



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

KÖPRÜLERDE TAŞKIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Nuri YILMAZ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT**

**İkinci Danışman
Öğr. Gör. Dr. Yıldırım BAYAZIT**

**BİLECİK, 2020
Ref. No: 10344226**



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

KÖPRÜLERDE TAŞKIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Nuri YILMAZ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT**

**İkinci Danışman
Öğr. Gör. Dr. Yıldırım BAYAZIT**

BİLECİK, 2020



**ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

INVESTIGATION OF FLOOD EFFECTS ON BRIDGES

**Nuri YILMAZ
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Asst. Prof. Dr. Hasan BOZKURT**

**Second Advisor
Lec. Dr. Yıldırım BAYAZIT**

BİLECİK, 2020

TEŐEKKÖR

Tezimi hazırlarken engin bilgi, deneyim ve yorumları ile desteklerini esirgemeyerek ve bana güvenerek bu konuyu teslim eden saygıdeğer danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT ve Öğr. Gör. Dr. Yıldırım BAYAZIT hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü 31. Şube Müdürlüęünde çalışmalarımda bana manevi desteklerimi esirgemeyerek yanımda olan bilgi, deneyim ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Benim bu günlere gelmemde büyük emekleri bulunan bana her zaman güvenerek desteklerini esirgemeyen bu hayattaki en değerli varlıklarım olan aileme, özellikle annem Huriye YILMAZ'a, babam Ahmet YILMAZ'a ve sevgili eşim Gözde YILMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

...../...../ 20

Nuri YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. AÇIK KANALLARDA AKIM	18
3.1. Açık Kanallarda Üniform Akımlar	18
3.2. Açık Kanallarda Üniform Olmayan Akımlar	19
3.2.1. Açık Kanallarda Zamanla Değişmeyen Üniform Olmayan Akımlar	19
3.2.1.1. Hız Yüksekliği Katsayısı	19
3.2.1.2. Özgül Enerji	21
3.2.1.3. Özgül Enerji Derinlik Bağıntısı	22
3.2.1.4. Üniform Derinlik	24
3.3. Açık Kanallarda Zamanla Değişen Üniform Olmayan Akımlar	24
3.3.1. Süreklilik Denklemi	25
3.3.2. Enerji Denklemi	26
3.3.3. Saint – Venant Denklemi	28
4. AKARSU KÖPRÜLERİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	29
4.1. Köprü Ayakları Etrafındaki Hız ve Basınç Dağılımları	29
4.2. Köprü Açıklığında Meydana Gelen Taban Oyulmaları	30
4.3. Köprü – Oyulma – Zemin Akarsu İlişkisi	31
4.4. Köprü Tasarımında Hidrolik Değerlendirmeler	34
4.5. Köprü Tasarımında Hidrolik-Yapı Etkileşiminin Önemi.....	36
4.6. Köprü Yeri Seçimi.....	41
5. HEC-RAS PAKET PROGRAMI	43
5.1. Köprü.....	45
5.1.1. Köprü Verilerinin Hec-Ras’a Girilmesi	45

6. ANALİZ..	50
6.1. Çalışma Alanı	50
6.2. Köprü Tasarım Özellikleri	51
6.2.1. Malzeme Özellikleri	51
6.2.1.1. Beton	51
6.2.1.2. Betonarme Donatısı	51
6.2.1.3. Öngerme Halatı	51
6.2.2. Köprü Yük Hesapları	51
6.2.2.1. Zati ve Kalıcı Yükler	51
6.2.2.2. Hareketli Yükler	51
6.2.2.3. Rüzgâr Yükleri	52
6.2.2.4. Fren Yükü	52
6.2.2.5. Isı Yükleri	52
6.2.2.6. Yatay Yükler	52
6.2.3. Köprü Üst Yapı Elemanlarının Özellikleri	53
6.3. Materyaller	56
6.4. Yöntem	56
6.4.1. Geometrik Verilerin İşlenmesi	58
6.4.2. Sayısal Verilerin İşlenmesi	59
6.4.2.1. Manning Katsayısının Belirlenerek Girilmesi	61
6.4.2.2. Akarsuya Ait Taşkın Debilerinin Girilmesi	66
6.5. Analiz Çıktıları	67
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	76
ÖZ GEÇMİŞ	

ÖZET

Ülkemiz ve dünya üzerinde yaşanan afetler incelendiğinde ilk sırada deprem ikinci sırada ise taşkınlar gelmektedir. Taşkınların günümüzde artarak insanların hayatlarını tehlikeye atmalarına neden olan sebepler ise; iklim değişiklikleri, plansız kentleşme, dere yataklarıyla oynanması veya akarsuyun üstünün kapatılması vb. olarak sıralanabilir. Taşkın esnasında en çok zarar görebilecek yapıların başında ise, akarsu üzerine insanların geçişlerinin sağlanması amacıyla yapılmış olan ulaşım köprüleri gelmektedir. Bölgenin havza ve iklim özelliklerine göre iyi tasarlanmamış, ayak açıklığı az olan bir köprü taşkın esnasında malzeme biriktirmekte, gelen suyun önüne set olmaktadır. Bunun sonucu olarak da gelen büyük şiddetteki hidrolik su kuvvetine karşı koyamayarak zarar görmekte veya yıkılmaktadır. Bu ise bölgede yaşanan taşkınların yıkıcı etkisini daha da artırmakta ve insanların can ve mal güvenliklerini tehlikeye atmaktadır. Bu nedenle, köprülerin taşkın esnasında yaşanacak olumsuzlukları en az hasarla atlatması büyük önem taşımaktadır. Akarsu köprülerinin alt yapı elemanları aktif akarsu akım alanı içerisinde olması nedeniyle diğer su yapılarına oranla daha fazla olumsuz dış etkenlere maruz kalmaktadır. Bu sebeple mevcut akarsu köprülerinin durumu düzenli olarak takip edilmeli ve yaşanabilecek bir afet anında hidrolik ve statik açıdan bir olumsuzluk yaşanmaması için önlemler alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada Porsuk çayı üzerinde bulunan Fidanlık köprüsünün HEC-RAS paket programı ile taşkın risk analizleri yapılarak, mevcut köprü'nün taşkın anındaki güvenilirliği araştırılmış ve köprü güvenilirliği ile ilgili çözüm önerileri sunulmuştur. Yapılan analiz sonucunda akarsu Fidanlık köprüsünün Q_{50} ve Q_{100} yıllık taşkın debilerini güvenle karşılayabildiği bilgisayar ortamında Arc-GIS ve HEC-GeoRAS ile arazi topoğrafyası, akarsu debi özellikleri ve köprü geometrisine uygun olarak belirlenerek HEC-RAS programı yardımıyla görülerek test edilmiştir. Böylece mevcut akarsu köprüleri ve yeni yapılacak köprülerin güvenlik analizlerinin önceden HEC-RAS programı ile yapılarak köprü güvenliği için alınacak önlemler önceden görülerek belirlenebilecektir. Böylelikle hem akarsu köprü güvenlikleri sağlanacak hem de önceden yapılacak köprü analizleri ile insanların can ve mal güvenlikleri sağlanabilecektir.

Anahtar Kelimeler : Taşkın; Doğal afet; Köprü; HEC-RAS; Su.

ABSTRACT

When the disasters occurred in our country and the world are examined, earthquakes in the first place and floods come in second place. The reasons causing floods to increase the risk of people's lives by increasing today; climate changes, unplanned urbanization, playing with stream beds or covering the river, etc. can be listed as. The most important structures that can be damaged during flooding are the transportation bridges built for the passage of people on the river. A bridge that is not well designed according to the basin and climate characteristics of the region and has a low foot opening accumulates material during flooding and sets the way to the incoming water. Consequently, it is damaged or destroyed by failing to resist the large hydraulic water force coming in. This further exalates the devastating impact of flooding in the region and endangers the safety of people's lives and property. For this reason, it is very important that the bridges overcome the negativities during the flood with the least damage. Since the infrastructure elements of the river bridges are within the active river flow area, they are exposed to more negative external factors compared to other water structures. For this reason, the condition of the current river bridges should be monitored regularly and precautions should be taken to avoid hydraulic and static problems in case of a disaster.

In this study, with the HEC-RAS package program of the Nursery bridge on Porsuk stream, flood risk analyzes were performed, and the reliability of the existing bridge at the moment of flooding was investigated and solution suggestions related to bridge reliability were presented. As a result of the analysis, Arc-GIS and HEC-GeoRAS were determined in accordance with the terrain topography, river flow characteristics and bridge geometry in the computer environment, where the river nursery bridge can safely meet the Q_{50} and Q_{100} annual flood flows, and it was tested in accordance with the HEC-RAS program. Thus, the security analysis of existing river bridges and new bridges will be made in advance with the HEC-RAS program and precautions to be taken for bridge security can be determined by foreseeing. Thus, river bridge security will be provided, and life and property security of people can be provided with bridge analyzes to be carried out beforehand.

Keywords: Flood; Natural disaster; Bridge; HEC-RAS; Water.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	:	Kanal kesit alanı
α	:	Hız yüksekliği katsayısı
Alob	:	Sol taşkın alanı
Ach	:	Ana kanal alanı
Arob	:	Sağ taşkın alanı
Ap	:	Engel alanı
b	:	Köprü açıklığı
B	:	Kanal genişliği
B/hn	:	Kesit oranı
C16	:	Beton silindirik basınç dayanımı 16 (N/mm ²)
C30	:	Beton silindirik basınç dayanımı 30(N/mm ²)
C45	:	Beton silindirik basınç dayanımı 45(N/mm ²)
Cç	:	Daralma kayıp katsayısı
CD	:	Sürtünme katsayısı
Ce	:	Açılma kayıp katsayısı
dA	:	Kesit alanı
E	:	Özgül enerji
Ff	:	Akımın uyguladığı sürtünme kuvveti
Fb	:	Engel alanlarına akım doğrultusunda uygulanan dış kuvvet
Fc	:	Karakteristik beton basınç dayanımı
Fr	:	Froud sayısı
Fy	:	Çelik donatı akma dayanımı
g	:	Yerçekimi ivmesi
h	:	Su yüzü yüksekliği
h1	:	1 kesitteki su yüzü yüksekliği
hv1	:	1 kesitteki hız yükü
he	:	Enerji kayıp yüksekliği
hn	:	Üniform akım derinliği

klob	:	Sol taşkın iletimi
kch	:	Ana kanal iletimi
krob	:	Sağ taşkın iletimi
KY	:	Yarnell ayak şekil katsayısı
L	:	Kanal uzunluğu
lob	:	Sol taşkın kanalı
λ	:	Köprü ayak çapının ayaklar arası mesafeye oranı
M	:	Açıklık oranı
M	:	Akarsu kanalı kıvrım derecesi
mc	:	Ana kanal
n	:	Manning pürüzlülük katsayısı
nb	:	Akarsu kanalının zemin özelliklerini
n1	:	Akarsu kanalının yüzey düzensizliklerinin etkileri
n2	:	Akarsu kanalının en kesit şekli ve büyüklüğündeki değişimleri
n3	:	Akarsu kanalındaki engellerin etkisi
n4	:	Akım şartları ve bitki örtüsü
nob	:	Taşkın kanalı manning pürüzlülük katsayısı
Q	:	Akımın debisi
θ	:	Açısal koordinat
P	:	Akışkanın yoğunluğu
R	:	Hidrolik yarıçap
Re	:	Reynolds sayısı
rob	:	Sağ taşkın kanalı
r	:	Radyal koordinat
r_1	:	Silindirin yarıçapı
S	:	Eğim
S_e	:	Akım enerjisinin eğimidir
S_0	:	Kanal taban eğimi
U	:	Memba kesiti
u_o	:	Memba daralmış kesitteki hız
u_θ	:	Açısal koordinattaki hız
u_r	:	Radyal koordinattaki hız

V	: Ortalama hız
W _x	: Suyun ağırlığının akım doğrultusundaki bileşeni
W _b	: Köprü tabliye genişliği
WS _ö	: Ölçülen su yüzü seviyesi
WS _h	: Hesaplanan su yüzü seviyesi
Y	: Akım derinliği
Z _b	: Kanal taban kotu
Δx	: Memba ve mansap kesitleri arasındaki mesafe
ν	: Akışkanın kinematik viskozitesi
f	: Frekans
τ	: Kısa Zamanlı Fourier Zaman Kayması
t	: Zaman
n _e	: Ana kanal manning pürüzlülük katsayısı x

Kısaltmalar

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ArcGIS	: Geographic Information System
DSİ	: Devlet Su İşleri
DEM	: Dijital Elevation Model
HEC-	: RAS Hydrologic Engineering Center - River Analysis System
HEC-	: GeoRAS Hydrologic Engineering Center - Geographic River Analysis System
HYRISK	: Hybrid Methods for Addressing Uncertainty in Risk Assessment
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
SYM	: Sayısal yükseklik Modeli
S420	: Akma Dayanımı 420 N/mm ² Olan İnşaat Demiri
TIN	: Triangulated Irregular Network
TS	: Türk Standartları
TÜPRAŞ	: Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi
WSPRO	: Water Surface Profile Computations

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti	2
Şekil 3.1.	Açık kanallarda akım sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.2.	Bir kanala ait en kesit.....	20
Şekil 3.3.	Bir nehre ait en kesit	21
Şekil 3.4.	Kanal içerisindeki akışkanın özgül enerjisi.	22
Şekil 3.5.	Birim debi için özgül enerji eğrisi	23
Şekil 3.6.	Süreklilik denkleminde ait şema.....	25
Şekil 3.7.	Denklemin için kullanılan bir kesit örneği.....	27
Şekil 3.8.	Kesitler arasındaki enerji denklem gösterimi	27
Şekil 4.1.	Köprü ayağı altındaki alt akım.....	30
Şekil 4.2.	Köprü açıklığında taban oyulması	31
Şekil 4.3.	Adıyaman Göksu köprüsü	32
Şekil 4.4.	Adıyaman Göksu köprüsü ayaklarında oluşan oyulma	33
Şekil 4.5.	Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti	37
Şekil 4.6.	Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti	38
Şekil 4.7.	Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti	38
Şekil 4.8.	Ordu, Ünye sahil yolu köprüsünün 1935 yılında imal edildiği zamanki görüntüsü	39
Şekil 4.9.	Ordu, Ünye cevazdere üzerindeki başka bir köprü	39
Şekil 4.10.	Ordu, Ünye cevazdere üzerindeki diğer köprülerin durumu	40
Şekil 4.11.	Botan köprüsü	41
Şekil 5.1.	HEC-RAS ana penceresi ve menüler.....	44
Şekil 5.2.	Köprü genişlik ve yükseklik verileri	45
Şekil 5.3.	Köprü ayak verileri	46
Şekil 5.4.	Unsteady (analiz sonrası köprü görünüşü) analizi yapıldıktan sonra ki köprü görünüşü	47
Şekil 5.5.	Köprü kurulmadan önceki hidrolik veriler	47
Şekil 5.6.	Köprü 3D görünüşü	48
Şekil 6.1.	Köprü yerinin uydu görüntüsü.....	50
Şekil 6.2.	Kamyon yükleme formatı	52

Şekil 6.3.	Köprü üst yapı elemanlarının konumlandırılması	54
Şekil 6.4.	Köprüye ait plankote görünümü	55
Şekil 6.5.	Çalışmada uygulanan yöneme ait iş akış-şeması.....	57
Şekil 6.6.	Köprü yerinin TIN haritası	58
Şekil 6.7.	TIN haritası üzerine HEC-GeoRAS ile çizilmiş en kesitler	59
Şekil 6.8.	HEC-RAS ile köprü boyutları girilmesi	60
Şekil 6.9.	Hec-RAS'ta köprü tabliyesinin görünümü	61
Şekil 6.10.	HEC-RAS'ta akarsuya ait maning katsayısının girilmesi	64
Şekil 6.11.	HEC-RAS'ta en kesitlere ait sayısal verilerin girilmesi	65
Şekil 6.12.	HEC-RAS'ta geometrik verilerin görünümü.....	66
Şekil 6.13.	HEC-RAS'a Q_{50} ve Q_{100} taşkın debilerinin girilmesi	67
Şekil 6.14.	Köprüye ait girilen sayısal değerlerin program ana ekranında görünümü	67
Şekil 6.15.	HEC-RAS'ta Q_{50} taşkın debisinde köprü tabliyesinin durumu	68
Şekil 6.16.	HEC-RAS'ta Q_{100} taşkın debisinde köprü tabliyesinin durumu	69
Şekil 6.17.	HEC-RAS'ta köprü analizine ait sayısal değerler çıktısı	69
Şekil 6.18.	$Q_{50}=139,58 \text{ m}^3/\text{s}$ debisindeki su yüzü profili.....	70
Şekil 6.19.	$Q_{100}=211,40 \text{ m}^3/\text{s}$ debisindeki su yüzü profili	71
Şekil 6.20.	Q_{50} taşkın debisine göre taşkın sınırları.....	71
Şekil 6.21.	Q_{100} taşkın debisine göre taşkın sınırları	72
Şekil 6.22.	Fidanlık Köprüsü tamamlanmış hali.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ**Sayfa No**

Çizelge 1.1. Köprü yıkılmalarındaki başlıca hidrolik etkenlerin neden ve sonuçları ...	36
Çizelge 6.1. Köprü üst yapı elemanlarına ait geometrik özellikler.....	54
Çizelge 6.2. Akarsu pürüzlülük katsayısının belirlenmesi	64
Çizelge 6.3. Akarsu yatakları için kullanılan manning değerleri.....	65

1. GİRİŞ

Akarsu üzerine inşa edilen köprüler insanoğlu var olduğundan beridir insanların sosyal hayatını devam ettirmelerindeki en önemli ulaşım yapılarından bir tanesidir. Akarsu üzerine yapılmış olan köprülerin hasar görmesi sonucu can ve mal kaybı oluşabilir, o bölgenin ulaşımı olumsuz yönde etkilenebilir yani bölgenin sosyal ve ekonomik durumu olumsuz yönde etkilenmiş olur. Ülkemiz ve dünya üzerinde geçmişte yapılmış olan akarsu köprüleri incelendiğinde köprülerin tasarımında genellikle statik etkilerin dikkate alınarak tasarımlar yapıldığı görülmektedir. Ancak köprü dayanımını sadece statik ve yapısal nedenlere bağlı değildir. Akarsu üzerine yapılan köprülere etki eden kuvvetler incelendiğinde; hidrolik, deprem, rüzgâr, sediment(sürüntü) taşınımı, köprü ayakları oyulması vb. birçok kuvvetin etki ettiği bilinmektedir. Bu nedenle akarsu köprü tasarımında oldukça çok değişken bulunmaktadır. Geçmişte yapılmış olan köprü tasarımlarında bu değişkenler dikkate alınmazken, yaşanan afetler ve gelişen teknoloji sonucu köprü mühendisliği ayrı bir araştırma konusu olarak günümüzde yerini almakta ve bilim adamları akarsu köprü tasarımına etki eden parametreler üzerine çalışmalarını devam ettirmektedirler. Yıkılan ve hasar gören köprüler incelendiğinde nedenin genel olarak hidrolik etkenler olduğu görülmektedir. Bu nedenle araştırma konuları hidrolik etkenlerin çözümü üzerine odaklanmaktadır. Şu bir gerçektir ki köprü tasarımlarının en sağlıklı şekilde yapılabilmesi için hidrolik ve statik tasarımın çok iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca havzanın genel özellikleri ve köprünün bulunduğu yerin özellikleri gibi birçok parametre irdelenerek tasarım yapılması gerekmektedir. Mevcut köprülerin durumu ise sürekli incelenmeli ayakların oyulma durumu, gelen malzeme miktarı, köprünün statik durumu vb. gibi parametreler sürekli kontrol altında tutularak taşkın anında yaşanabilecek bir afetin önüne geçilmesi sağlanabilecektir. Köprü mühendisliği günümüzde dünyada yaşanan taşkın afetleri incelendiğinde oldukça önemli bir hale gelmiştir. Köprülerin tasarımında gelişen ve değişen teknoloji şartları iyi bir şekilde irdelenmelidir. Değişen iklimsel şartlar ile mevcut ve yeni tasarlanacak köprülerin afet yaşanma riskine karşın güvenliği günümüzün araştırma konuları arasında yerini almıştır. Köprülere gelen hidrolik ve statik yük parametreleri bir bina veya bir yapıya etki eden statik deprem ve rüzgâr kuvvetinden oldukça farklıdır. Bu nedenledir ki köprü tasarımları için oldukça karmaşık hesap işlemleri gerekmektedir. Köprü tasarımlarında günümüz teknolojisi de dikkate alındığında geçmişe oranla daha

sağlıklı köprü tasarımları güvenli bölgede kalınarak yapılabilir. Ancak yıkılan ve hasar gören köprüler incelenerek, gelişen teknoloji ve iklim değişiklikleri unutulmadan yaşanacak afetlerin önlenmesi amacıyla gerekli güvenlik önlemlerinin önceden alınması insan ve çevre güvenliği açısından oldukça önem arz etmektedir.

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere ülkemizde yakın zamanda 2018 tarihinde Ünye’de meydana gelen sel afeti nedeniyle Karadeniz sahil yolu üzerinde cevizdere deresinin denizle buluştuğu noktada bulunan köprü hasar görmüş ve ulaşım olumsuz yönde etkilenmiştir. Köprü orta ayaklı ve tabliyeli olarak tasarlanarak yapılmıştır gelen taşkın sonucu orta ayakta hasar meydana gelmiş ve tabliye göçmüştür (URL 4, 2019).



Şekil 1.1. Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti, (URL 4, 2019)

Köprü hidroliği konusu düşünüldüğünde mevcut köprülerin değişen iklimsel ve çevresel şartlara göre analizlerinin yapılarak güvenliklerinin irdelenmesinin önemi dikkate alınması gereken bir konudur. Bu çalışmada mevcut bir köprünün durumu HEC-RAS paket programı ile incelenerek, köprünün bulunduğu yerdeki taşkın analizi yapılacak, köprü güvenilirliği araştırılmaya ve yorumlanmaya çalışılacaktır. Çalışmada Porsuk çayı üzerinde bulunan mevcut Fidanlık köprüsünün analizleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yanmaz ve Çalamak (2016), çalışmalarında akarsu köprülerinin altından su geçmesi sebebiyle diğer köprülere nazaran daha fazla emniyet faktörleri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Akarsu köprülerinin emniyetinde, akarsuyun getirdiği sürüntü malzeme miktarı sonucu köprü ayaklarının arasının dolması ve suyun oluşturduğu oyulmaların, köprü emniyeti açısından çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmalarında köprülerde temiz su oyulmasının oluşturacağı riskler Monte Carlo benzeşimi ile irdelenmiştir. Geliştirilen bu modelle belirli bir akımda taban malzemesi, ayak geometrisinde oluşan oyulmalar incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda akarsu köprülerinin ayaklarında rastgele değişkenlerin özellikleri ele alınarak hesaplanan deterministik yöntemle göre daha gerçekçi sonuçlara varılmıştır. Köprü ayaklarında oyulmalar incelenirken akarsuyun bulunduğu yer ve taşıdığı malzeme miktarı ele alınarak yapılan tasarımların köprü ayakları için daha sağlıklı olduğu ve köprünün göçme riskini ortadan kaldıracağı anlaşılmaktadır. Köprülerin tasarımında bölgenin ve iklimin özelliklerine göre verilecek tasarım kriteri sayıcı arttıkça köprünün daha fazla güvenli bölgede kalacağı anlaşılmaktadır.

Akay ve Koçyiğit (2015), araştırmalarında akarsu köprülerinde yıkılma ve göçmeler incelendiğinde genelde köprü ayaklarında meydana gelen hasarlar nedeni ile oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Akarsu köprüleri incelendiğinde köprü ayakları arası mesafenin yeterli olmaması sonucu suyun malzeme getirdiği köprünün ayakları etrafında biriktirdiği ve suyun memba kısmında köprünün hidrolik bir etkiye maruz kalarak göçtüğü anlaşılmıştır. Gerek akarsu köprüsü gerek karayolu köprü tasarımlarında birçok değişik parametre göz önüne alınarak tasarım yapılmaktadır. Ancak ülkemizde akarsu köprülerinde bu tasarımın fazla dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada Batı Karadeniz bölgesinde yer alan köprüler gözle incelenerek daha sonra herhangi bir olumsuzluk yaşanmaması için yapılabilecek çalışmalar incelenmektedir. Akarsu köprülerinin yıkılma nedenleri genellikle hidrolik etkilidir. Bu nedenle taşkınların fazla miktarda yaşandığı Batı Karadeniz bölgesinde 5 adet akarsuda bulunan mevcut köprüler gözlemlenerek ileride can ve mal kaybını azaltmaya yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bunu KGM de bir sistem haline getirmeye çalışılarak köprü güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır.

Selamoğlu, Çalamak ve Yanmaz (2015), çalışmalarında akarsu köprülerinin zarar görmesinin en önemli nedeninin köprü kenar ve orta ayaklar etrafında meydana gelen hasarlar olduğunu belirterek, HYRISK isimli yazılımla bir köprünün analizini yapmışlardır. Amerika Federal Karayolları bu durumu kontrol altında tutabilmek ve tahmin edebilmek için HYRISK adı altında bir yazılım geliştirmiş ve akarsu taşkın anı ve normal zamanında körünün yıkılma riskini tahmin etmekte ve gerekli önlemleri almaktadır. Bu yazılımda akarsuyun getirdiği malzeme miktarı köprünün ayaklarının yorulma miktarı şevlerin durumu gibi kriterler göz önüne alınmaktadır. Bu çalışmada ülkemizde taşkınların fazlaca yaşandığı Doğu Karadeniz Bölgesinde bir dere ele alınarak orda bulunan bir köprü HYRISK ile incelenmiştir. Fol deresi üzerinde bulunan Fol-1 köprüsünde yapılan analizlerde köprünün mevcut durumda yıkılma ihtimali taşkın anından daha düşük çıkmıştır. Köprü güvenliğinin sağlanabilmesi için şev düzenleyici yapılar, taşkın yapıları veya köprü kenar ayaklarında tadilata gidilerek bu sürenin oldukça yükseleceği gözlemlenmiştir. Akarsu ıslahı ile beraber ayaklar etrafına kısmı harçlı riprap kaplama, harç dolgulu yastık ve taş sandık gibi oyulma önleyici düzenlemeler yapılması durumunda, yıllık yıkılma riski düşürülebilmektedir.

Seçkin, (Onal) Seçkin, Ardıçoğlu ve Selek (2003), araştırmalarında doğal akarsular üzerinde bulunan köprü yapılarında yaklaşım kanalları ve köprü ayakları nedeniyle taşkın anında su geçişinin zorlandığını ve akarsuyun memba tarafında su derinliğinin arttığını belirtmişlerdir. Akarsu köprü tasarımlarında bu konunun önemi gittikçe artmaktadır. Bu çalışmada ilk örnek köprü etrafında 10 farklı debi için 15 farklı kesitte su yüzü profilleri incelenmiştir. Daha sonra dünyada yaygın şekilde kullanılan HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center, River Analysis System) paket programı yardımıyla, ölçülen su yüzü profilleri modellenmiştir. Modellemede kullanılan yöntemler sırasıyla Enerji, Momentum, Yamell ve WSPRO yöntemleridir. Modelleme sonucunda bu üç yöntemde birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Ancak köprü yapısından dolayı oluşan kabarma miktarı ise tüm yöntemlerde %20 hata ile hesaplanabilmiştir. Bilindiği üzere HEC-RAS paket programında bir köprü ayağı etrafındaki su yüzü profilinin tespitinde iki farklı enerji kayıp katsayısı kullanılmaktadır, daralma kayıp katsayısı (C_d) ve açılma kayıp katsayısı (C_e) HEC-RAS paket programında bu değerler 0,3 ve 0,5 olarak tavsiye edilmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda bu değerler farklı şekilde önerilmiş veya alınmaması gerektiği

söylenmiştir. Ancak bu değerin doğru seçiminin köprü ayakları etrafındaki oyulma ve memba kısmındaki su kabarmasında oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Bu sebeple yapılan analizler sonucu köprü tasarımında bu değerin doğru seçilmesi oldukça önemlidir.

Yanmaz, Caner ve diğ. (2012), yapmış oldukları çalışmalarında Zonguldak ili, Çaycuma ilçesinden akan filyos çayı üzerinde bulunan karayolu köprüsü üst tabliyesinin taşkın etkisi ile zarar görerek işlevini yitirdiğini belirterek nedeni üzerine bir çalışma yapmışlardır. Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti heyetiyle oluşturulan ekip köprü üzerinde yaptıkları incelemede köprünün hidrolik etkiler nedeniyle çöktüğünü saptamışlardır. Dünya genelinde göçen köprüler incelendiğinde bu durumun gelişmiş ülkelerde dahi görüldüğü anlaşılmıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde 1989-2000 yılları arasında göçen 503 adet köprünün genel olarak göçme nedenleri incelendiğinde %53 oranında hidrolik etkilerin, taşıt çarpması %11, aşırı yükleme ve kaçak yük %9 ve depremde yıkılan köprülerin oranı da %3 çıkmıştır. Bu araştırmadan da anlaşılabileceği üzere akarsu köprülerinin göçme nedenlerinin büyük bir kısmını hidrolik etkiler oluşturmaktadır. İncelenen Çaycuma köprüsünün göçme nedeni de köprünün hidrolik etkiler sonucu çöktüğü sonucuna varılmıştır. Köprü incelendiğinde ayaların etrafındaki malzemenin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu doğal olabileceği gibi çevrede bulundaki kum ocaklarından kum çekilmesi sonucu da oluşmuş olabilir. Dolayısıyla taban malzemesinin azalması sonucu köprüye gelen yanıl hidrolik etkilerin de değiştiği ve köprünün göçtüğü düşünülmektedir. Çözüm düşünüldüğünde ise ülkemizin deprem kuşağında olduğunu düşünürsek yapı-hidrolik ilişkisinin gayet iyi bir şekilde tasarlanması sonucuna varılmaktadır. Çaycuma köprüsünün ayakları koruyucu malzeme ile kaplansa ve köprünün periyodik bakım ve incelemeleri düzenli olarak yapılırsa ayrıca akarsudan çekilen izinsiz agrega miktarı da kontrol altında olabilseydi böyle bir sonuçla karşılaşılmayacaktı.

Demirci, Kocaman ve Varlı (2012), yaptıkları çalışmalarda farklı geometriye sahip olan akarsu köprüleri ayaklarında meydana gelen oyulmalar ve köprü yıkılmaları üzerine bir çalışma yaparak sonuçları yorumlamışlardır. Köprü yıkılmalarının karşımıza çıkan en büyük nedenlerinden bir tanesini de genel olarak taban seviyesinin alçalması ve köprü açıklığında meydana gelen yerel oyulmalar oluşturmaktadır. Bu konunun nedeni ülkemiz ve dünyada araştırılmakta fakat çözümü için net bir ifade ortaya

konulamamıştır. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen sonuçlar konunun çözümü için bize bilgi sağlamaktadır. Son yıllarda, hesaplamalı akışkanlar dinamiği esaslarına dayanan sayısal modeller bu gibi problemlerin çözümünde bilgi edinme açısından bilim insanları tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada çeşitli geometriye sahip köprü kenar ayakları etrafındaki hız dağılımı FOLLOW 3D programı incelenmiştir. Çalışma sonucunda akıma ait hızların oldukça yakın elde edilebildiği ancak cidara yaklaştıkça hızdaki değişim göze çarpmaktadır. Çözüm yapılırken yatağın rijit olduğu oyulmanın olmadığı kabul edilmiştir. Oysaki gerçekte böyle bir şey mümkün değildir.

Ulu ve Aydın (2017), araştırmalarında menfezlerin üst kısımlarının köprü görevi görerek yaya ve taşıt geçişi için kullanılabildiği gibi iç kısmında kullanılabildiğini belirterek menfezler ile ilgili HEC-RAS ile hidrolik analizler yaparak çözüm önerileri sunmuşlardır. Menfezlerin çok eski zamanlardan beri akarsu üzerinden insan ve karayolu geçişleri için kullanılan sanat yapıları olduklarını belirtmişlerdir. Menfezlerin köprülere kıyasla avantajı kolay imalat edilebilmeleri ve maliyetinin daha ucuz olmasıdır. Bu çalışmada Bitlis de bulunan bir derenin elimizde tüm verileri mevcut ve üzerine yapılacak olan dolgu kesitin içerisine kutu kesitli bir menfez yerleştirilecek ve menfezin hidrolik açıdan uygunluğu HEC-RAS programı ile analiz edilmiş ve menfezlerde kullanılabirliği irdelenmiştir. HEC-RAS yazılımı tek boyutlu matematiksel modeller kullanarak, açık kanal akımlarında su yüzü profilinin belirlenmesinde basit ama etkili bir yöntemdir. Yapılan çalışmada 3X3 kutu kesit bir menfezin analizi gerçekleştirilmiş ve programın menfez tasarımında kullanabileceği de anlaşılmıştır.

Varlı (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında akarsu köprülerinin taşkına maruz kaldığında hasar gördüğünü ve yıkılabildiğini belirterek köprü ayak tipleri ve oyulmalar üzerine bir çalışma yaparak çözüm önerilerinde bulunmuştur. Köprülerin hasar görmesinde kabul edilen nedenler köprü açıklığındaki yerel oturmalar, taban seviyesinin düşmesi ve köprü ayaklarındaki oyulmalardır. Ancak mevcut köprülerde bu problemin çözümü için halen bir sistem geliştirilememiş ve çözüm sunulamamıştır. Bu çalışmada dikdörtgen, trapez ve silindir kesitli köprü ayakları ve açıklıklarının tasarımı FOLLOW-3D programı ile yapılarak analizleri yapılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucu şunu göstermiştir ki köprü kenar ayakları trapez ve silindir için hata oranı %17,25 ve %18,17 bulunurken dikdörtgen ayak için hata oranı %31 ve %38 bulunmuştur.

Deneysel analizde sadece x yönündeki veriler baz alınmış akarsuda akım sabit ve malzeme taşıyor olarak alınmıştır. Ancak gerçekte bu şekilde bir şey mümkün değildir. Analize katı madde miktarı da katılarak nümerik olarak çözümü mümkündür. Deney sonucu köprü kenar açıklıklarında gerçeğe yakın sonuçlar verirken köprü kenar ayaklarında deneysel verilerin dışına çıkmaktadır. Bu problemi de mesh sıkılaştırılması ile çözülebilir, köprü kenar ayak civarında mesh sıkılaşması yapılarak problem çözümüne gidilebilir.

Yılmaz, Yanmaz ve Köken (2018), yapmış oldukları çalışmalarında alüvyonlu akarsu tabanına inşa edilecek olan köprülerin ayak oyulmalarının maksimum pik debiye ulaştığında arttığını bu nedenle köprü ayaklarının tasarımının bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada akarsuya inşa edilmiş paralel iki ayaklı köprünün taban oyulmasının temiz su ve üniform taban malzeme düşünülerek zamansal değişimi incelenerek buna ilişkin bir formül elde edilecektir. Deneyde üç değişik çaplarda silindirik köprü ayakları ve üç adet özdeş köprü ayakları arasındaki mesafe düşünülerek maksimum temiz su oyulması formülle bulunacaktır. Deney sonucu ön ayağın memba yüzündeki oyulmanın her zaman daha fazla olduğu görülmüştür. Ön ayağın yanal eksenindeki oyulmanın memba yüzündeki oyulmadan, arka ayağın yanal eksenindeki oyulmanın ise ön ayağın memba ve yanal eksenindeki oyulmadan her zaman daha düşük olduğu görülmüştür. Ayaklarda meydana gelen oyulmanın ayak çapı büyüdükçe, akım şiddeti arttıkça ve λ değeri büyüdükçe arttığı görülmüştür. Bu durum ayak guruplarındaki güçlendirme mekanizmasının bir sonucudur λ değeri azaldıkça güçlendirme mekanizmasının değeri düşmektedir. Ön ayağın membasındaki oyulma her zaman arka ayağın membasındaki oyulmadan fazla olmaktadır. Bu ise iki ayağın siperlenmesinin bir sonucudur. Taban seviyesi katı madde biriktirme yerleri zaman içinde değişmektedir, ancak ayakların membasındaki eğimin zamanla sabit kaldığı iç sürtünme açısıyla orantılı olduğu görülmüştür. Böylece ayaklardaki oyulmanın zamandan bağımsız olduğu elde edilen ampirik formülle görülmüştür. λ değeri 0,25-0,5'dir. Bu formülün zamana bağlı oyulmalar için tatmin edici sonuçlar çıkardığı görülmüştür.

Zengin (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında akarsu köprülerinin tasarımında statik ve betonarme hesapların yeterli olmadığını belirtmiştir. Bu nedenle yapılacak akarsu köprülerinde hidrolik hesaplar devreye girmekte ve bu köprülerin göçmesi veya

zarar görmesinde karşımıza en büyük etken olarak çıkmaktadır. Ayrıca tasarlanan akarsu köprülerinin ayak geometrisi tabliye açıklığı ve hava payı gibi kriterlerde köprülerde oldukça önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada köprü ayakları için uygun geometri seçimi ve yıkılan karayolu köprüsünün yeniden tasarımı incelenmiştir. Yıkılan köprünün yığma olarak iki açıklık olarak yapıldığı kenar ayakların dik ve orta ayağın ise dikdörtgen olarak yapıldığı ve orta ayağa sel yaran konulduğu görülmektedir. Yıkılan köprünün akarsu kıvrımında bulunduğu bu nedenle kenar dik ayaklara daha fazla su kuvvetli geldiği ve yığma yapıldığı için yıkıldığı orta ayağın ise tabanında oyulma olmasına rağmen sel yaran olmadığı için sağlam kaldığı düşünülmektedir. Yeni köprü tasarımının akarsuyun dik kısmına yıkılan köprünün akarsuyun memba bölümüne yapıldığı kenar ayakların yine dik ve beton olarak yapıldığı ve dereden gelen hidrolik su kuvvetinin daha da azaltıldığı görülmektedir. Yeni köprü yine iki açıklıklı yapılmıştır. Orta ayak için ise dünyada kabul görmüş olan silindir ayağın yapıldığı ve gelen hidrolik etkinin minimuma indirildiği görülmüştür. Tabliye yüksekliği eski köprüden daha yüksek tutulup hemen memba yüzündeki kabarmadan dolayı gelecek etki minimuma indirilmiştir. Tabliyeler kenar ve orta ayaklara oturacak şekilde iki açıklıklı olarak yapılmıştır. Köprünün tasarımında HAC-RAS programı kullanılarak modellenmiş ve tasarım debilerinin bulunmasında DSİ sentetik yöntem kullanılmıştır.

Soydan, Şimşek ve Aköz (2018), yapmış oldukları çalışmalarında akarsu köprülerinin orta ayaklarında tasarım olarak dairesel kesitli köprü ayakları tercih edildiğini belirterek dairesel köprü ayakları ile ilgili analizler yaparak önerilerde bulunmuşlardır. Ancak yapılacak analizlerde dairesel kesitli köprü ayağı çevresinde oluşan türbülans akımları tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada deney ortamında dairesel bir köprü ayağı çevresinde oluşan türbülans akımları çeşitli yöntemlerle incelenerek karşılaştırılacak ve en sağlıklı sonuca varılmıştır. Sayısal sonuçlardan elde edilen su yüzü profilleri ve hız alanı karşılaştırıldığında en sağlıklı çözümü Realizable k- ϵ Türbülans Modeli yöntemi olduğu anlaşılmış ve köprü ayağı çevresinde oluşan türbülans akımını bulmada en etkili yöntem olmuştur. Gerekli analizler yapılırken hesaplamalar yapılmış ve deney ortamındaki sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kesitin mansabında dairesel kesitli köprü ayaklarının tasarımı ve daha sağlıklı işlevi için türbülans akımlarının hesaplanması gerekliliğine varılmıştır.

Yurtseven (2005), yapmış olduğu tez çalışmasında köprü ayaklarında meydana gelen oyulmaların birçok faktöre bağlı olduğunu belirtmiştir. Akarsu köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalar incelendiğinde akarsuda meydana gelen çevrintilerin akarsu köprü ayaklarının oyulmasında büyük bir faktör olduğu görülmektedir. Oyulmalar akarsuyun akış hızına, Reynolds sayısına, ayakların geometrine ve taşıdığı malzeme miktarına bağlı olarak da değişmektedir. Oyulma derinliği hesaplanırken tek yönlü parametreler yerine Froude(Fr) sayısı gibi boyutsuz akım hızı ve derinliğini barındıran parametrenin kullanılması hem daha sağlıklı sonuçlar vermekte hem de daha pratik olmaktadır. Köprü ayaklarının şekilleri de oyulmalarda oldukça etkilidir kare ve dairesel köprü ayakları incelendiğinde kare köprü ayakları geometrisi nedeniyle hem hidrolik etkiye daha fazla maruz kalmakta hem de daha fazla oyulma yaşanmaktadır. Ancak dairesel kesitli ayaklar geometrisi nedeniyle daha az hidrolik etkiye maruz kalmakta ve daha az oyulma yaşanmaktadır. Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmaların %50 - %80'lik kısmının ilk %15'lik zaman diliminde yaşandığı geri kalan kısmının ise zamanla oluştuğu bilinmektedir. Oyulma derinliği değerleri incelendiğinde aynı kesite sahip kare ve dairesel kesitli ayaklarda her zaman kare kesitli ayakta oyulma derinliğinin daha fazla olduğu, kare kesitli ayakların şekli nedeniyle kenar oyulmaların daha fazla yaşandığı anlaşılmaktadır. Oyulma derinliği hangi şekildeki ayakta fazla ise o ayak şekli akımın düzenini en fazla bozan kesittir. Suyun hızı sonucu oluşan kayma gerilmesi sonucu oluşan hidrolik etki kare kesitli de daha fazla dairesel kesitli de ise her bölgesinde eşit olarak gerçekleşmektedir. Köprü ayaklarında oluşan oyulma çukurları aşağı doğru koni şeklinde oluşmakta ve kare şekilli ayakta dairesel kesitli ayağa oranla daha fazla oyulma derinliği olmaktadır. Bu durum kare şeklindeki köprü ayaklarında daha sonra yapılacak müdahaleler için hem ekonomik hem de güvenli olmamaktadır. Köprü ayaklarında kenar sayısı arttıkça daha fazla oyulma yaşanacağı bilinmektedir ve oyulmanın sadece buna bağlı olmadığı akarsuyun getirdiği sürüntü malzeme miktarının da oyulmada çok etkili olduğu ve önceden tespit edilerek incelenmesi gerektiği bilinmektedir. Gelen sürüntü malzeme ince ise köprü ayaklarında daha fazla oyulma gerçekleşmekte gelen malzeme kalın ve iri malzeme ise oyulmayı azaltmaktadır.

Mayda (2013), tez çalışmasında dairesel kesitli köprü ayakları etrafındaki hareketli taban oyulmalarının tespiti için laboratuvar ortamında zamana bağlı oyulma miktarı, akarsu derinliği ve hızı bilinerek deneyler yapmıştır. Yapılan deneyler

sonucunda en büyük oyulmanın memba tarafında olduğu ve oyularak getirilen malzemenin mansap kısmında biriktiği tespit edilmiştir. Ayrıca akım şiddeti, hız ve derinliği, buna bağlı Froude(Fr) sayısı, hidrografın süresi ve köprü ayak çapı arttıkça da oyulma derinliğinin arttığı tespit edilmiştir. Akarsu köprüleri yapıldıktan sonra köprü ayaklarında karşılaşılan en büyük problemler; aşınma, dolma ve oyulmalardır. Bir akarsu köprüsü yapılırken taşıdığı malzeme miktarı, akarsu hızı, taşıdığı malzemenin büyüklüğü ve bölgenin yağış durumu çok iyi bir şekilde analiz edilerek en güvenli tasarım yapılmalıdır. Üzerinden insan ve karayolu taşımacılığı yapılan akarsu köprüleri için gerekli güvenlik tedbirleri aksatılmadan yapılmalıdır.

Yıldırım ve Yanmaz (2014), çalışmalarında akarsu geçişli köprülerde akım çevresi içerisinde kalan köprü ayaklarında taban oyulmaları gerçekleştiğini belirterek taban oyulmaları üzerine çözüm önerileri sunmuştur. Bu durum akarsu geçişli köprülerin emniyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Günümüzde bu sorunun çözümü için kısmi harçlı riprap yapılmakta ve köprü ayaklarındaki taban oyulmalar önlenerek sorun çözülebilmektedir. Mevcut bir derede bulunan köprüde taban oyulmalarını önlemek ve köprüyü daha emniyetli halle getirmek amacıyla yapılan uygulamalarda bu yöntem uygulanabilirliği, maliyeti, bakımı, yapısal kısıtlamalar nedeniyle en dikkat çeken kaplama yöntemidir. Açık köprü ayaklarında 500 ve 1000 yıllık tekerrür debilerinin yaratacağı hidrolik etkiye göre tasarlanan riprap büyüklüğü aynı malzeme kullanılması nedeniyle tasarım boyutları ve maliyet kriteri her iki debi için de değişmez.

Bulut (2017), yapmış olduğu tez çalışmasında akarsu köprülerinde meydana gelen hasarlar inceleyerek bu hasarların %60'ının taban oyulmaları ve hidrolik etkilerden oluştuğunu belirterek çözüm önerileri sunmuştur. Köprülerin statik hesabının yanında hidrolik hesabının da çok dikkatli yapılması can ve mal güvenliği açısından oldukça önemlidir. Hasarların önlenmesi köprü ayaklarındaki oyulma miktarının bilinmesi gerekmektedir. Ancak oyulmanın miktarını ölçebilmek için hesaplamaya çok fazla parametre girdiği ve sabit bir veri olmadığı için akarsularda geçerli bir formül ortaya konulamamış ve 1950'li yıllardan beri ülkemizde ve dünyada bu konu araştırılmasına rağmen henüz çözülebilmemiş değildir. Ülkemizde bu sorunun çözümü için yapılabilecek olanlar ise:

DSİ ve karayollarından oluşacak bir çalışma grubu kurarak konuyu uygulamada çözmek, köprü ayaklarına sensörler yerleştirilerek oyulmayı kontrol altında tutmak,

köprünün memba ve mansabından izinsiz malzeme alınmasını engellemek, suyun memba kısmında savaklanma yapısı yaparak suyun hızını düşürmek, köprülerde oyulma boyunun ayrıca hesap edilerek köprü alt kotu ve ayak uzunluğunu hesaplamak, mendresli akarsuda suyun getirdiği malzemeyi iyi bilmek, akarsu kıvrımına köprüyü inşa etmemek ve köprü açıklığını fazla tutmak yapılacak köprülerin ekonomik ve güvenli olması açısından alınacak en önemli tedbirlerdir.

Köse ve Yanmaz (2017), yaptıkları çalışmalarında geniş akarsu yataklarında bulunan köprülerde meydana gelen hasarlar sonucu can ve mal kaybı yaşandığını, karayolu trafiğini aksattığını ve insanların ulaşım yollarını kestiğini belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada köprülerin yıkılması ve hasar görmesi üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki buna neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Bugüne kadar yıkılan ve hasar gören köprüler incelendiğinde, bunun nedeninin genel olarak köprü kenar ve orta ayaklarında meydana gelen oyulmalar olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada laboratuvar ortamında köprü kenar ve orta ayaklar etrafında meydana gelen temiz su oyulması incelenerek bu denklemi veren amprik ve yarı amprik formüller elde edilerek Monte Carlo yöntemi ile çözülecektir. Çalışma sonucunda köprü hasarlarına neden olan temiz su oyulması formülle elde edilecek ve daha güvenli köprü tasarımları yapılabilecektir. İnceleme sonucu görülmektedir ki köprü ayak uzunlukları ne kadar artarsa ayaklarda meydana gelen temiz su oyulmasının önüne geçilmekte ve köprü güvenliği o kadar artmaktadır. Hesaplamaya giren parametre sayısı da ne kadar artarsa köprü güvenliği bir o kadar azalmaktadır.

Yanmaz ve Caner (2007), araştırmalarında geniş akarsu vadilerinde bulunan köprülerin düzenli olarak izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasının köprü güvenliği açısından oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Köprülerin yıkılma parametreleri incelendiğinde genel olarak hidrolik etkilerin baş gösterdiği görülmektedir. Ancak tasarım ve incelemede hidrolik etkilerin çok fazla dikkate alınmadığı görülmektedir. Köprülerde taban elemanlarında meydana gelen oyulmalar, ayak açıklıkları ve akarsuyun getirdiği malzeme sonucu tıkanması ve taşkında tehlike yaratması ve köprü etrafından agrega malzeme çekilmesi köprü güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle akarsuda bulunan köprü ile su olmayan bir yerde bulunan köprü açısından yapısal farklar olması gerekmektedir. Karayollarında yapılan köprülerde de güzergâh değişikliğine sebebiyet vermemesi için akarsu üzerine yapılan köprüler hidrolik açıdan

incelenmeden yapılmaktadır. Akarsu köprülerine etki eden faktörlerde kullanım kolaylığı ve bize ilerisi için fikir vermesi açısından 13 parametre ile kontrole dayanan Johnson yöntemi incelenmiştir. Çalışma sonucu kötü, iyi ve orta şeklinde hidrolik puanlama verilmektedir. Ancak girilen verilerin yeterli olmadığı akarsuyun debisinin az veya çok olduğu zamanlarına incelenmesi gerektiği düşünüldüğünde bu yöntemin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Ömrünü tamamlamış bir köprüye yapılacak yenileme çalışmalarının maliyeti bazen yeni bir köprü yapmaktan daha pahalı olabilmektedir. Bu nedenle akarsu üzerinde bulunan köprülerin etki eden parametre sayısının fazlalığı nedeniyle köprülerin periyodik olarak incelenmesi ve alınacak önlemlerin düzenli olarak alınması hem ekonomik açıdan hem de köprü güvenliği açısından oldukça önem arz etmektedir.

Yanmaz ve Apaydın (2011), çalışmalarında akarsu köprü ayaklarında meydana gelen hasarlar neticesinde köprünün hasar gördüğünü veya yıkıldığını belirterek Fol deresi ile ilgili çözüm önerileri sunmuşlardır. Köprülerde meydana gelen hasarlar incelendiğinde sadece taşkın sırasında gelen aşırı debi neticesinde oluşan hidrolik etkilerin değil mevcut akımda köprü ayaklarında oluşan oyulmalarında önemli bir faktör olduğu göze çarpmaktadır. Yıkılan ve hasar gören köprüler sonucunda bölgenin mevcut sosyal ekonomik durumu hasara uğramaktadır. Günümüzde yapılan akarsu köprülerinde mevcut bilgi ve birikim neticesinde daha güvenli köprüler yapılmaktadır. Ancak önceden yapılmış olan köprülerde temiz su oyulmasını önlemek için yapılacak uygulamaların hem ekonomik hem de izlenebilmesi ve uygulama açısından kolay olması köprü güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Alınacak önlemler incelendiğinde köprü membasında su hızını kontrol edecek yapılar ve köprü ayaklarının beslenmesi gibi önlemler yer almaktadır. Fol deresinde bulunan mevcut bir köprü üzerinde yapılan incelemelerde hem ekonomik hem de uygulama açısından kolaylığı nedeniyle riprap uygulaması tercih edilmiştir. Ancak hesaplamalarda riprap çapı oldukça büyük çıkmış ve büyük çaplı riprapın uygulama açısından sıkıntı yaratacağı belirtilmiştir. Bu nedenle çözüm olarak köprü ayağına temiz su oyulmasını önlemesi amacıyla kısmi harçlı riprap uygulanması hem ekonomik hem de uygulama açısından oldukça pratik olduğu görülmüştür.

Malik (2007), araştırmasında son 20 yılda köprülerde meydana gelen hasarlar incelendiğinde hidrolik etkiler ve deprem etkisinin göze çarptığını belirtmiştir.

Köprülerin büyük bir bölümü hidrolik yükleri dikkate alınmadan tasarlanmaktadır. Bunun sonucu olarak köprülerde meydana gelen hasarlar can ve mal kaybına neden olmakta ve ulaşım da aksamalar yaşatmaktadır. Bu nedenle köprüler akarsu hidrolik etkisi düşünülerek tasarlanmalı ve mevcut köprülerde deprem etkisine karşı güvenlik tedbirleri alınmalıdır. Köprüler deprem etkisine karşı tasarlanırken ek yük aktarım mekanizmasının sağlanması, sünekliliğinin olması, yatay yük taşıyıcı bağlantı elemanlarının bulunması, deprem etkisi düşünülerek yapılacak yenilikçi imalatlar ve önem sırasına dayalı performans kriteri oluşturulmalıdır. Böylece köprüler deprem ve hidrolik etkilere karşı daha güvenli hale gelecek can ve mal kaybı azaltılarak daha gerçekçi köprü tasarımları yapılabilecektir.

Yurtal, Seçkin, Kaya ve Atabay (2003), yapmış oldukları araştırmalarında dünyada akarsu köprüsü etrafındaki kabarma miktarının bulunabilmesi için birçok hidrolik yöntemin bulunduğunu ve uygulamada da hepsinin çeşitli farklılıkları bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında Seyhan nehri üzerinde bulunan taş köprü etrafında meydana gelen kabarma katsayısı HEC-RAS paket programı içerisinde bulunan yöntemlerle bulunmaya çalışmışlardır. Yapılan çalışmadaki sonuçlar ile DSİ tarafından 1980 yılında ölçülen değerler karşılaştırılarak modelleme yöntemi tasarlanacaktır. Yapılan inceleme sonucunda HAC-RAS paket programı içerisinde bulunan WSPRO yöntemi DSİ sonuçlarına oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Seyhan nehri ve köprünün taş köprü olması ve pürüzlülük katsayısının yüksek olması nedeniyle bu nehir için en sağlıklı yöntemin bu olduğu anlaşılmaktadır. Ancak her nehir ve köprü için bu yöntemin kullanılamayacağı aşîkârdır. Akarsu köprüleri tasarımında akarsuyun bulunduğu havzanın, bitki örtüsünün, suyun debisinin, taşıdığı malzeme miktarının, köprü ayak açıklığının vb. birçok girdinin olduğu ve hesaplama değişiklikler olacağı bilinmektedir. Bu nedenle akarsu köprü tasarımı yaparken seçilecek yöntemin o akarsu için gerçekçi sonuçlar verdiğinden emin olarak güvenli bir köprü tasarımı yapmalıyız.

Günyaktı (2007), yapmış olduğu çalışmasında Kırıkkale TÜPRAŞ rafinerisinin ana ulaşım yolunun Kızılırmak nehri üzerine 1977 yılında yapılan olan köprü olduğunu belirterek bu köprünün hidrolik durumu ile ilgili incelemelerde bulunmuştur. Köprünün ayakları dairesel olarak tasarlanmış yeterince zemine gömülmüş, sürtünme ve uç reaksiyonları karşılayacak şekilde yapılmıştır. Köprünün bulunduğu yer akarsuyun keskin bir kıvrım yaptığı noktada bulunmaktadır. Köprünün membasına 2 adet baraj

yapılarak sediment taşınımı tamamen ortadan kalkmıştır. Köprünün ayakları etrafında zamanla agrega malzeme alınmaya başlanmış ve köprü taban seviyesi ortalama 3,65 metre azalmıştır. Bunun neticesinde köprü güvenliği tehlikeye düşmüştür. Bunun sonucunda teorik olarak analiz edilen ve deney şartlarında uygunluğu test edilmiş nehir yatağı düzenlemesi ve köprü rehabilitasyonu yapılarak sorunun giderileceği düşünülmüştür. Köprü mansabında 50 metrelik bir düşüm yatağı yapılarak suyun hızı düşülerek gelen sel rejimindeki suların köprüye zarar vermesi önlenerek nehir rejimine dönüştürülmüştür. Ayrıca köprü etrafında inşa edilen gido duvarları ile akarsuyun kıvrım noktasında bulunan köprünün ayaklarına suyun daha dik gelmesi sağlanmaya çalışılarak oluşturacağı oyulma önlenmiştir. Köprü taban seviyesi doldurularak ayakların etrafına koruyucu riprap konulmalı ve köprü güvenliği için sürekli gözlenerek gerekli güvenlik tedbirleri alınmalıdır.

Yanmaz (2002), köprü hidroliği kitabında akarsu köprülerinin yaşanan taşkınlar sonucunda hasar gördüğünü veya yıkıldığını belirterek akarsu köprülerinin tasarımları ile ilgili ayrıntılı bilgiler vermiştir. Akarsu köprülerinin hasar görmesi can ve mal kaybına ya da trafiğin aksamasına neden olmakta bölgenin sosyal ve ekonomik dengesini etkilemektedir. Akarsu köprüleri tasarlanırken yapı-su-zemin etkisinin oldukça iyi bir şekilde incelenmesi köprü güvenliği açısından oldukça önemlidir. Köprüler yapıldıktan sonra işletme safhasında köprüler periyodik olarak incelenmeli ve gerekli temel koruyucu önlemler alınmalıdır. Hidrolik etkenli problemlerin çözümlenebilmesi düşünüldüğünde karşımıza çeşitli çözüm önerileri çıkmaktadır. Köprü tasarımı ile uğraşan kişilerin akarsu mühendisliği ile ilgili dünyada çıkan yenilikleri takip etmeleri ve mesleki eğitime katılmaları konunun eğitimi açısından ve pratiklik açısından oldukça önemlidir. Köprüler tasarlanırken havza bazlı çalışmalar yapılmalı havzanın hidrolojik özellikleri çok iyi bilinmelidir. Köprü tasarlanırken akarsuyun hızı ve taşıdığı malzeme miktarı çok iyi bilinmeli akarsuyun zemin özellikleri de incelenerek hidrolik olarak en uygun ve ekonomik olan noktaya köprüler yapılmalıdır. Köprülerin ayak uzunluğu ve açıklığı ayakların oyulmasını koruyacak olan yapılar ve köprü yüksekliği hidrolik açıdan iyi bir şekilde tasarlanmalıdır. Yapılan köprüler periyodik olarak incelenmeli ve gerekli güvenlik önlemleri aksatılmadan yapılmalıdır.

DSİ (2013), yılında hazırladığı raporunda teknolojiye meydana gelen gelişmeler ışığında CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) programı yardımı ile su ve taşkın analizine yönelik yöntemlerin kullanımının gün geçtikçe arttığını bu nedenle taşkın riski ön değerlendirmesi için HEC-GeoRAS programında topoğrafik veri hazırlanmasını önermiştir. Bu hazırlanan veriler ile HEC-RAS paket programında hidrolik hesaplamalar ile akarsu yatağında oluşacak su yükseklikleri hesaplanması ve hesaplanan su yüksekliklerinin bölgedeki taşkın alanı bulunmuş, dağılımı ve haritalanması ise HEC-GeoRAS'da da yapılarak bilgiler verilmiştir.

Hadi (2017), yazmış olduğu tezinde akarsu üzerine yapılan köprülerin membasında oluşabilecek kabarma miktarının ve taşkın analizlerinin deneysel ve HEC-RAS programı ile analizini yaparak sonuçları karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmada köprülerin taşkın esnasındaki davranışlarında hangi yöntemlerin daha sağlıklı sonuçlar verdiği analiz edilmiştir. Açık kanallarda dört farklı köprü açıklığında bulunan akarsu köprüsü etrafındaki taşkın analizleri ve membasındaki kabarma miktarı analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde Enerji, Yarnel ve Momentum metotları deneysel sonuçlara daha yakın deneyler verirken WSPRO metodunun hata oranı daha yüksek olmuştur. Tüm akım durumlarında membada oluşan kabarma miktarı oldukça fazla olduğu, kesit küçüldükçe ve köprünün bulunduğu noktada ise aniden düştüğü görülmüştür.

Keçik (2019), hazırladığı tez çalışmasında ülkemizdeki en büyük afetlerin sırasıyla deprem ve sel olarak sıralayarak bir derenin taşkın anındaki risk analizlerini yapmıştır. Çalışmada sel afetine yeteri kadar önem verilmediği, şehir içerisinde ve çevresinde kalan derelerin etrafının imara açıldığı, plansız ve düzensiz yerleşme sonucu daralan dere kesitlerinin ise ani taşkınlara sebep vererek bölgenin can ve mal güvenliğini tehlikeye attığını belirtmiştir. Bu çalışmada bir dere üzerinden kesitler alınarak 100 ve 500 yıllık debilerde derenin taşkın riski ve mevcut yapıların durumu HEC-RAS paket programı ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda dere üzerinde bulunan sanat yapılarının 100 ve 500 yıllık debilerde yetersiz kalacağı ve kanal kesitinin de yetersiz olduğu görülerek sanat yapılarının yeniden yapılması gerektiği ve dere kesitinin iyileştirilmesi önerilerinde bulunulmuştur.

Kara (2009), hazırladığı tez çalışmasında taşkın risk analizleri yapılırken akarsu üzerinde bulunan sanat yapılarının yeterliliklerinin incelenebilmesi için birçok yöntem

ve metot bulunduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada bir dere üzerinden kesitler alınarak farklı akım durumları ve açıklıklarda elde edilecek deneysel sonuçlar ile HEC-RAS paket programından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak analiz yöntemi irdelenmiştir. Ele alınan tüm durumlarda membada alınan su yüksekliği normal derinlik ve ölçüm değerinden yüksek olmakta, debi değeri artınca ve açıklık artınca normal değere yaklaşmakta olduğu görülmüştür.

Üyükülüoğlu, Ünal ve Turan (2015), çalışmalarında geçmişten günümüze kadar suyun insanoğlunun yerleştiği yerlerdeki en büyük ihtiyacı ve yerleşim sebebi olduğunu bu nedenle su kenarına ve çevresine yerleşen insanların başına gelen en büyük afetin de taşkınlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada Manavgat ilçesinde bulunan Ilıca deresinin su yüzü profilleri HEC-RAS paket programı ile çıkarılarak mevcut sanat yapılarının, bölgedeki sera ve turistik işletme ve yerleşim alanlarının 100 ve 500 yıllık debilerdeki davranışı analiz edilerek kanal ıslahı ile çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Kanal kesitinin 500 yıllık debiyi karşılamada yetersiz kaldığı bölgedeki sera ve yerleşim alanlarının sel afeti ile karşı karşıya kaldığı görülüp dere ıslahı ve mevcut sanat yapılarının iyileştirilerek riskin azaltılması önerilerinde bulunulmuştur. Ayrıca bu sayılan iyileştirmelerin sadece bu dere için değil çevredeki derelerde de benzer çalışmaların HEC-RAS ile yapılarak iyileştirilme yapılması önerisinde bulunulmuştur.

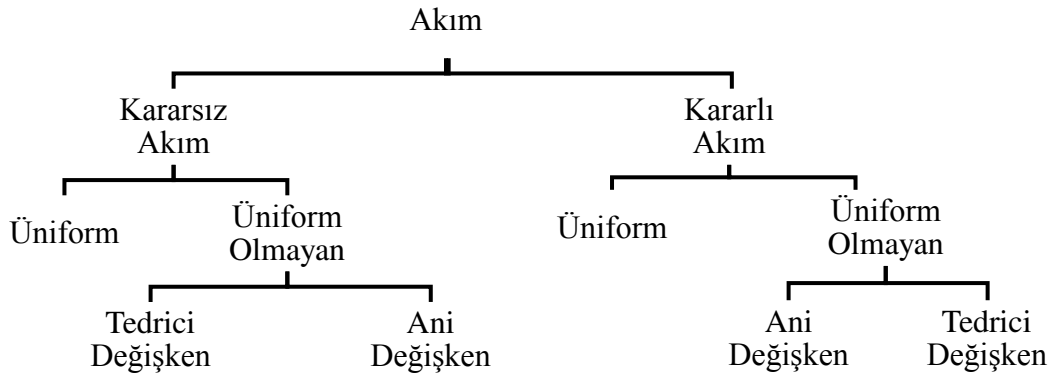
Yeleğen (2014), yaptığı tez çalışmasında akarsu köprülerinin zarar görme nedenleri incelendiğinde büyük bir kısmını hidrolik etkenlerin oluşturduğu, hidrolik etkenlerin başında ise köprü ayaklarda meydana gelen oyulmanın büyük bir sebep olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada köprü ayaklarında meydana gelen oyulmayı hesaplayabileceğimiz denklem ve eşitsizliklerin yerine bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalar analiz edilerek oyulmaya etki eden parametreler incelenmiştir. Köprü ayağı çapı, akım hızının kritik hıza olan oranı, akım derinliği ve tanecik dağılımının oyulmaya en fazla etkisi olan nedenler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca köprü ayak şeklinin akıma doğrudan etkisi bilindiğinden, oyulmaya etkisi olduğu düşünülen başka bir nedendir.

Akay (2018), tez çalışmasında taşkınlar esnasında oluşan can ve mal kayıplarının en önemli nedenlerinden biri de köprülerde meydana gelen hasar olduğunu vurgulamıştır. Akarsu köprülerinde meydana gelen hasarların sebebi ise kesit daralması suyun hidrolik sıçrama yapması ve kabarması şeklinde sayılabilir. Yapılan çalışmada

akarsu köprüleri üzerine güvenlik algoritması yapılarak köprülerin güvenlik önlemleri test edilmiştir. Yapılan güvenlik algoritmasının da akarsuyun ve bölgenin özellikleri dikkate alınmıştır. Yürütülen çalışmalar sonucu gözlemlenen köprülerin düzenli izlenmediği ve güvenlik tedbirlerinin alınmadığı görülmüştür. Algoritmanın düzenli olarak kullanılması sonucunda özellikle karayolu ulaşımında kullanılan köprülerin bakım onarım ve muayenelerin de önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

3. AÇIK KANALLARDA AKIM

Açık kanal akımları; akarsuyun su yüzeyinin atmosfere açık olduğu akımlardır. Su yüzeyinin hava ile temas halinde olan bir yüzeyi mevcuttur. Akarsular, sulama kanalları, kanalizasyon şebekeleri, drenaj kanalları ve yağmur suyu kanallarındaki akımlar vb. şekilde yapılmış olan sulama kanalları açık kanal akımlarıdır. Açık kanallarda akım tipleri değişik ölçütlere göre isimlendirilirler. Bu sınıflandırma aşağıda Şekil 3.1’de şekil olarak verilmiştir. Bir akarsu akımında, herhangi bir noktadaki suyun derinliği, hızı, suyun temas halinde olduğu kesiti, suyun debisi gibi hidrolik parametreleri zamanla değişmiyorsa veya belirli zaman aralığında sabit kabul ediliyorsa bu akım türüne kararlı akım denir. Eğer yukarıda sayılan hidrolik parametreler zamanla değişiyorsa bu akım türüne ise kararlı olmayan akım denir. Taşkınlar kararlı olmayan akımlara anlatmak açısından önemli bir örnektir. Zaman ölçütü dışında akımların bir diğer sınıflandırma çeşidi de konumlarına göre sınıflandırılmalarıdır. Kanaldaki akan suyun derinliği kanalın her noktasında aynı ise üniform (değişken olmayan) akım, her noktasında aynı değil yani akım derinliği değişkense üniform olmayan (değişken) akım denir. Bu durum hem kararlı akımlarda, hem de kararsız olmayan akımlarda bu durum gözlemlenebilmektedir (Chow,1959; Özbek, 2009).



Şekil 3.1. Açık kanallarda akım sınıflandırılması (Chow,1959).

3.1. Açık Kanallarda Üniform Akımlar

Kanal kesitinin sabit kaldığı, bunun sonucunda da su derinliğinin de değişmediği akımlara üniform akımlar denir. Genellikle bir kanal tasarlanırken akımın üniform olması istenir. Çünkü üniform akım boyunca suyun derinliği, hızı ve dolayısıyla debisi

sabit kalmaktadır. Bu nedenle tasarlanan su kanallarında bu kriterler göz önünde tutularak su daha kolay kontrol edilmek istenmektedir. Yapılan projelerde kanal kesiti oldukça sabit tutulur ve üniform akım koşulları sağlanacak şekilde tasarımlar yapılır. Doğal akarsularda üniform akım koşullarının oluşması çok zordur. Ancak hesaplamalardaki kabullerde akarsulardaki su hesaplarında da üniform akım şartları dikkate alınarak hesaplar yapılır (Özbek, 2009).

3.2. Açık Kanallarda Üniform Olmayan Akımlar

Doğal akarsu kanallarında, taban eğimi, pürüzlülük ve debi en kesitten başka bir kesite geçildiğinde değişeceğinden üniform akım söz konusu olamayacaktır ve üniform akış şartları için verilen denklem ve ifadeler de kullanılamayacaktır. Ayrıca, bir akarsu kanalına inşa edilecek herhangi bir su yapısı veya kanalda oluşturulan herhangi bir değişiklik de üniform akım şartlarını bozacaktır. Bu durumlarda, kanal derinliği ve akım hızı, kanal boyunca alınan bir x mesafesinin fonksiyonu olarak hesaplanacaktır. Akım çizgileri birbirine paralel olmayacak ve dolayısıyla akarsu kesitinde hidrostatik basınç dağılımında sapmalar meydana gelecektir (Chow, 1959; Özbek, 2009).

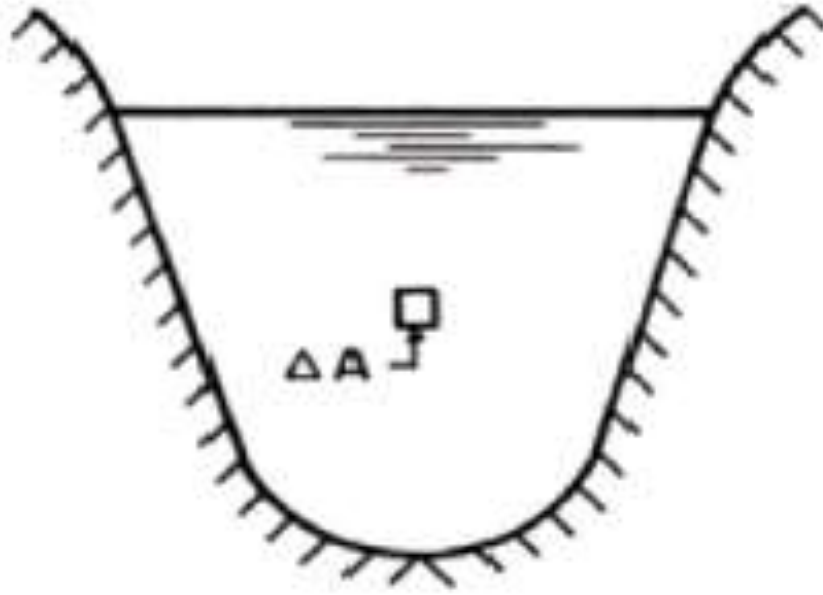
Üniform olmayan açık kanal akımları iki kısma ayrılır.

1. Tedrici(yavaş) değişen akımlar (enerji ve sürtünme kuvveti ile ilgili denklemler geçerli)
2. Ani değişen akımlar (enerji ve impuls- momentum denklemleri geçerli)

3.2.1. Açık Kanallarda Zamanla Değişmeyen Üniform Olmayan Akımlar

3.2.1.1. Hız Yüksekliği Katsayısı

Bir açık akarsu kanalı içerisindeki suyun hızı, kesit içerisinde bulunan bir noktadan başka bir noktaya değişim gösterir. Şekil 3.2’de bir akarsuya ait en kesit görülmektedir. Gösterilen şekil içerisindeki akım içerisinde sonsuz küçük d_A kesitindeki akarsuyun hızı u olsun. Bundan nedenle bir akarsu kanalı kesitindeki $(u^2/2g)_{ort}$ ortalama hız yüksekliği ile ortalama su hızından hesaplanan hız yüksekliği $V^2/(2g)$ birbirine eşit değildir. Bu farklılık α hız yüksekliği katsayısı ile giderilir.



Şekil 3.2. Bir kanala ait en kesit (Chaudhry,1993).

$$\frac{1}{2} \rho u dA u^2 = \frac{1}{2} \rho u^3 dA \quad (3.1)$$

olur. Buradan, A alanından birim zamanda geçen akışkanın kinetik enerjisi,

$$\frac{1}{2} \rho \int u^3 dA \quad (3.2)$$

V kesit içindeki ortalama hız olarak alınırsa, A alanından birim zamanda geçen kinetik enerjisi,

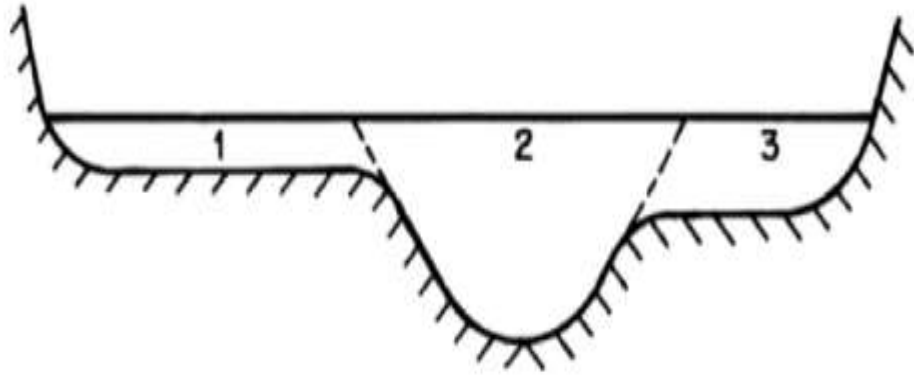
$$\rho \alpha V \frac{V^2}{2} \int dA \quad (3.3)$$

olacaktır. 3.2 ve 3.3 denklemlerinin eşitliğinden;

$$\alpha = \frac{\int u^3 dA}{V^3 \int dA} \quad (3.4)$$

bulunur.

Şekil 3.3’de tipik bir nehir en kesitine ait üç kesit görülmektedir. Akarsu en kesiti içerisinde hız değişimi küçük ise, numaralandırılmış alt kesitlerdeki hız değişimleri daha da azalacağından değişim ihmal edilebilir. Bundan dolayı, her bir alt kesitteki akım hızlarının sabit olduğu varsayılır. Böyle bir durumda α hız yüksekliği katsayısı;



Şekil 3.3. Bir nehire ait en kesit (Chaudhry,1993).

$$\alpha = \frac{(V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3) \cdot (A_1 + A_2 + A_3)^2}{(V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3)^3} \quad (3.5)$$

gibi olur. 3.5 denklemi 3 tane alt kesite ayrılmış bir kanal en kesitindeki hız yüksekliği katsayısı için geçerlidir. Keyfi N alt kesitli bir kanal en kesiti için hız yüksekliği katsayısının belirlenmesi için;

$$\alpha = \frac{(\sum_{i=1}^N V_i^3 A_i) (\sum_{i=1}^N A_i)^2}{(\sum_{i=1}^N V_i A_i)^3} \quad (3.6)$$

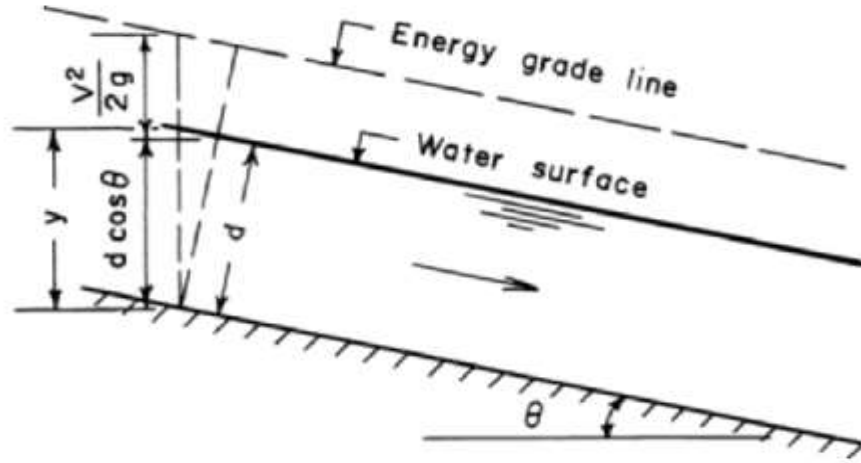
genel bağıntısı kullanılabilir (Chow,1959).

3.2.1.2. Özgül Enerji

Kanal tabanını karşılaştırma düzlemi olarak kabul edersek, birim ağırlıktaki bir akışkanın enerjisine özgül enerji denir ve E ile gösterilir. Şekil 3.4’de kanal içerisinde bulunan bir akışkana ait özgül enerji şekli görülmektedir.

$$E = \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad (3.7)$$

Tedrici değişen bir akımda, akım çizgilerinin birbirine yakın ve paralel oldukları kabul edilir. Bu sebeple kanal taban eğiminin büyümesi nedeniyle oluşacak basınç, üniform akımlarda olduğu gibi değişmelidir. Kesit içerisindeki basınç dağılımının hidrostatik olduğu kabul edilirse şekilde görülen kanal kesiti içerisinde herhangi bir P noktasındaki akışkanın enerjisi,



Şekil 3.4. Kanal içindeki akışkanın özgül enerjisi (Chaudhry,1993).

$$\frac{P}{\gamma} + z = h + z = y \quad (3.8)$$

olacaktır. Alınan herhangi bir noktadaki akışkanın özgül enerjisi ise şu şekilde ifade edilebilir:

$$E = \frac{V^2}{2g} + y \quad (3.9)$$

Bu bağıntı bir akarsu kanalı kesiti içerisindeki keyfi bir P noktasındaki akışkanın özgül enerjisini ifade eder.

3.2.1.3. Özgül Enerji-Derinlik Bağıntısı

Özgül enerji (3.9) bağıntısında $V=Q/A$ uygulanıp, dikdörtgen kesitli kanal için $A=By$ eşitliğinden;

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} = y + \frac{Q^2}{2gB^2y^2} \quad (3.10)$$

bulunur. Bu bağıntıda $q = \frac{Q}{B}$ (birim genişlikten geçen debi) olarak düşünülürse);

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad (3.11)$$

$$(E-y)y^2 = \frac{q^2}{2g} \quad (3.12)$$

elde edilir. 3.12 bağıntısında q 'nun sabit olduğu kabul edilerek derinlikle özgül enerji arasındaki ilişki;

$$Ey^2 - y^3 = \text{sabit} \quad (3.13)$$

Böylece y sıfıra yaklaştıkça hız yüksekliği değeri sonsuza gider. 3.13 denklemi y 'ye göre kübik bir denklemi ifade eder. Bu denklemin üç ayrı kökü vardır ve köklerinden bir tanesi daima negatiftir. Derinlik fiziksel olarak negatif değer olamayacağından y geriye kalan iki farklı kök değerden birini alacaktır. Bu iki farklı derinlik y_1 ve y_2 derinlikleridir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi C noktasında özel bir durum oluşmakta, enerji bu noktada minimum ve $y_1 = y_2$ olmaktadır. C noktasındaki bu akım derinliğine kritik derinlik denir ve akımın karakterini belirlemek için önemli bir kıyastır. Akımın rejimi bu değer ile belirlenmektedir. Akım derinliği y_c den büyükse nehir rejimi, küçükse sel rejimi denir. (Şekil 3.5) y_1 nehir rejimindeki akım derinliğini, y_2 sel rejimindeki akım derinliğini göstermektedir (Chow,1959; Chaudhry,1993; Demirel, 2002).

3.2.1.4. Üniform Derinlik

Üniform açık kanal akımlarında, kanal içerisindeki derinlik kanal uzunluğu boyunca sabittir. Dolayısıyla da her noktada, enerji çizgisi eğimi kanal taban eğimine eşittir. Kanal içerisinde herhangi bir derinlikteki enerji çizgisi eğimi Manning formülü ile hesaplanır. Chow'a göre bu şekilde yapılan hesaplamalarda çok fazla hata yapılmamış olur (Chow,1959).

$$J = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^3} \quad (3.16)$$

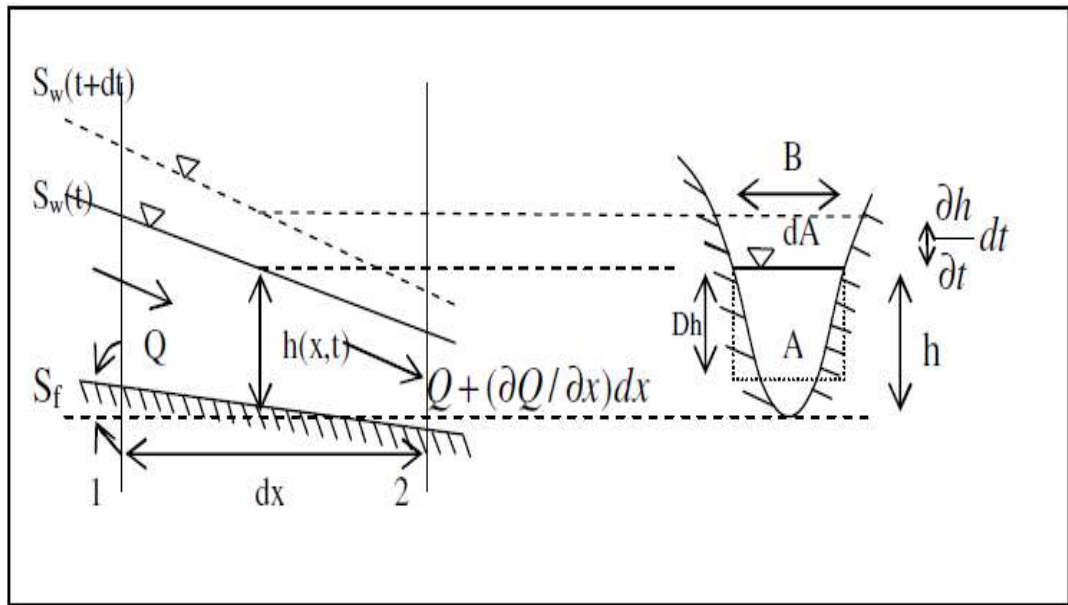
3.16 formülü ile verilen J eğimi yerine J_0 kanal taban eğimi koyulur ve denklem çözülürse hesaplanan y değeri üniform derinlik değeri olacaktır.

3.3. Açık Kanallarda Zamanla Değişen Üniform Olmayan Akımlar

Akarsularda akımın derinliği ile suyun hızı veya akımın derinliği ile suyun debisinde meydana gelen değişiklikler, herhangi bir kesitteki akarsuyun akım şartlarını bize söylemektedir. Bu sebeple akarsularda, üç farklı denklem ile süreklilik denklemi, momentum denklemi ve enerji denklemi ile tipik bir akarsuyun akım özelliklerini belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aşağıda genellikle DE SAINT VENANT denklemleri olarak ta bilinen süreklilik denklemi ve enerji denklemi verilecektir (Kebapçıoğlu, 2009).

3.3.1. Süreklilik Denklemi

Sıkıştırılamayan akışkanlarda sisteme giren ve sistemden çıkan akışkan miktarı sabit kabul edilmektedir. Bu ifade kütlenin korunumu olarak bilinir ve süreklilik denklemi ile ifade edilir. Akarsuyun herhangi iki kesitinde, arasında dx kadar uzaklık bulunan iki farklı kesit ile ifade edilen kontrol hacmine, dt kadar zamanda giren veya çıkan debi farklarının akışkanın hacminde meydana getirdiği değişime eşit olacağı yazılmıştır. Şekil 3.6’da verilen denklemlerde, taban eğimi S_f olarak ifade edilen bir akarsu kanalında, kanalın taban eğiminin küçük olduğu ($\sin \alpha \cong \tan \alpha = S_f$), kanalın prizmatik olduğu (kanal taban eğiminin ve kanalın en kesitinin kanal boyunca değişmediği), kanalda sıkıştırılamayan bir akışkanın bulunduğu ve aktığı kabul edilmektedir.



Şekil 3.6. Süreklilik denklemine ait şema (Walter H.G., 1998).

Şekilde birinci kesitten giren akışkanın hacmi $Q \times dt$ olarak ifade edilir iken birinci kesitten dx kadar mesafe sonrasında bulunan ikinci kesitten çıkan akışkanın hacmi ise; $\left[Q + \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) dx\right] dt$ olarak ifade edilir. Kesitler arasında dt kadar süre boyunca bu iki kesit arasındaki hacimsel değişim; $-\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) dx \cdot dt$ olarak bulunur. Kesitler arasındaki bu hacimsel değişimi akışkanın serbest yüzeyinden itibaren değişim şeklinde tanımlarsak; $(B dx) \frac{\partial h}{\partial t} dt$ olur. Burada; $B(h)$; serbest yüzeydeki kanalın genişliği,

$h(x,t)$;akım derinliği olmak üzere; $dA=B \times dh$ göz önüne alınarak, sıkıştırılamaz bir akışkan kabulüyle,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (3.17)$$

elde edilmektedir. Verilen ifade de özellikleri belli olan bir akışkan kesiti için, kesitsel olarak ifade edilen ortalama hızı U ile göstererek, $Q = U \times A$ denklemi kullanılır ise,

$$\frac{\partial(UA)}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{A \partial U}{\partial t} + U \frac{\partial A}{\partial t} + B \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.18)$$

hidrolik derinlik ifadesini kullanarak ($D_h = A/B$)

$$D_H \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial D_h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3.19)$$

dikdörtgen ve prizmatik şekilli bir kanal için, $D_h = h$ olduğundan (3.19) denklemi,

$$h \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3.20)$$

şekline dönüşerek son şeklini almaktadır (Walter H.G., 1998).

3.3.2. Enerji Denklemi

Akışkanların bulunduğu noktadaki enerjisi, termodinamiğin birinci prensibinin ifadesidir. Akışkanın konum enerjisi bir referans düzlemine göre belirlenir. Karşılaştırma düzleminin konum enerjisi sıfır kabul edilirken diğer noktaların konum enerjisi ise bu noktaya göre belirlenir. Birim ağırlıklı ve sıkıştırılamaz akışkan için seçilen bir referans düzlemine göre toplam enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilerek çıkarabiliriz (Walter H. G., 1998).:

$$\frac{U^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + Z_p = \frac{p_1}{\gamma} = \text{sabit} \quad (3.21)$$

Denklemlerin çıkarılışında yapmış olduğumuz kabuller;

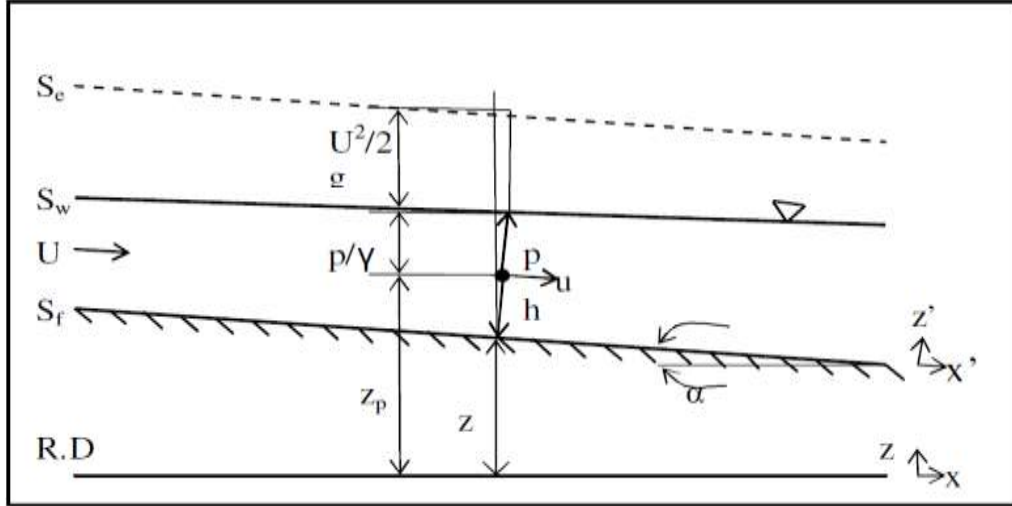
I. Basıncın piyezometre yüksekliği $\frac{p^*}{\gamma} = \frac{p}{\gamma} + Z_p$ sabittir.

II. Taban eğimi (S_f) küçüktür ve $S_f = \tan \alpha = -\frac{dz}{dx} \approx \sin \alpha$ eşittir.

III. Basınç yüksekliği kanal tabanında $\left(\frac{p}{\gamma}\right)_F = h^* \cos \alpha$

Küçük eğimli kanallar için ($\alpha < 6^\circ$) ($S_f < 0,1$) $\cos \alpha \approx 1$ 'dir. Bu sebeple Şekil 3.7'de görüleceği gibi x - z koordinatı x' - z' koordinatıyla aynıdır.

IV. Kanalin tamamında en kesit üzerindeki akımın hızı üniformdur.



Şekil 3.7. Denklemin için kullanılan bir kesit örneği (Walter H.G., 1998).

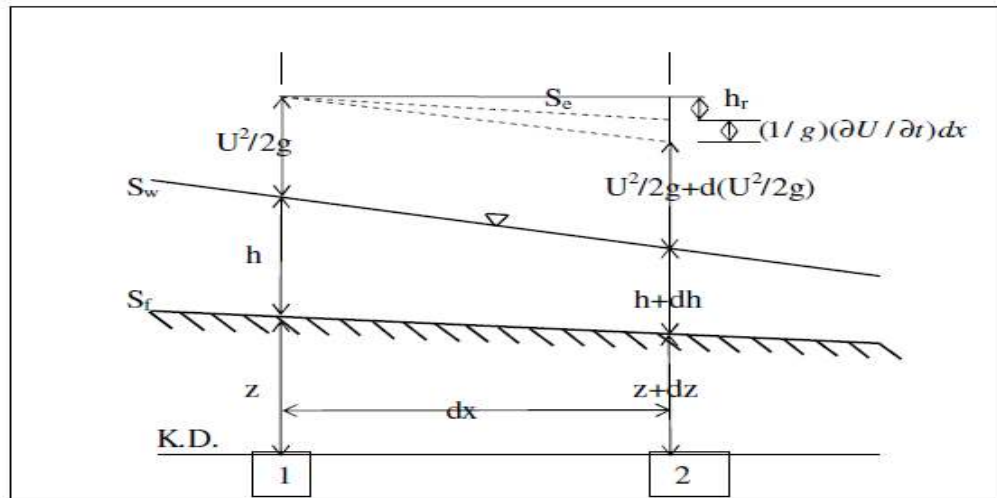
Yukarıda yapmış olduğumuz kabulleri kullanılarak toplam enerji denklemi:

$$\frac{U^2}{2g} + h + z = H \quad (3.22)$$

Üniform olmayan, kararsız ve serbest yüzeyli yani gerçek bir akışkan durumunda; dx mesafesindeki iki keşide ait toplam enerji farkı denklemini yazacak olursak:

$$a_e \frac{U^2}{2g} + h + z = \left[a_e \frac{U^2}{2g} + d \left(a_e \frac{U^2}{2g} \right) \right] + [h + dh] + [z + dz] + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx + \frac{1}{g} \frac{\tau_0}{\rho} \frac{dp}{dA} dx \quad (3.23)$$

Aşağıda Şekil 3.8'de iki farklı kesit alınarak kesitler arasında oluşacak enerji denklemlerini de gösterilen şekile göre yazarak düzenleyecek olursak;



Şekil 3.8. Kesitler arasındaki enerji denklem gösterimi (Walter H.G., 1998).

I. Akımın x yönündeki hızı nedeniyle oluşan enerji;

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx \quad (3.24)$$

II. Sürtünme sonucu oluşan enerji kaybı;

$$\frac{1}{g} \frac{\tau_0}{\rho} \frac{dp}{dA} dx = h_r \quad (3.25)$$

d_p ; ele alınan yüzey çevresi

d_A ; yüzeydeki alan

τ_0 ; yüzeyde sürtünme kuvvetinden oluşan kesme gerilmesi

α_e ; kinetik enerji düzeltme katsayısı

Türbülanslı akımlar için $\alpha_e \cong 1$

III. Genel durumlar için hız yüksekliği ifadesi;

$\alpha_e \frac{U^2}{2g} \approx \frac{U^2}{2g}$ olup, 3.23'deki denklemi aşağıdaki şekilde yazacak olursak;

$$d \left(\frac{U^2}{2g} + h + z \right) = -h_r - \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} dx \quad (3.26)$$

denklemini elde ederiz ve ifadeyi dx ' e bölerek kısmi diferansiyel denklemleri yazarsak:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} - S_f = -S_e \quad (3.27)$$

$$h_r = S_e dx; S_f = - \left(\frac{\partial X}{\partial x} \right) \quad (3.28)$$

Denklemine ulaşılmış olur, burada ifade edilen S_e ; akımın enerjisinin eğimidir. Kararsız olan akımlarda meydana gelen sürtünme kayıpları Manning-Strickler denklemi gibi kararlı akımlar için kullanılan S_e bağıntılarından istifade edilerek de bulunabilir (Kebapçioğlu, 2009).

3.3.3. Saint-Venant Denklemi

(3.17 – 3-20)'de ifade edilen süreklilik denklemi ve (3.21 - 3.28)'de ifade edilen enerji denklemi kararsız olan akımların çözümünde ilk defa Saint-Venant(1870) tarafından kullanılmıştır. Bu ifadelerde iki bilinmeyen $H(x,t)$ ve $U(x,t)$ bağımlı değişkenleri bu denklemlerin çözümüyle elde edilir. Bu denklemlerin tam integrasyon ile çözümü çok karışıktır ve analitik çözümü bulunmamaktadır. Bu sebeple ifade edilen denklemlerin çözümleri farklı sayısal ve grafik yöntemler ile gerçekleştirilebilir. (Kebapçioğlu, 2009).

4. AKARSU KÖPRÜLERİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

4.1. Köprü Ayakları Etrafında Hız ve Basınç Dağılımları

Akarsu köprülerinin orta ayak geometrisinin şekli karşılaştığı hidrolik kuvvetler sebebiyle taban oyulması üzerinde ve köprü emniyeti üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle köprü yerine ve akarsu hidrolik etkilerine en uygun ayak tipi seçilmelidir. Bir akarsu tabanına dik olarak yerleştirilmiş dairesel en kesitli bir köprü ayağı etrafındaki hız dağılımını potansiyel akım teorisine dayanarak inceleyerek fikir sahibi olmak istersek aşağıdaki şekilde inceleyebiliriz (Yanmaz, 2002).

$$u_r = -u_0 \left(1 - \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 \right) \cos \theta \quad (4.1)$$

$$u_\theta = u_0 \left(1 + \left(1 + \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 \right) \sin \theta \right) \quad (4.2)$$

Burada u_0 membada daralmış kesitteki hız, r_1 silindirin yarıçapı, r radyal koordinat, θ açısal koordinattır. Toplam hız radyal ve açısal hızların bileşkesidir:

$$u_1 = \sqrt{u_r^2 + u_\theta^2} \quad (4.3)$$

Denklem (4.1) ve (4.2), Denklem (4.3)'te yerine konursa;

$$u_1 = \left[u_0^2 \left(1 - 2 \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 + \left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \right) \cos^2 \theta + u_0^2 \left(1 + 2 \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 + \left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \right) \sin^2 \theta \right]^{1/2} \quad (4.4)$$

elde edilir. Gerekli basitleştirmeler yapılarak şu ifade bulunabilir:

$$u_1 = \left[1 - 2 \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 \cos 2\theta + \left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

Denklem 4.2'de akımın ayak kesitleri arasındaki yük kaybını ihmal ederek enerji denklemini şöyle yazabiliriz:

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{u_0^2}{2g} + Z_0 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} + Z_1 \quad (4.6)$$

Burada Z_0 ve Z_1 sırasıyla 0 ve 1 numaralı kesitlerdeki taban seviyeleridir. Birbirine yakın kesitler arasındaki taban seviyesi farkı ihmal edilerek Denklem (4.6) yeniden düzenlenecek olursa;

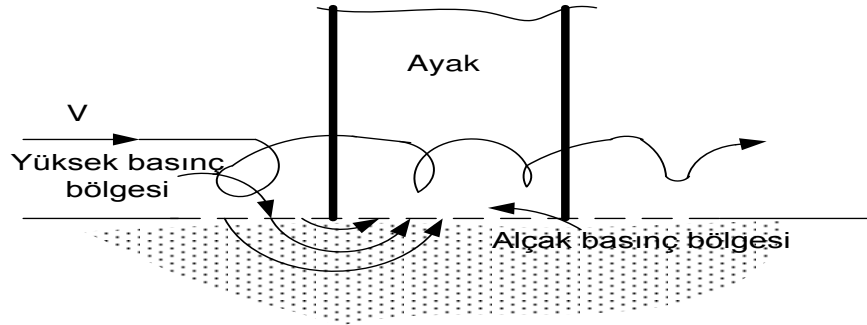
$$\frac{P_1 - P_0}{\gamma} = \frac{1}{2g} (u_0^2 - u_1^2) \quad (4.7)$$

elde edilir. Silindirin yüzeyinde $r=r_1$ olduğundan, Denklem (4.1) ve (4.2)'den $u_1=0$ ve $u_\theta = 2u_0 \sin \theta$ bulunur. Dolayısıyla, $u_1 = u_\theta$ olmaktadır. Böylece şu ifade bulunur:

$$P_1 - P_0 = \frac{\rho u_0^2}{2} (1 - 4 \sin^2 \theta) \quad (4.8)$$

Köprü ayağının memba yüzünde $\theta=0$ olduğundan Denklem (4.8) şu hale dönüşmektedir. Köprü ayağı kenarında oluşan alt akım hızları Şekil 4.1’de verilmiştir.

$$P_1 = P_0 + \frac{\rho u_0^2}{2} \quad (4.9)$$



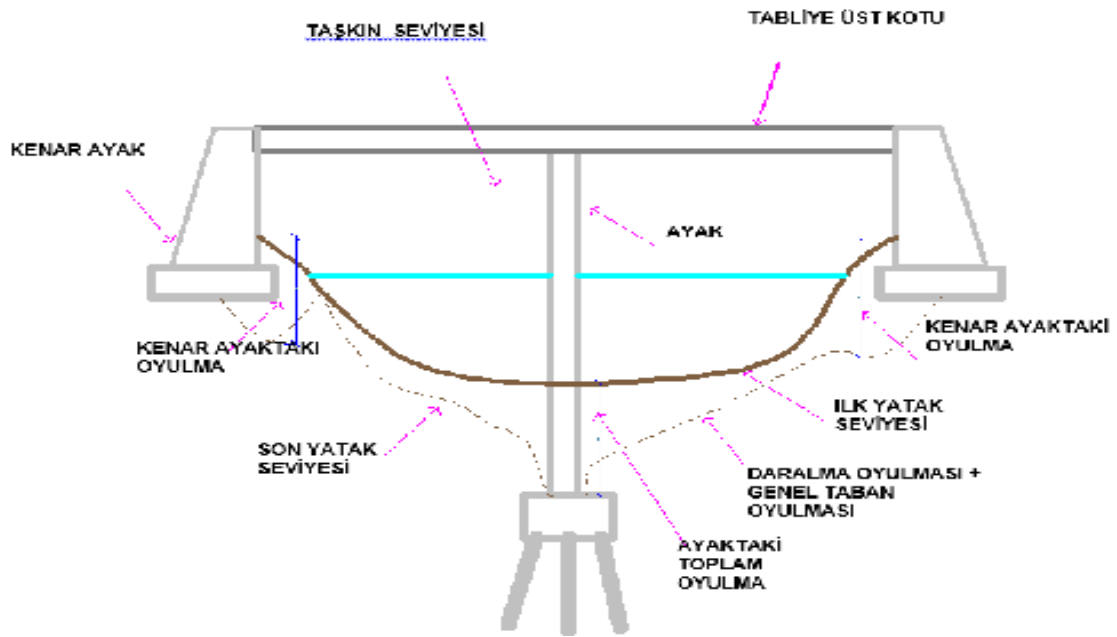
Şekil 4.1. Köprü ayağı altında alt akım (Aksöz, 1967).

Dairesel köprü ayağı etrafında hareket eden su incelendiğinde Bernoulli prensibine göre akımın en hızlı olduğu nokta kesit daralması nedeniyle akımın köprü ayağına temas ettikten sonra orta noktasına kadar sürttüğü yerdir. Orta noktada ise kesit arması nedeniyle hız azalmakta ve basınç artmaktadır. Köprü ayağından uzaklaştığı noktada ise sürtünme kuvveti ve artan basınç nedeniyle hareket zorlaşmaktadır. Bu sebeple köprü ayağından uzaklaşan akımda ters yönde bir akım oluşmaktadır. Yüzeyden uzaklaştıkça sürtünme etkisi azalacağından sınır tabası içinde ikinci ayrılma sınırı üzerinde olan akım genel akım yönünde olacaktır. Oluşan sınır tabakasının şekli ayak geometrisine bağlıdır. Silindir şeklinde olamayan küt tipi ayaklarda ayrılma daha belirgin olacağından, hem yerel yük kaybı daha fazla olacak hem de ayrılma bölgesinde oluşan akımlar artacaktır. Bu nedenle eğriliği fazla olmayan ayak tiplerinden kaçınmak gereklidir (Yanmaz, 2002).

4.2. Köprü Açıklığında Meydana Gelen Taban Oyulmaları

Köprü emniyetini azaltan hidrolik etkenlerin başında temel seviyesindeki oyulma olayı gelmektedir. Akım koşulları ve taban malzemesi cinsine göre değişim gösteren taban oyulması bazı durumlarda hızla gelişebilmektedir. Bir köprü açıklığında toplam taban oyulması akarsu morfolojik rejiminden etkilenen uzun dönemli taban seviyesi alçalması, köprü açıklığındaki daralma nedeniyle oluşan taban oyulması ve orta

kenar ayaklar etrafındaki çevrintilerden kaynaklanan yerel oyulmalardan oluşmaktadır. Ayrıca köprü tabanından malzeme çekilmesi, su çekilmesi vb. nedenlerde taban seviyesi değişimine neden olabilmektedir. Burada sıralanan oyulma bileşenleri normal olarak birbirinden etkilenirler. Ancak bu olaylar arasındaki etkileşimin mertebesi tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle pratikte oyulma bileşenleri bağımsız bir olay olarak kabul edilir ve oyulma derinlikleri toplanarak toplam ayak oyulma derinliği yaklaşık olarak bulunur. Aşağıda Şekil 4.2’de köprü ayaklarında oluşan taban oyulmasının gösterimi ayrıntılı olarak verilmiştir. Köprü açıklığında meydana gelen taban oyulması 1960’lı yıllardan itibaren giderek artan bir ivmeyle çalışılıyor olmasına karşın, tüm akım ve taban malzemesi koşullarında geçerli olan bir evrensel model henüz geliştirilememiştir. Bunun başlıca nedeni zamanla değişen hareketli tabanlı türbülanslı akım koşullarında olayı etkileyen parametre sayısının oldukça fazla olmasıdır. Bu nedenle taban oyulmaları üzerine laboratuvar ortamında üniform akım ve taban malzemesi koşullarında çalışmalar yapılabilmektedir (Yanmaz, 2002).



Şekil 4.2. Köprü açıklığında taban oyulması (Yanmaz, 2002).

4.3. Köprü – Oyulma – Zemin - Akarsu İlişkisi

Köprüde oyulma ifadesi ile anlatılmak istenen köprü orta veya kenar ayakları etrafındaki akarsu taban malzemesinin erozyonudur. Oyulmanın kesit daralması

sebebiyle oluşmasına daralma oyulması denilmektedir. Akım alanına konuşlandırılmış bir köprünün ayakları etrafında oluşan çevrintilerin oluşturduğu oyulmaya ise yerel oyulma denilmektedir. Aynı akarsu üzerinde akarsuyun rejimine bağlı olarak bazen köprü ayaklarında malzeme biriktirir bazen ise köprü ayaklarını oyabilmektedir. Bu nedenle akarsu üzerinde bulunan köprü ayaklarında oyulma olsa dahi bu uzun bir süre alabilmektedir. Dolayısıyla köprü açıklığındaki potansiyel oyulma eğilimi araştırılırken genel taban oyulmasının fazla bir önemi olmayacaktır. Membadan sürüntü malzeme gelip gelmediğine bağlı olarak akarsularda iki tip oyulma oluşmaktadır. Konuya örnek olarak aşağıda Şekil 4.3’de Adıyaman ilinde bulunan Göksu nehri üzerindeki bir karayolu köprüsünün ayaklarında taban malzemesi hareketi sonucu oluşan oyulma karayolu köprüsünün şekli ve orta ayaklar etrafında oluşan hasar görülmektedir.



Şekil 4.3. Adıyaman Göksu köprüsü, (URL 7, 2020).

Akım koşullarında tabanda kritik kayma gerilmesi aşılmıyorsa membada sürüntü yükü hareketi başlamış demektir. Ancak ayak etrafında oluşan akım sebebiyle köprü ayakları etrafında bir oyulma oluşabilir bu oyulmaya temiz su oyulması denilmektedir. Temiz su oyulması oyulma çukuru içerisindeki akımın özelliklerine bağlıdır. Oyulma çukuru içerisindeki akımın özellikleri ayak geometrisine ve akımın ataletine bağlıdır. Örneğin barajdan çıkan bir akarsuyun içerisinde katı malzeme çok az bulunacağından dolayı ulaştığı noktalarda ataleti yüksek olmakta ve temiz su oyulmasına neden olabilmektedir. Barajlardan çıkan suyun oyma gücü o kadar yüksektir ki baraj temelini

bile tehlikeye sokabilmektedir. Şekil 4.4’de Adıyaman ilinde bulunan Göksu nehri üzerindeki bir karayolu köprüsünün orta ayaklarında taban malzemesi hareketi nedeniyle meydana gelen oyulma açıkça görülmektedir (URL 7, 2020).



Şekil 4.4. Adıyaman Göksu köprüsü ayaklarında oluşan oyulma, (URL 7, 2020).

Akım şiddeti arttığında membadaki taban kayma gerilmesi taban malzemesinin karşı koyacağı kritik kayma gerilmesi değerini aşıyorsa membadan itibaren akım yönünde sürüntü hareketi oluşacaktır. Dolayısıyla oyulma çukurunun özellikleri sadece içerisindeki akımın özelliklerine bağlı kalmayacak aynı zamanda membadaki akım koşullarına da bağlı olacaktır. Bu şekilde oluşacak oyulmalara da hareketli taban oyulmaları denilmektedir. Membadaki tabanda aktif sürüntü yükü taşınması nedeniyle köprü kesitine membadan katı madde taşınması olmaktadır. Temiz su oyulması ise köprü kesitine membadan taşınan herhangi bir taban malzemesi olmadığı veya membadan gelen malzemenin köprünün bulunduğu mansap bölümünde çoğunlukla askıda ve akımın taşıma kapasitesinden çok daha az miktarlarda taşınması durumunda meydana gelen oyulmadır.

Bir taşkın sırasında kaba taban malzemesine sahip bir akarsuda köprüler sıklıkla düşük debilerde temiz su oyulmasına, daha yüksek debilerde hareketli taban oyulmasına ve sonrasında yıkılma evresinde daha düşük debilerde temiz su oyulmasına maruz kalabilmektedir. Temiz su oyulması derinliği hareketli taban oyulmasına kıyasla daha

uzun bir dönemde değerine ulaşmaktadır. Çünkü temiz su oyulması çoğunlukla kaba taban malzemesine sahip akarsularda meydana gelmekte ve oyulma çukuru içindeki kaba malzemenin birbirine göreceli olarak daha fazla oyulmaya neden olmayacak şekilde denge konumuna ulaşmasına bağlı olmaktadır (Yanmaz, 2002b).

4.4. Köprü Tasarımında Hidrolik Değerlendirmeler

Geniş akarsu vadilerinde bulunan köprülerin düzenli olarak izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması köprü güvenliği açısından oldukça önemlidir. Köprülerin yıkılma parametreleri incelendiğinde genel olarak hidrolik etkilerin baş gösterdiği görülmektedir. Ancak tasarım ve incelemede hidrolik etkilerin çok fazla dikkate alınmadığı görülmektedir. Köprülerde taban elemanlarında meydana gelen oyulmalar, ayak açıklıkları ve akarsuyun getirdiği malzeme sonucu tıkanması ve taşkında tehlike yaratması ve köprü etrafından agrega malzeme çekilmesi köprü güvenliği açısından oldukça önemlidir.

Bu nedenle akarsuda bulunan köprü ile su olmayan bir yerde bulunan köprü açısından yapısal farklar olması gerekmektedir. Karayollarında yapılan köprülerde de güzergâh değişikliğine sebebiyet vermemesi için akarsu üzerine yapılan köprüler hidrolik açıdan incelenmeden yapılmaktadır. Akarsu köprülerine etki eden faktörlerde kullanım kolaylığı ve bize ilerisi için fikir vermesi açısından 13 parametre ile kontrole dayanan Johnson yöntemi incelenmiştir. Çalışma sonucu kötü, iyi ve orta şeklinde hidrolik puanlama verilmektedir. Ancak girilen verilerin yeterli olmadığı akarsuyun debisinin az veya çok olduğu zamanlarına incelenmesi gerektiği düşünüldüğünde bu yöntemin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Ömrünü tamamlamış bir köprüye yapılacak yenileme çalışmalarının maliyeti bazen yeni bir köprü yapmaktan daha pahalı olabilmektedir.

Köprü emniyetine etki eden öncelikli hidrolik etken neden ve sonuçları aşağıda Çizelge 4.1’de kısaca ifade edilmiş detaylar ayrıntılı olarak açıklanmamıştır. Herhangi bir akarsu köprüsünde bahsedilen bu etkenlerin bir kısmı veya hepsi olabilmektedir. Bu sebeple mevcut durumda veya yeni tasarlayacağımız bir köprüde Çizelge 4.1’de belirtilen etkenlerin hangisi veya hangilerini oluşabileceği belirlenmelidir. Hidrolik açıdan yeterlilikleri de düşünülerek alınması gereken önlemler belirlenerek mevcut ve yapılacak olan köprüler düzenlenmelidir.

Çizelge 4.1. Köprü yıkılmalarındaki başlıca hidrolik etkenlerin neden ve sonuçları(Yanmaz, 2002).

ETKEN	NEDEN	SONUÇ
Doğal sebeple uzun vadede taban seviyesi değişimleri	Akarsuyun doğal rejimi veya havzanın hidrometeorolojik özellikleri sebebiyle oluşan daimi veya aralıklı taban seviyesinin alçalması veya yükselmesi	Oluşan bu değişimler, köprünün kullanılabilir ömründen daha uzun sürede oluşup ve köprü etrafında yapılan düzenleme yapılarıyla telafi edilir
İnsan kaynaklı etkenlerle kısa ve orta dönemde taban seviyesinde meydana gelen değişimler	Akarsuyun düzenlemesi, yargın inşaatı, taban malzemesinin çekilmesi, suyun çekilmesi, baraj veya bağlama yapılması, arazi kullanımında oluşan olumsuzluklarla havza rusubat veriminin artması	Akarsuda yapılan genişletme, derinleştirme, yargın inşaatı, baraj veya bağlama yapıları gibi nedenlerle taban rejiminin bozulması, tabandan malzeme çekilmesiyle mansapta, su çekimiyle ise membada taban erozyonu artar
Daralma oyulması	Köprü aksıları arasındaki açıklığın az olması	Seviyesi genellikle ayaklar etrafında oluşandan daha az olmak üzere köprü açıklığının tabanında oyulma
Ayaklar etrafında oluşan yerel oyulma	Ayaklar etrafındaki çevrıntiler ve akarsuyun artan sürüntü madde taşımadaki kapasitesi	Köprü ayaklarının çevresinde meydana gelen yerel oturma ve temelde oturma sonucu olası köprü yıkımı
Köprü açıklığında oluşan hidrolik sıçrama	Köprü aks açıklığının çok az olması sebebiyle açıklıkta oluşan sel rejimi	Hidrolik sıçrama sonucu oluşan çevrıntilerin taban malzemesinin sürüklenme ve oyulmayı artırması
Ayak açıklığının taban malzemesi ile dolması	Köprü ayaklarının şekil ve boyut olarak yetersiz ve ayak sayısının da fazla olması	Ayak açıklığının daralması ile artan akım hızı sonucu tabanda oyulma miktarının artması ve memba su kotunun yükselmesi
Taşınan malzeme sonucu oluşan dinamik itki	Akarsu şevi ve vadi yamaçlarından toprağın kayması sonucu kaya parçalarının köprü elemanlarına uygulamış olduğu dinamik itki	Köprü ayak ve tabliyeye hızla çarpan kaya parçalarının oluşturduğu büyük tahribat etkisi
Basınçlı ve savak tipi	Ayak açıklığı az olan köprülerde taşkın esnasında oluşan aşırı su seviyesi artması	Tabliyeye uygulanan alttan kaldırma kuvveti sonucu köprü trafiğinde meydana gelen tehlike, bu şekilde akımlarda düşey daralma nedeniyle taban oyulma eğimindeki artma
Köprü yeri seçiminde yapılan hata	Depolama tesislerinin ve akarsu birleşimlerinin yakın mansabı. Çevirme tesislerinin yakın membası ve keskin kurplar.	Mansapta, depolama tesislerinde artan temiz su oyulması ve akarsu birleşim oyulmaları. Çevirme tesisleri membasında yükselen su derinliği sebebiyle akarsu tabanında artan gerilmeler ve kurplarda taban oyulması
Köprü ayak seçiminde yapılan hata	Köprü orta ayaklarının akarsuyun büyük hızdaki bölgelerine konulması	Orta ayak etrafındaki taban oyulması artar ve köprü yıkılma riski ortaya çıkar
Temel durumu	Sömel seviyelerinin tabandan yeterince derinde olmaması	Köprü ayak oyulma potansiyeli yüksek köprülerde sık sömel seviyesine kadar oyulma devam ederse, büyüyen sömel genişliği daha da artar köprü yıkılabilir

Bu nedenle akarsu üzerinde bulunan köprülerin etki eden parametre sayısının fazlalığı nedeniyle köprülerin periyodik olarak incelenmesi ve alınacak tedbirlerin düzenli olarak alınması hem ekonomik açıdan hem de köprü güvenliği açısından oldukça önem arz etmektedir (Yanmaz, 2002).

4.5. Köprü Tasarımında Hidrolik – Yapı Etkileşiminin Önemi

Geniş akarsular üzerinden geçen köprüler o bölgedeki ulaşım ağlarının tartışmasız en önemli noktalarıdır. Bu köprülerin tasarımında ise daha öncede bahsedildiği üzere hidrolik etkiler çok önem arz etmektedir. Hidrolik açıdan iyi bir şekilde tasarlanmayan bir köprü hasar görebilir veya yıkılabilir, bunun sonucunda ise yapılan yatırım, can ve mal güvenliği tehlikeye düşebilir. Bu nedenle köprü tasarımları bir bütün olarak ele alınmalı ve hidrolik yapı etkileşimleri dikkatlice analiz edilerek tasarım yapılmalıdır. Akarsu köprülerine en fazla kuvvet taşkın esnasında gelmektedir.

Taşkın esnasında köprülerde ne gibi sıkıntılar yaşanabileceğini maddeler halinde sıralayacak olursak:

- Taşkın ile gelen ağaç kök ve benzeri malzemenin köprüye yaptığı dinamik itki
- Hava payının yeterli olmaması sebebiyle membada şişme yaşanması
- Köprü ayakları etrafında oyulma olması
- Köprü ayakları etrafının gelen sürüntü malzeme ile dolması sonucu köprü açıklığının daralması
- Yağış esnasında yaşanacak bir heyelan sonucu suyun kuvvetini artırarak köprüye uygulamış olduğu kuvvet vb. şeklinde sıralayabiliriz (Yanmaz, 2002).

Yukarıda bahsedilen hidrolik yetersizlikler köprü emniyetini azaltacağı bilinmektedir, bu nedenle yeni tasarlanacak köprülerde bu etkileri azaltıcı hidrolik yapı önlemleri alınması gerekmektedir. Geniş bir akarsu üzerine yapılacak olan köprüde hidrolik-yapı belirsizliği oldukça fazladır. Bu nedenle tasarımda güvenli bölgede kalınmak isteneceği için köprü ayak kesitini artması, köprü açıklığının azaltılması veya tabliye genişliğinin artırılması düşünülerek güvenli bölgede kalınmak istenecektir.

Bunun sonucunda ise suyun geçeceği kesit ve hava payı miktarı da azalacaktır. Yani güvenli bölgede kalayım derken yapımın hidrolik-yapı etkileşimi bozulacaktır. Bunun sonucunda ise gelen taşkınlarda köprü ayak açıklığı ve hava payı yeterli olmayacak köprünün memba kısmında su şişecek ve köprüye etki eden hidrolik etki

oldukça artacak ve köprü yıkılacak veya hasar görecektir. Bu nedenle geniş akarsularda yapılacak köprü tasarımlarında yapı güvenliğinin yanı sıra hidrolik etkilerinde oldukça irdelenerek tasarlanması gerekmektedir (Yanmaz, 2002).

Bu konulara günümüze yakın ve ülkemizde yaşanan afetlerden örnek vererek konunun önemi açıklanmak istenirse; Şekil 4.5’de görüldüğü üzere Ordu ili, Ünye ilçesinde 09.08.2018 tarihinde meydana gelen aşırı yağışlar sonucu Karadeniz sahil yolunda bulunan ve ulaşımı sağlayan orta ayaklı ve tabliyeli köprü ve dere üzerindeki başka köprüler yıkılmıştır.



Şekil 4.5. Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti, (URL 5, 2019).

Ani su baskınlarının yani taşkınların hayatımızda ne kadar önemli bir afet olduğunu bir kez daha gördüğümüz bu olayda akarsu üzerinde bulunan 8 adet köprü yıkılmıştır. Bunlardan en önemlisi Karadeniz sahil yolu otobanında bulunan köprüdür. Köprü sel sonrası hasar almış ve trafiğe kapatılmıştır. Gelen ani su miktarı sonucu köprünün kesitinin ve hava payının yetersiz kaldığı ve gelen su miktarını karşılayamadığı Şekil 4.6’da açıkça görülmektedir (URL 5, 2019).



Şekil 4.6. Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti, (URL 5, 2019).

Bunun sonucu köprünün tabliyesinde ve köprü ayaklarında oldukça büyük bir hidrolik kuvvet oluşmuştur. Su savaklanarak memba kısmında kabarmıştır. Taşkınlı karşılama yetersiz kalan köprü açıklığı ve gelen büyük hidrolik kuvvet sonucu Şekil 4.7’de görüldüğü gibi köprü orta ayaklarında oynama meydana gelmiş ve köprünün üst tabliyesi göçmüştür (URL 4, 2019).



Şekil 4.7. Ordu, Ünye sahil yolu köprüsü, sel afeti, (URL 4, 2019)

Sevindirici olan ise bu denli yoğun olan bir otobanda yaşanmamış olmasına rağmen can kaybının olmasıdır. Ayrıca köprünün Karadeniz Sahil yolunda bulunması can, mal ve ulaşım güvenliği açısından ayrıca düşünülmesi gereken bir kriterdir.

Köprü 1935 yılında iki adet orta ayak üzerine üç gözlü ve tabliyeli olarak yapılmıştır. Şekil 4.8’de köprünün yapıldığı zamanki fotoğrafı görülmektedir (URL 6, 2019).



Şekil 4.8. Ordu, Ünye sahil yolu köprüsünün 1935 yılında imal edildiği zamanki görüntüsü, (URL 6, 2019).

O zamanlarda tasarımları yapılan akarsu köprülerinde genelde yapısal yükler dikkate alınarak tasarımlar yapılıyordu. Hidrolik etkenler fazla dikkate alınmazdı. Yaşanan taşkın esnasında Cevizdere üzerinde bulunan ve yıkılan başka bir köprünün hidrolik açıdan ne kadar yetersiz kaldığı Şekil 4.9’da görülmektedir (URL 5, 2019).



Şekil 4.9. Ordu, Ünye cevizdere deresi üzerindeki başka bir köprü, (URL 5, 2019).

Köprünün kesitinin taşkın sırasında ne denli zorlandığı, kesitinin yetersiz kaldığı bunun sonucunda, suyun savaklanma yaparak memba kısmında kabarma oluşturduğu açıkça görülmektedir. Köprünün taşkını karşılayamama nedenleri ise; köprünün ayak açıklığının yetersiz kalması, köprü hava payının az olması ve bunun sonucu olarak gelen taşkın debisini karşılayamaması olarak sayılabilir. Yıkılan köprülerin derenin Karadeniz’e döküldüğü noktalarda da bulunması ise köprülere etki eden hidrolik etkileri daha da artırmaktadır. Gelen yüksek kuvvetteki taşkın debisine dayanamayarak göçen birçok köprünün Şekil 4.10’da görüldüğü gibi tabliyelerinin zarar görerek göçtükleri görülmektedir. Dere üzerinde bulunan başka köprüler de sel sırasında benzer durumlar nedeniyle hasar almış ve bölgede büyük bir afet yaşanmıştır (URL 4, 2019).



Şekil 4.10. Ordu, Ünye cevizdere deresi üzerindeki diğer köprülerin durumu, (URL 4, 2019).

Köprülerin yapım yılları ve tasarımları incelendiğinde köprülerde hidrolik ve yapı uyumu bulunmadığı ve mevcut bölgenin hidrolojik değerlerine uygun bir köprü tasarımı yapılmadığı açıkça görülmektedir. Bu da bize köprü tasarımında hidrolik-yapı etkileşiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Taşkın esnasındaki köprü davranışının düşünülerek köprü tasarımının yapılması ve gerekliliği gelişmekte olan mühendislik çözümleri arasında yerini almıştır.

4.6. Köprü Yeri Seçimi

Akarsu, boğaz, vadi, göl vb. yerlerin geçilmesi amacıyla insanların yapmış oldukları yapılara köprüler denilmektedir. Uygarlık ve gelişimin göstergesi olan köprüler bu nedenle sanat yapıları olarak anılmaktadır. Köprü geçişleri insanların tasarımlarını önceden planlayabildikleri ve uyguladıkları en temel yapılardandır. Yapılan bu köprülerin içerisinde en önemlisi taşkına maruz kalması, su aşınması, malzeme biriktirmesi vb. gibi birçok hidrolik etken ile karşı karşıya kalan akarsu köprüleridir. Yapısal analizine giren kuvvet bileşenlerinin fazla ve karmaşık olması sebebiyle akarsu köprü tasarımları ve köprü yapımı planlanan yerin özellikleri ayrıca analiz edilmesi gereken bir konudur. Konunun önemini ve günümüz teknolojik gelişmeleri ışığında geldiği noktayı ülkemizden bir örnek ile açıklayacak olursak: Aşağıda Şekil 4.11’de Türkiye’nin 165 metre yüksekliği ile en yüksek köprüsü olması özelliği taşıyan ve Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu’da bulunan illeri birbirine bağlayacak olan bir tasarım harikası olan Botan köprüsü görülmektedir (URL 8, 2020).



Şekil 4.11. Botan köprüsü, (URL 8, 2020)

Akarsu köprü yeri seçilirken köprülerinin güvenlik, emniyet ve uzun ömürlü olması yapılan tasarım için oldukça önem arz etmektedir. Akarsu köprü yeri seçilirken aşağıda sıralanmış hususlar dikkate alınarak köprü tasarımı yapılmalıdır:

- Köprünün yapılacağı akarsuyun hidrolojik özellikleri iyi bir şekilde analiz edilmelidir.
- Akarsuyun taşkın debileri bilinmelidir.
- Köprü yeri seçilirken ulaşım açısından en uygun yer seçilmelidir.
- Köprü yeri zemin özelliklerine dikkat edilmelidir.
- Akarsuyun dar olduğu yerler dikkate alınmalıdır.
- Mümkün olduğunca tek açıklıklı ve orta ayaksız konumlandırılmalıdır.
- Akarsuyun dik geldiği yere konumlandırılmalıdır.
- Akarsu birleşim yeri mansabına konulmamalıdır.
- Depolama tesisleri yakın mansabı seçilmemelidir.
- Çevirme tesisleri yakın membası seçilmemelidir.
- Köprü güzergâhı deprem özellikleri iyi bilinmedir vb. şeklinde sıralanabilir.

Yeni bir yere yapılacak akarsu köprü tasarımında yukarıda bahsedilen sebepler planlama aşamasında iyi bir şekilde analiz edilerek köprü tasarımları yapılmalıdır. Bu, hem köprü maliyeti hem de insanların can ve mal güvenlikleri açısından oldukça önemlidir. Yapılan yatırımın işlevselliği ve uzun yıllar hizmet verebilmesi için yukarıda bahsedilen nedenlerin köprü tasarımının her aşamasında düşünülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmamızda da Porsuk çayı üzerine DSİ tarafından yapılmış olan mevcut Fidanlık köprüsünün taşkın risk analizleri HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) Paket programı ile yapılarak, köprünün ve bulunduğu bölgenin taşkın esnasındaki emniyeti test edilerek yorumlanacaktır.

5. HEC-RAS PAKET PROGRAMI

Akarsu su yüzü profil hesapları, herhangi bir akarsu üzerine veya akarsuyun çevresine yapılacak olan yapıların tespiti ve çevresinde oluşabilecek taşkınların kontrolünde kullanılır. Su yüzü profili verilerinin elde edilmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan yöntemler: D'Aubuisson, Weisbach, Nagler, Lane, Yarnell, Kindswater, Izzard, Biery ve Delleur, Bradley (USBPR) yöntemleridir. İfade edilen bu yöntemlerin yanı sıra da pek çok sayıda paket program da geliştirilmiştir. Su yapılarının tasarımı oldukça karmaşık ve tekrar edildikçe gelişen bir yapı sistemi olduğu için bilgisayar kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. Günümüzde en çok kullanılan programlar: H.R Wallingford firmasının geliştirmiş olduğu ISIS paket programı ve ABD Kara Kuvvetleri Mühendislik Grubu Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS paket programıdır.

Akarsu üzerinde herhangi bir su yapısı bulunmaz iken, su yüzü profilinin belirlenebilmesi için günümüzde kullanılan yöntemler; doğrudan adım, standart adım ve grafik iterasyon metodu vb. yöntemler olarak sıralanabilir. Akarsuyun üzerinde mevcut bir yapı var ise su yüzü profilini hesaplamak oldukça zorlaşmaktadır. Bununla beraber akarsu üzerine yapılmış olan su yapısı etrafında oluşan akım incelenerek su yüzü profilini tespit eden birçok yöntem de bulunmaktadır. Günümüzde geliştirilmiş olan paket programlar hesap ve analiz kolaylığı sağlamıştır. Bu programlardan en önemlisi önceden de bahsedilmiş olan ABD Kara Kuvvetleri Mühendislik Grubu Hidrolojik Mühendislik Merkezi (United States Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS paket programıdır. HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) grafik tabanlı olan ve kullanımı kolay ve birçok su hesabı için kullanılan bir yazılım programıdır. Program <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/> adresinden ücretsiz olarak indirilebilir bir paket programdır. Paket program çok kollu ve prizmatik şekilde olmayan en kesitli akarsuların tek boyutlu hidrolik ve dinamik hesaplarını yapabilen ve grafik tabanlı kullanan bir programdır. Program nehir rejimi, sel rejimi veya da hidrolik sıçrama gibi karışık rejim durumlarına adapte olabilmekte ve hidrolik hesaplarını yapabilmektedir. Ayrıca sediment taşınımı/tabana hareketi, su kalitesi ve birçok hidrolik yapı hesaplamaları yapabilmektedir. HEC-RAS paket programı hidrolik yapıların ve su seviyesinin kontrol elemanlarının su yüzü profiline etkisini hesaplayabilmektedir.

5.1. Köprü

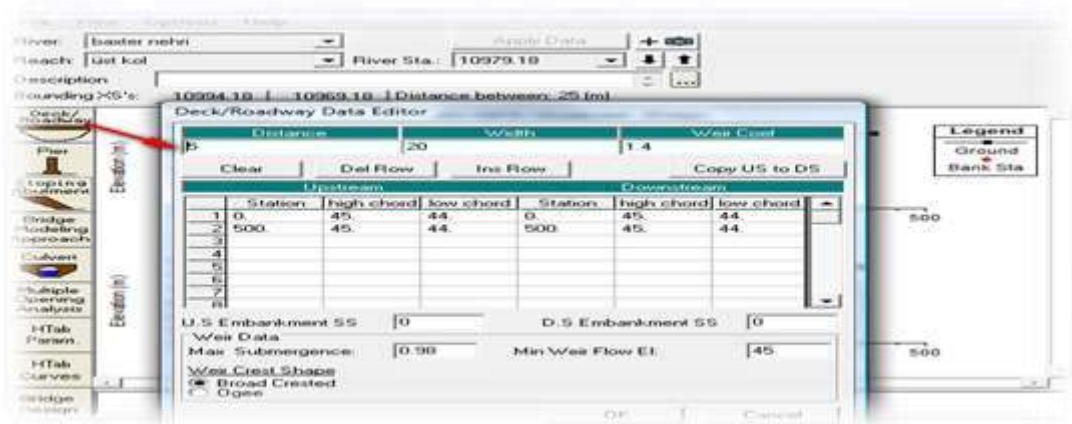
Su yapılarından biri olan köprüler aslında sanat yapıları olarak adlandırılırlar. Köprülerin başlıca amacı; akarsuların, nehirlerin ve derelerin ulaşımına izin vermediği noktalarda inşa edilerek, insanların ulaşımının sağlanması amacı ile kullanılarak insanların hizmetini sağlamasıdır.

Köprü, hem su yapılarının hem de ulaşımın bir parçası olarak tasarımının en az işlevi kadar ön planda olduğu bir sanat yapısıdır. Bu doğrultuda köprü inşaatında görsellik göz ardı edilmeden, inşaatın amacı dışına sapmasına da izin verilmez. Köprü ayakları suyun akışını en az etkileyecek şekilde tasarlanır. Köprü tabliye yüksekliği Q_{100} ve üstü taşkın debilerine göre belirlenmelidir.

5.1.1. Köprü Verilerinin Hec-Ras'a Girilmesi

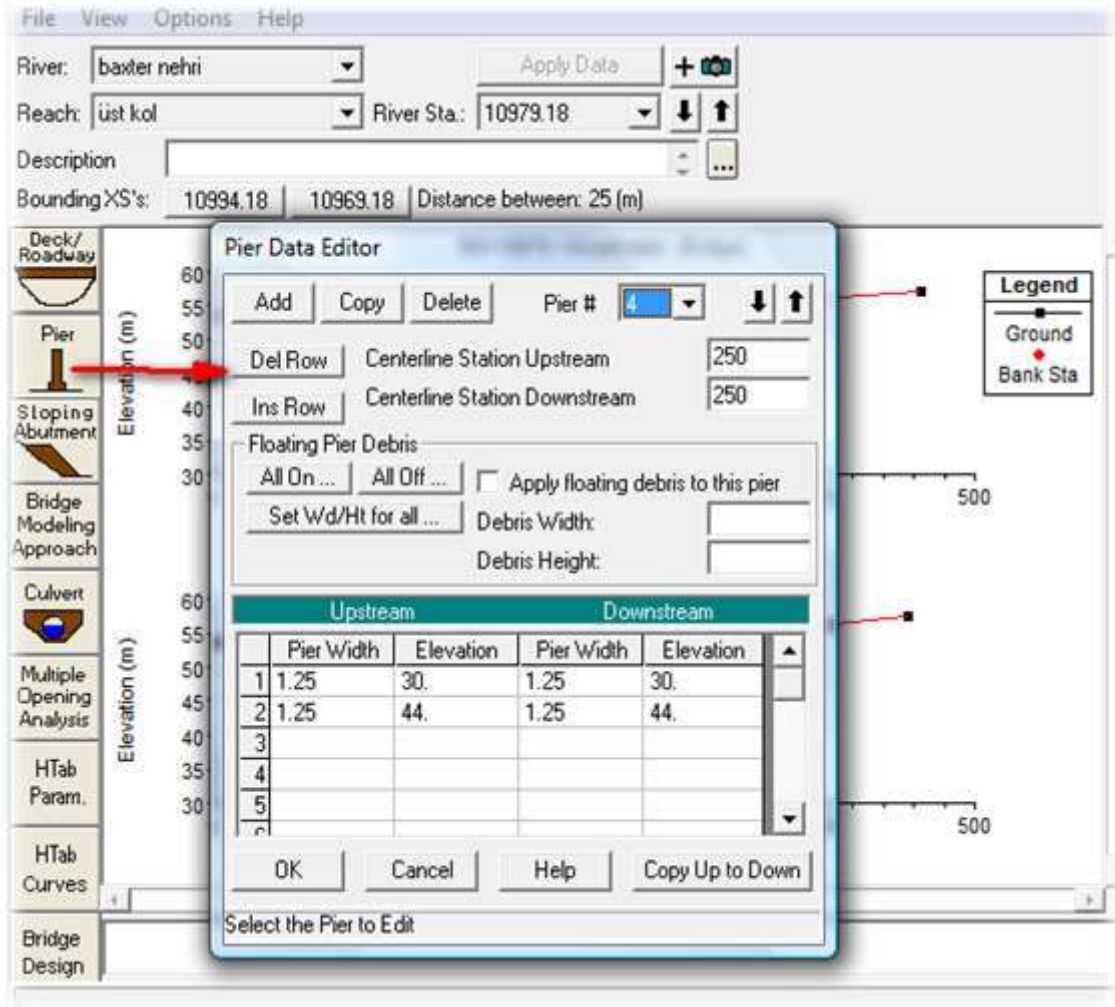
Köprüler taşkın önleme yapılarından biri değildir. Fakat debilerin çok geldiği durumlarda köprü üzerinden taşma gerçekleştiği için köprü burada engel gibi bir davranış sergileyebilmektedir. Bu yüzden HEC-RAS'ta köprü analizi yapıp, köprü öncesi ve sonrası hidrolik verilere bakılır. Örnek bir köprü analizini aşağıda şekillerle göstererek konuyu açıklamaya çalışacak olursak: Şekil 5.2'de görüldüğü gibi köprü verileri Edit Geometric Data komutunda bulunan Bridge/Culvert kutucuğuna tıklanarak sisteme girilir.

Açılan  penceresinden köprü genişliği, yüksekliği ve ayak sayısı, ayak yüksekliği verileri girilir.



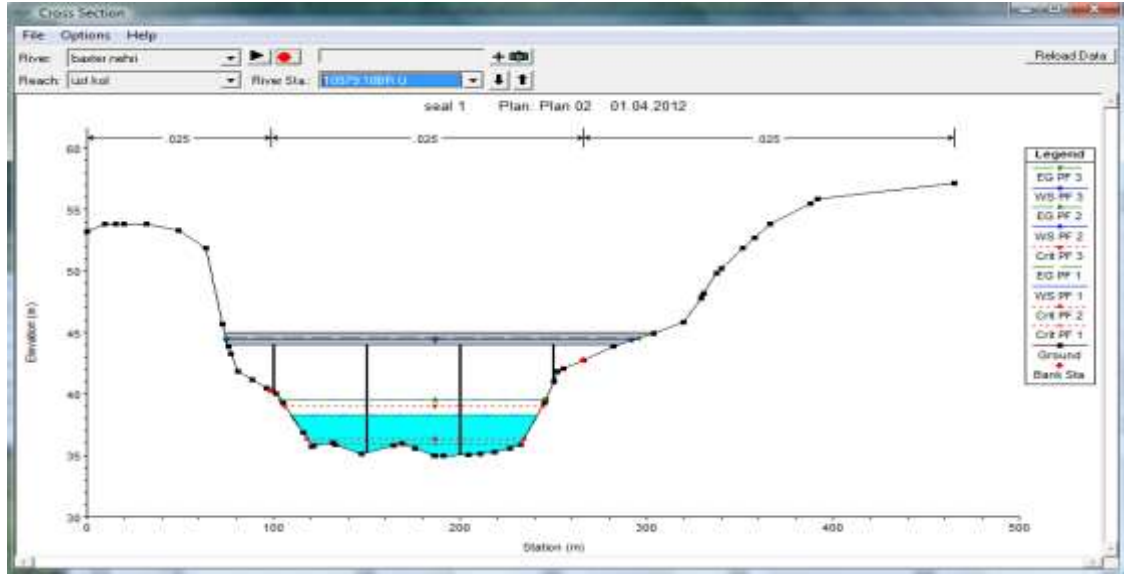
Şekil 5.2. Köprü genişlik ve yükseklik verileri

Şekil 5.3’de örüldüğü gibi Pier Data Editör komutu ile elimizde bulunan ve analizini yapacağımız bir akarsu köprüsüne ait genişlik ve yükseklik verileri paket programa girerek yapacağımız analize başlanır. Daha sonra programa akarsu köprüsüne ait ve köprü ayaklarının verileri girilerek devam edilir.



Şekil 5.3. Köprü ayak verileri

Programa girmiş olduğumuz akarsu köprüsüne ait genişlik ve köprü ayaklarının sayısal verilerini program bize Şekil 5.4’te olduğu gibi bir grafik üzerinde iki boyutlu olarak göstermektedir. Burada köprü tabliyesinin akarsu taşkın debilerindeki durumu ayrıca görülerek analiz edilebilecektir.



Şekil 5.4. Unsteady (analiz sonrası köprü görünüşü) analizi yapıldıktan sonra ki köprü görünüşü

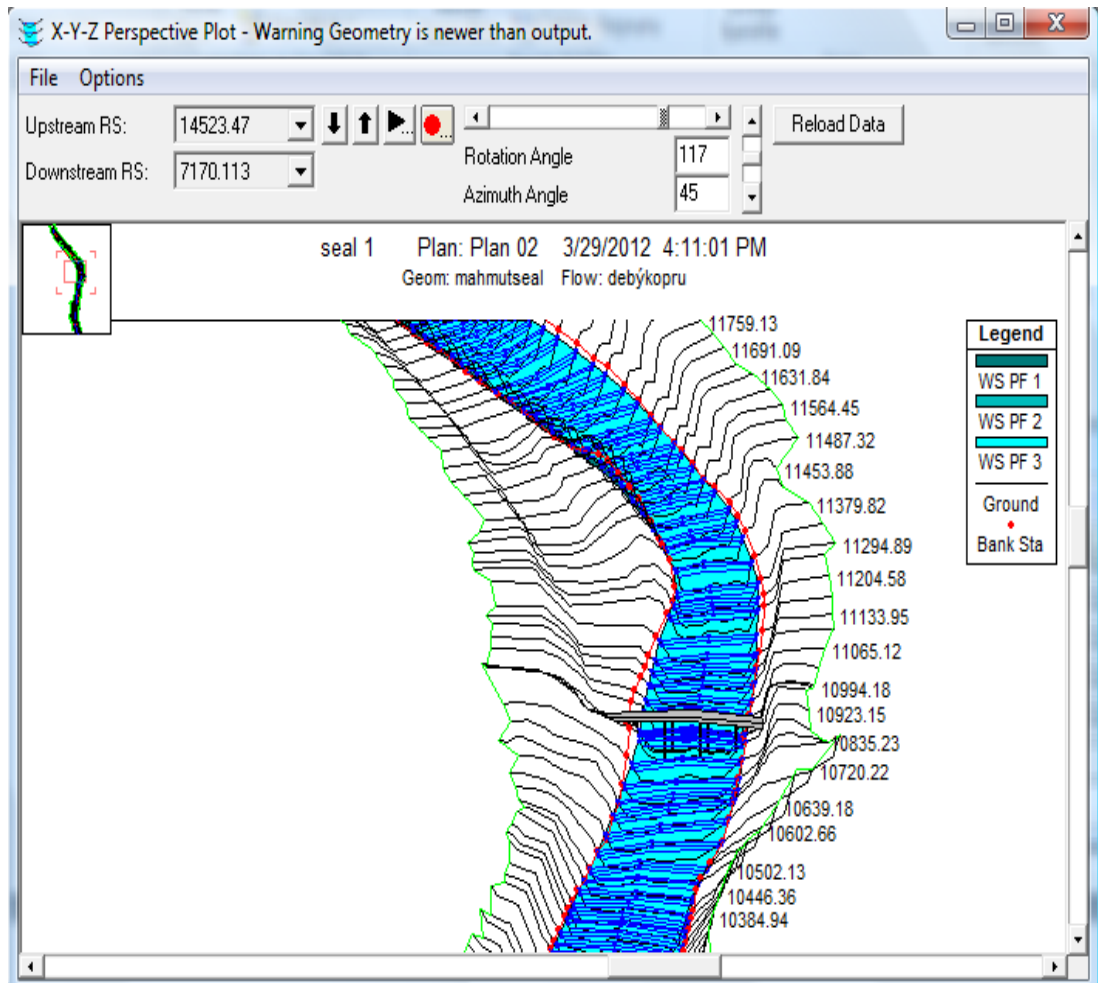
Girilen akarsu köprüsüne ait veriler incelendiğinde Şekil 5.5’de köprü yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra oluşan hidrolik verilerde ki değişiklikler kayma gerilmelerini etkilemiştir. Köprü konulduktan sonra akış alanı (flow area) azalmaktadır. Bu azalmaya bağlı olarak da saniyedeki su akışı miktarı da değişmektedir.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	baxter nehri	Profile:	PF 3		
Reach:	üst kol	RS:	10969.10	Plan:	Plan 02
Plan: Plan 02 baxter nehri üst kol RS: 10969.10 Profile: PF 3					
E.G. Elev (m)	48.18	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.025	0.025	0.025
W.S. Elev (m)	48.11	Reach Len. (m)	35.85	46.03	89.29
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	175.55	1871.14	180.75
E.G. Slope (m/m)	0.000036	Area (m2)	175.55	1871.14	180.75
Q Total (m3/s)	2500.00	Flow (m3/s)	126.73	2275.97	97.30
Top Width (m)	248.52	Top Width (m)	32.24	162.61	53.67
Vel Total (m/s)	1.12	Avg. Vel. (m/s)	0.72	1.22	0.54
Max Chl Dpth (m)	13.06	Hydr. Depth (m)	5.44	11.51	3.37
Conv. Total (m3/s)	415552.5	Conv. (m3/s)	21065.2	378313.5	16173.8
Length Wtd. (m)	46.73	Wetted Per. (m)	33.79	164.66	54.02
Min Ch El (m)	35.05	Shear (N/m2)	1.84	4.03	1.19
Alpha	1.10	Stream Power (N/m s)	21839.01	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m3)	621.81	7368.17	606.05
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	165.44	655.14	198.96
Errors, Warnings and Notes					
Select River Station					

Şekil 5.5. Köprü konulmadan önceki hidrolik veriler

Bu durum kayma gerilmelerinde farklılıklar oluşacaktır. Köprü konulmadan önceki kayma değeri ile köprü konulduktan sonraki kayma değeri farklı değerler olacaktır. Köprü konulduktan sonra akarsu akış alanı daraldığı için m^2 'ye düşen su miktarı da fazla olmaktadır. Bu nedenle kayma değerleri değişmektedir.

Şekil 5.6'da ise akarsuyun kesitleri üzerine veriler girilerek yerleştirilmiş örnek bir köprünün akarsu kesiti üzerindeki konumu görülmektedir.



Şekil 5.6. Köprü 3D görünüşü

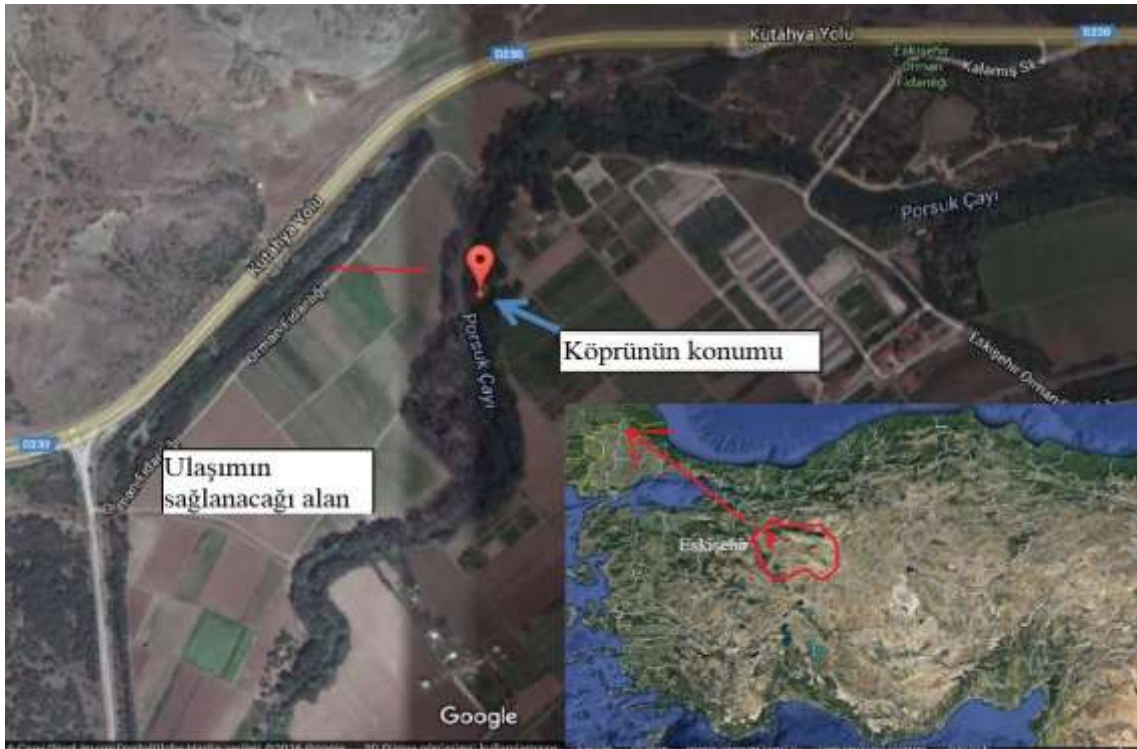
Program bize oluşturmuş olduğumuz köprünün özellikleri, hidrolik verilere, akarsuyun mevcut konumuna göre köprüyü yerleştirerek köprünün bulunduğu noktadaki taşkın risk analizini yapmamızı sağlar. HEC-RAS ileride oluşabilecek riskleri önceden analiz edebilmemizi sağlayan köprü tasarımında oldukça kullanışlı bir paket programdır.

Bu çalışmamızda da Porsuk havzasında bulunan Fidanlık köprüsünün analizini ArcGIS, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS programlarından benzer şekillerde yararlanarak meydana gelebilecek Q_{50} ve Q_{100} taşkın debilerindeki güvenlik riskleri incelenecektir. Programın yapmış olduğu analiz sonucu köprünün güvenliği ve köprüye yakın noktalarda bulunan ulaşım noktalarının taşkın anındaki durumları ayrıntılı olarak incelenerek, yorumlanacak ve çözüm önerileri sunulacaktır.

6. ANALİZ

6.1. Çalışma Alanı

Şekil 6.1’de köprünün yeri ve arazinin uydu görüntüsü görülmektedir. Uydu görüntüsünden de anlaşılacağı üzere köprünün yapılacağı yerin karşısında bulunan fidanlık alanına ulaşım akarsu üzerinde köprü bulunmadığı için Kütahya yolu üzerinden yaklaşık 3,5 - 4 km. daha fazla yol kat edilerek yapılmaktadır. Ayrıca arazilerin arasında iş ve tarım makinesi geçişleri gerektiği için Kütahya yolunun kullanılarak ulaşımın sağlanması tehlikeli olmaktadır. Köprünün konumlandırıldığı yerdeki taşkın debileri $Q_{50}=139,58 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{100}=211,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ’dir. Köprünün projesinde tabliye yüksekliği Q_{100} su seviyesine, 1,5 metre de hava payı eklenmesi ile tasarlanmıştır. Arazi çalışmalarında akarsuyun her iki sahilinde de köprü ayaklarının konumlandırılacağı noktada sağlam zemin bulunamazsa 25 metre, sağlam zemine ulaşılır ise 5 metre sondaj yapımı uygun görülmüştür. Arazide harita alımları yapılarak köprünün tasarımı ve konumu belirlenerek en uygun yere konulmuştur. Köprünün tek açıklıkla geçilerek orta ayak bulunmaması kararına varılarak tasarımı yapılmıştır.



Şekil 6.1. Köprü yerinin uydu görüntüsü

6.2. Köprü Tasarım Özellikleri

6.2.1. Malzeme Özellikleri

6.2.1.1. Beton

Kullanılan betonarme betonları TS 500 ve TS 3233’de öngörülen sınıflamalara uygun olacaktır. Projede kullanılan beton sınıfları ve 28 günlük silindir basınç dayanımları aşağıda belirtilmiştir.

Öngermeli Kiriş Betonları için (C45) $f_c = 45 \text{ N/mm}^2$

Betonarme Betonları için (C30) $f_c = 30 \text{ N/mm}^2$

Demirsiz Betonlar (Grobeton) için (C16) $f_c = 16 \text{ N/mm}^2$ olacak şekilde köprü tasarım beton sınıf değerleri belirlenmiştir.

6.2.1.2. Betonarme Donatısı

Kullanılan bütün betonarme donatıları (12mm-32mm) TS 708/1985 veya eşdeğerine göre S420 sınıfında kullanılmıştır. Bu donatıların akma sınırları $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ ‘dir.

6.2.1.3. Öngerme Halatı

Önçekim öngermeli kirişlerde 0.6 inch, 270 K düşük gevşemeli öngerme halatı kullanılmıştır. Öngerme halatının akma sınırı 1862 N/mm^2 ’dir (DSİ, 2017).

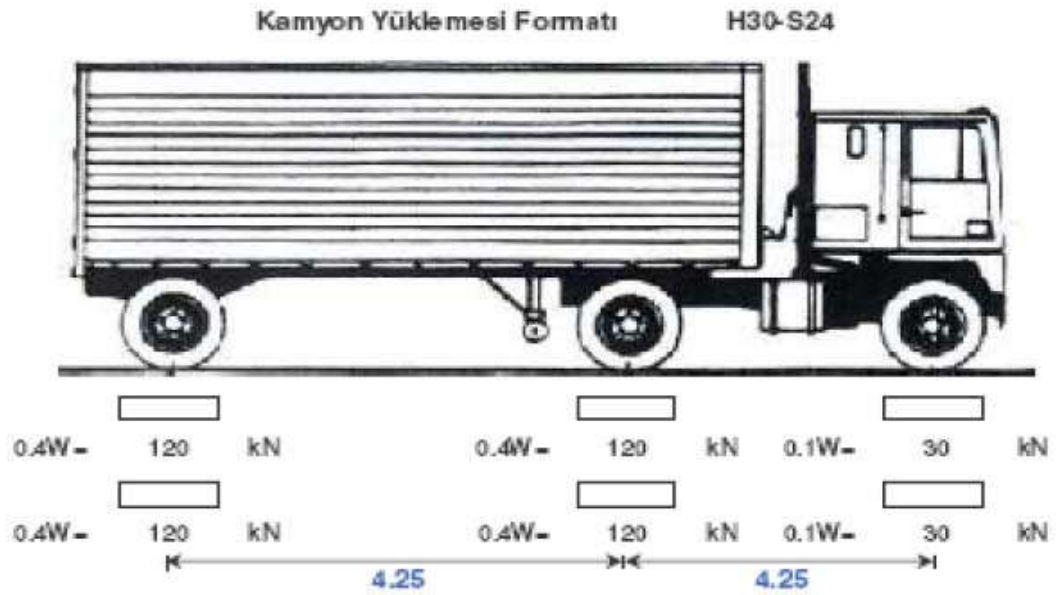
6.2.2. Köprü Yük Hesapları

6.2.2.1. Zati ve Kalıcı Yükler

Köprü elemanlarının kendi ağırlıkları ve yapı üzerinde sürekli kalacak malzemelerin ağırlıklarıdır. (Bordür, kaplama vb...)

6.2.2.2. Hareketli Yükler

Hareketli yük olarak H30-S24 kamyon yüklemesi kullanılmıştır. Hareketli yük hesaplarında AASHTO 3.8.2’de belirtilen dinamik etki katsayısı da dikkate alınmıştır. Kamyon yüklemesi formatına esas kamyon şekli, ayak açıklığı ve yük parametrelerine esas hesap şekli aşağıda Şekil 6.2’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Kamyon yükleme formatı (DSİ, 2017).

6.2.2.3. Rüzgâr Yükleri

Köprü üzerindeki rüzgâr yükü hesapları, AASHTO Bölüm 3.15'e göre yapılmıştır. İlgili maddeye göre 2 ve 5 numaralı kombinasyonlarda üst yapıya etkiyen rüzgâr yükü 300 plf (4.38 kN/m) olarak alınmalıdır. 3 ve 6 numaralı kombinasyonlarda ise üst yapıya etkiyen rüzgâr yükleri %70 oranında azaltılmalı ve bu yüke ilaveten 100 pound/foot (1.46 kN/m)'luk taşıta etkiyen rüzgâr yükü, yol kotundan 1.83 m yukarıdan etkiyecek şekilde yapıya aktarılmalıdır. Taşıta etkiyen rüzgarın oluşturduğu birim moment = $(1.46 \text{ kN/m}) \times (1.83 \text{ m}) = 2.67 \text{ kN.m/m}$ şeklinde olmuştur.

6.2.2.4. Fren Yükü

Fren yükü, AASHTO Bölüm 3.9'a göre hareketli yükün %5'inin yol kırmızı kotunun 1.83 m üstünden etkimesi vasıtasıyla tespit edilmiştir.

6.2.2.5. Isı Yükleri

Köprü elemanlarında +22 ve -22 derece sıcaklık değişimi AASHTO Bölüm 3.19'a göre hesaplanmıştır.

6.2.2.6. Yatay Yükler

Proje sahası Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1997 yılında yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritası'nda 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Yanal

zemin basınçlarının ve deprem halinde oluşacak zemin basınçlarının belirlenmesinde Mononabe-Okabe yaklaşımı kullanılmıştır. AASHTO 3.20.3 & 6.4.2 belirtildiği üzere sürüşarj yükü (Q0) kenar ayak duvarına düzgün yayılı olarak hesaplanmıştır. Hesaba esas köprü AASHTO Division IA Section 3’de belirtilen sismik performans kategorilerinden SPC C grubunda bulunmaktadır (DSİ, 2017).

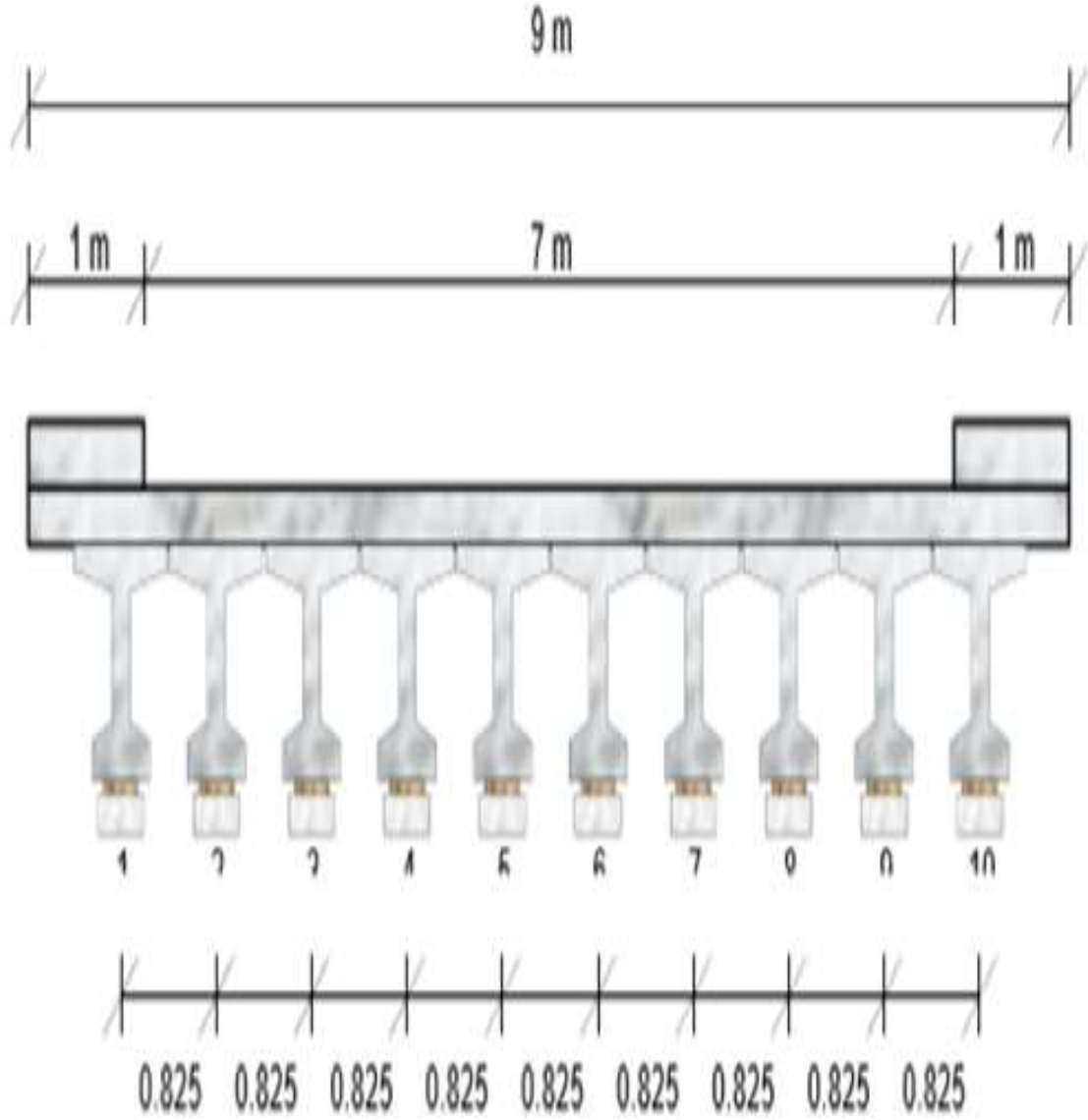
6.2.3. Köprü Üst Yapı Elemanları Özellikleri

Hesaplarda, köprü üzerine etki edecek yüklerin belirlenmesinde temel alınan ana şartname ülkemizde kabul görmüş Amerikan Köprü Şartnamesi olan AASHTO (Standart Specifications for Highway Bridges) şartnamesidir. Köprü öngerilmeli 10 adet kiriş üzerine tek açıklıkta yapılmıştır. Köprünün genişliği 9 metre uzunluğu ise 23,50 metredir yapım yılı 2017’dir. Köprü üst yapı elemanlarına ait geometrik özellikler aşağıda Çizelge 6.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir (DSİ, 2017).

Çizelge 6.1. Köprü üst yapı elemanlarına ait geometrik özellikler (DSİ, 2017).

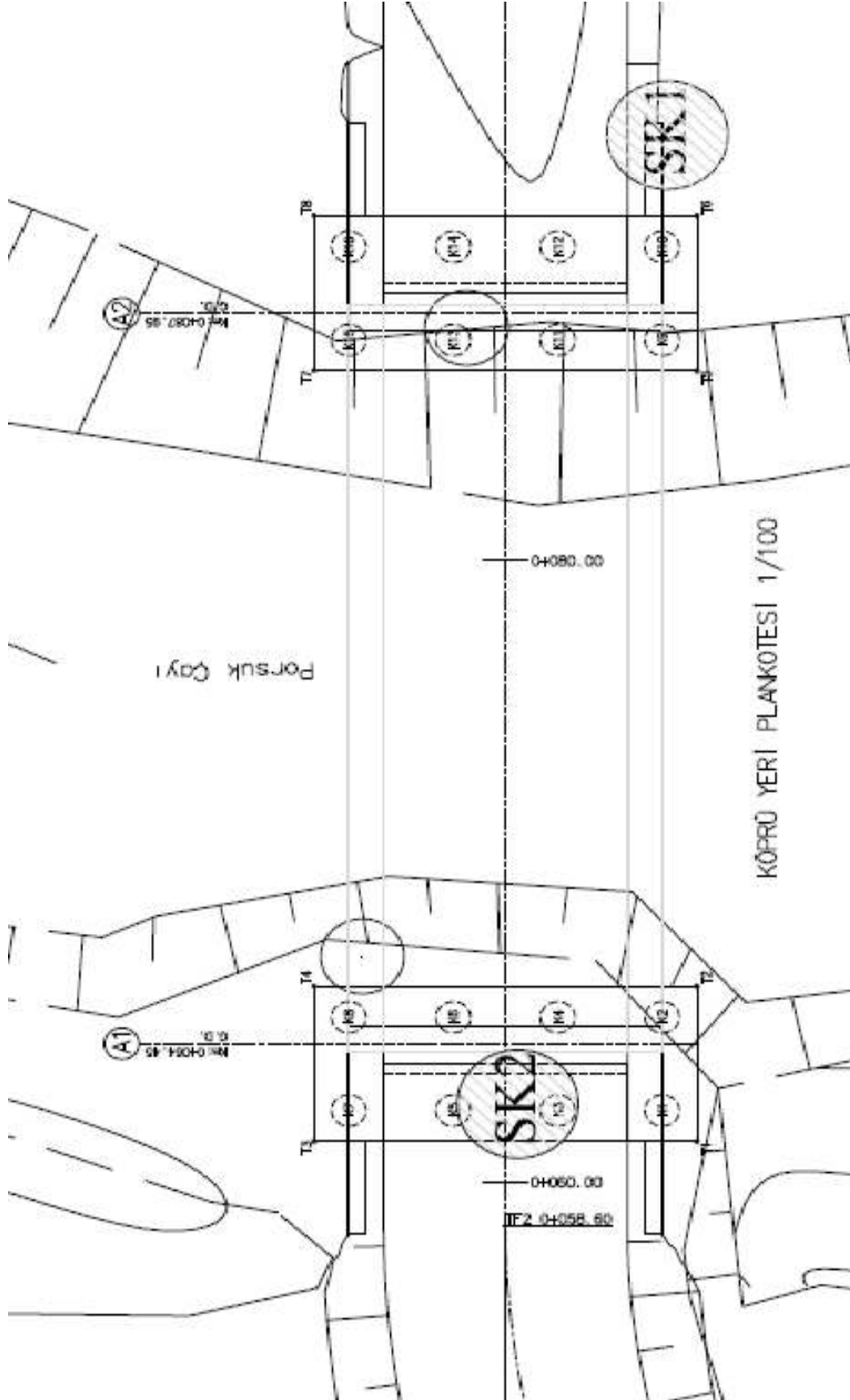
Kiriş Hesap Açıklığı	=	23,50 m
Verevlik Açısı	=	0°
Köprü Genişliği	=	9.00 m
Bordürler Arası Mesafe	=	7.00 m
Sağ Bordür Genişliği	=	1.00 m
Sol Bordür Genişliği	=	1.00 m
Bordür Yüksekliği	=	0.25 m
Kiriş Aralığı	=	0.825 m
Kiriş Sayısı	=	10 adet
Tabliye Kalınlığı	=	0 22 m
Halat Çapı	=	0.6 inç
Halat Alanı	=	1.400 cm ²
Halat Aralığı	=	6 cm
Enleme Kiriş Genişliği	=	0.00 m
Toplam Mesnet Enleme Sayısı	=	0 adet
Bir Açıklıktaki Enleme Sayısı	=	0 adet
Cephe Elemanı Yüksekliği	=	0.00 m
Cephe Elemanı Genişliği	=	0 m
Asfalt + Tecrit Yüksekliği	=	0.06 m
Fligran genişliği	=	0.00 m
Fligran Kalınlığı	=	0.00 m
Bağıl Nem (RH) %	=	60
Yük Sınıfı	=	H30-S24

Köprü üst yapı elemanlarına ait kirişlerinin sayısı, kirişler arası mesafe ve üst yapı elemanlarına ait geometrik veriler ve üst yapı elemanlarının konumunun görüldüğü şekil aşağıda Şekil 6.3’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Köprü üst yapı elemanlarının konumlandırılması (DSİ, 2017).

Köprü kenar ayakları sağ ve sol sahile sağlam zemine kadar inilerek yapılan 8’er adet fore kazık üzerine oturtularak yapılmıştır. Porsuk çayı, köprü kenar ayakları ve fore kazıkların plankote görünüşü aşağıda şekil 6.4’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir (DSİ, 2017).



Şekil 6.4. Köprüye ait plankote görünümü (DSİ, 2017).

6.3. Materyaller

Köprünün taşkın anındaki güvenlik durumu analizlerini yapabilmek için, köprünün bulunduğu bölgeye ait ve analiz için lazım olan kullanacağımız materyaller aşağıda sıralanmıştır.

- 1/25.000 ölçekli topoğrafik yükseklik haritaları (Harita Genel Müdürlüğü ve DSİ 3. Bölge Müdürlüğü)
- Köprü ve akarsuya ait sayısal veriler
- Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Dijital Elevation Model (DEM)
- Düzensiz Üçgenler Ağı Arazi Modeli (TIN)
- ArcGIS 10.2
- HEC-GeoRAS 10.1
- HEC-RAS 5.0.7 kullanılmıştır.

6.4. Yöntem

Bu çalışmamızda Porsuk çayına ait en kesit, boy kesit, debi verileri, Fidanlık köprüsünün boyutları, 1/25.000 ölçekli topoğrafik yükseklik haritaları ve sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılmıştır.

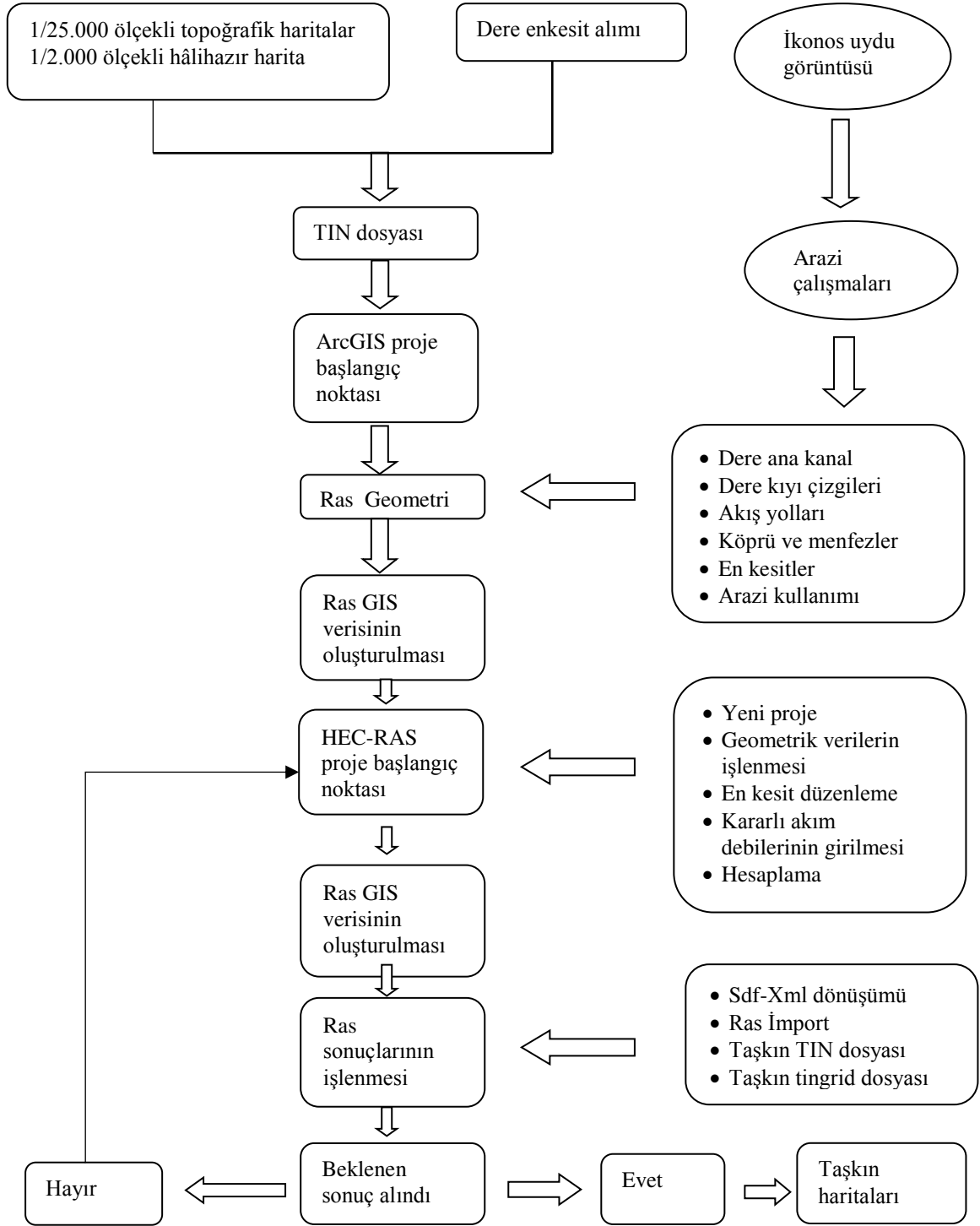
Arc-GIS ile bölgeye ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ve sayısal yükseklik modeli ile TIN (Düzensiz üçgenler ağı arazi modeli) oluşturuldu. HEC-RAS ile analiz yapabilmemiz TIN haritasını oluşturmamız gereklidir.

Oluşturulan TIN haritası üzerine, köprü ve bulunduğu bölgeye ait geometrik veriler HEC-GeoRAS ile işlenmiştir. Böylece arazi üzerinde köprünün konumu ve bölgenin özellikleri işlenmiş olmuştur. İşlenen bu veriler Export edilerek HEC-RAS'ta çalışılmak üzere dışarıya aktarılmıştır.

Dışarıya aktarılmış olan sdf. uzantılı bu veriler HEC-RAS'a çağrılarak verilerin üzerine artık sayısal değerlerin girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle köprüye ait genişlik, yükseklik, köprü ayak özellikleri, tabliye yüksekliği vb. statik veriler ile akarsuya ait hidrolik özelliklerin sisteme girilerek tanımlanması gerekmektedir. Bu sayede köprü ile ilgili yapacağımız analiz ile ilgili tüm veriler girilerek analizimiz gerçekleşmiştir.

Yukarıda açıklaması yapılan kısımlara ait işlem basamakları ve iş-akış şeması aşağıda Şekil 6.5'de verilmiştir. Ayrıca yukarıda bahsedilen aşamalar ve yapmış

olduğumuz analizlere ait çıktılar ile yapılan işlemlere ait basamaklar aşağıda şekillerle tek tek açıklanarak anlatılmıştır. Belirtilmiş olan iş-akış şemasına göre bizim yapmış olduğumuz analiz ve sonuçları aşağıda şekillerle ayrı ayrı açıklanarak anlatılmıştır.

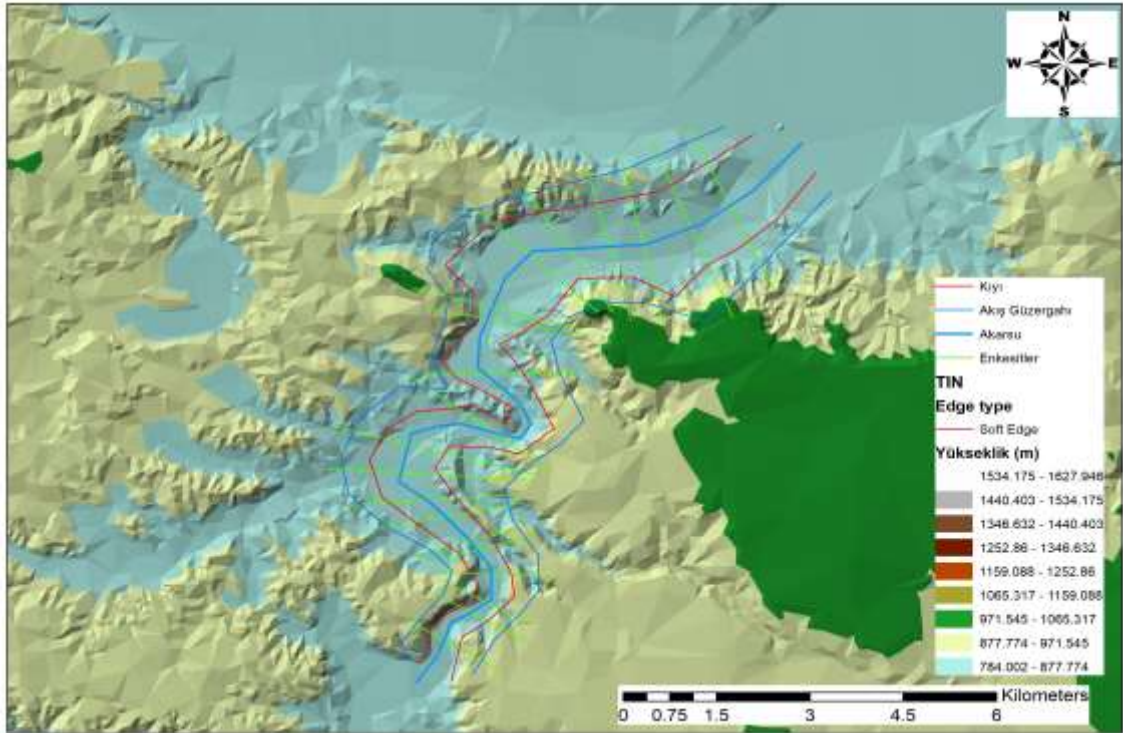


Şekil 6.5. Çalışmada uygulanan yönteme ait iş akış-şeması

6.4.1. Geometrik Verilerin İşlenmesi

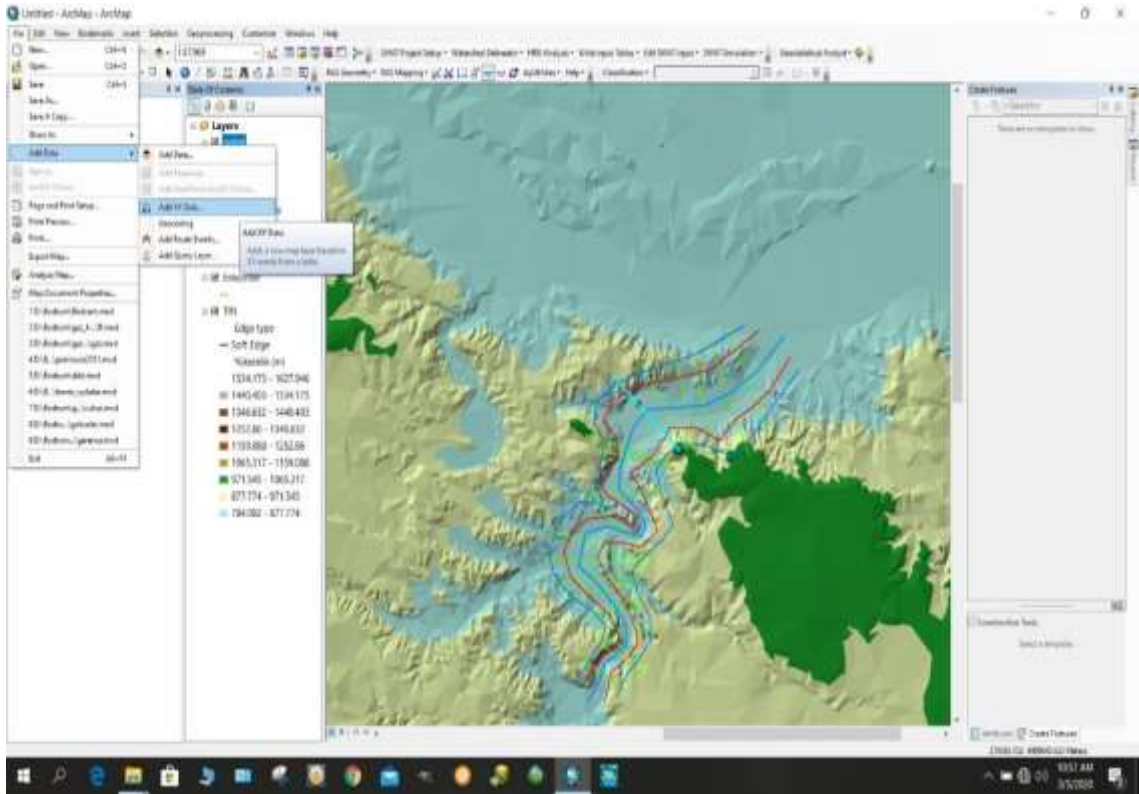
HEC-GeoRAS'ta akarsu güzergâhı ve kıyı çizgileri çizilirken ve membadan mansaba ve ilk sol sahil sonra sağ sahil olacak şekilde çizilmesine dikkat edilmiştir. Ayrıca çizilecek en kesitlerin tüm katmanları kesecek şekilde alınmasına dikkat edilmiştir. Bu durum HEC-RAS'ta yapacağımız analiz açısından oldukça önemlidir. Bilinmelidir ki analiz yapılacak bölge üzerinde ne kadar çok en kesit tanımlanırsa alacağımız sonucun gerçekliği bir o kadar artacaktır.

ArcGIS üzerine TIN haritası oluşturulduktan sonra harita üzerine HEC-GeoRAS yardımı ile akarsuya ait kıyı çizgileri, akarsu güzergâhı boyunca akarsuyun memba ve mansabında 10'ar adet olacak şekilde çizilerek, akarsuyu dik bir şekilde keserek oluşturulan en kesitler Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Köprü yerinin TIN haritası

Köprünün bulunduğu en kesit ise Şekil 6.7.'de gösterildiği üzere çizdiğimiz en kesitlerin arasına HEC-GeoRAS'ta akarsuyu dik kesecek şekilde çizilerek ayrıca tanımlanmıştır. En kesitler çizilirken köprünün bulunduğu noktanın memba ve mansabına 10'ar adet olarak ve akarsuyu dik kesecek şekilde çizilmiştir.



Şekil 6.7. TIN haritası üzerine HEC-GeoRAS ile çizilmiş en kesitler

Daha sonra HEC-GeoRAS yardımıyla, TIN haritası üzerine oluşturulan bütün geometrik veriler tanımlanarak Export RAS DATA komutu ile veriler dışarı aktarılmıştır. Aktarılan verilerin uzantısı sdf'dir. Bu uzantı HEC-RAS'ta analiz yapmamızı sağlayan dosyanın uzantısıdır. Artık geometrik veriler HEC-RAS'da kullanılmak üzere hazırdır.

6.4.2. Sayısal Verilerin İşlenmesi

HEC-RAS programı, ArcGIS programıyla beraber çalışarak uydu görüntülerini işleyerek çalışabilen grafik tabanlı ve kullanımı rahat olan bir yazılımdır. Ayrıca HEC-RAS tek boyutlu, sürekli akımlara ait su yüzeylerinin hesaplandığı ve süreksiz akımlara ait modellerin yapılabilirdiği, veri saklama ve yönetim kapasitesine sahip bir hidrolik yazılım programıdır.

HEC-RAS programı içerisinde bazı su yapılarına ve köprü tasarımına ait sayısal verilerin girilebilmesi için ayrıca bir sekme bulunmaktadır. Programın içerisine ArcGIS ve HEC-GeoRAS ile oluşturularak kaydedilmiş olan sdf uzantılı dosya çağrılarak

köprünün ve bulunduğu noktanın memba ve mansabına ait sayısal veriler Şekil 6.8’de gösterildiği gibi programa girilmiştir. Burada Upstream (mema) tarafı, Downstream (mansap) ise tarafına ait köprünün konum verileridir. Böylelikle oluşturulan TIN verisi içerisinde akarsu köprüsünün sayısal verileri işlenmiştir.

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
23.5	9.	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	875	873	0	875	873
2	900	875	873	900	875	873
3	950	875	873	950	875	873
4	1500	875	873	1500	875	873
5	2000	875	873	2000	875	873
6	2921.14	875	873	2921.14	875	873
7						
8						

U.S Embankment SS 0 D.S Embankment SS 0

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

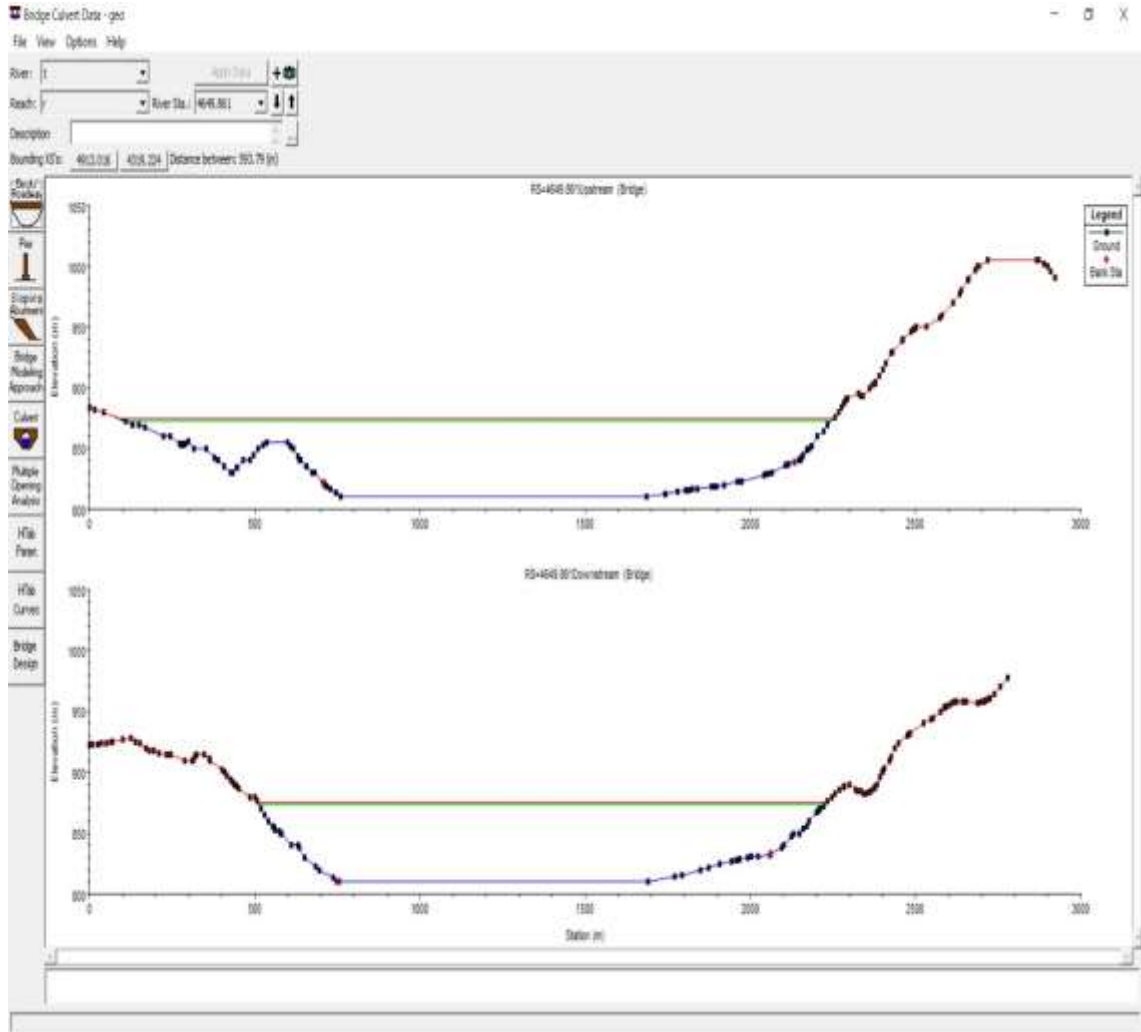
☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Şekil 6.8. HEC-RAS ile köprü boyutları girilmesi

Girilen sayısal veriler sonucu arazi üzerinde oluşturmuş olduğumuz köprü tabliyesinin konumunu Bridge Culvert Data komutu ile Şekil 6.9.’da görüldüğü gibi göstermektedir. Program tabliyenin konumunu gösterirken memba ve mansap olacak şekilde iki farklı şekilde göstermektedir.



Şekil 6.9. HEC-RAS'ta köprü tabliyesinin görünümü

6.4.2.1. Manning Katsayısının Belirlenerek Girilmesi

Akarsu yatakları için kullanılan pürüzlülük katsayısına ait hesap ve değerler aşağıda Çizelge 6.2 ve 6.3'de gösterilmiştir. Burada Çizelge 6.2'de verilmiş olan değerlere göre Cowan yöntemi ile hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplama Çizelge 6.3'de Chow'un vermiş olduğu değerler ile test edilerek bizim bölgemize en uygun değer olan Tarım Alanı (Ekili-Dikili) 0,040 değeri alınmıştır. Bu katsayı değeri alınırken bölgenin ve akarsuyun şartlarına en uygun değeri olarak yapılan analizlerin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

Bir akarsu yatağındaki malzeme veya akarsuyun zemini nedeniyle suyun akış hızına etki edebilecek faktörleri ifade eden katsayıya Manning pürüzlülük katsayısı denir. Akarsuyun bulunduğu noktalarda akarsu zemininde bulunan ve suyun akış hızına

etkisini ifade eden bir katsayıdır. Manning katsayısına etki ederek suyun hızının değişimine neden olan en önemli nedenler; suyun akış yatağı, aktığı yerdeki yamaçların büyüklüğü ve derenin akış şeklidir.

$$Q = V * A \quad (6.1)$$

$$Q = \frac{A}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (6.2)$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (6.3)$$

Akarsu debi ve suyun hızına ait formüllerin açılımı bu şekildedir.

Burada;

Q = Debi, (m^3/s),

V = Hız, (m/s),

A = Alan, (m^2),

n = Manning pürüzlülük katsayısı,

R = Hidrolik yarıçap, (m),

S = Eğim, (m/m)'i ifade etmektedir.

Su yüzü profillerini doğru olarak elde etmede “ n ” pürüzlülük katsayısı önemli rol oynamaktadır. Bu değer birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Çalışmada pürüzlülük değerini hesaplamak için Cowan yönteminden faydalanılmıştır. Yöntem 1956 yılında W.L. Cowan tarafından geliştirilmiş ve 1989 yılında U.S.Geological Survey tarafından modifiye edilmiştir. Yöntemde kullanılan denklem;

$$n = m * (nb + n1 + n2 + n3 + n4) \quad (6.4)$$

Burada;

m : Akarsu kanalının kıvrım derecesini ifade eder,

nb : Akarsu kanalının zemin özelliklerini ifade eder,

$n1$: Akarsu kanalının yüzey düzensizliklerinin etkilerini ifade eder,

$n2$: Akarsu kanalının en kesit şekli ve büyüklüğündeki değişimleri ifade eder,

$n3$: Akarsu kanalındaki engellerin etkisini ifade eder,

$n4$: Akım şartları ve bitki örtüsünü ifade eder.

Çalışmada incelenen akarsu kesimi için belirlenen katsayılar Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Akarsu pürüzlülük katsayısının belirlenmesi

Kanal Şartları		Değer Aralıkları		Arazi Değerleri
Zemin özellikleri	Toprak	n_b	0.020	0.020
	Kaya		0.025	
	Kum		0.026	
	Çakıl		0.028	
Yüzey düzensizlikleri	Pürüzsüz	n_1	0.000	0.000
	Önemsiz		0.005	
	Orta		0.010	
	Şiddetli		0.020	
Enkesit şekli ve büyüklüğü	Aşamalı	n_2	0.000	0.000
	Arasıra Değişen		0.005	
	Sık Değişen		0.010-0.015	
Engel etkileri	İhmal edilebilir	n_3	0.000	0.000
	Önemsiz		0.010-0.015	
	Kayda değer		0.020-0.030	
	Şiddetli		0.040-0.060	
Bitki örtüsü	Düşük	n_4	0.005-0.010	0.020
	Orta		0.010-0.025	
	Yüksek		0.025-0.050	
	Çok Yüksek		0.050-0.100	
Kıvrım derecesi	Önemsiz	m	1.000	1.000
	Kayda değer		1.150	
	Şiddetli		1.300	

Cowen yöntemine göre yapılan hesaplamalara göre pürüzlülük katsayısı 0.040 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, akarsuyun sadece 10 km'lik kısmı incelendiğinden akarsu özelliklerinin fazla değişmediği düşünülerek burada tek pürüzlülük değeri kullanılmıştır.

Programda analiz yapabilmemiz için tanımladığımız en kesitlere ait geometrik veriler ve akarsuya ait Manning pürüzlülük katsayısı Şekil 6.10'da görüldüğü gibi her kesiti ayrı ayrı belirtecek şekilde girilerek sisteme tanımlanmıştır.

Çizelge 6.3. Akarsu yatakları için kullanılan manning değerleri (Chow,1959).

Arazi Kullanım Türleri	Manning's N
Açık Alanlar	0,150
Kullanılmayan Boş Alanlar	0,070
Çöp Döküm Sahası	0,025
Fıstık Çamı	0,060
Meyve Bahçesi	0,060
Tarım Alanı (Nadas)	0,030
Tarım Alanı (Ekili-Dikili)	0,040
Park Alanları	0,027
Sanayi Alanları	0,050
Yollar	0,027
Yerleşim Alanları	0,038
Maki Bitki Örtüsü	0,025
Zeytinlik	0,060

Programa ne kadar çok enkesit alınır ise ve alınan en kesitler akarsuyun ve rejimin değiştiği yerde alınır ise çözümün de bir o kadar sağlıklı olacağı bilinmelidir. Biz de köprünün memba ve mansabında çözümü daha sağlıklı ve yapabilmek ve bölgenin topoğrafyasına uygun bir analiz yapabilmek için 10'ar adet enkesit aldık. Alınan bu enkesitlere ait sayısal veriler HEC-RAS programına aşağıda görüldüğü şekilde oluşturulmuştur.

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 18829.44	n	0.04	0.04	0.04
2 18441.51	n	0.04	0.04	0.04
3 18142.97	n	0.04	0.04	0.04
4 17667.28	n	0.04	0.04	0.04
5 16906.69	n	0.04	0.04	0.04
6 15981.14	n	0.04	0.04	0.04
7 14798.43	n	0.04	0.04	0.04
8 13771.92	n	0.04	0.04	0.04
9 12931.4	n	0.04	0.04	0.04
10 12393.81	n	0.04	0.04	0.04
11 10247.99	n	0.04	0.04	0.04
12 8405.66	n	0.04	0.04	0.04
13 6439.655	n	0.04	0.04	0.04
14 5783.055	n	0.04	0.04	0.04
15 4913.016	n	0.04	0.04	0.04
16 4649.861	Bridge			
17 4319.224	n	0.04	0.04	0.04
18 3432.231	n	0.04	0.04	0.04
19 2834.396	n	0.04	0.04	0.04
20 2240.67	n	0.04	0.04	0.04
21 1646.607	n	0.04	0.04	0.04
22 846.6968	n	0.04	0.04	0.04

Şekil 6.10. HEC-RAS'ta akarsuya ait maning katsayısının girilmesi

Programda Edit Downstream Reach Lengths komutunda yer alan Channel sütünü dere yatağında almış olduğumuz en kesitler arası mesafedir. Programda bu sütun otomatik olarak tespit edilir. HEC-GeoRAS'da sağ ve sol yamaçlar için akarsu akım çizgileri çizdiğimiz için LOB (taşkın düzlüğündeki sol kesitler arası mesafe) ile ROB (taşkın düzlüğündeki sağ kesitler arası mesafe) program tarafından Şekil 6.11'de görüldüğü gibi otomatik olarak tespit edilir.

Edit Downstream Reach Lengths

River: ☒ Edit Interpolated XS's

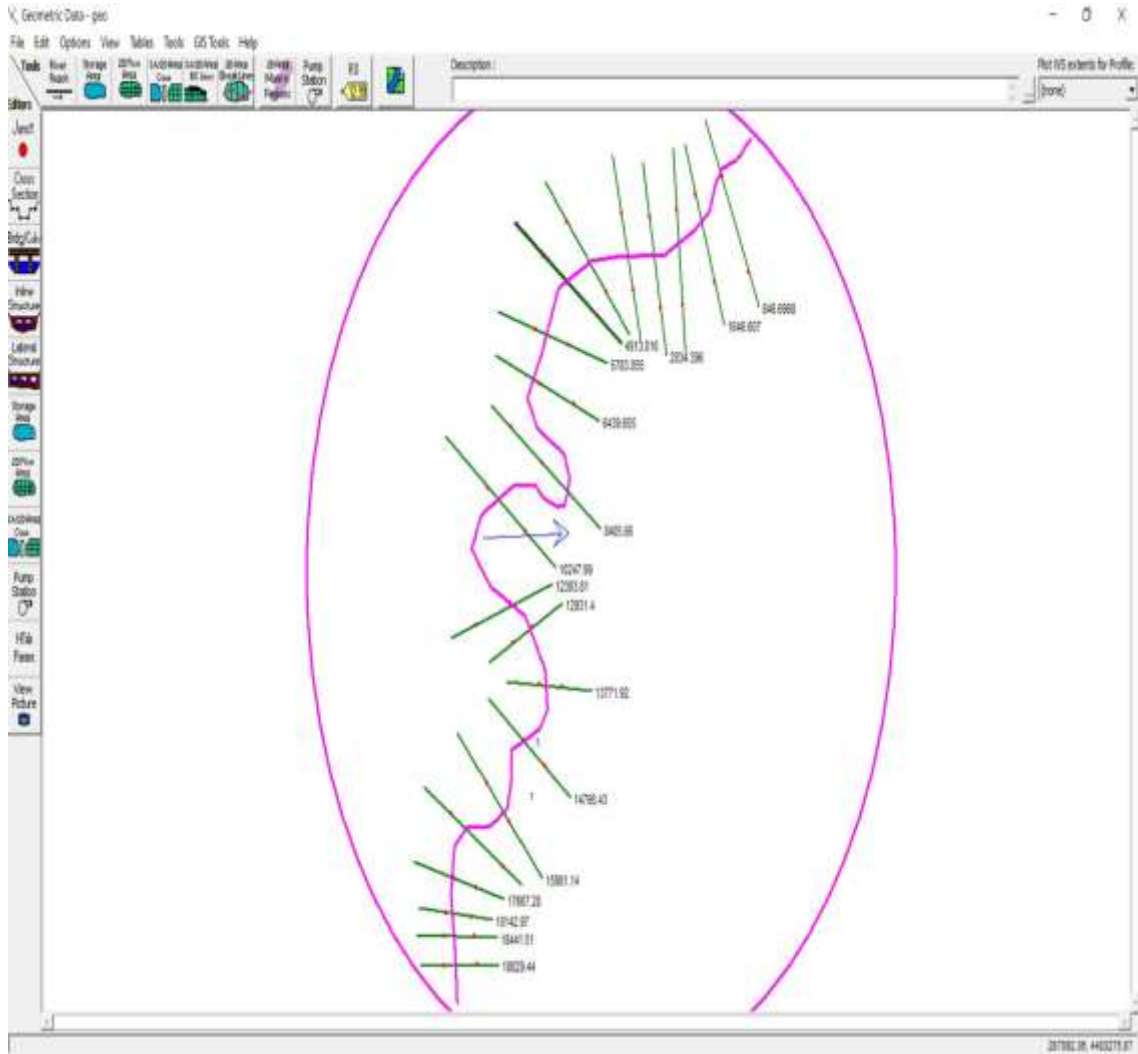
Reach:

Selected Area Edit Options

	River Station	LOB	Channel	ROB
1	18829.44	403.15	387.93	368.57
2	18441.51	330.22	298.54	261.84
3	18142.97	543.44	475.69	544.57
4	17667.28	945.34	760.59	577.18
5	16906.69	1212.57	925.55	482.47
6	15981.14	968.56	1182.71	1151.96
7	14798.43	728.47	1026.51	1365.38
8	13771.92	631.48	840.52	1142.73
9	12931.4	825.75	537.59	367.4
10	12393.81	2896.52	2145.82	752.94
11	10247.99	1282.55	1842.33	1198.33
12	8405.66	736.01	1966.01	1524.24
13	6439.655	614.61	656.6	982.57
14	5783.055	1231.67	870.04	543.1
15	4913.016	899.13	593.79	305.73
16	4649.861	Bridge		
17	4319.224	1436.6	886.99	468.55
18	3432.231	632.98	597.84	603.27
19	2834.396	696.29	593.73	468.25
20	2240.67	321.59	594.06	877.54
21	1646.607	581.8	799.91	789.72
22	846.6968	442.62	846.7	1423.65

Şekil 6.11. HEC-RAS'ta en kesitlere ait sayısal verilerin girilmesi

Programda en kesitler ile veriler girildikten sonra Şekil 6.12'de ki gibi geometrik veriler görülmektedir. Burada akarsu ve üzerinde bulunan bizim tarafımızdan sayısal harita üzerine işlediğimiz en kesitler, akarsuyun güzergâhı, yönü ve köprünün konumu görülmektedir.



Şekil 6.12. HEC-RAS'ta geometrik verilerin görünümü

6.4.2.2. Akarsuya Ait Taşkın Debilerinin Girilmesi

Köprü'nün tasarımı yapılırken 50 ve 100 yıllık taşkın debileri dikkate alınarak projelendirilmiştir. DSİ 3. Bölge Müdürlüğü, Sakarya havzası master planları kapsamında Porsuk alt havzası taşkın etüt master plan raporu hazırlamıştır. Bu raporda köprü'nün memba kısmında kalan havzaların taşkın büyüklükleri DSİ Sentetik metoda göre hesaplanarak köprü'nün yapılacağı yere süperpoze edilmiştir. Buna göre köprü'nün konumlandırıldığı yerdeki taşkın debileri $Q_{50}=139,58 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{100}=211,40 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.13'de görüldüğü gibi HEC-RAS programına Steady Flow Data komutu ile programa girilmiştir. Analizlerimizde yapılmış olan bu köprü'nün bu iki taşkın debisine uygunluğu test edilerek yorumlanmıştır (DSİ, 2016).

Steady Flow Data - ne

File Options Help

Description :

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 2 Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: t Add Multiple...

Reach: r River Sta.: 18829.44 Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
River	Reach	RS	PF 1	PF 2
1 t	r	18829.44	139.58	211.4

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Şekil 6.13. HEC-RAS'a Q_{50} ve Q_{100} taşkın debilerinin girilmesi

6.5. Analiz Çıktıları

Akarsu üzerinde almış olduğumuz en kesitlere ait sayısal veriler, köprüye ait sayısal veriler ve akarsu taşkın debileri girildikten sonra, programın ana ekranında girilen veriler aşağıda Şekil 6.14'de ki gibi görülmüştür.

HEC-RAS 5.0.7

File Edit Run View Options GIS Tools Help

Project: hh C:\Users\Yildirim\Documents\HEC Data\HEC-RAS\hh\hh.prj

Plan: geo C:\Users\Yildirim\Documents\HEC Data\HEC-RAS\hh\hh.g01

Geometry: Flow 01 C:\Users\Yildirim\Documents\HEC Data\HEC-RAS\hh\hh.f01

Steady Flow: Flow 01 C:\Users\Yildirim\Documents\HEC Data\HEC-RAS\hh\hh.f01

Unsteady Flow:

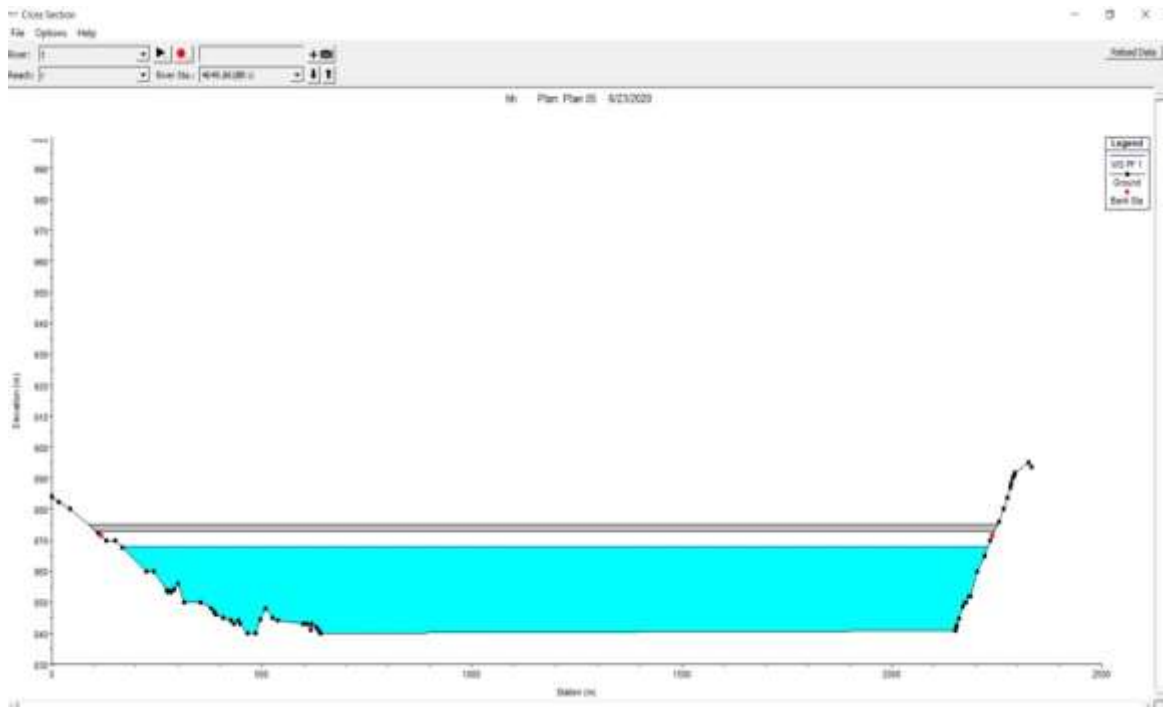
Description :

SI Units

Şekil 6.14. Köprüye ait girilen sayısal değerlerin program ana ekranında görünümü

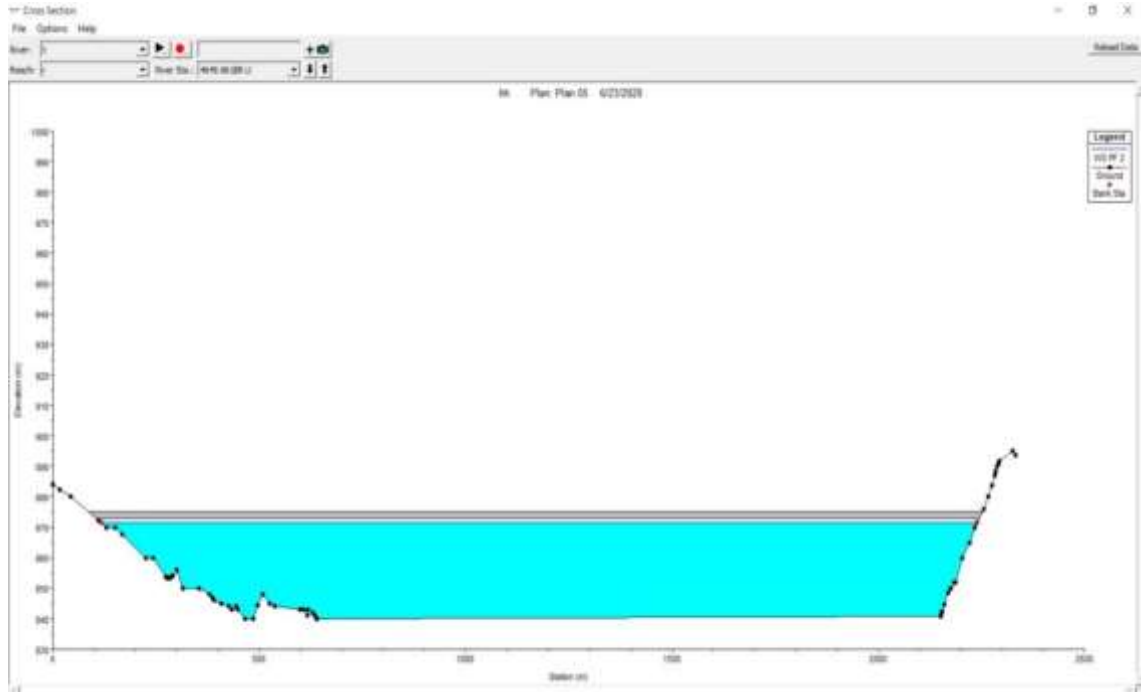
Artık HEC-RAS ile köprü analizi için gireceğimiz sayısal değerlerin girişi tamamlanmıştır. Köprünün analizini yapabilmemiz için program hazırdır.

Şekil 6.15’de HEC-RAS ile yapılan analiz sonucu Q_{50} taşkın debisinde köprü tabliyesinin konumu görülmektedir. Burada köprü tabliyesinin durumu, hava payı ve taşkın debisi düşünüldüğünde köprü tabliyesinin Q_{50} taşkın debisini karşılamakta oldukça yeterli olduğu ve yaşanacak taşkınlarda güvende olduğu görülmektedir. Bu durumda 873 m kotundaki köprü tabliyesi alt kotuna 5 m mesafede olup 868 m kotunda su yüzü kotu olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15. HEC-RAS’ta Q_{50} taşkın debisinde köprü tabliyesinin durumu

Şekil 6.16’da HEC-RAS ile yapılan analiz sonucu Q_{100} taşkın debisinde köprü tabliyesinin konumu görülmektedir. Burada köprü tabliyesinin durumu, hava payı ve taşkın debisi düşünüldüğünde köprü tabliyesinin Q_{100} taşkın debisini karşılamakta yeterli olduğu ve yaşanacak taşkınlarda güvende olduğu görülmektedir. Köprü tabliyesi 873 m kotundadır ve su yüzeyi ile arasında 1,5 m’lik kot farkı olduğu görülmüştür. Köprünün orta ayaksız olarak seçilmesi ve 1,5 metre hava payı bırakılarak tasarlanmasının uygunluğu görülerek test edilmiştir. Köprünün Q_{100} taşkın debisini tasarım hesaplarının doğruluğu görülmüştür.



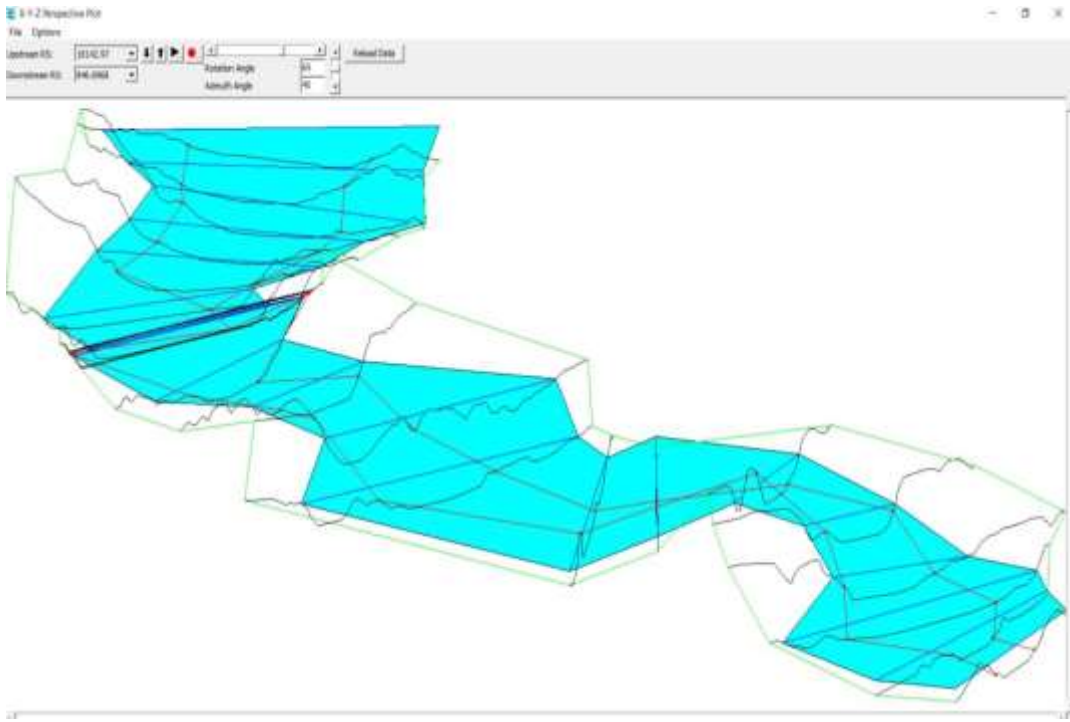
Şekil 6.16. HEC-RAS'ta Q_{100} taşkın debisinde köprü tabliyesinin durumu

Köprüye ait yapmış olduğumuz taşkın risk ve güvenlik analizine ait çıktı sonucunu program bize Şekil 6.17'de görüldüğü gibi vermiştir.

Bridge Output				
File Type Options Help				
River:	t	Profile:	PF 1	
Reach:	r	RS:	4649.861	Plan: Plan 02
Plan: Plan 02 t r RS: 4649.861 Profile: PF 1				
E.G. US. (m)	847.21	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	847.21	E.G. Elev (m)	847.21	847.21
Q Total (m3/s)	211.40	W.S. Elev (m)	847.21	847.21
Q Bridge (m3/s)	211.40	Crit W.S. (m)	810.17	810.17
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	37.21	37.21
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.00	0.00
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	50332.77	48096.59
Weir Submerg		Froude # Chl	0.00	0.00
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	848599.30	823201.30
Min El Weir Flow (m)	875.00	Hydr Depth (m)	29.90	31.32
Min El Prs (m)	873.00	W.P. Total (m)	1697.35	1543.57
Delta EG (m)	0.00	Conv. Total (m3/s)	12680310.0	12220160.0
Delta WS (m)	0.00	Top Width (m)	1683.54	1535.48
BR Open Area (m2)	90204.88	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.00	C & E Loss (m)	0.00	0.00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	0.00	0.00
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00
Errors, Warnings and Notes				
Select Profile				

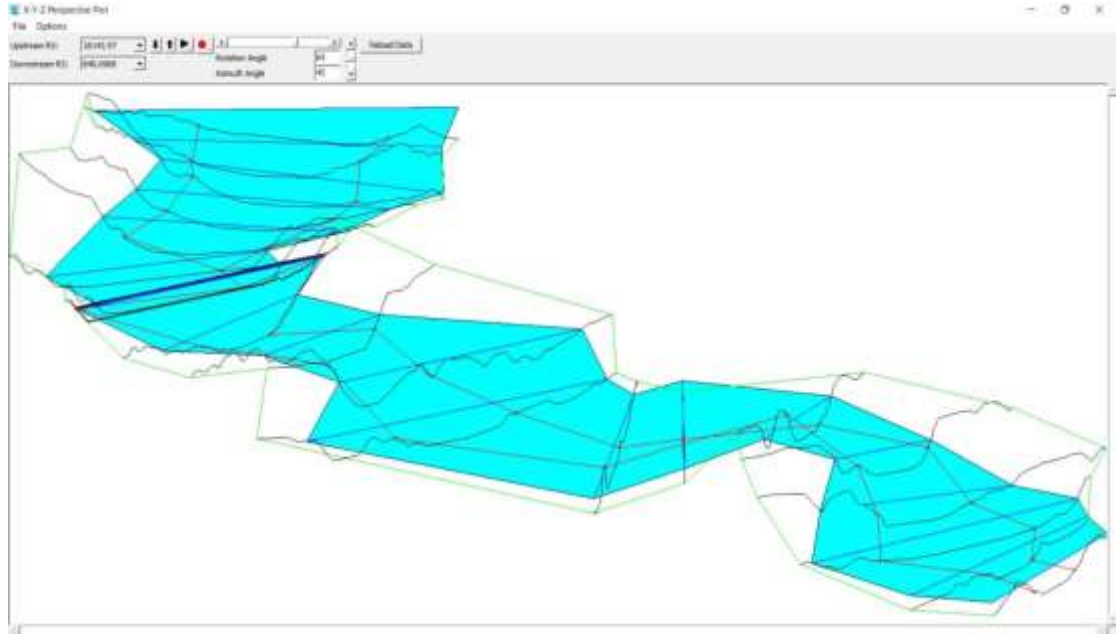
Şekil 6.17. HEC-RAS'ta köprü analizine ait sayısal değerler çıktısı

Akarsu üzerinde oluşturmuş olduğumuz enkesitlerde, Q_{50} taşkın debisinde, oluşan köprüye ait geometrik verilerin, memba ve mansabına çizdiğimiz en kesitlerin Q_{50} taşkın debilerindeki durumu sonucu oluşan arazi topoğrafyasına ait akarsu su yüzü profillerinin durumu aşağıda Şekil 6.18’de görülmektedir. Burada köprü ve yamaçların bulunduğu konum üç boyutlu olarak görülmüştür. Bu sayede taşkın debisinin köprü ve çevresinde, arazi topoğrafyasında oluşturabileceği olumsuz etkiler var ise analiz edilebilmektedir. Q_{50} taşkın debisinin karşılanmasında köprünün bulunduğu yer ve akarsu üzerinde herhangi bir olumsuzluğun olmadığı görülmektedir.



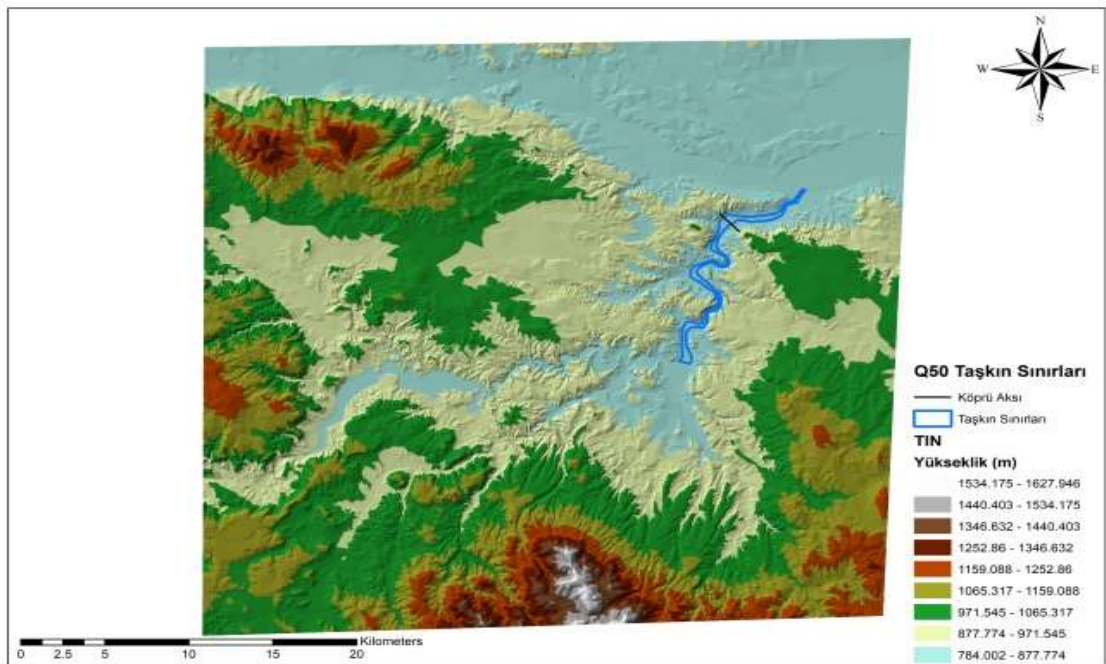
Şekil 6.18. $Q_{50}=139,58 \text{ m}^3/\text{s}$ debisindeki su yüzü profili

Aynı şekilde akarsu üzerinde almış olduğumuz enkesitlerde, Q_{100} taşkın debisinde, akarsu ve yamaçların durumu aşağıda Şekil 6.19’da görülmektedir. Burada köprüye ait geometrik verilerin, memba ve mansabına çizdiğimiz en kesitlerin Q_{100} taşkın debilerindeki durumu sonucu oluşan arazi topoğrafyasına ait akarsu su yüzü profilleri ve köprü ve yamaçların bulunduğu konum üç boyutlu olarak görülmüştür. Bu sayede taşkın debisinin köprü ve çevresinde oluşturabileceği olumsuz etkiler var ise analiz edilebilmektedir. Q_{100} taşkın debisinin karşılanmasında da köprünün bulunduğu yer ve akarsu üzerinde herhangi bir olumsuzluğun olmadığı görülmektedir.

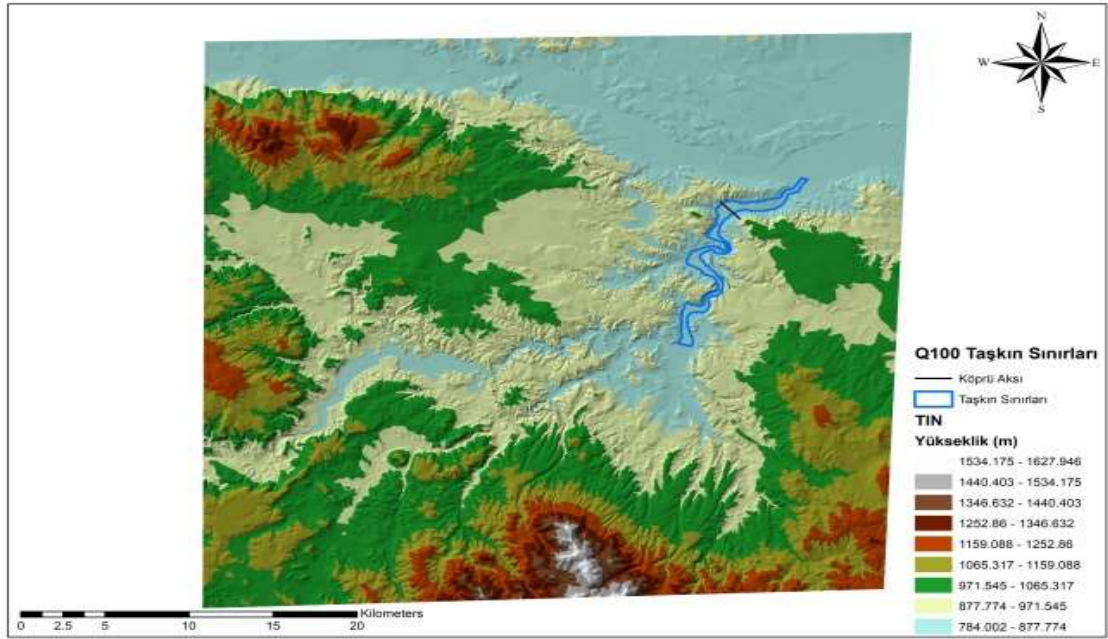


Şekil 6.19. $Q_{100}=211,40 \text{ m}^3/\text{s}$ debisindeki su yüzü profili

Akarsu su yüzü profilini ve köprü en kesitindeki taşkın durumunu HEC-RAS sayesinde analiz ederek gerçek arazi geometrisinde köprü güvenliğini üç boyutlu olarak test edilmiştir. Ayrıca incelenen 10 km'lik akarsu kesiminde Şekil 6.20'de Q_{50} ve Şekil 6.21'de Q_{100} taşkın debilerinin oluşturacağı taşkın sınırları belirlenmiştir.



Şekil 6.20. Q_{50} taşkın debisine göre taşkın sınırları



Şekil 6.21. Q_{100} taşkın debisine göre taşkın sınırları

Analizi yapılan Fidanlık köprüsünün DSİ tarafından tamlanmış halinin fotoğrafı aşağıda Şekil 6.22’de verilmiştir. Köprü ayakları sağ ve sol sahil üzerine yapılmış 8’er adet fore kazık üzerine konumlanmıştır. Köprünün tabliyesi ise ayakların üzerine 10 adet öngerilmeli kiriş konarak orta ayaksız olarak prefabrik tabliye elemanları ile yapılmıştır.



Şekil 6.22. Fidanlık Köprüsü tamamlanmış hali

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Porsuk Çayı üzerine DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmış olan Fidanlık köprüsünün hidrolik açıdan güvenliği HEC-RAS paket programı ile test edilerek yorumlanmaya çalışılmıştır. Köprünün bulunduğu yere ait topoğrafik ve sayısal haritalar Arc-GIS programı yardımıyla işlenerek TIN haritası elde edilmiştir. Elde edilen bu TIN haritası üzerine HEC-GeoRAS yardımıyla akarsu, akarsu akış güzergâhı, kıyı, köprünün bulunduğu yerin memba ve mansabına 10'ar adet en kesit ve köprünün konumu çizilerek köprünün bulunduğu noktaya ait geometrik veriler oluşturulmuştur. Elde edilen veriler HEC-RAS programına gönderilmiş ve köprüye ait sayısal veriler ve akarsuya ait Q_{50} ve Q_{100} taşkın debileri girilerek köprünün güvenliği test edilerek yorumlanmaya çalışılmıştır.

Akarsu köprülerin yıkılmasının ve hasar görmesinin en büyük nedenlerinin hidrolik kaynaklı problemler olduğu unutulmamalıdır. Yapılan modelleme sonucunda köprünün tasarım aşamasında hidrolik ve topoğrafik verilerin de dikkate alınarak tasarım yapılmasının köprü güvenliği açısından ne denli önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan köprünün tasarımının orta ayaksız olarak yapılması ve yapımı için seçilen konum düşünüldüğünde köprü tabliyesi ve ayak açıklığı Q_{50} ve Q_{100} taşkın debilerini güvenle karşılayabileceği ve köprü için yapılan tasarımın da uygunluğu yaptığımız modelle ayrıca görülerek test edilmiştir. HEC-RAS programı yardımıyla hem köprünün bulunduğu en kesitte taşkın anındaki tabliyenin durumu ve güvenliği, hem de akarsu yatağında almış olduğumuz en kesitlerde oluşacak taşkın debilerinde arazinin durumu ve su yüzü profili görülerek analiz edilebilmiştir.

Bir akarsu köprüsü yapılacaksa tasarımcı köprünün yapılacağı yere giderek akarsu yatağını, akarsu üzerindeki diğer köprüleri, oyulma miktarını, sürüklenen malzeme cinsi ve düzeyini, taşkın miktarını iyi bir şekilde analiz ederek köprü tasarımını yapmalıdır. Köprü yıkılmalarının ana nedenlerinin hidrolik kaynaklı nedenler olduğu bilindiğinden köprü tasarımı bu konuda ayrıca irdelenerek yapılmalıdır. Akarsu tabanının malzemesi gevşek malzemeden (kum ve çakıl) oluşuyorsa ayaklar derin temel (kazık temel) üzerine oturmalı, eğer bu uygulama yapılamıyor ise yüzeysel temel yapılmalı ancak yüzeysel temel ayaklarını koruyucu yapılar da yapılmalıdır. Akarsu köprü tasarımlarında Q_{50} ve Q_{100} taşkın debilerini karşılanabilmesi yeterlidir. Yaptığımız analiz sonucunda da Fidanlık köprüsünün taşkın debilerinde güvenli durumda olduğu

üzerinde bulunduğu akarsuyun feyezan debilerini karşılayabildiği görülmüştür. Ancak akarsuda yapısal analizin dışında kalan taşkın debileri Q_{500} ve Q_{1000} olduğu takdirde köprü tasarımı ile ilgili tüm hidrolik veriler geçerliliğini yitirerek köprü hasar görebilir veya yıkılabilir. Bu nedenle hesaba esas taşkın debisinin nasıl seçileceği konusu oldukça önemlidir. Bu tür durumlar köprü güvenliği için tasarım aşamasında iyi bir şekilde analiz edilmeli en uygun tasarım debisi seçilmeli ve köprü güvenliği için gerekiyorsa akarsuda ek önlemler alınması gerekmektedir.

Bu çalışma sonucunda, bir noktaya yapılacak veya yapılmış olan akarsu köprü veya herhangi bir su yapısının hidrolik açıdan güvenilirliğini günümüz teknolojisi ve gelişmeleri ışığında yapılabileceği görülmüştür. Arc-GIS, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS programı ile su yapılarının yapımı planlanan noktaya ait veya önceden yapılmış olan su yapısının statik tasarımının uygunluğunu, akarsu ve arazinin taşkın debilerindeki davranışını görebiliyoruz. Taşkın anında su yapısının davranışını analiz edebilecek, böylece hem önceden çıkabilecek hidrolik problemler için önlemler alınabilecek, hem de daha sağlıklı tasarımlar yapılabilecektir. Böylelikle tasarımı yapılacak veya yapılmış olan su yapısı ve köprülerin, taşkın risk ve güvenliği önceden analiz edilerek insanların can ve mal güvenliği sağlanabilecektir. Ayrıca su yapısının tasarımı ile ilgili yeni fikirler geliştirerek önceden test edilebilecektir.

Karayolları üzerinde bulunan mevcut akarsu köprülerinde dikkat edilecek hususları ve önerilerimizi ayrıca açıklayacak olursak:

Karayolları ulaşım ağları üzerinde bulunan köprülerin güvenliği ise trafik yoğunluğu ve insanların sık kullanımları nedeniyle ayrı bir önem arz etmektedir. Bu nedenle karayolu üzerinde bulunan köprüleri DSİ ve KGM ile oluşacak bir çalışma grubu kurarak güvenliği uygulama esnasında çözmek, köprü ayaklarına sensörler yerleştirerek ayaklarda oluşacak oyulmayı kontrol altında tutmak, köprünün memba ve mansabından izinsiz malzeme alınmasını engellemek, suyun memba kısmında savaklanma yapısı yaparak suyun hızını düşürmek, köprülerde oyulma boyunun ayrıca hesap edilerek köprü alt kotu ve ayak uzunluğunu hesaplamak, menderesli akarsuda suyun getirdiği malzemeyi iyi bilmek, akarsu kıvrımına köprüyü inşa etmemek ve köprü açıklığını fazla tutmaktır. Yapılacak ve yapılmış olan köprülerin HEC-RAS ile analizlerinin ayrıca yapılarak gerekli önlemlerin önceden bilinmesi ve alınması köprülerin ekonomik ve güvenli olması açısından alınacak en önemli tedbirlerdir.

Yapmış olduğumuz bu çalışma sonucu oluşan çıkarımlarımızı sıralayacak olursak:

- Köprüler mümkün olduğunca geniş ve orta ayaksız olarak tasarlanmalıdır.
- Köprüler akarsuyun kıvrım noktasında değil de akarsuya dik olan en uygun yere konumlandırılmalıdır.
- Köprü tasarım debisi seçilirken akarsuyun özellikleri iyi bir şekilde bilinmeli ve gerekirse akarsu da köprü güvenliği için ek önlemler alınmalıdır.
- Köprü tasarımı debisi en az Q_{500} olmalıdır.
- Bir noktaya yapılacak köprünün tasarım aşamasında HEC-RAS ile analizi yapılarak hidrolik sonuçları önceden görülmelidir.
- Köprü açıklığı olabildiğince çok olmalı mümkünse köprü orta ayaksız olarak tasarlanmalıdır.
- Köprü ayakları akarsuya engel teşkil etmeyecek geometride tasarlanmalıdır.
- Köprü kenar ayakları etrafında oluşacak oyulmaları önlemek için gerekli koruyucu önlemler alınmalıdır.
- Yapılmış olan köprüler sürekli izlenmeli ve gerekli koruyucu önlemler önceden alınmalıdır.
- Akarsuda sediment taşınımı var ise üst havzada koruyucu önlemler alınmalıdır.
- Köprü yıkılması veya hasar görmesinin ana nedeninin hidrolik kaynaklı nedenler olduğu unutulmamalı ve köprü tasarımında statik tasarımın yanında ayrıca analiz edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akay, H. (2018). *Türkiye'deki Akarsu Köprüleri için Güvenlik Değerlendirme Yöntemi Geliştirilmesi*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- Akay, H., & Koçyiğit, B. M. (2015). Akarsu Köprülerinde Gözle Muayene ve Güvenlik Değerlendirme Çalışmaları. *4. Su Yapıları Sempozyumu*. 19-20 Kasım, Antalya, 205-214.
- Aksöz, Y. (1967). *Köprü Hidroliği*. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü.Yayın No:152, Ankara, 125.
- Bozkurt, H., Bayazıt, Y., & Yılmaz, N. (2019). Mevcut Akarsu Köprülerinin Taşkınlarla Karşı Korunmasına Yönelik Değerlendirmeler: Fıdanlık Köprüsü Örneği. *Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi "Riskten Dirençliliğe"*. 26-28 Haziran, Eskişehir, 569-573.
- Bozkurt, H., Bayazıt, Y., & Yılmaz, N. (2019). Akarsu Köprülerinin Taşkınlarla Karşı Korunmasına Yönelik Değerlendirmeler. *2. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*. 7-10 Kasım, Antalya, 58-62.
- Bulut, G. (2017). *Köprü Ayaklarındaki Oyulmalar Üzerine Yöntem Araştırılması*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Chaudhry, M.H. (1993). *Open-Channel Flow*. Prentice- Hall Inc., New Jersey, 523.
- Chow, V.T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw- Hill Book Co., New York, 680.
- Cowan, W. L. (1956). *Estimating Hydraulic Roughness Coefficients*. Agricultural Engineering, 37(7), 473–475.
- Demirci, M., Kocaman, S., & Varlı, B. (2012). Farklı Geometrillerdeki Köprü Kenar Ayakları Etrafındaki Hız Dağılımının Sayısal İncelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 28, Sayı 3, 161-174.
- Demirel, E. (2002). *Prizmatik Kanallarda T.D.A. Su Yüzü Profillerinin Bilgisayar Destekli Hesabı*. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- DSİ, (1977). *Türkiye Akarsu Havzaları Taşkın Yıllığı*. Devlet Su İşleri, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- DSİ, (2013). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Taşkın Riski Ön Değerlendirmesi*. Devlet Su İşleri, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, Ankara.

- DSİ, (2017). *Fidanlık Köprüsü Hesap Raporu*. Devlet Su İşleri, 3. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- DSİ, (2016). *Porsuk Alt Havzası Taşkın Etüt Master Plan Raporu*. Devlet Su İşleri, 3. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- Özbek, T. (2009). *Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar*. Teknik Yayınevi, Ankara, 644.
- Günyaktı, A. (2007). Tüpraş Köprüsü için Nehir Yatağı Düzenlemesi. *1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*. 29-30 Kasım, Antalya, 157-164.
- Hadı, M. H. M. W. M. A. (2017). *Akarsu Üzerindeki Köprülerin Neden Olduğu Kabarmanın Deneysel ve HEC-RAS ile İncelenmesi*. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- HEC-RAS. (2008). *HEC-RAS, River Analysis System*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, California.
- HEC-RAS. (2010). *User manual, version 4.1*. Hydrologic Engrg. Army Corps of Engineers, Davis, California.
- Kara, Ö. (2009). *Su Yüzü Profillerinin Hec-Ras Paket Programıyla İncelenmesi*. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Kebapçioğlu, E. (2009). *Açık Kanallarda Zamanla Değişen Akımların Farklı Eğimlerde Deneysel ve Teorik Araştırılması*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik-Hidroloji Su Kaynakları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Keçik, E. H. (2017). *Hec-Ras İle İmalı Deresinde Taşkın Modellemesi ve Taşkın Yayılım Haritalarının Oluşturulması*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Köse, Ö., & Yanmaz, A.M. (2010). Köprü Köprü Kenar Ayaklarındaki Oyulma Güvenirliliği. *İMO Teknik Dergi*, Cilt 21, Sayı 1, 4919-4934.
- Malik, H. A. P. E. (2007). Orta Açıklıklı Köprülerin Depreme Karşı Güçlendirilmeleri İçin Stratejiler. *1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*. 29-30 Kasım, Antalya, 25-36.
- Mayda, O. (2013). *Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Yerel Oyulmaların Hareketli Taban Durumunda Deneysel ve Nümerik Araştırılması*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hidrolik-Hidroloji Su Kaynakları Programı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Seçkin, G., Seçkin O. G., Ardiçoğlu, M., & Selek Z. (2003). Bir Köprü Ayağı Etrafındaki Su Yüzü Profiline Modellemesi. *Anadolu Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 4, Say 2, 257-264.

Selamoğlu, M., Çalamak M., & Yanmaz, A. M. (2015). Akarsu Köprülerinde Yıkılma Riskinin Azaltılması Üzerine Bir Çalışma. 4. *Su Yapıları Sempozyumu*. 19-20 Kasım, Antalya, 185-194.

Soydan, G. N., Şimşek O., & Aköz, S. M. (2018). Köprü Ayağı Etrafındaki Türbülanslı Akımın Sayısal ve Deneysel Analizi. *Politeknik Dergisi*, Cilt 21, Sayı 1, 137-147.

URL 1:

Ardıçlıoğlu, M. (2017). *Açık Kanal Akımları ve HAC-RAS Uygulamaları*. <https://www.mehmetardiclioglu.com/acik-kanal-akimlari-ve-hec-ras-uygu>. (15.03.2020)

URL 2:

Çaycuma Köprüsünün Çökmesi Üzerine Görüşler <http://www.tkic.org.tr/documents/caycuma.pdf>, (23.12.2019).

URL 3:

Erol, Ö. Ş., Çam S. F., Çetinkaya G., & Esat, Y. *Akarsu Köprülerinde Hidrolik Sorunlar ve Çözüm Önerileri*. Yollar Türk Milli Komitesi (YTMK), http://www.ytmk.org.tr/files/files/Kopru_Hidroli%C4%9Fi_Calisma_Raporu.pdf, (20.04.2020).

URL 4:

<https://www.milliyet.com.tr/galeri/son-dakika-ordu-da-sel-felaketi-8-kopru-yikildi-500-kisi-etkilendi-402211/41>, (23.12.2019).

URL 5:

https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/ordudasel-afete-donustu-fatsa-ve-unyede-kopruler-yikildi,h3BU-zj4LkG095VMVQc86Q/IjFyqTn2-kq9_8m3GtaAEQ, (23.12.2019).

URL 6:

<https://memleketordu.net/selde-yikilan-unye-cevizdere-koprusunun-hikayesi/>, (23.12.2019).

URL 7:

<http://haberciniz.biz/goksu-koprusunde-buyuk-tehlike-adiyaman-677356h.htm> (28.01.2020).

URL 8:

<https://www.iha.com.tr/siirt-haberleri/turkiyenin-en-buyuk-konsol-viyaduklu-asma-koprusu-tamamlandi-2444151/> (25.05.2020).

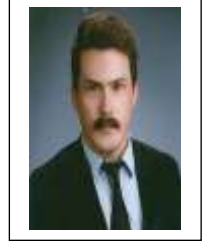
Ulu, E. A., & Aydın, C. M. (2018). HAC-RAS Yardımıyla Bir Menfezin Hidrolik Analizi. 9. *Ulusal Hidroloji Kongresi*. 4-6 Ekim, Diyarbakır, 939-946.

- Üyüklüoğlu, M., Ünal, B., & Turan, B. (2015). Hac-Ras Paket Programı İle Manavgat İlçesi Ilıca Deresi Taşkın Bölgesinin Modellenmesi. *4. Su Yapıları Sempozyumu*. 19-20 Kasım, Antalya, 428-438.
- Walter H Graf. (1998). *Fluvial Hydraulics*. Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry, Wiley, 692.
- Yanmaz, A.M., & Çalamak, M. (2016). Akarsu Köprü Temellerindeki Oyulma Riskinin Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, Cilt 27, Sayı 3, 7533-7549.
- Yanmaz, A. (2002). *Köprü Hidroliği*. Odtü Geliştirme Vakfı yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları METU Press, Ankara, 384.
- Yanmaz, A. M., & Caner, A. (2007). Köprülerin Tetkik ve İzlenmesinde Hidrolik Etkenlerin Değerlendirilmesi. *1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*. 29-30 Kasım, Antalya, 337-346.
- Yanmaz, A. M., & Apaydın, M. (2011). Mevcut Akarsu Köprüleri Alt Yapı Elemanlarının Riprapla Korunmasına Yönelik Değerlendirmeler. *2. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*. 28-30 Eylül, Eskişehir.
- Yanmaz, A.M. (2002). Yıkılan akarsu köprüleri üzerine görüşler. *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 420-422, 4-6.
- Yeleğen, Ö. M. (2014). *Köprü Ayaklarında Meydana Gelen Yerel Oyulmaların Veri Analiz Yöntemleri Kullanılarak İncelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldırım, S. M., & Yanmaz, A.M. (2014). Köprü Ayakları Etrafındaki Koruyucu Kaplamanın Bilgisayar Destekli Tasarımı. *İMO Teknik Dergi*, Cilt 25, Sayı 2, 6757-6774.
- Yılmaz, M., Yanmaz A.M., & Köken, M. (2018). İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi. *İMO Teknik Dergi*, Cilt 29, Sayı 1, 8167-8184.
- Yurtal, R., Seçkin G., Kaya İ., & Atabay S. (2003). Seyhan Nehri Su Yüzü Profillerinden Köprülerden Kaynaklanan Kabarmaların HAC-RAS Paket Programı Kullanılarak Modellenmesi. *İMO Teknik Dergi*, Cilt 14, Sayı 2, 2935-2948.
- Yurtseven, L. M. (2005). *Köprü Ayakları Arkasında Oluşan Oyulmaların İncelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Varlı, B. (2010), *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Köprü Kenar Ayakları Etrafındaki Hız Dağılımının İncelenmesi*. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen

Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Antakya, Hatay.

Zengin, Ş. (2010). *Katı Madde ve Dinamik Yüklerin Etkisi Altında Köprü Ayaklarının, Optimum Boyutlandırılması*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Nuri YILMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi : ÜNYE / 1990

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : İnşaat Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

-Bozkurt, H., Bayazıt, Y., & Yılmaz, N. (2019). Mevcut Akarsu Köprülerinin Taşkınlarla Karşı Korunmasına Yönelik Değerlendirmeler: Fidanlık Köprüsü Örneği. *Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi ‘Riskten Dirençliliğe’*. 26-28 Haziran, Eskişehir, 569-573.

-Bozkurt, H., Bayazıt, Y., & Yılmaz, N. (2019). Akarsu Köprülerinin Taşkınlarla Karşı Korunmasına Yönelik Değerlendirmeler. 2. *Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*. 7-10 Kasım, Antalya, 58-62.

İş Deneyimi

Projeler :

Bilecik Yenipazar Yukarıboğaz Köyü Taşkın Kontrol İnşaatı “**Kontrol Mühendisi**”

Bilecik Pazaryeri Dereköy Köyü Taşkın Kontrol İnşaatı “**Kontrol Mühendisi**”

Bilecik Yenipazar Tozman Köyü Taşkın Kontrol İnşaatı “**Kontrol Mühendisi**”

Bilecik İnhisar Tozman Köyü 2. Kısım Taşkın Kontrol İnşaatı “**Kontrol Mühendisi**”

Eskişehir Odunpazarı 1 Nolu Dere Sel Kapanı İnşaatı “**Kontrol Mühendisi**”

Çalıştığı Kurumlar : Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü 31. Şube Müdürlüğü

İletişim

Adres :Taşköprü Caddesi DSİ Sok. No:2 Odunpazarı / ESKİŞEHİR

E-Posta Adresi : nuriyilmaz20@gmail.com

Tarih:...../...../.....