_s}{b} = f_3 \left(\frac{d_0}{b}, F_r, \sigma_g, \frac{b}{D_{50}}, K_s, K_\alpha \right) \quad (5.1)$$

Tablo 5.1.'de orta ayaklar etrafındaki oyulma bağıntıları yukarıda belirtilen formda verilecektir. Bu tabloda;

F_{rc} : Taban malzemesini harekete geçiren kritik Froude sayısı ($F_{rc} = U_c / (g d_0)^{0.5}$)

U_c : Tabanda hareketi başlatan ortalama akım hızı

N_s : Tane sayısı, $N_s = \frac{U_{0.5}}{\sqrt{\Delta g D_{50}}}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

$U_{0.5}$: taban seviyesindeki ortalama akım hızı, $\frac{U_{0.5}}{U_*} = 5.75 \log \frac{d_0}{k_s} + C$

formülünden hesap edilebilir.

Burada, $d_0 = 0.6 D_{50}$, $k_s =$ eşdeğer kum pürüzlülüğü (ince malzeme için D_{50} alınabilir),

$D_{50} \leq 11.6v/u_*$ ise, $C=5.5$, $D_{50} \geq 70v/u_*$ ise, $C=8.5$ alınabilir.

5.1. Orta Ayak Etrafında Oyulma Bağlıları

Tablo 5.1. Orta ayak etrafında oyulma bağlantıları [12]

| Araştırmacı | Standart Denklem | No | Gerçeklik şartı |
|-------------------------------|---|--------|--|
| Laursen (1958) | $\frac{d_s}{b} = 1.34 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.5}$ | (5.2) | Dairesel ayak, maksimum temiz su |
| Carsten (1966) | $\frac{d_s}{b} = 0.546 \left(\frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.02}\right)^{5/6}$ | (5.3) | Dairesel ayak, hareketli taban |
| Laursen (1963) | $\frac{d_s}{b} = 1.11 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.5}$ | (5.4) | Dairesel ayak, hareketli taban |
| Hancu (1972) | $\frac{d_s}{b} = 2.42 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{1/3} F_r^{2/3}$ | (5.5) | Dairesel ayak, maksimum temiz su |
| Neill (1973) | $\frac{d_s}{b} = K_s$ | (5.6) | $K_s = 1.5$ (dairese) 2.0 (dikdörtgen) |
| Bresusers ve diğerleri (1977) | $\frac{d_s}{b} = 2.0 \tan h \left(\frac{d_0}{b}\right)$ | (5.7) | Dairesel ayak, maksimum temiz su |
| Jain ve Fischer (1979) | $\frac{d_s}{b} = 1.85 F_{rc}^{0.25} \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.3}$ | (5.8) | Dairesel ayak, maksimum temiz su |
| Günyaktı (1988) | $\frac{d_s}{b} = 1.183 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.471}$ | (5.9) | Dairesel ayak, genel oyulma |
| Günyaktı (1988) | $\frac{d_s}{b_t} = 1.484 \left(\frac{d_0}{b_t}\right)^{0.569}$ | (5.10) | Dairesel olmayan ayak, genel oyulma |
| Yanmaz (1989) | $\frac{d_s}{b} = 0.85 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.686}$ | (5.11) | Dairesel, maksimum temiz su, $1.16 \leq N_s \leq 2.26$ |
| Yanmaz (1989) | $\frac{d_s}{b_t} = 1.111 \left(\frac{d_0}{b_t}\right)^{0.654}$ | (5.12) | Kare, maksimum temiz su, $1.16 \leq N_s \leq 2.26$ |
| Jain ve Fischer (1980) | $\frac{d_s}{b} = 2.0 (F_r - F_{rc})^{0.25} \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.5}$ | (5.13) | Dairesel ayak, hareketli taban, $F_r - F_{rc} > 0.2$ |
| Johnson (1992) | $\frac{d_s}{b} = 2.02 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.02} F_r^{0.21} \sigma_g^{-0.24}$ | (5.14) | Dairesel ayak, hareketli taban |
| Melville (1997) | $d_s = K_{yb} K_1 K_d K_s K_\alpha$ | (5.15) | Genel oyulma |
| Richardson ve Davis (2001) | $\frac{d_s}{b} = 2.0 K_s K_\alpha K_b K_z \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.35} F_r^{0.43}$ | (5.16) | Genel oyulma |
| Yanmaz (2001) | $\frac{d_s}{b} = 1.56 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.405} F_r^{0.413}$ | (5.17) | Dairesel ayak, hareketli taban |
| Yanmaz (2001) | $\frac{d_s}{b} = 2.748 \left(\frac{d_0}{b}\right)^{0.556} F_r^{0.859}$ | (5.18) | Dairesel olmayan ayak, genel oyulma |

Melville (1997) yöntemi, oyluma parametrelerinin detaylı analizine dayanmaktadır. Denklem (5.15)' te,

K_{yb} : Akım derinliği ve ayak genişliği oranına bağlı düzeltme kat sayısı,

K_1 : Akım şiddeti düzeltme katsayısı,

K_d : Tane çapı büyüklüğü düzeltme katsayısı,

K_s, K_α : Şekil ve yaklaşım hızı düzeltme katsayılarıdır.

K_{yb} kat sayısı şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$K_{yb} = 2.4 \quad b/d_0 < 0.7 \text{ için} \quad (5.19)$$

$$K_{yb} = 2\sqrt{d_0 b} \quad 0.7 < b/d_0 < 5 \text{ için} \quad (5.20)$$

$$K_{yb} = 4.5d_0 \quad b/d_0 > 5 \text{ için} \quad (5.21)$$

Akım şiddeti faktörü, K_1 temiz su oylumasında şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$K_1 = \frac{u - (u_a - u_c)}{u_c} \quad (5.22)$$

Burada, u ortalama akım hızı, u_a tane dağılımı büyük akarsularda zırhlanan malzemede en fazla oyluma yapan akım hızı, u_c kritik ortalama akım hızıdır. Hareketli taban durumunda $K_1=1.0$ alınacaktır. Tabanda büyük dane dağılımı varsa ($\sigma_g > 1.3$), karşılık gelen agreganın medyan çapı, D_{50} hesap edilir. Bu dane çapı kullanılarak, u_{ca} bulunur. Melville (1997) u_a hızı için, şu ifadeyi vermiştir.

$$u_a = 0.8u_{ca} \quad (5.23)$$

Melville (1997) tane çapı büyüklüğü düzeltme faktörünü şu şekilde vermektedir.

$$K_d = 0.57 \log \left(2.24 \frac{b}{D_{50}} \right), \quad \frac{b}{D_{50}} \leq 25 \text{ için} \quad (5.24)$$

Görelî dane çapı, $b/D_{50} \leq 25$ $K_d = 1.0$ olmaktadır. Melville (1997) yönteminde ayak şekli faktörü olarak şu değerler önerilmektedir; $K_s=1,0$, dairesel uçları yuvarlatılmış dikdörtgen ayak, $K_s=1,1$, kare ayak, $K_s= 0.9$, uçları inceltilmiş ayak, K_α kat sayısı ise, aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$K_s = \left(b \cos \alpha + \frac{Lp}{b} \sin \alpha \right)^{0.65} \quad (5.25)$$

Richardson ve Davis (2001) yöntemi, ABD' de yaygın olarak kullanılmaktadır. HEC-18 yazılımında standart denklem olarak kullanılmaktadır. Denklem (5.16.)'da ;

K_b : taban şekil faktörü

K_z : tabandaki zırhlanma etkisi faktörü olup, $D_{50} < 2mm$ ve ya $D_{95} < 20mm$ ise,

$$K_z = 1.0. \quad D_{50} \geq 2mm, D_{95} \geq 20mm \text{ ise,}$$

$$K_z = 0.4u_R^{0.15} \quad (5.26)$$

$$U_R = \frac{u - u_{icD50}}{u_{cD50} - u_{icD95}} \quad (5.27)$$

K_z faktörünün minimum değeri 4.0 olarak önerilmektedir. Bu değer $u < u_{icD50}$, durumunda olmalıdır. Denklemin hız parametreleri;

u_{icD50} : ayak etrafında D_x çaplı malzeme için oyulmayı başlatan ortalama akım hızı

$$u_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{b} \right)^{0.053} u_{cDx} \quad (5.28)$$

u_{icDx} = tabanda $D_{x\text{çaplı}}$ malzemede hareketi başlatan ortalama hız olup, m/s olarak tariflenmektedir.

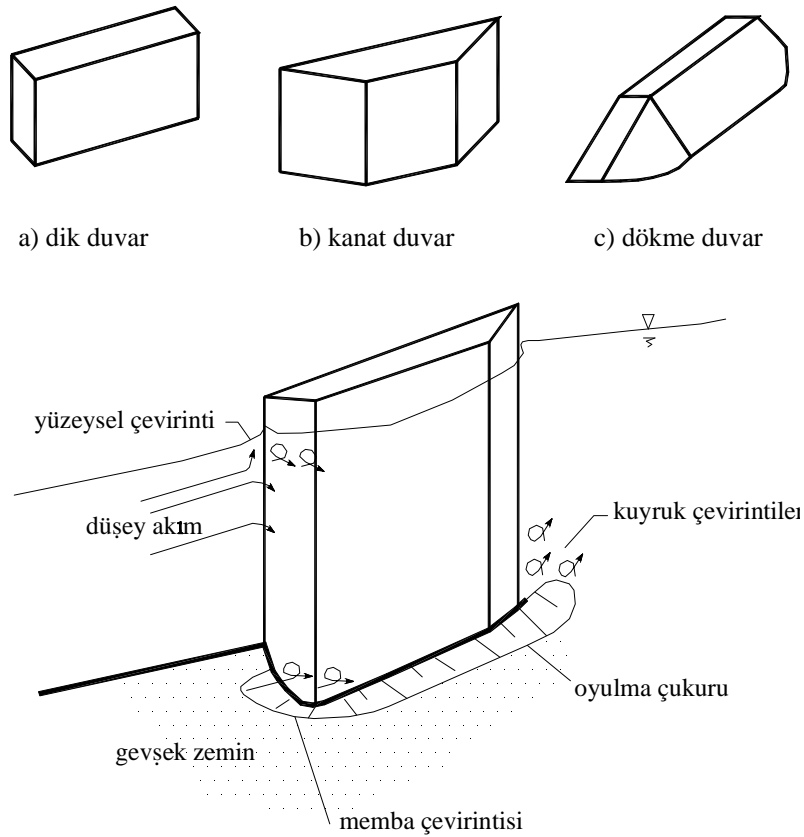
$$u_{cDx} = 6.19d_0^{1/6} D_x^{1/3} \quad (5.29)$$

Tablo 5.2 K_b değeri (Richardson ve Davis)

| Taban durumu | K_b |
|------------------------------|-----------|
| Temiz su oyulması | 1.1 |
| Düz taban ve ters basamaklar | 1.1 |
| Küçük basamaklar | 1.1 |
| Orta basamaklar | 1.1 – 1.2 |
| Büyük basamaklar | 1.1 |

5.2. Kenar Ayaklar Etrafındaki Oyulma Bağınıtları

Köprü açıklığının yalarına yapılan ve köprü üzerindeki yüklerin bir kısmını temele aktaran kenar ayaklar, dengeyi sağlamları için akarsu kesitine doğru bir miktar eğimli olacak şekilde tasarlanırlar. Köprü tasarımında gerekli olan bu detay, akarsu kesitinde daralmaya neden olur. Bu daralma neticesinde akarsuyun ortalama hızı artar, ayak etrafında akım çizgilerinde ayrılma ve ayak önünde ve arkasında çevrıntiler oluşur. Kenar ayaklarında akım ayrılımlarının olduğu, memba kısmında daha çok oyulma oluşmaktadır. Kenar ayak kesitleri membada oluşması muhtemel oyulmayı azaltacak geometride seçilir. Genelde kenar; dik duvar, kanat duvar, dökme duvar olarak kullanılmaktadır. Kenar ayaklar üzerindeki başka bir etkide, taşkınlar esnasında yamaçlardan gelen yanal akımdır, bu etki kenar ayaklardaki oyulmayı artırır. Bu nedenle büyük taşkınlar kenar ayak temellerinde büyük oyulmalara neden olmaktadır.



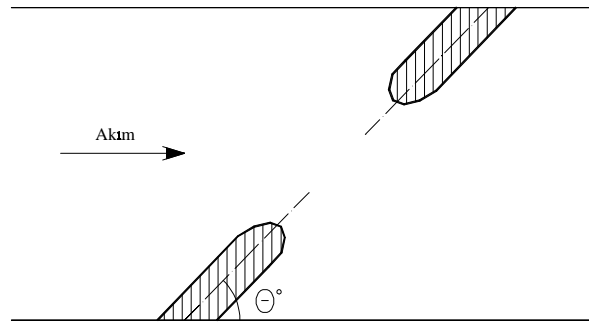
Şekil 5.1. Kenar ayak etrafındaki çevrıntiler ve oyulma çukuru

Kenar ayaklar etrafındaki oyulma derinliği, d_{sa} için önerilmiş bazı bağıntılar Tablo 5.3. 'de sunulmaktadır. Burada, L_a akıma dik yönde ve akım alanı içindeki kenar ayak uzunluğu, $F_r = u / (g d_0)^{0.5}$ akım Foude sayısıdır. Bu denklemden de anlaşılacağı gibi dik duvarlı kenar ayak etrafındaki oyulma, dökme ayak etrafındaki oyulmanın yaklaşık olarak iki katı kadardır. Bu sebepten yapının projelendirilmesi yapılırken akarsu kesitinde fazla daralma yaratmayacaksa dökme ayak terci edilmelidir.

Tablo 5.3. Kenar ayaklar etrafındaki oyulma bağıntıları

| Araştırmacı | Standart Denklem | No | Geçerlilik şartı |
|---|--|--------|---|
| Liu ve diğerleri (1961) | $\frac{d_{sa}}{d_0} = 1.1 \left(\frac{L_a}{d_0}\right)^{0.40} F_r^{0.33}$ | (5.30) | Dökme ayak, hareketli taban, $(L_a/d_0) < 25$ |
| Liu ve diğerleri (1961) | $\frac{d_{sa}}{d_0} = 2.15 \left(\frac{L_a}{d_0}\right)^{0.40} F_r^{0.33}$ | (5.31) | Dik duvar, hareketli taban, $(L_a/d_0) < 25$ |
| Laursen (1963) | $\frac{L_a}{d_0} = 2.75 \left(\frac{d_{sa}}{d_0}\right) \left\{ \frac{\left[0.09 \frac{d_{sa}}{d_0} + 1\right]^{1.17}}{\frac{u_*}{u_{*c}}} - 1 \right\}$ | (5.32) | Dik duvar, temiz su |
| Laursen (1963) | $\frac{d_{sa}}{d_0} = 1.89 \left(\frac{L_a}{d_0}\right)^{0.5} F_r^{0.33}$ | (5.33) | Dik duvar, maksimum temiz su |
| Gill (1970-1972) | $\frac{d_{sa}}{L_a} = 8.375 \left(\frac{d_0}{L_a}\right)^{0.75} \left(\frac{D_0}{L_a}\right)^{0.25} \beta^{6/7} - \frac{d_0}{L_a}$ | (5.34) | Dik duvar, maksimum temiz su |
| Laursen (1980) | $\frac{d_{sa}}{d_0} = 1.5 \left(\frac{L_a}{d_0}\right)^{0.48}$ | (5.35) | Dik duvar, hareketli taban |
| Froehlich, (1987) Simons ve Şentürk (1992) | $\frac{d_{sa}}{d_0} = 0.78 K_s K_0 F_r^{1.16} \left(\frac{L_a}{d_0}\right)^{0.63} \left(\frac{d_0}{D_{50}}\right)^{0.43} \sigma_g^{-1.87} + 1$ | (5.36) | Temiz su, tüm tip kenar ayaklar |
| Froehlich, (1989) | $\frac{d_{sa}}{L_a} = 2.27 K_1 K_2 \left(\frac{y_f}{L_a}\right)^{0.57} F_r^{0.61} + 1.0$ | (5.37) | Hareketli taban, tüm tip kenar ayaklar |
| Melville (1992) | $d_{sa} = 2(L_a d_0)^{0.5}$ | (5.38) | Dik duvar, temiz su $L_a/d_0 \leq 25$ |
| Richard ve Davis (1995) | $\frac{d_{sa}}{L_a} = 7.27 K_1 K_2 \left(\frac{d_0}{L_a}\right) F_r^{0.33}$ | (5.39) | Hareketli taban, tüm tip kenar ayaklar |
| Lim (1997) | $\frac{d_{sa}}{d_0} = 1.8 \left(\frac{L_a}{d_0}\right)^{0.5}$ | (5.40) | Dik duvar, temiz su |
| Melville (1997) | $d_{sa} = K_{yL} K_1 K_d K_s K_\theta K_G$ | (5.41) | Genel taban, tüm tip kenar ayaklar |
| Sturm (1999) | $\frac{d_{sa}}{f_0} = 8.14 K_{st} \left(\frac{q_{fl}}{M_{u,cx} y_{f0}} - 0.40\right) + 1.0$ | (5.42) | Temiz su |
| Sturm (1999) | $\frac{d_{sa}}{f_0} = 2 \left[\frac{q_{ml}}{M_{mic} y_{f0}} - 0.47 \right] + 1.0$ | (5.43) | Hareketli taban |

Froehlic (1987) bağıntısında; K_s değeri dik duvar için 1.0, kanat duvar için 0.82, dökme duvar için 0.55 olan bir şekil faktörüdür. K_θ ise; kenar ayak aksının yaklaşım aksıyla yaptığı açıdır. $K_\theta = (\theta/90)^{0.5}$ Şeklinde hesap edilir. Froehlic (1989) bağıntısında, y_f taşkın yatağındaki ortalama akım derinliği, F_r taşkın yatağındaki yaklaşım akımının Froude sayısıdır. Melville (1997) ve Sturm (1999) taşkın yatağı etkisini inceledikleri için daha genel bağıntılar vermişlerdir.



Şekil 5.2. Yaklaşım dolgusunun akımla açı yapması hali

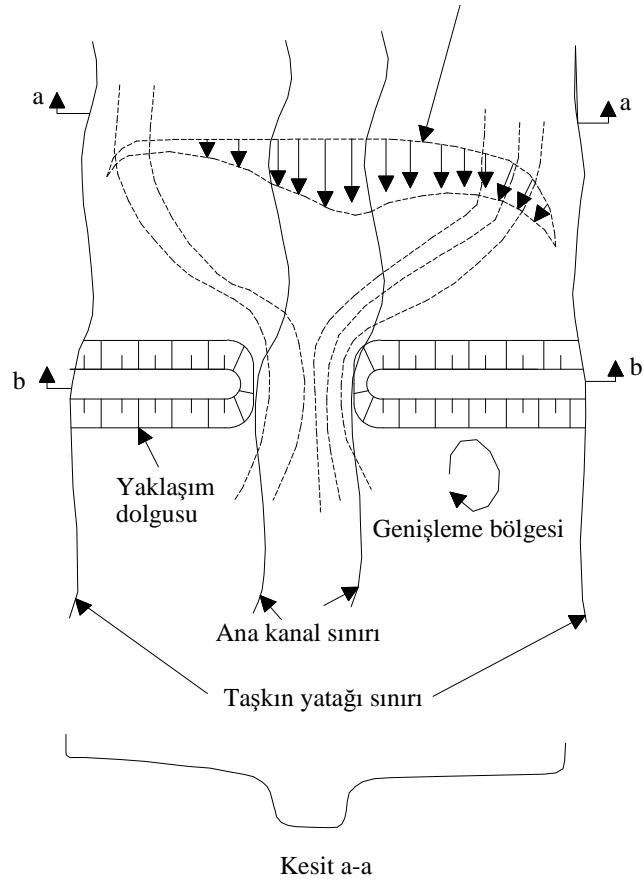
5.2.1 Kenar ayak oyulmalarında taşkın yatağının etkisi

Bu güne kadar yapılmış olan çalışmalarda, kenar etrafındaki oyulma bağıntılarında genellikle akımın bir boyutlu olduğunu kabul edilmiş ve akıma dik yöndeki yaklaşım dolgusu uzunluğu ile hesaplamalar yapılmıştır. Böylece tüm akarsu yatağı için bir hız kullanılmıştır. Gerçekte hız, yaklaşım dolgusu uzun olan köprülerde taşkın yatağı şevlerine doğru azalmakta yatağa doğru ise artmaktadır. HEC-18 yazılımında yaklaşım hızı etkin uzunluğu, L_a , kullanılması önerilmiştir (Bkz. Şekil 5.4.). Bu kavramda taşkın yatağı, taşınımları eşit olan parçalara bölünmekte ve taşınım miktarının fazla olduğu uzunluk, etkin uzunluk olarak alınmaktadır. Bu değeri bulmak için en kesit boyunca taşınım dağılımları bulunmalıdır.

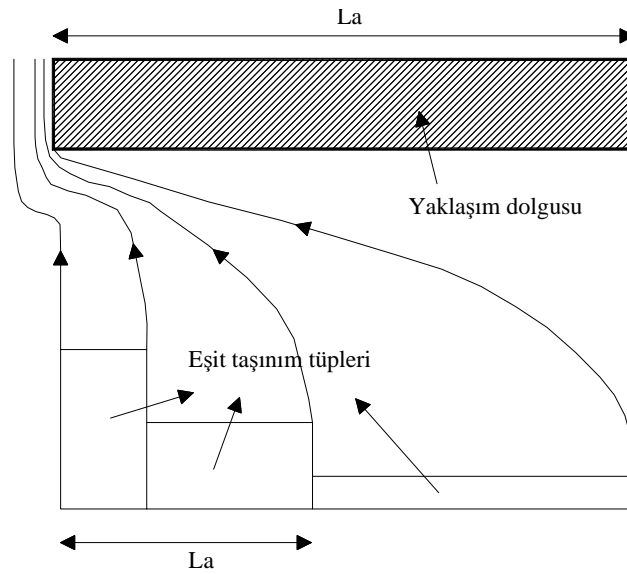
Bu hesaplar, HEC-RAS (1998) yazılımı ile yapılmaktadır.

Tablo 5.4 Kenar ayaklar için K_θ kat sayısı (Melville ve Coleman, 2000)

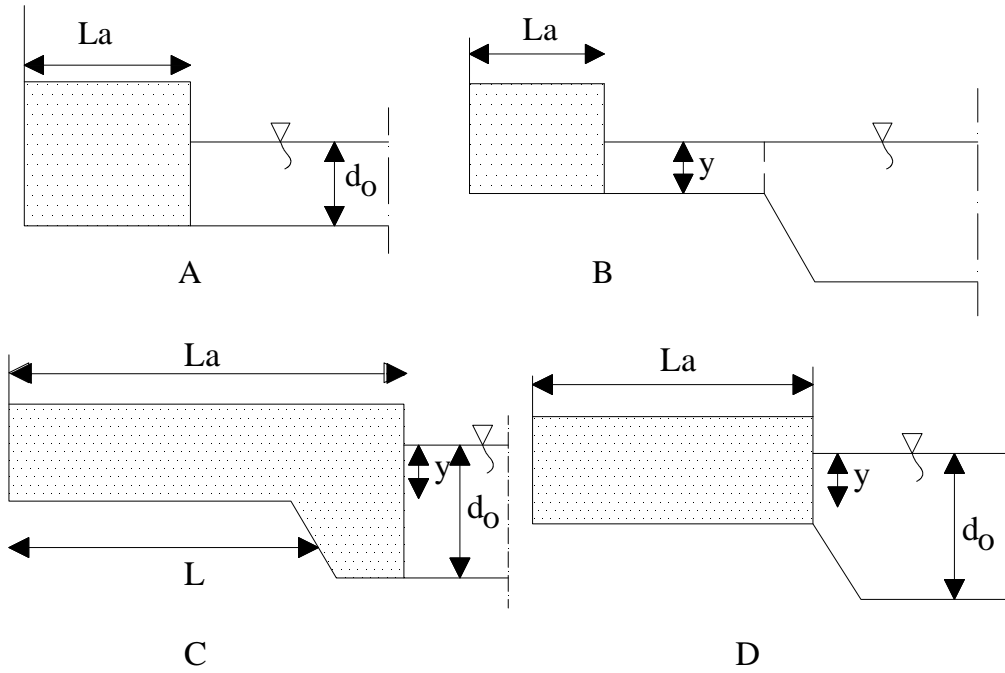
| θ° | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 135 | 150 |
|----------------|------|------|------|-----|------|------|------|
| K_θ | 0.90 | 0.95 | 0.98 | 1.0 | 1.05 | 1.07 | 1.08 |



Şekil 5.3. Yaklaşım dolgusunun hız dağılımına etki



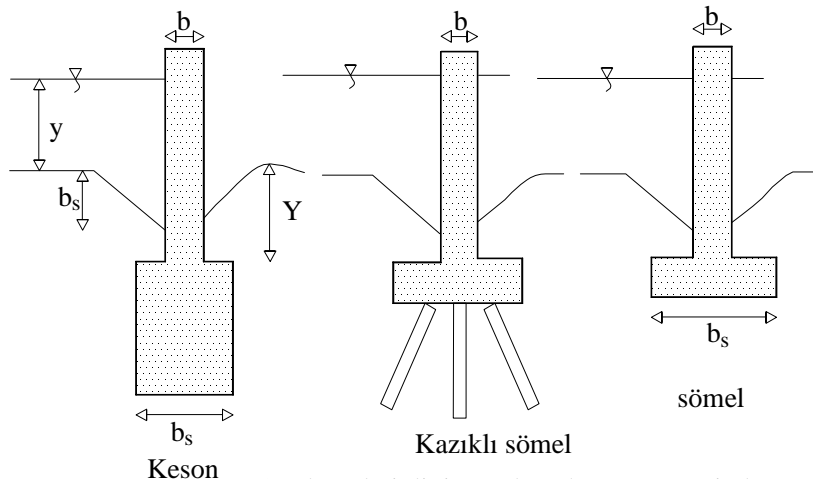
Şekil 5.4. Yaklaşım dolgusu uzunluğu (Richardson ve Davis, 2001)



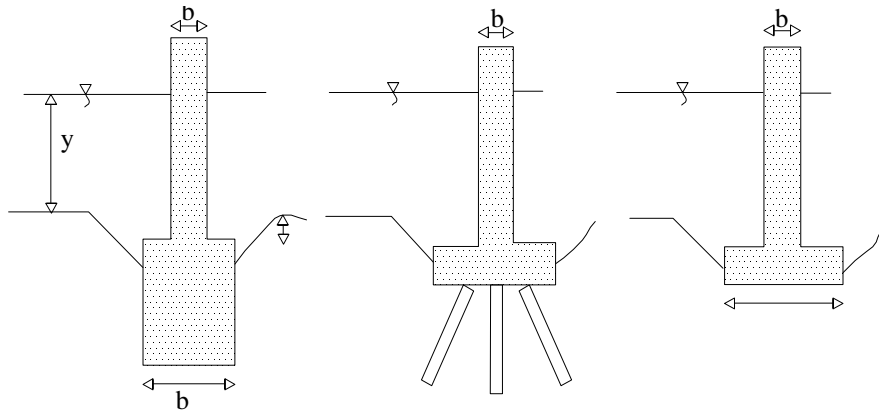
Şekil 5.5. kenar ayakların akım alanındaki olası konumları

5.2.2 Ayak temel geometrisinin oyulmaya etkisi

Köprü ayağı temel seviyesinde sömel, keson veya kazıklı sömel kullanılabilir. (Bkz.Şekil 5.6.), Temel şeklinin seçimi yapısal ve geoteknik detaylara bağlıdır. Ancak tabanda oyulma durumunda temel geometrisi hidrolik açıdan önemlidir. Bu koyalı ilgili olarak HEC-18 yazılımında birçok öneri analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi; sömel veya keson üst kotuyla talveg arasındaki düşey mesafe Y ile gösterilirse, ortalama taban seviyesi altına yerleştirilmiş sömel ve kesonlar da Y değeri pozitif, ortalama taban seviyesi üstündekiler için Y değeri negatiftir.



a) Oyulma derinliği temel üst kotunun üzerinde



b) Oyulma derinliği temel üst kotunun altında

Şekil 5.6. Ayak temel şekilleri ve olası konumları (Melville ve Coleman,2000)

Melville ve Coleman (2000), temel geometrisinin etkisini değerlendirmek için su derinliği boyunca temsili bir etkin genişlik, b_c tanımını yapmışlardır. Maksimum oyulmanın temel üst kotu üzerinde olması halinde (Şekil5.6-a), düşeyde iki farklı genişlik oluşmaktadır, ayak genişliği ve keson veya sömel genişliği. Bu nedenle, bu iki farklı geometrinin ağırlıklı etkisi alınarak etkin genişlik şu şekilde önerilmiştir.

(Melville ve Coleman , 2000):

$$b_c = b \left(\frac{y + Y}{y + b_s} \right) + b_s \left(\frac{b_s - Y}{b_s - Y} \right) \quad (5.44)$$

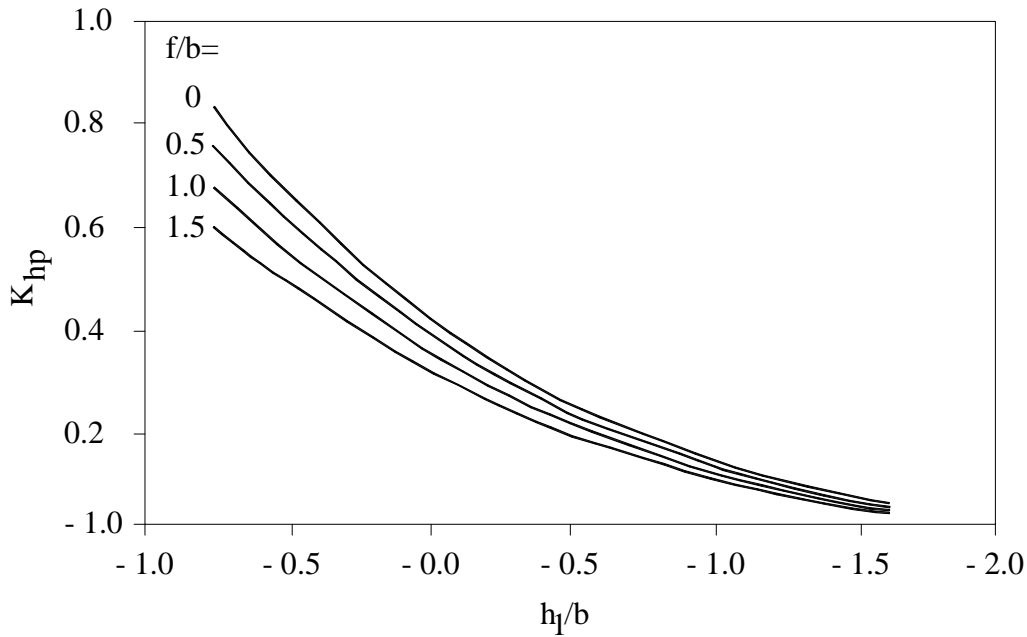
Melville'nin (1977) önerdiği düzeltme katsayılarını bulurken, b yerine b_c değeri kullanmıştır.

Genişliği b olan ayağın tabanda yaratacağı oyulma hesaplanırken ayağın tabandan olan yüksekliği h_1 değerinin etkisi dikkate alınmaktadır. Bu durumda oyulma derinliği tüm su derinliği boyunca etkiyerek, fakat farklı geometrilerin derinlik etkisini göze alan bir katsayıyla, K_{hp} düzenlenmiştir. Bu katsayı aşağdaki denklemlerle ifade edilmektedir. Ayrıca değişiklik f/b değerlerinde K_{hp} katsayısının boyutsuz h_1/b değerine göre değişimi Şekil 5.7'de gösterilmiştir [16].

$$K_{hp} = \left(0.4075 - 0.0669 \frac{f}{b}\right) - \left(0.4271 - 0.0778 \frac{f}{b}\right) \frac{h_1}{b} + \left(0.1615 - 0.0455 \frac{f}{b}\right) \left(\frac{h_1}{b}\right)^2 - \left(0.0269 - 0.012 \frac{f}{b}\right) \left(\frac{h_1}{b}\right)^3 \quad (5.45)$$

Tabandan h_1 kadar yüksekteki ayağın tabanda yaratacağı oyulma derinliği bileşeni. d_{sp} , CSU denkleminde hesaplanabilir.

$$\frac{d_{sp}}{y_1} = K_{hp} \left[2.0 K_s K_\alpha K_b K_z \left(\frac{b}{y_1}\right)^{0.65} \left(\frac{u_1}{\sqrt{y_1}}\right)^{0.43} \right] \quad (5.46)$$



Şekil 5.7. K_{hp} katsayısının h_1/b ile değişimi

Kazık başlığının taban seviyesinde yaratacağı oyulma derinliği bileşeni hesaplamadan önce ayak etkisiyle oyulmuş yeni taban seviyesine göre su derinliği, kazık başlığı derinliği ve ortalama hız şu şekilde düzeltilmelidir. [12]

$$y_1 = y_1 + \frac{d_{sp}}{2} \quad (5.47)$$

$$h_1 = h_0 + \frac{d_{sp}}{2} \quad (5.48)$$

$$u_2 = u_1 + \left(\frac{y_1}{y_2} \right) \quad (5.49)$$

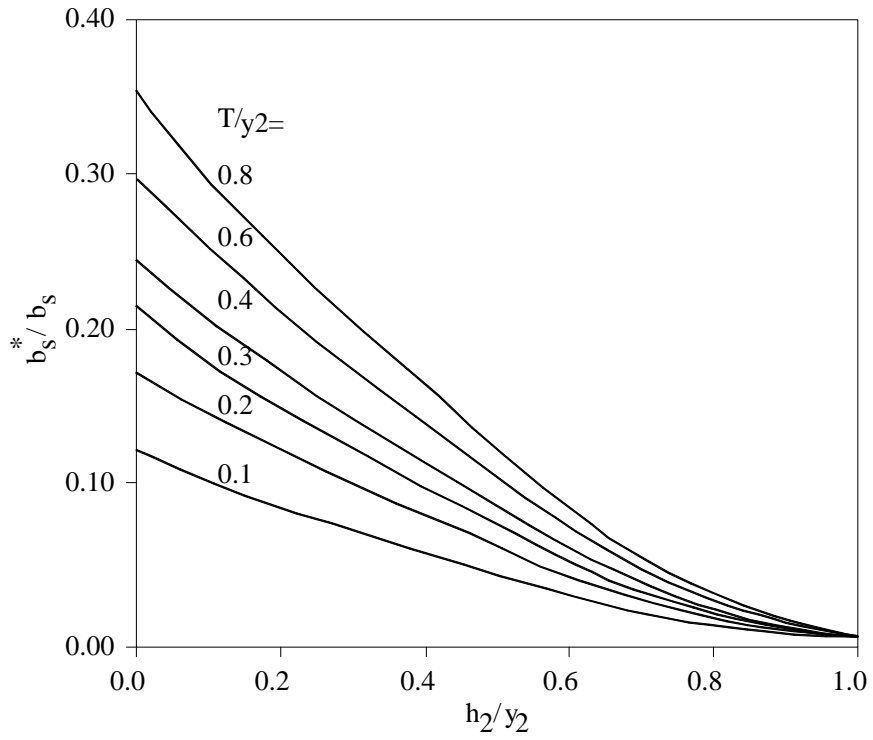
Kazık başlığının yaratacağı oyulma, başlığın taban seviyesine göre konumuna bağlı olarak iki farklı durum meydana gelebilir;

Birinci durum:

Kazık başlığı taban seviyesinin h_2 kadar üzerinde ise T kalınlığında b_s genişliğindeki kazık başlığının tabanda yaratacağı oyulma derinliği bileşeni bulunmalıdır. Kazık başlığının tüm su derinliği boyunca etkiyen eşdeğer bir b_s^* genişliği bulunarak bu genişliğin yaratacağı oyulma derinliği bileşeni hesaplanır. Eşdeğer kazık başlığı genişliği aşağıdaki ilişkiden bulunur. Bu değer ayrıca şekil.....□ den de bulunabilir. Boyutsuz eşdeğer kazık genişliği T/y_2 parametresiyle doğru, h_2/y_2 parametresiyle ters orantılıdır.

$$\frac{b_s^*}{b_s} = \exp \left[-2,7057 + 0,51 \ln \left(\frac{T}{y_2} \right) - 2,78 \left(\frac{h_2}{y_2} \right)^3 + \frac{1,751}{\exp \left(\frac{h_2}{y_2} \right)} \right] \quad (5.50)$$

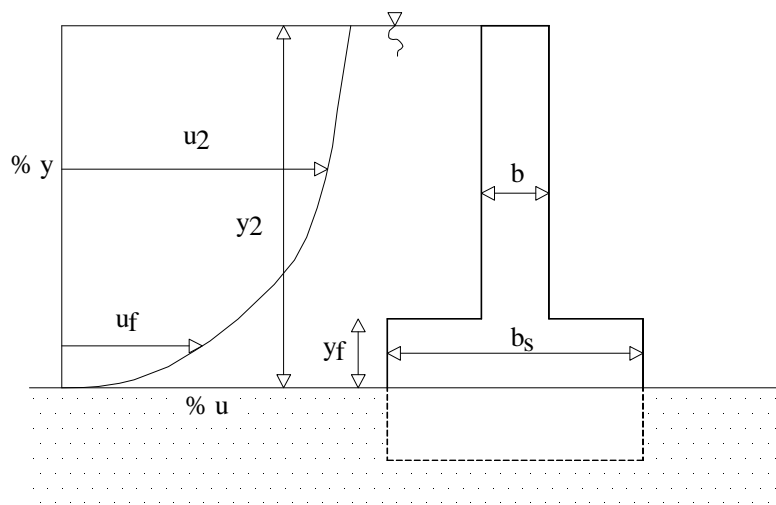
Kazık başlığının yarattığı oyulma derinliği bileşeni, d_{ss} , CSU denklemiyle şöyle hesaplanır:



Şekil5.8. Eşdeğer kazık başlığı genişliğinin bulunması

İkinci durum:

Eğer sömel alt kotu taban seviyesinin altında ise bu durumda kazık etkisinin bakılmasına gerek yoktur. Bu hal için kullanılacak parametreler Şekil 5.9□ de gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Sömel seviyesindeki ortalama hız

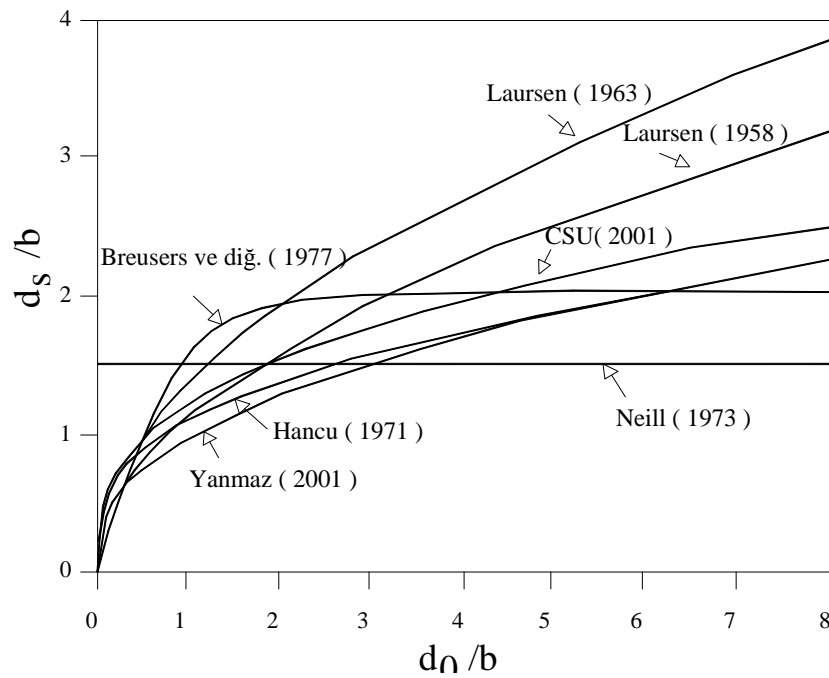
5.3. Ayaklar Etrafındaki Oyulma Bağıntılarının Geçerlilik Sınırları

Bu bölümde sunulan oyulma bağıntıları, genellikle laboratuvar verisine dayanmaktadır. Sunulan oyulma bağıntıları kohezyonsuz, gevşek zeminler için geçerlidir. Killi veya kayalık zeminlerde oyulma çok yavaş geliştiği için makul bir taşkın süresinde köprü temel seviyesinde önemli bir oyulma beklenmez. Bu tip zeminlerin özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Örneğin, kilin cinsi, kohezyon kuvvetlerinin kimyasal yapısı, boşluk suyunun pH değeri, kayanın yüzeysel durumu, çatlakların derecesi, vb. gibi özellikler zemin oyulmasında etkili parametrelerdir

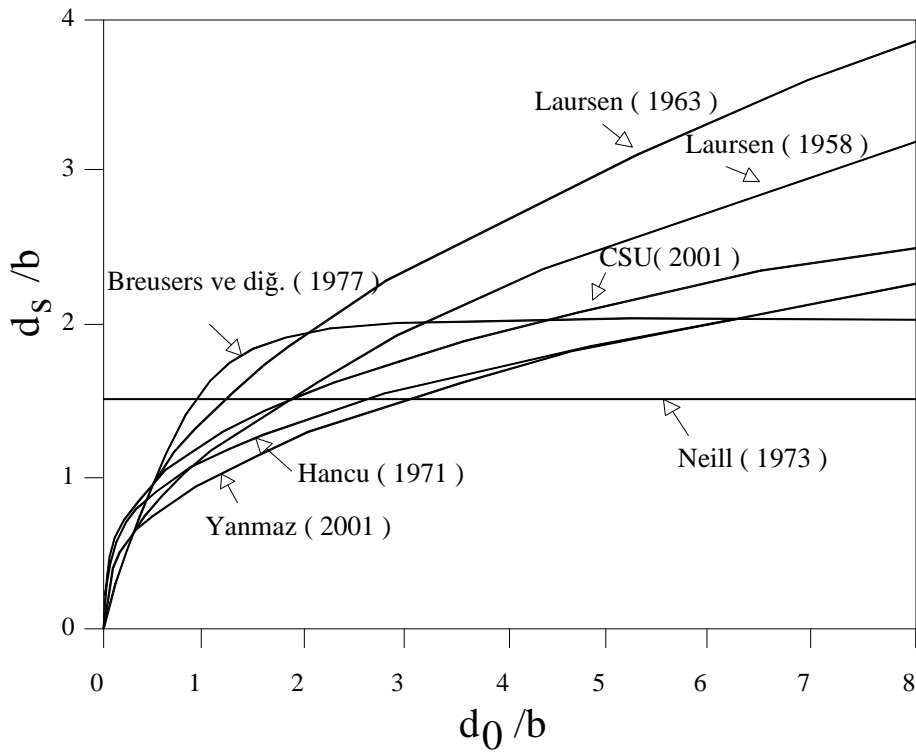
Arazi verisinin güvenilirliğinin düşük olması ve veri sayısının fazla olmaması nedeniyle, genellikle laboratuvar verisine dayanan modeller kullanılmaktadır. Ancak bu modellerin gerçeğinden daha fazla değerler verdiği düşünülmektedir. Arazide ölçüm yapıldığı zamanda oyulma derinliğinin maksimum değer olup olmadığı hakkında bir bilgi yoktur. Ayrıca, bilhassa taşkınlar esnasında sürekli değişim gösteren taban direnci ve taban malzemesi özellikleri ölçümler esnasında genellikle göz önüne alınmamıştır. Landers ve Mueller (1996) tarafından arazi veri için yapılan bir araştırmada maksimum görelî oyulma derinliği, d_s/b , 2.1 değerinde bulunmuştur. Melville ve Coleman (2000) göre laboratuvar ortamındaki görelî maksimum oyulma derinliği 2.4 mertebesinde dir. Bu değer, yazarın literatürdeki verileri kullanarak değişik taban rejimleri Richardson ve Davis (2001), yüksek Froud sayılarında ($F_r > 0,8$) maksimum görelî oyulma derinliğinin 3,0 değerine ulaştığını ifade etmişlerdir.[12]

Kenar ayaklar etrafındaki oyulma verisinin arazi değerleri hem azdır hem de laboratuvar koşullarında model uyumsuzluğu söz konusudur. Köprü ayakları etrafındaki oyulma derinliğinin belirlenmesi, köprü temel tasarımının en önemli aşamasıdır. Konuyla ilgili olarak ABD, Kanada, İngiltere, Avustralya, Yeni Zelanda, İsveç gibi ülkelerde detaylı tasarım kriterleri geliştirilmiştir. Bu kriterler arasında ABD'de FHWA tarafından geliştirilen HEC-18 (Richardson ve Davis, 2001) oldukça kapsamlı bir çalışma sonucu bir dizi kriter vermektedir. Ayrıca köprü geçişlerindeki akarsu dengesi için HEC-20 ve köprü ve akarsudaki düzenleme yapıları için HEC-23 yazılımları da mevcuttur.

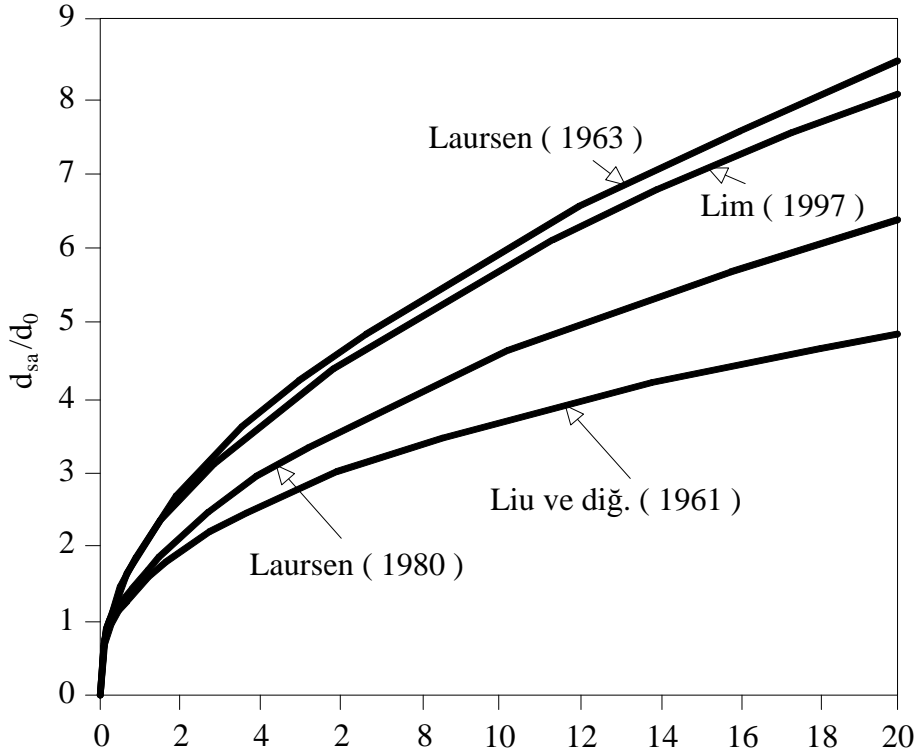
Bazı orta ve kenar ayak bağıntıları Froud sayılarında birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 5.10, 5.11, 5.12). Bu şekillerden görüleceği gibi sabit bir Froud sayısında ayaklar etrafındaki oyulma bağıntıları oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde, orta ayaklar için HEC-18 yöntemi (CSU denklemi) ve Melville denklemi (1997) yöntemi, kenar ayaklarda $L_a/d_0 < 25$ için; Richardson ve Davis (1995), $L_a/d_0 \leq 25$ için, Froehlich (1987 ve 1989) ve Melville (1997) yöntemleri önerilmektedir. Orta ayaklar etrafındaki temiz su oyulmasının zamansal değişimi için Yanmaz (1989) yöntemi kullanılabilir.



Şekil 5.10 Orta ayak oyulma bağıntılarının $F_r = 0,3$ karşılaştırılması [12]



Şekil 5.11 Orta ayak oyulma bağıntılarının $F_r = 0,5$ karşılaştırılması [12]



Şekil 5.12 Kenar ayak oyulma bağıntılarının $F_r = 0,3$ karşılaştırılması [12]

BÖLÜM 6 LALADERE KÖPRÜSÜ ÜZERİNE YAPILAN İNCELEME; SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde; 8 Eylül 2009'da meydana gelen şiddetli yağışların etkisi ile yıkılan Laladere köprüsü incelenerek, köprü ile ilgili önerilerde bulunulacaktır.

Laladere köprüsü, Tekirdağ iline 98 km, Saray ilçesine 9 km uzaklıkta olan güngörmez köyünde bulunmaktadır. Güngörmez köyü Yıldız Dağları'nın eteklerinde kurulmuştur. Orman köyü olan Güngörmez civarı, yeşil bitki örtüsüyle çevrili, Ergene Havzası'nın kara ikliminden, Yıldız Dağları'nın Karadeniz iklimine geçiş yaptığı bir noktada, Ergene Havzası'ndan daha yağışlı bir iklim özelliği göstermektedir. Yağışlı iklim özellikleri nedeniyle köy civarında birçok tane küçük akarsu bulunmaktadır. Bölgenin yıllık yağış ortalaması 678.2 mm' dir. İklim özellikleri nedeni ile, bu akarsuların bir çoğu yağışların etkisi ile kışın akış halinde olup, yazın ise suları çekilmektedir. Yoğun yağışın etkisiyle bölgede kış aylarında taşkın olayları meydana gelmektedir.

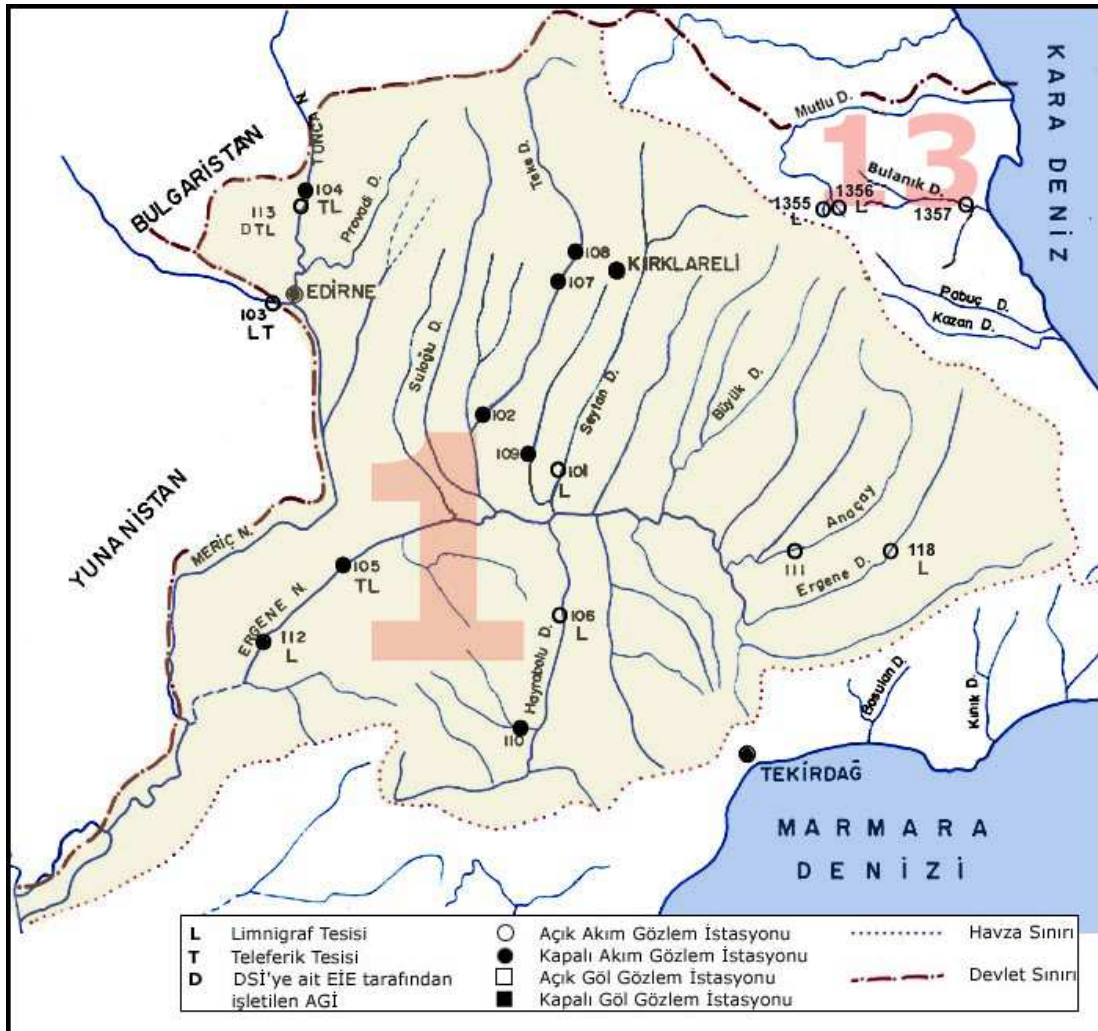
Laladere köprüsü Tekirdağ saray ilçesinin vize ile bağlantısını sağlayan kara yolu üzerinde bulunmaktadır. Köprü Laladere piknik alanından 200m önünde yer almaktadır. Güngörmez köyü ile bahçe köyü birbirine bağlayan köprü, Marmara bölgesinin turizm açısından önemli olan, Kıyı köy ve doğal sit alanı olan Kosta bölgelerine ulaşımı sağlamaktadır.

Yaşanan taşkın sonrasında ulaşım, akarsuyun mansabına doğru akarsu kesitinin düşük olduğu yerde tali kanallar üzerine dolgu yapılarak oluşturulan tali geçişle sağlanmaktadır.

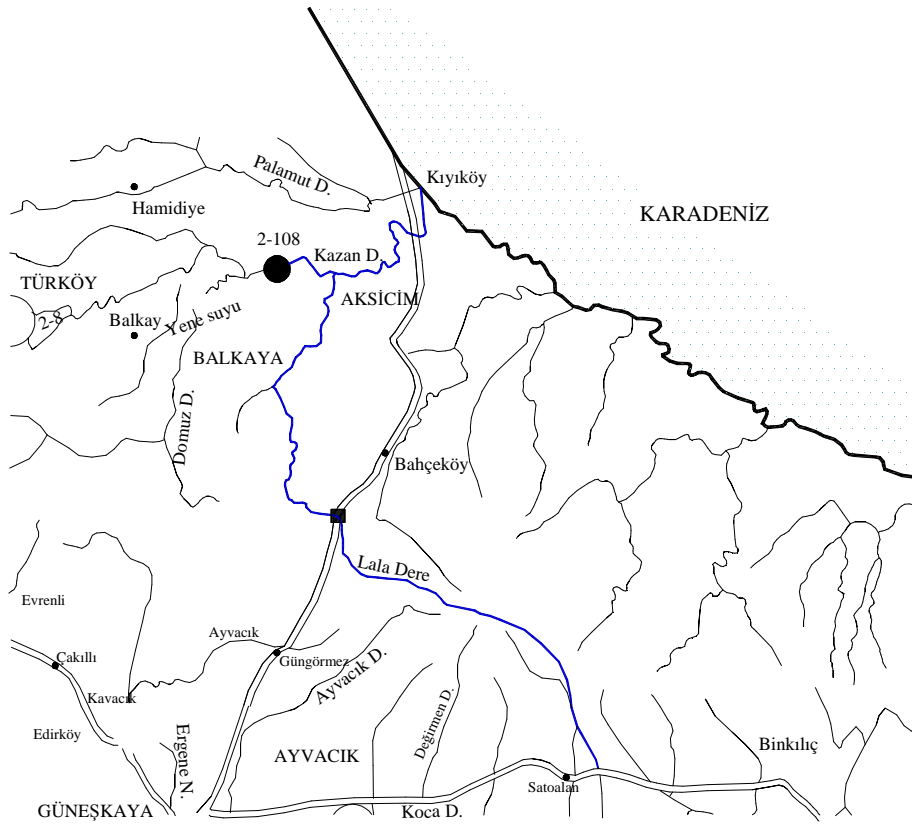
Laladere, Elektrik işleri Etüt idaresi Genel Müdürlüğünce hazırlanan, Büyük Akarsu Havzaları Haritasında, Müteferrik Batı Karadeniz Suları Havzası (13) olarak tanımlanan bölge içerisinde yer almaktadır. (Şekil 6.2.)

Akarsu havzası eğimin ve yağışın etkileri ile birçok akarsuyu bünyesinde barındırmaktadır. Havzada bulunan akarsular yağış ile topladıkları suyu denize taşıyan kısa mesafeli akarsulardır. Bu akarsuların kısa olmasının bir nedeni de bölgenin kıyı kesimlerinin dağlık olmasıdır.

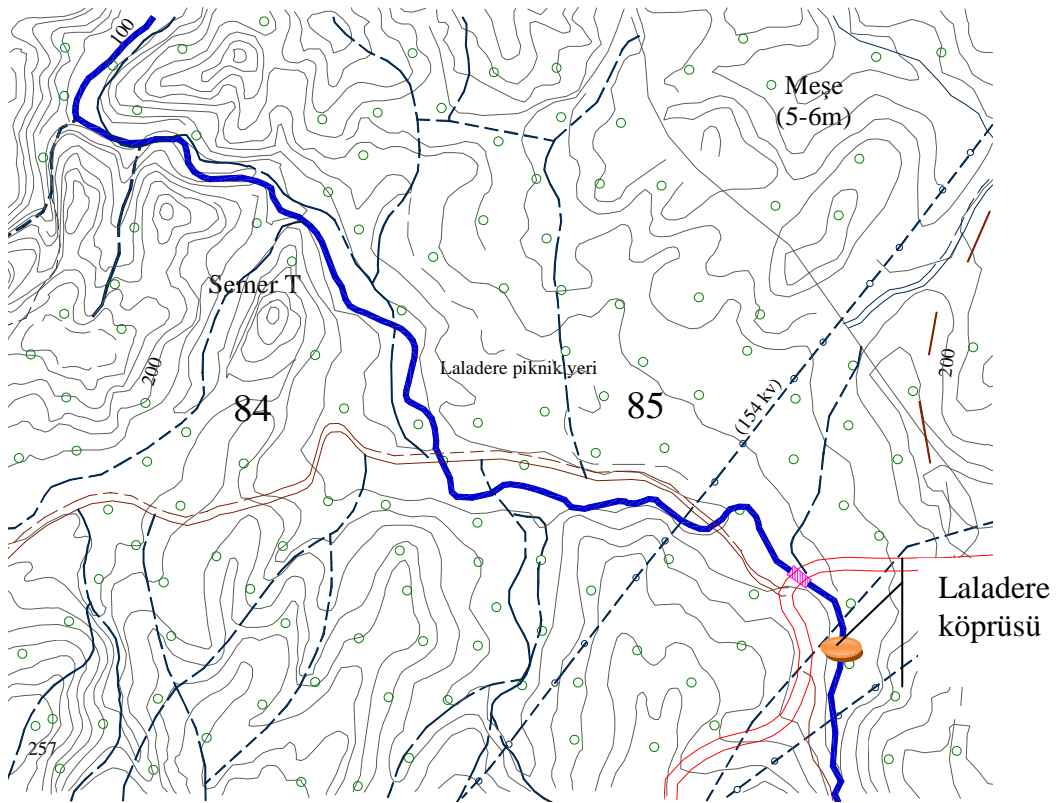
Laladeresi dere mansabında kazan dere ile birleşerek kara denize dökülmektedir.



Şekil 6.1. Müteferrik Batı Karadeniz Suları Havzası



Şekil 6.2. D.S.İ. detaylı havza haritası, Laladeresi



Şekil 6.3. Havza eş yükselti eğrileri haritası, yıkılan Laladere köprüsü

Laladere üzerinde E.İ.E.' nin bir akım gözlem istasyonu bulunmamaktadır. Bölgedeki akarsu gözlem istasyonları, belli bir çalışmaya yönelik olarak ölçüm yapılmış gerekli veriler elde edildikten sonra istasyonlar kapatılmıştır.

Sayısal hesaplamalar için derenin debileri, taşkın hidrograf değerleri hesaplanarak bulunmuştur. Taşkın Hidrolojisinin amacı, belirlenen bir akarsu en kesitinden geçebilecek muhtemel feyzan (taşkın) debisini kestirmektir.

Bu yöntemlerden birkaçı ülkemizde de bu alana ait mühendislik problemlerinin çözümünde genel kabul görmüş ve kullanılagelmiştir (Mockus Metodu, DSİ Sentetik Metodu, Snyder Metodu, Rasyonel Metod...) . Bu amaçla uygulanan yöntemlerden en çok kabul görenler, Sentetik Birim Hidrograf Yöntemleridir.

Yapılan çalışmada ilk olarak, 1/25000 ölçekli harita üzerinde belirlenen akarsu kesitinden geçebilecek “Muhtelif Tekerrürlü Taşkın Debileri-Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, Q100 ve Q500” hesaplanmıştır.

Taşkın Hidrolojisi bu konunun esasını teşkil etmediğinden yapılan çalışma yalnızca özet olarak Tablo6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.1 taşkın hidroğraf sonuçlarının karşılaştırılması

| | Q2 | Q5 | Q10 | Q25 | Q50 | Q100 | Q500 |
|--------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MOCKUS METODU | 1,16 | 6,05 | 12,37 | 24,98 | 38,44 | 55,9 | 86,02 |
| DSİ SENTETİK METOD | 0,77 | 5,27 | 11,46 | 24,19 | 38,19 | 56,22 | 87,2 |

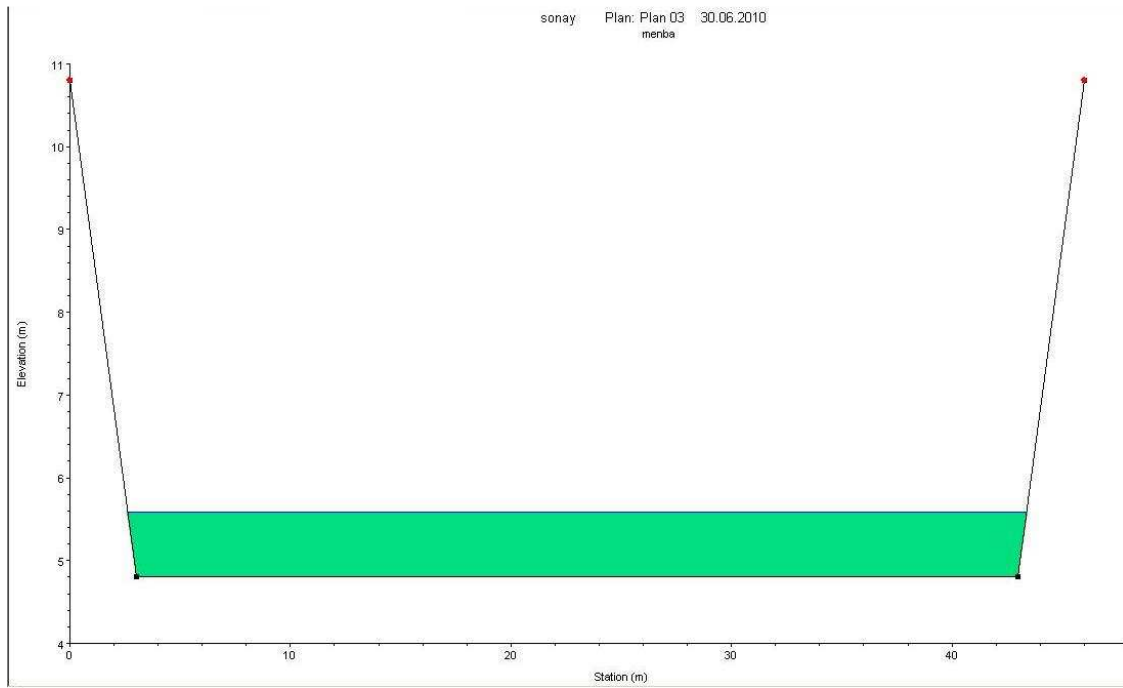
Hesaplanan bu debiler göz önünde bulundurularak ve belirtilen kesitte yapılan arazi çalışmaları esas alınarak, yaklaşık olarak bu debilerin, kesitlerimizde hangi seviyelere karşılık geldikleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada DSİ Sentetik metot verileri kullanılmıştır.

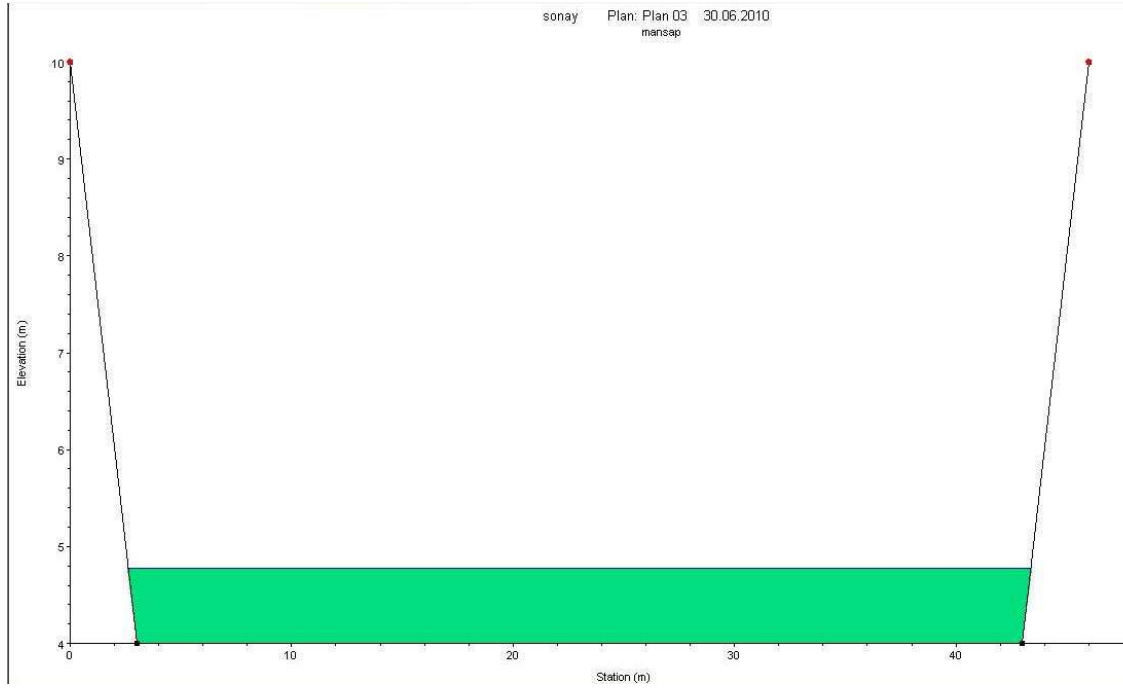
Akarsu hidrolik hesapları; hidrolik hesap yapmak için, American Army of Corps Engineering kurumu tarafından geliştirilen ve dünyada yaygın olarak kullanılan HEC-RAS adındaki Akarsu Hidrolik Analiz Yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmanın esasını bu yapılan çalışma teşkil etmeyeceğinden kısıtlı arazi çalışmaları sonucu elde edilen En Kesit Bilgileri ve hesaplanan “Muhtelif Tekerrürlü Taşkın Debileri”, Düzenli Sürekli Akım Dataları olarak girilerek bir yaklaşımda bulunulmuştur.

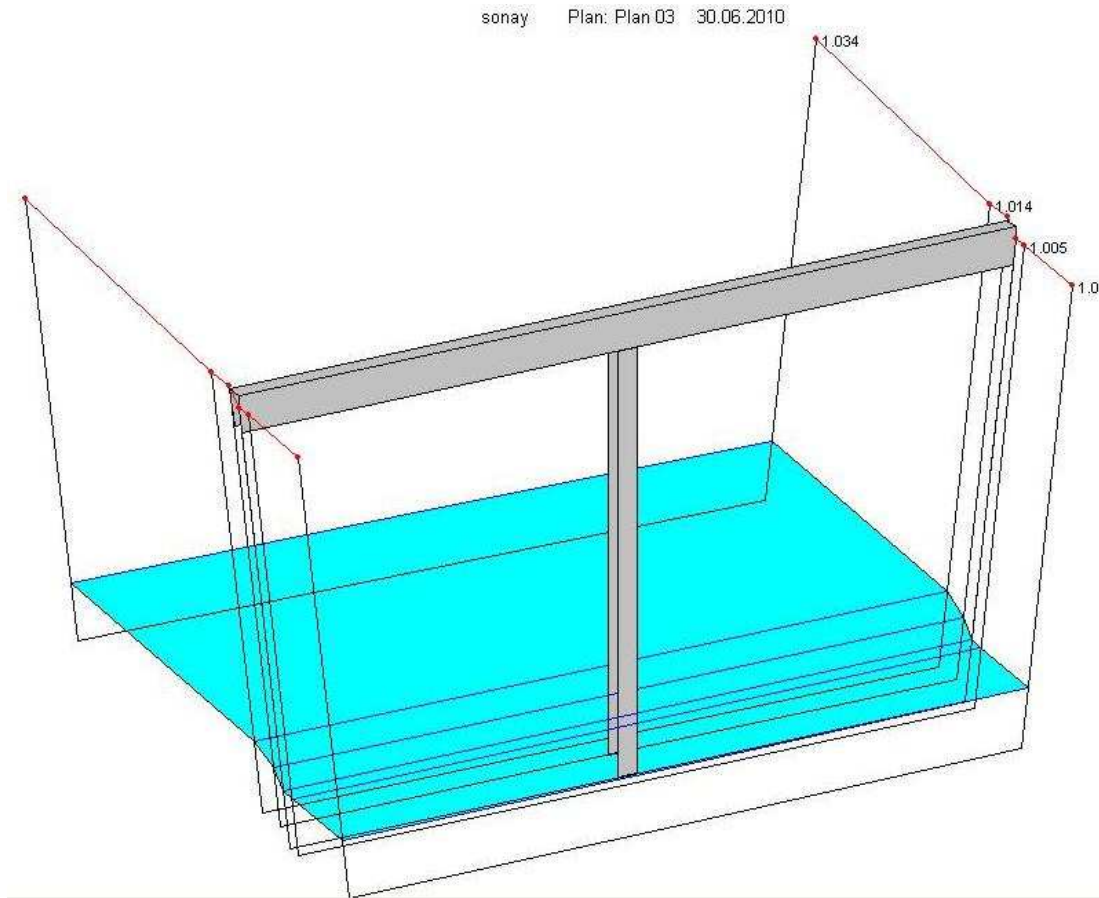
Yapılan hesaplamalar sonucunda Q500 akım derinliği değerleri şu şekilde hesaplanmıştır. Membada da, 5.80m mansap da, 4.80m olarak hesap edilmiştir. Köprü ayakları etrafındaki su derinliği 4.62 hesaplanmıştır.



Şekil 6.4 Akım derinliği kesiti, Membada Q500



Şekil 6.5 Akım derinliği kesiti, Mansapta Q500



Şekil 6.6. Akım derinliği kesiti, Profilde Q500

Konu ile ilgili yapılan detaylı araştırmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda, yıkılan köprü ile ilgili yapılan çalışmaları şu şekilde özetlemek mümkündür.

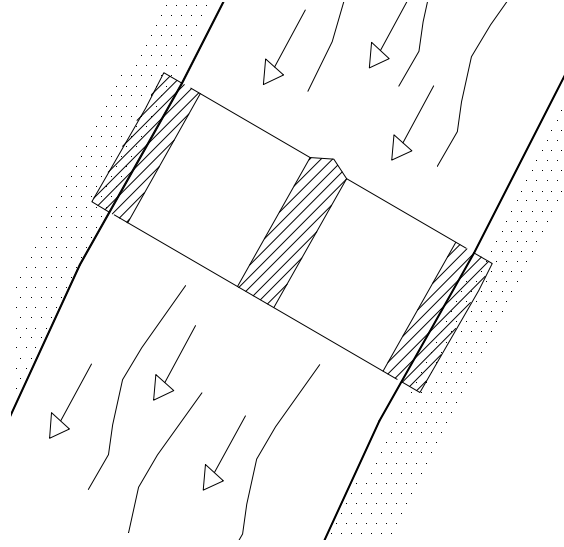
Laladere köprüsü, 2 açıklıklı olarak yığma taş kullanılarak inşa edilmiştir. Köprü kenar ayakları dik duvar şeklinde, orta ayağı ise dikdörtgen şeklinde yapılmış ve orta ayağın memba tarafına sel yaran uygulaması yapılmıştır. Köprü Laladeresi' nin, bölgedeki en dar kesiti üzerine yapılmıştır. köprü açıklığının az olduğu kesit akarsu kıvrımına gelmesi köprünün yıkılmasındaki en büyük etkenlerden biri olduğu görölmektedir. Akarsu kıvrımına yerleştirilen köprü ayakları akım doğrultusuna dik şekilde yerleştirilememesi sebebi ile özellikle kıvrımın iç kısmında yer alan kenar ayakta ciddi vortekslerin oluşmasına neden olmuştur. Kenar ayak tipinin dik duvar olarak seçilmesi vorteks etkisini daha da arttırmış ve kenar ayağın tabanında büyük oyulma çukuru oluşumunu tetiklemiştir. 9 Eylül 2009'da meydana gelen şiddetli yağışlar sırasında da akarsuda meydana gelen taşkın akım değerleri kenar ayağı yerinden koparmıştır. Orta ayak çevresinde oluşan vorteks etkilerinin de yüksek olduğu akarsu tabanında oluşan ve ayak temeli altında kısmi bir bölgede 0,30m oluşan oyulma meydana getirmiştir. Orta ayağın memba kısmında büyük oyulma çukuru meydana getirmiştir, fakat ayak çökmemiştir. Ayağın halen ayakta durmasında, memba kısmında düzenlenmiş olan sel yaranların etkisi büyüktür. Taşkından köprü orta ayağındaki sel yaranlarda da önemli hasarlar meydana geldiği görölmektedir.

Laladere köprüsü seçilen bu kesitte; kenar ayakları dökme ayak olarak seçilmesi, köprünün akarsu kıvrımında olması sebebi ile kenar ayaklarda meydana gelebilecek yüksek zorlanmalara karşı önerilen kenar ayak tipidir. Orta ayak için; daha önceki bölümlerde bu güne kadar yapılmış bir çok araştırmacının elde ettiği veriler bize doğru kesit seçiminin dairesel olacağını göstermektedir.

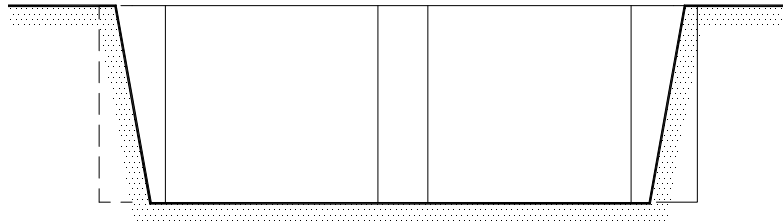
Yıkılan Laladeresi köprüsü yerine, Kara yolları genel müdürlüğüne yapılmış yeni köprü hali hazırda mevcuttur. Ulaşıma açılmayan köprü, tasarım açısından incelenmiş ve yeni köprü üzerine görüşlere aşağıda verilmiştir.

Yeni köprü betonarme olarak eskisi gibi 2 açıklıklı olarak tasarlanmıştır. Yeni köprü, yıkılan Laladeresi' nin mansap kısmına yapılmıştır. Köprü yapımı için seçilen akarsu kesiti, akarsu kıvrımdan uzakta akarsuyun doğrusal olduğu bir kesit olarak seçilmiştir. Bu seçim köprüde kıvrım etkilerini en aza indirmede etkili bir seçim olduğu açıktır. Seçilen kesitte akarsu genişlemektedir. Akarsu kesitinin doğal olarak genişlediği bir noktada köprü yapılması, köprü kenar ayakları sebebi ile meydana gelebilecek daralma oyulması etkilerini için önemli bir seçimdir. Yeni köprüde eski köprüde olduğu gibi dik kenar ayaklar kullanılmıştır, bu seçim köprü için seçilen akarsu kesiti düşünüldüğünde uygun bir seçim olarak düşünülebilir. Fakat yapılan araştırmalar, akarsu kesitinde daralma meydana getirmeyecekse dökme ayakların taşkın sırasında meydana gelecek yanal etkileri yarı yarıya azalttığı sonucuna varılmıştır. Bu bilgi neticesinde taşkın rejiminde bulunan Laladeresi için seçilen köprü kenar ayaklarının dökme ayak olarak yapılması düşünülebilir. Yeni köprüde orta ayaklar için dairesel kesit kullanılmıştır. Köprü tabliyesi, kenar ayaklardan açılı olarak gelmekte ve orta ayak üzerinde birleşmektedir. Köprü tabliyesi memba kısmında mansaba göre daha yüksek yapılmıştır. Köprü tabliyesindeki tasarımında yapılan bu değişikliklerle taşkın esnasında memba tarafında oluşması muhtemel akarsu yüzü kabarmalarının etkileri minimuma düşürülmeye çalışılmıştır.

Yukarıda yıkılan ve yeni yapılan köprü ayak seçimleri ve oyulma üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Bu etkiler aşağıda sayısal olarak ortaya konmaya çalışılmış ve üzerinde çalışılan köprü ayak geometrileri, akarsu üzerindeki konumları verilmeye çalışılmıştır.



Şekil 6.7. Yıkılan Laladere köprü ayakları yerleşimi



Şekil 6.8. Yıkılan Laladere köprü kesiti

Laladeresi Yıkılan Köprü İçin Oyulma Derinliği Hesabı,

Orta ayak oyulma derinliği hesabı için, Melville (1997) genel oyulma bağıntısı, $d_s = K_{yb}K_1K_dK_sK_\alpha$ kullanılmıştır.

Hesaplarda yaklaşım akım değeri, $d_0 = 4.62$, orta ayak genişliği, $b=1.5$, kenar ayak için ayak boyu, $La=1,2m$ olarak alınmıştır.

K_{yb} akım derinliği ve ayak en kesitine göre düzeltme faktörü, b/d_0 oranından,

$b/d_0 = 4,62/1.5 = 0,32$ $b/d_0 < 0.7$ için, $K_{yb} = 2.4b$ eşitliği ile,

$K_{yb} = 3.6$ olarak hesaplanmıştır.

Akarsu hareketli taban olarak kabul edilmiştir. Hareketli taban kabulünden;

$K_1 = 1$, $K_\alpha = 1$ olarak alınacaktır. $b/D_{50} > 25$ olduğundan $K_d = 1$ olarak alınmıştır.

K_s , ayak şekli faktörü, oblonik ayak olduğu için 0.9 olarak seçilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, oyulma derinliği;

$d_s = 3.24$ olarak hesap edilmiştir.

Kenar ayak oyulma derinliği hesabı için, Melville (1997) genel oyulma bağıntısı, $d_{sa} = K_{yL}K_1K_dK_sK_\theta$ kullanılmıştır.

K_{yL} akım şiddeti düzeltme faktörü, L_a/d_0 oranından,

$L_a/d_0 = 1,2/4,62 = 0.25$ $L_a/d_0 < 1$ için; $K_{yL} = 2L_a$ eşitliği ile,

$K_{yL} = 2.4$ olarak hesaplanmıştır.

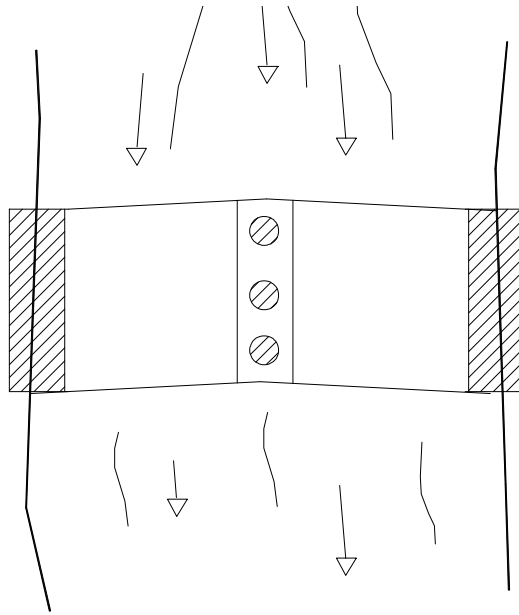
Hareketli taban kabulünden;

$K_1 = 1$, $K_s = 1$ olarak alınacaktır. $b/D_{50} > 25$ olduğundan $K_d = 1$ olarak alınmıştır.

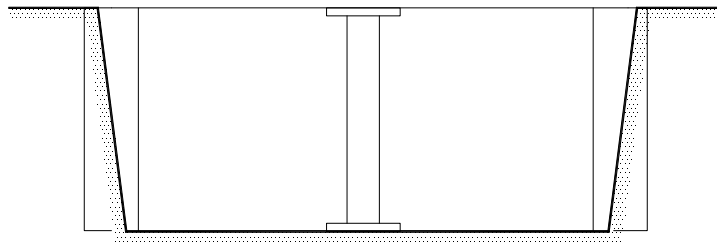
Akım yaklaşım faktörü, $\Theta = 30^\circ$ için $K_\theta = 0.90$, seçilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, kenar ayak oyulma derinliği;

$d_{sa} = 2.16\text{m}$ olarak hesap edilmiştir.



Şekil 6.9. Yeni yapılan köprü ayakları yerleşimi



Şekil 6.10. Yeni yapılan Laladere köprü kesiti

Laladeresi Yeni Köprü İçin Oyulma Derinliği Hesabı,

Orta ayak oyulma derinliği hesabı için, Melville (1997) genel oyulma bağıntısı,

$d_s = K_{yb}K_1K_dK_sK_\alpha$ kullanılmıştır.

Hesaplarda yaklaşım akım değeri, $d_0 = 4.62$, orta ayak genişliği, $b=1.0$, kenar ayak için ayak boyu, $L_a=0.8m$ olarak alınmıştır.

K_{yb} akım derinliği ve ayak en kesitine göre düzeltme faktörü , b/d_0 oranından,

$b/d_0 = 1.0/4,62 = 0.21$ $b/d_0 < 0.7$ için, $K_{yb} = 2.4b$ eşitliği ile,

$K_{yb} = 2.4$ olarak hesaplanmıştır.

Akarsu hareketli taban olarak kabul edilmiştir. Hareketli taban kabulünden;

$K_1 = 1$, $K_\alpha = 1$ olarak alınacaktır. $b/D_{50} > 25$ olduğundan $K_d = 1$ olarak alınmıştır.

K_s , ayak şekli faktörü, dairesel ayak olduğu için 1.0 olarak seçilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, oyulma derinliği;

$d_s = 2.4$ olarak hesap edilmiştir.

Kenar ayak oyulma derinliği hesabı için, Melville (1997) genel oyulma bağıntısı,

$d_{sa} = K_{yL}K_1K_dK_sK_\theta$ kullanılmıştır.

K_{yL} Akım şiddeti düzeltme faktörü , L_a/d_0 oranından,

$L_a/d_0 = 0.8/4,67 = 0.17$ $L_a/d_0 < 1$ için; $K_{yL} = 2L_a$ eşitliği ile,

$K_{yL} = 1.6$ olarak hesaplanmıştır.

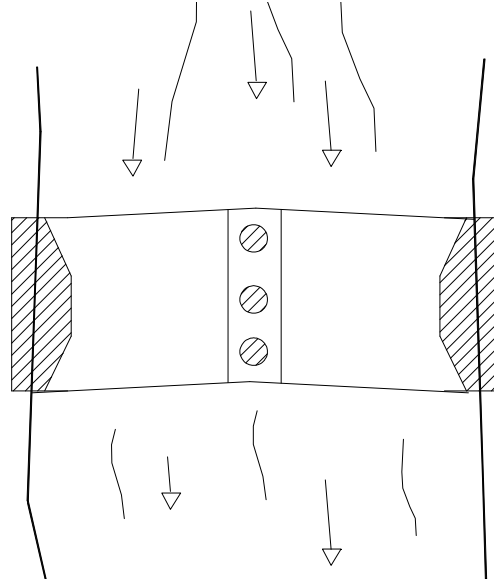
Hareketli taban kabulünden;

$K_1 = 1$, $K_s = 1$ olarak alınacaktır. $b/D_{50} > 25$ olduğundan $K_d = 1$ olarak alınmıştır.

Akım yaklaşım faktörü, $\Theta = 90^\circ$ için $K_\theta = 1.0$, seçilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, kenar ayak oyulma derinliği;

$d_{sa} = 1.6m$ olarak hesap edilmiştir.



Şekil 6.11. Önerilen Laladere köprüsü ayak kesitleri

Önerilen kenar ayak oyulma derinliği hesabı için, Melville (1997) genel oyulma bağıntısı, $d_{sa} = K_{yL}K_1K_dK_sK_\theta$ kullanılmıştır.

K_{yL} Akım şiddeti düzeltme faktörü , L_a/d_0 oranından,

$L_a/d_0 = 0.8/4,67 = 0.17$ $L_a/d_0 < 1$ için; $K_{yL} = 2L_a$ eşitliği ile,

$K_{yL} = 1.6$ olarak hesaplanmıştır.

Hareketli taban kabulünden;

$K_1 = 1$, $K_s = 0,5$ olarak alınacaktır. $b/D_{50} > 25$ olduğundan $K_d = 1$ olarak alınmıştır.

Akım yaklaşım faktörü, $\Theta = 90^\circ$ için $K_\theta = 1.0$, seçilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, kenar ayak oyulma derinliği;

$d_{sa} = 0.8m$ olarak hesap edilmiştir.

Akarsu kesiti için, kenar ayaklar için dökme ayak tipi, orta ayaklar içinse dairesel ayak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BEYAZIT, M., AVCI, Akarsularda Akım Ve Sediment Taşınımı, İstanbul, 2009.
- [2] GÜNGÖR, M., Akarsu kıvrımlarına yerleştirilen köprü kenar ayakları etrafında meydana gelen yerel oyulma derinliğinin araştırılması, İstanbul, Temmuz 1997.
- [3] ALTIN BİLEK, H., Su yapılarında yerel oyulmalar, DSI Yaz Okulu, Keban, 1974.
- [4] CARSTENES, M.R., SHARMA, H. R., Local Scour Around Large Omstructions journal of Hy Res, A. H. R., 1975.
- [5] DURGUN, K., Laminer Üç Boyutlu Sınır Tabakası Denklemlerinin İnvariyant Özellikleri ve Bir Bağlama Ayağı Etrafındaki Laminer Üç Boyutlu Sınır Tabakasının Etüdü, Doktora Tezi, İTÜ, 1964.
- [6] ÜÇ,S., Akarsu kıvrımlarındaki köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulmalar, İstanbul, 1979.
- [7] TISON, L. J. , Erosion Autour des Pilles de Pont en Riviere Annales des Travaux de Belgique, No.3. C, 1940.
- [8] SHEN, H.W. , SCHNEIDER, V.R., Karaki, S.S., Mechanics of Local Scour Around Bridge Piers, Colarado State Üniv, FT Collins, 1966.
- [9] MELVILLE, B. W. , Local Scour at Bridge Sites, Ph.D. Thesis, Univ. of Aucklant, Rep. No. 117, New Zealland, 1975.
- [10] GUGTEN, C. A. , Scour Around Bridge Piers at High Flow Velocities, A.S.C.E. HY2, No.2, 1982.
- [11] SHİELDS, A., Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung, Berlin, 1936.
- [12] YANMAZ, A., Köprü hidroliği, Ankara, Ekim 2002.

- [13] LAURSEN,E.M., An Analysis of Relief Bridge Scour, Proc.A.S.C.E., HY3, 1963.
- [14] HJORTH, P., Studies on the Nature of Local Scour, Lund, 1975.
- [15] VİTTAL, N., KOTHYARİ, U. C, AND HAGHİGHAT, M., Clear-Water Scour Around Bridge Pier Group, Jour. of Hydraulic Eng., No. 11, 1994.
- [16] KOTHYAN, U. C, GARDE, R. J. AND RANGA RAJU, K. G., Temporal Variation of Scour Around Circular Bridge Piers, Jour. of Hydraulic Eng., ASCE, No. 8, 1992.
- [17] BREUSERS, H. N. C, AND RAUDKİVİ , Scouring, Hydraulic structures design manual, No.2 , A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, J., 1991.
- [18] LARRAS,J., Profondeurs Maximales D'eroson des Fonds, Mobiles Autour des Piles en Riviere, Annales des Ponts et Chaussees, No.4., 1963; Vol. 133
- [19] BAŞAK, V. , Doğrusal Eksenli ve Dairesel Kesitli Kazık Grubu Etrafındaki Yerel Oyulmalar, D.S.İ.Araştırma Dairesi, 1977.
- [20] NICOLLET, G., RAMETTE, M., Affouillements au voisinage de Piles de Pont Cylindriques Circulaires, Proc .I. A.H .R., 1971.
- [21] YÜKSEL, Y., Dairesel Köprü Ayaklarındaki Maksimum Oyulmanın 180 Derecelik Bir Akarsu Kıvrımı Boyunca Değişiminin Araştırılması, İstanbul, YTÜ,1987.
- [22] KANDASAMY, J. K., AND MELVİHE, Abutment Scour, Report No.458, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand, W., 1989.
- [23] MELVILLE, B. W. , Pier and Abutment Scour: Integrated Approach, Jour.of Hydraulics Eng., ASCE, 1997.
- [24] QUESNOT,C. Affouillement Autour des Piles de Ponts Cylindriques Circulaires, L. N. Chatau, Paris, 197.0
- [25] LECLERC, J.P., Recherche des Lois Regissant les phenorr d'Affouillement au Pied des Pilles de Pont Premiers resulta, Proc.I.A.H.R, 1971.
- [26] ROPER,A. , SCHNEİDER, V. R, SHEN, W, (1967) Analytical approach to Local Scour, Proc. I.A.H.R, 1967.

EK-1

Sonuç bölümünde incelenen Laladere köprüsü fotoğrafları,



Fotoğraf 1. Laladere



Fotoğraf 2. Yıkılan Laladere köprüsü, mansaptan bakış



Fotoğraf 3. Yıkılan Laladere köprüsü, mansaptan bakış



Fotoğraf 4. Yıkılan Laladere köprüsü, orta ayak etrafında meydana gelen oyulma



Fotoğraf 5. Yıkılan Laladere köprüsü, orta ayak etrafında meydana gelen oyulma



Fotoğraf 6. Yıkılan Laladere köprüsü, orta ayak etrafında meydana yığılma



Fotoğraf 7. Yıkılan Laladere köprüsü, akım etkisi ile yerinden sökülen kenar ayak



Fotoğraf 8. Yıkılan Laladere köprüsü, yıkılan kenar ayak



Fotoğraf 8. Yıkılan Laladere köprüsü, kenar ayak tabanında meydana gelen oyulma



Fotoğraf 9. Yıkılan Laladere köprüsü ile yeni yapılan Lala dere köprüsü



Fotoğraf 10. Yıkılan Laladere köprüsü ile yeni yapılan Lala dere köprüsü



Fotoğraf 11. Yıkılan Laladere köprüsü ile yeni yapılan Lala dere köprüsü



Fotoğraf 12. Yeni yapılan Lala dere köprüsü kenar ayağı



Fotoğraf 13. Yeni yapılan Lala dere köprüsü orta ayakları



Fotoğraf 14. Yeni yapılan Lala dere köprüsü mansaptan bakış



Fotoğraf 15. Yeni yapılan Lala dere köprüsü mansaptan bakış

ÖZGEÇMİŞ

Şükriye Zengin, 01.05.1982 de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Şişli'de tamamladı. 1999 yılında Zincirlikuyu Teknik Lisesi, Yapı Ressamlığı Bölümünden mezun oldu. 2000- 2002 yıllarında depreme karşı onarım ve güçlendirme uygulama proje ve detaylarının hazırlanması çalışmalarında bulundu. 2002 yılında başladığı Trakya Üniversitesi Yapı Öğretmenliği bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2007 yılında vekil öğretmenlik yaptı. 2008 yılında Apec Hafif Çelik Yapı Sistemleri Sanayi ve Tic. A.Ş. Şti.nde çelik imalat proje ve detaylarının hazırlanması, uygulama projelerinin hazırlanması ile ilgili olarak halen çalışmaktadır. Bu süre içerisinde şirketin yeni ürün projeleri yanı sıra verimlilik projeleri ve toplam kalite yönetimi projelerinde aktif rol aldı.