
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

TÜRKİYE'DEKİ AKARSU KÖPRÜLERİ İÇİN GÜVENLİK-DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Hüseyin AKAY

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2018

Hüseyin AKAY tarafından hazırlanan "TÜRKİYE'DEKİ AKARSU KÖPRÜLERİ İÇİN GÜVENLİK-DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ……

Başkan: Prof. Dr. Ali Melih YANMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ……

Üye: Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ……

Üye: Doç. Dr. Şahnaz TİĞREK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum**.** ……

Üye: Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ……

Tez Savunma Tarihi: 23/02/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hüseyin AKAY

23/02/2018

TÜRKİYE'DEKİ AKARSU KÖPRÜLERİ İÇİN GÜVENLİK-DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Hüseyin AKAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2018

ÖZET

Türkiye'de meydana gelen akarsu köprülerinin yıkılma veya ağır hasar görme olayları incelendiğinde, bu olayların genellikle taşkınlar sırasında veya hemen sonrasında yaşandığı görülmektedir. Köprülerin çoğunun ise gerek doğal gerekse insan kaynaklı nedenlerle akarsu taban seviyesi değişimleri, ayaklar etrafındaki aşırı oyulmalar, ayaklar arasındaki açıklığın akımla taşınan katı malzemenin birikmesiyle daralarak köprü membaında ve açıklığında su seviyesinin artması, köprü açıklığında hidrolik sıçrama meydana gelmesi gibi hidrolik etkenler nedeniyle zarar gördüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmada akarsu köprülerine uygulanabilecek ve hidrolik etkenleri göz önünde bulunduran bir güvenlik-değerlendirme algoritması geliştirilmiştir. Algoritma havza hidrolojisi ve taşkın potansiyeli, akarsu ve köprü özellikleri ile yapısal değerlendirme bölümlerinden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında pilot bölge olarak Karayolları Genel Müdürlüğü 15. Bölge olan Kastamonu Bölgesi seçilmiştir. Yapılan saha çalışmalarıyla bölgedeki birçok akarsu köprüsünde gözlem yapılmış, köprüler üzerinde etkili olan parametreler ve oyulma durumları incelenmiştir. Saha çalışmalarındaki gözlemler ile literatürdeki ilgili araştırmalardan yararlanılarak geliştirilmiş olan güvenlik-değerlendirme algoritması bölgedeki beş akarsu köprüsüne başarıyla uygulanmıştır. Ayrıca algoritmanın Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından akarsu köprülerine uygulanabilmesi için bir sistem ve bu sistemde yapılan sınıflandırmayla bakım-onarıma ihtiyaç duyan köprülerle oyulma riski olan köprüler için karar verici bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bilim Kodu	:	91122
Anahtar Kelimeler	:	Akarsu köprüleri, güvenlik-değerlendirme, oyulma, Batı Karadeniz Bölgesi
Sayfa Adedi	:	215
Danışman	:	Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

DEVELOPMENT OF SAFETY-INSPECTION METHODOLOGY FOR RIVER BRIDGES IN TURKEY

(Ph. D. Thesis)

Hüseyin AKAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2018

ABSTRACT

When failures of river bridges or severe damage incidents happened in Turkey are examined, it is seen that these events often occurred during or immediately after flooding. Most of the bridges were found to be damaged due to hydraulic factors such as changes in river bed level due to either natural or human-induced reasons, excessive scouring around bridge piers, increase in the water level at the upstream and opening of the bridge due to contraction in the bridge spans between the piers owing to the accumulation of the sediment carried in the stream flow, hydraulic jump at the bridge opening. In this study, a safety-inspection methodology was developed that could be applied to river bridges taking the hydraulic factors into consideration. The methodology consists of catchment hydrology and flood potential, river and bridge characteristics and structural inspection sections. Within the scope of the study, Kastamonu Region, which is the 15th Region of General Directorate of Highways, was chosen as the pilot region. Observations were made on many river bridges in the region during field studies and the parameters affecting the bridges and scouring conditions were investigated. The safety-inspection methodology which was developed by using the observations made in the field studies and the relevant investigations in the literature has been successfully applied to five river bridges in the region. Furthermore, a system was developed to enable the application of the methodology to river bridges by the General Directorate of Highways and an approach based on the classification proposed in the system was established to enable decision making on the bridges that require maintenance and are under risk of scouring.

Science Code	:	91122
Key Words	:	River bridges, safety-inspection, scouring, Western Black Sea Region
Page Number	:	215
Supervisor	:	Assist. Prof. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her zaman değerli yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, güvenerek bu konuyu bana teslim eden ve gerektiğinde elini taşın altına koymakta terddüt etmeyen değerli hocam ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmada bilgi ve deneyiminden yararlandığım, yapıcı yaklaşım ve önerileri için saygı değer hocam Prof. Dr. A. Melih YANMAZ'a, TİK üyesi olarak her zaman bilgi ve tecrübesi yanında uzak mesafelerden katılarak destek veren sayın hocam Doç. Dr. Şahnaz TİĞREK'e teşekkür etmeyi bir borç addediyorum. Ayrıca tanımaktan büyük onur duyduğum, çalışma hayatımda her zaman desteklerini gördüğüm, TİK üyesi olarak da bana yol gösteren saygı değer hocam Prof. Dr. Tekin GÜLTOP'a gönülden şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için 114M292 kodlu "Türkiye'deki Akarsu Köprüleri İçin Güvenlik-Değerlendirme Yöntemi ve Oyulma Risk Analizi; Kastamonu Pilot Uygulaması" isimli projeye sağladığı destek için TÜBİTAK'a da teşekkürlerimi sunarım.

Beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme, özellikle annem Kezban AKAY'a ve babam Hasan AKAY'a sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiv

RESİMLERİN LİSTESİ xvi

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 5

2.1. Genel 5

2.2. Köprü Yönetim Sistemi ve KGM Uygulamaları 8

2.3. Köprü – Akarsu – Zemin İlişkisi 14

2.4. Akarsu Dengesini Değerlendirmede Kullanılan Yöntemler 16

2.5. Köprülerin Oyulma Potansiyellerinin Değerlendirilmesi 24

3. ARAZİ ÇALIŞMASI 27

3.1. Genel 27

3.2. Çalışma Kapsamındaki Akarsu Köprüleri 28

3.2.1.Filyos V Köprüsü 28

3.2.2.Gökçebey Köprüsü 35

3.2.3.Bartın I Köprüsü 44

3.2.4.Bartın III Köprüsü 51

3.2.5.Çatalzeytin Köprüsü 60

Sayfa

3.3. Köprülerde Beton Dayanım Test Sonuçları 69

4. HAVZA HİDROLOJİSİ VE HİDROLOJİK MODELLEME 73

4.1. Genel 73

4.2. Çalışma Kapsamındaki Havzaların Genel Hidrolojik Özellikleri 74

4.2.1. Bartın I Köprüsü 74

4.2.2. Bartın III Köprüsü 75

4.2.3. Çatalzeytin Köprüsü 78

4.3. Havzaların Morfometrik Özellikleri 80

4.3.1.Yöntem 85

4.3.2.Bulgular 86

4.4. Hidrolojik Modelleme 93

4.4.1.Giriş 93

4.4.2.HEC-HMS model uygulaması 95

4.4.3.Yöntem 98

4.4.4.Havzayı alt havzalara ayırma 99

4.4.5.Model kalibrasyon sonuçları 100

4.4.6.Kalibre edilen hidrolojik parametrelerin regresyon analizi 102

4.4.7.Kocanaz Havzası'nın hidrolojik parametrelerinin tahmini ve hidrolojik analizi…… ……. 105

4.4.8.Model sonuçlarının tahmininde alt havza sayısının değerlendirilmesi 105

4.4.9.Sonuçlar 107

5. GÜVENLİK – DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI 111

5.1 Genel. 111

5.2. Yöntem 113

5.2.1. Ofis çalışmaları. 113

Sayfa

5.2.2. Saha çalışmaları 113

5.3. Güvenlik-Değerlendirme Algoritmasının Geliştirilmesi 113

5.3.1 Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi. 113

5.3.2. Akarsu özellikleri 123

5.3.3. Köprü özellikleri 131

5.3.4. Köprülerin yapısal değerlendirilmesi 134

5.4. Güvenlik-Değerlendirme Algoritmasının Değerlendirilmesi 138

6. ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ KÖPRÜLERİN GÜVENLİK-DEĞERLENDİRME ALGORİTMASINA GÖRE MUAYENESİ 151

6.1 Bartın I Köprüsü. 151

6.2. Bartın III Köprüsü 160

6.3. Filyos V Köprüsü 169

6.4. Gökçebey Köprüsü 178

6.5. Çatalzeytin Köprüsü 187

6.6. Sonuçların Değerlendirilmesi 196

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 199

KAYNAKLAR 203

ÖZGEÇMİŞ 213

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Türkiye'de 2004-2016 yılları arasında meydana gelmiş olan taşkınlar nedeniyle hasar görmüş veya yıkılmış köprülere örnekler 2

Çizelge 2.1. Köprü yıkılmalarındaki başlıca hidrolik etkenlerin nedenleri ve sonuçları…….. 6

Çizelge 2.2. Johnson'ın (2005) önerdiği stabilite göstergeleri, tanımları ve sınıflandırmaları 19

Çizelge 2.3. Köprülerde oyulma potansiyelinin değerlendirilmesi 24

Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında pilot bölgede incelenen köprüler…….. 27

Çizelge 3.2. 01/11/2014 – 31/10/2017 tarihleri arasında yapılan saha çalışmaları 28

Çizelge 4.1. Morfometrik parametreler, formülleri ve tanımları……. 83

Çizelge 4.2. Köprülerin drene oldukları havzaların alt havzalarında hesaplanan morfometrik değerler 89

Çizelge 4.3. Bartın I ve Bartın III köprülerinin morfometrik parametrelere göre taşkına duyarlılıkları 92

Çizelge 4. 4. Meydana gelmiş farklı taşkın olaylarına ait karakteristik özellikler 98

Çizelge 4.5. FE1, FE2 kalibrasyonu ve karşılıklı doğrulama sonuçlarına göre SI değerleri 101

Çizelge 4.6. Farklı taşkın olaylarının farklı sayıda alt havza kullanılarak doğrulama işlemi ve SI değerleri 103

Çizelge 4.7. Regresyon analizi sonucunda elde edilen a, b, c, d katsayıları ve R^2 değerleri 104

Çizelge 4.8. Kocanaz Havzası'na ait geometrik özellikler 106

Çizelge 4.9. Kocanaz Havzasında FE1, FE2 ve bunların ortalama hidrolojik parametreleri kullanılarak Gökırmak Havzasının farklı alt havza sayılarında Kocanaz Havzası için elde edilen hidrografın istatistiki gösterge değerleri 106

Çizelge 4.10. SI değerlerinin FE1 ve FE2 kalibrasyon ve karşılıklı doğrulama yöntemlerine göre notlandırılması 107

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.11. FE1, FE2 ve ortalama parametreler kullanılarak doğrulanan FE3, FE4, FE5 ve FE6'ya ait SI değerlerinin notlandırılması 108

Çizelge 4.12. Gökırmak Havzası parametrelerinden tahmin edilen Kocanaz Havzası'nın SI değerlerine göre notlandırılması 109

Çizelge 5.1. Havzanın hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi…… 115

Çizelge 5.2. KGM envanterinden alınan Batı Karadeniz havzasında meydana gelen akarsu köprü yıkım ve hasarları 117

Çizelge 5.3. DSİ envanterinden alınan ve 2016 yılından itibaren tutulmaya başlanan taşkın envanteri 119

Çizelge 5.4. Morfometrik parametrelerin sınıflandırılma aralıkları 122

Çizelge 5.5. Köprülerin bulunduğu havzaların morfometrik parametre sınıf ve morfometrik indeks değerleri 123

Çizelge 5.6. Sınıflandırma gruplarına göre not aralıkları 123

Çizelge 5.7. Havzaya ait genel özellikler 124

Çizelge 5.8. Akarsu yatak özellikleri 127

Çizelge 5.9. Taşkın yatağı özellikleri 128

Çizelge 5.10. Akarsu şev özellikleri 129

Çizelge 5.11. Diğer önemli etkiler 130

Çizelge 5.12. Havzaların R'ye göre sınıflandırılması 131

Çizelge 5.13. Köprü özellikleri ve sınıflandırma 133

Çizelge 5.14. Gözle muayene – yapısal değerlendirme 135

Çizelge 5.15. Yapısal açıdan köprünün değerlendirilmesi 147

Çizelge 5.16. Hidrolik etkenler açısından köprünün değerlendirilmesi 147

Çizelge 6.1. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi……. 151

Çizelge 6.2. Akarsu yatak özellikleri 152

Çizelge 6.3. Akarsu şev özellikleri 154

Çizelge 6.4. Diğer önemli etkiler 155

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.5. Köprü özellikleri ve sınıflandırma 156
Çizelge 6.6. Gözle muayene – yapısal değerlendirme 157
Çizelge 6.7. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi 160
Çizelge 6.8. Akarsu yatak özellikleri 161
Çizelge 6.9. Akarsu şev özellikleri 163
Çizelge 6.10. Diğer önemli etkiler 164
Çizelge 6.11. Köprü özellikleri ve sınıflandırma 165
Çizelge 6.12. Gözle muayene – yapısal değerlendirme 166
Çizelge 6.13. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi 169
Çizelge 6.14. Akarsu yatak özellikleri 170
Çizelge 6.15. Akarsu şev özellikleri 172
Çizelge 6.16. Diğer önemli etkiler 173
Çizelge 6.17. Köprü özellikleri ve sınıflandırma 174
Çizelge 6.18. Gözle muayene – yapısal değerlendirme 175
Çizelge 6.19. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi 178
Çizelge 6.20. Akarsu yatak özellikleri 179
Çizelge 6.21. Akarsu şev özellikleri 181
Çizelge 6.22. Diğer önemli etkiler 182
Çizelge 6.23. Köprü özellikleri ve sınıflandırma 183
Çizelge 6.24. Gözle muayene – yapısal değerlendirme 184
Çizelge 6.25. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi 187
Çizelge 6.26. Akarsu yatak özellikleri 188
Çizelge 6.27. Akarsu şev özellikleri 190
Çizelge 6.28. Diğer önemli etkiler 191

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.29. Köprü özellikleri ve sınıflandırma 192

Çizelge 6.30. Gözle muayene – yapısal değerlendirme 193

Çizelge 6.31. Akarsu köprülerinin güvenlik-değerlendirme notları 196

Çizelge 6.32. Akarsu köprülerinin güvenlik-değerlendirme sonuçlarına göre hidrolik yönden en kritikten iyiye doğru sıralaması 196

Çizelge 6.33. Akarsu köprülerinin güvenlik-değerlendirme sonuçlarına göre yapısal yönden en kritikten iyiye doğru sıralaması 196

Çizelge 6.34. Köprülerde hızlı oyulma tahkiki sonuçları 198

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. KGM 15. Bölge Müdürlüğü beton dayanım test sonuçları raporu 69

Şekil 4.1. Bartın I Köprü havzasına ait SYM 74

Şekil 4.2. Boğazköy AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık toplam akımlar 75

Şekil 4.3. Bartın III Köprü havzasına ait SYM..... 76

Şekil 4.4. Bartın III Köprüsü drenaj alanında eğri numaralarının değişimi..... 77

Şekil 4.5. Kocaırmak AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık toplam akımlar..... 77

Şekil 4.6. Bayıryüzü AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık toplam akımlar..... 78

Şekil 4.7. Darıören AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık toplam akımlar 78

Şekil 4.8. Çatalzeytin Köprüsü havzasına ait SYM..... 79

Şekil 4.9. Akçay Havzası'nda arazi kullanımı..... 79

Şekil 4.10. Çatalzeytin AGİ'de ölçülen aylık ortalama akım değerleri..... 80

Şekil 4.11. Bartın I Köprüsü drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu AGİ'ler, barajlar ve kritik durumdaki köprüler 87

Şekil 4.12. Bartın III Köprüsü drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu AGİler, barajlar ve kritik durumdaki köprüler 87

Şekil 4.13. Araç Çayı drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu barajlar ve kritik durumdaki köprüler..... 88

Şekil 4.14. Çatalzeytin Köprüsü drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu AGİ ve HES..... 88

Şekil 4.15. Bartın I ve Bartın III köprülerinin Q_{100} hidrografı..... 93

Şekil 4.16. Gökırmak ve Kocanaz Havzaları..... 96

Şekil 4.17. Gökırmak Havzası farklı alt havza sayısı kombinasyonları (a) 3 alt havza, (b) 7 alt havza, (c) 21 alt havza, (d) 33 alt havza..... 99

Şekil 4.18. Gökırmak Havzası'nda farklı alt havza sayısına göre elde edilen dolaysız akış hidrografları (a) FE1 kalibrasyonu, (b) FE2 kalibrasyonu, (c) FE2 parametreleriyle FE1, (d) FE1 parametreleriyle FE2 100

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.19. Kocanaz Havzasında Gökırmak Havzasının farklı alt havza sayılarına göre hesaplanan ve gözlenen dolaysız akış hidrografları 106

Şekil 5.1. Seviye 1 güvenlik-değerlendirme çalışmaları şematik gösterimi 112

Şekil 5.2. Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması 139

Şekil 5.3. Köprü ayaklarında kısa ve hızlı oyulma tahkiki 149

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1.Filyos V Köprüsü genel görünüş 29

Resim 3.2. Bölgenin üstten fotoğrafı 31

Resim 3.3. Filyos V Köprüsü orta ayaklarında takılı malzemeler 31

Resim 3.4. Filyos V Köprüsünde tamir yapılan orta köprü ayağındaki derz 32

Resim 3.5. Filyos V Köprüsü'nde drenaj problemi 33

Resim 3.6. Filyos V Köprüsü kenar ayağı ve şev pere kaplama 34

Resim 3.7. Filyos V Köprüsü kenar ayağı dolgusunda oturma, beton duvarı ve pere.... 34

Resim 3.8. Filyos V Köprüsü orta ayakları ve akım yapısı 35

Resim 3.9. Filyos V Köprüsü memba görünüşü 36

Resim 3.10. Gökçebey Köprüsü'nün genel görünüşü 37

Resim 3.11. Gökçebey Köprüsü mansap görünüşü 37

Resim 3.12. Gökçebey Köprüsü üstten görünüş 38

Resim 3.13. Gökçebey Köprüsü temel pabuç parçası ve kırılan kazık 39

Resim 3.14. Gökçebey Köprüsü boyuna ve enine kirişleri 40

Resim 3.15. Gökçebey Köprüsü boyuna kiriş ve tabliyesi 40

Resim 3.16. Gökçebey Köprüsü ana yatağında ıslah çalışması 41

Resim 3.17. Gökçebey Köprüsü brit çalışması 41

Resim 3.18. Gökçebey Köprüsü orta ayaklarında ağaç gövde ve dal birikmesi 42

Resim 3.19. Gökçebey Köprüsü orta ayağın yakınında konumlanmış beton kütle 43

Resim 3.20. Gökçebey köprüsü membaından bir görünüş 43

Resim 3.21. Bartın I –A sağ Köprüsü 44

Resim 3.22. Bartın I Köprüsü 45

Resim 3.23. Bartın I Köprüsü mansap tarafı..... 46

Resim **Sayfa**

Resim 3.24. Bartın I Köprüsü memba tarafı 46

Resim 3.25. Bartın I Köprüleri orta ayakları 47

Resim 3.26. Bartın I A-sağ Köprüsü kılıf olmayan orta ayaktaki deformasyon..... 47

Resim 3.27. Bartın 1 A-sağ Köprüsü kenar ayağı 48

Resim 3.28. Bartın 1 B sol Köprüsü kenar ayak ve beton tahkimat duvarı 48

Resim 3.29. Bartın 1 B-sol Köprüsü kenar ayağı ve başlık kirişi 49

Resim 3.30. Bartın I Köprüleri boyuna kiriş ve tabliye 50

Resim 3.31. Bartın I B sol Köprüsü drenaj problemi 50

Resim 3.32. Bartın III Köprüsü genel görünüşü 52

Resim 3.33. Bartın III Köprüsü ve civarı 52

Resim 3.34. Bartın III Köprüsü memba tarafı 53

Resim 3.35. Bartın III Köprüsü mansabı 53

Resim 3.36. Bartın III Köprüsü kenar ve orta ayak arası taşkın yatağı 54

Resim 3.37. Bartın III Köprüsü orta ayakları 55

Resim 3.38. Bartın III Köprüsü bordüründe betonda dökülme ve donatı 55

Resim 3.39. Bartın III Köprüsü tabliyesi 56

Resim 3.40. Bartın III Köprüsü tabliyesi 56

Resim 3.41. Bartın III Köprüsü başlık kirişi ve tabliyesi 57

Resim 3.42. Bartın III Köprüsü kenar ayağı ve beton tahkimat duvarı 58

Resim 3.43. Bartın III Köprüsü kenar ayak dolgusunda ve tahkimat duvarında kayma 58

Resim 3.44. Bartın III Köprüsü orta ayakları ve bu ayaklarda takılı kalan ağaç dalları 59

Resim 3.45. Bartın III Köprüsü orta ayağında takılı ağaç gövdesi 59

Resim 3.46. Bartın III Köprüsü orta ayak bağ kirişi altındaki bölümü 60

Resim **Sayfa**

Resim 3.47. Çatalzeytin Köprüsü genel görünüşü 61

Resim 3.48. Çatalzeytin Köprüsü 61

Resim 3.49. Çatalzeytin Köprüsü mansabı 62

Resim 3.50. Çatalzeytin Köprüsü orta ayağında oyulma 63

Resim 3.51. Çatalzeytin Köprüsü kenar ayak tahkimat duvarı 63

Resim 3. 52. Çatalzeytin Köprüsü'nde genleşme derzi 64

Resim 3.53. Çatalzeytin Köprüsü'nde derz bölgesine yakın kirişlerde donatıların açığa çıkması..... 65

Resim 3.54. Çatalzeytin Köprüsü'nde donatı açığa çıkması ve betonda ayrışma 66

Resim 3.55. Çatalzeytin Köprüsü'nde orta ayakta oyulma ve betonda ayrışma 66

Resim 3.56. Çatalzeytin Köprüsü'nde gerber kiriş bölgesi sızma problemi (a) Ekim (b) Mayıs 2015..... 67

Resim 3.57. Çatalzeytin köprüsü orta ayakları memba görünüşü 67

Resim 3.58. Çatalzeytin Köprüsü memba görünüşü 68

Resim 3.59. Çatalzeytin Köprüsü orta ayağında meydana gelen oyulma..... 68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Havza drenaj alanı
a_i	Regresyon sabiti
b_i	Regresyon sabiti
C_c	Sıklık katsayısı
C_r	Dairesellik oranı
CN	Havza ortalama eğri numarası
c_i	Regresyon sabiti
D_d	Drenaj yoğunluğu
Dm	Köprünün akarsu kurp merkezinden uzaklığı
E_{NS}	Nash-Sutcliffe katsayısı
E_r	Uzunluk oranı
F_f	Biçim faktörü
F_s	Akarsu sıklığı
GW	Gigawatt
g	Yer çekimi ivmesi
I	Giriş hidrograf debisi
I_a	Başlangıç sızma kaybı
I_p	Giriş hidrografı pik debisi
K	Taşkın dalgasının ağırlık merkezinin membadan mansaba seyahat süresi
km	Kilometre
L	En uzun akım yolu
LB	Akarsuyun köprünün bulunduğu nokta ile yan kolun birleşim mesafesi
L_o	Yüzey akış uzunluğu
L_u	u mertebesindeki akarsuyun uzunluğu
L_{ur}	Akarsu ortalama uzunluk oranı

Simgeler	Açıklamalar
MBE	Kütle denkliği hatası
MW	Megawatt
m	metre
N_u	u mertebesindeki akarsu sayısı
P	Havzanın çevresi
PE	Pik debi hatası
Q	Debi
Q_i	i yıl tekerrürlü debi
Q_s	Model sonucunda elde edilen debi
Q_o	Gözlenen debileri
$Q_{s,av}$	Model sonucunda elde edilen debi
$Q_{o,av}$	Gözlemlenen ortalama debi
Q_{op}	Gözlemlenen pik debiler
Q_{sp}	Model sonucunda elde edilen pik debi
Q_p	Pik debi
R_b	Dallanma oranı
R	Engebelilik sayısı
R^2	Belirleme katsayısı
S	Havzanın ortalama eğimi
S_c	Depolama katsayısı
S_r	Eğim oranı
S_f	Şekil faktörü
T	Tekstür oranı
T_c	Suların toplanma süresi
T_L	Taşkın hidrografı gecikme süresi
t	Süre
t_p	Taşkın debisinin pike gelme süresi
W	Havza genişliği
WL_r	Genişlik uzunluk oranı
x	Giriş ve çıkış debileri ağırlık katsayısı
α	Verevlik açısı
ρ	Katsayı

Simgeler	Açıklamalar
$	Dolar

Kısaltmalar	Açıklamalar
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADT	Average Daily Traffic
AGİ	Akım gözlem istasyonu
ARCHES	Assessment and Rehabilitation of Central European Highway Structures
BHM	Bridge Health Monitoring
BM	Bridge Management
BMS	Bridge Management System
BRIME	Bridge Management in Europe
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSİ	Devlet Su İşleri
ED50	European Datum 1950
FHWA	Federal Highway Administration
FE	Taşkın olayı
GN	Gözlem Noktası
HEC	Hydraulic Engineering Circular
HES	Hidroelektrik Santrali
HMS	Hydrologic Modelling System
HN	Havzanın hidroloji notu
HYRISK	Hybrid Methods for Addressing Uncertainty in Risk Assessment
IABMAS	International Association for Bridge Management and Safety
IRIS	Integrated Infrastructure Risk Management
KAMAG	Kamu Araştırmaları Grubu
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü

Kısaltmalar	Açıklamalar
KYS	Köprü Yönetim Sistemi
NBIS	National Bridge Inspection Standarts
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Mİ	Morfometrik indeks
MUSIC	Model for Urban Stormwater Improvement
N	Havzanın toplam notu
PW-RMSE	Pik debi ağırlıklı hataların ortalama karekökü
RP	Risk puanı
SCS	ABD Toprak Muhafaza Servisi
SG	Sınıf göstergesi
SI	İstatistiki gösterge
SLURP	Semi-distributed Land Use-based Runoff Process
SWAT	Soil Water Assessment Tool
SWMM	Storm Water Management Model
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TKT	Taşkın Koruma Tesisi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UTM	Univeral Transverse Mercator
YN	Yapısal not

1. GİRİŞ

Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 66 774 km uzunluğundaki Türkiye Karayolları Ağı'nın sürekli olarak işletmeye açık tutulmasından sorumludur. Bu görevin yerine getirilmesinde en kritik elemanlardan biri köprülerdir. 1 Ocak 2017 tarihi itibariyle ülke genelinde devlet ve il yolu ağında 7 809 adet karayolu köprüsü bulunmakta, bunların yaklaşık %85'lik bölümünü ise akarsu köprüleri oluşturmaktadır. Türkiye'de her yıl yıkılan, ağır hasar gören, güvenlik nedeniyle yıkılmasına karar verilen, doğrudan veya dolaylı can kayıplarına neden olan köprülerin tamamı ise akarsu köprüleridir. Dolayısıyla Türkiye'deki akarsu köprülerinde yaşanan problemlerin tespiti ile bu sorunlara doğru çözümlerin geliştirilmesi hem köprülerin güvenli ve ekonomik işletilmelerinin sağlanması hem de yaşanan can kayıpları ile maddi zararların asgariye indirgenmesi için son derece önemlidir.

Türkiye'de yıkılan veya hasar gören akarsu köprüleri incelendiğinde bu felaketlerin genellikle aşırı yağış ve taşkın olayları sırasında veya hemen sonrasında, çoğunlukla hidrolik etkenler sonucunda meydana geldiği görülmektedir. Yürütülen istatistiksel araştırmalarda da büyük taşkınlar esnasında köprü yıkılmalarının ana nedenlerinin hidrolik etkenlere bağlı olduğu tespit edilmiştir (Yanmaz, 2002a). Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 1950-1990 yılları arasında yıkılan köprülerin yıkılma nedenleri araştırıldığında %60 oranla hidrolik nedenlerin öne çıktığı görülmüştür (Shirole ve Holt, 1991; Lagasse, Clopper, Zevenbergen ve Girard, 2007). Bu oran, 1966-2005 yılları arasında yıkılan köprülerde ise %58 olarak belirlenmiştir (Briaud, 2006). KGM'den alınan verilere göre Türkiye'de 2004-2016 yılları arasında taşkınlar nedeniyle hasar görmüş ya da yıkılmış olan akarsu köprülerinden bazıları Çizelge 1.1.'de verilmiştir. Bunlardan Nisan 2012'de Zonguldak'ın Çaycuma ilçesinde Filyos Çayı üzerinde bulunan Çaycuma Köprüsü'nün bir bölümünün çökmesiyle maddi hasarın yanı sıra on beş kişi de hayatını kaybetmiştir. Bu felaketler incelendiğinde doğal veya insan kaynaklı nedenlerle akarsu taban seviyesi değişimleri, akarsu köprülerinde ayaklar etrafındaki aşırı oyulmalar, ayaklar arasındaki açıklığın akımla taşınan malzemenin birikmesi sonucunda daralarak köprü membaında ve açıklığında su seviyesinin artması, akımla taşınan kaba malzemenin köprü altı elemanlarına uyguladığı dinamik itki, köprü açıklığının yeterli genişlikte olmaması nedeniyle açıklıkta oluşabilecek hidrolik sıçrama, basınçlı ve savak tipi akımların oluşması, insan kaynaklı problemler vb. hidrolik etkenlerin akarsu köprüleri için hayati önem taşıdığı görülmektedir (Yanmaz,

2002b). Dolayısıyla hem projelendirilme aşamasında hem de kullanıma açıldıktan sonra köprünün maruz kaldığı hidrolik etkenler ve bunların neden olabileceği problemler tespit edilmeli, gerekli proje kriterleri ile bakım-onarım çalışmaları yapılmalıdır. Bakım-onarım çalışmaları için de köprülerin periyodik olarak muayene edilmesi ve köprü üzerinde etkili olan tüm parametrelerin değerlendirilerek köprünün durumuyla ilgili bir karara varılması gerekmektedir. Bu da etkili olan tüm parametrelerin dikkate alındığı kapsamlı bir muayene ve güvenlik-değerlendirme yöntemiyle mümkün olabilmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye'de 2004-2016 yılları arasında meydana gelmiş olan taşkınlar nedeniyle hasar görmüş veya yıkılmış köprülere örnekler (KGM, 2016)

Hasar Tarihi	Bölge	Köprü Adı	İli	Akarsuyun Adı
2004	İzmir	Sarıçay	Muğla	Sarıçay
	Mersin	Kesik	Mersin	Göksu
	Mersin	Göksu 2	Mersin	Göksu
	Erzurum	Altaş	Ardahan	Kura Nehri
2005	Erzurum	Paşaçayırı	Kars	Kars Çayı
	Antalya	Boğaçayı	Antalya	Boğaçayı
2006	İzmir	Çamlıçay	İzmir	Çamlıçay
	Van	Zilan	Van	Zilan Deresi
2008	Antalya	Sarımut	Antalya	Sarımut
2009	İstanbul	Laladere	Tekirdağ	Lala Deresi
	İstanbul	Korugan I Kestanelik	İstanbul	-
2010	Antalya	Dereboğazı	Isparta	Isparta Çayı
2011	Mersin	Yarpuz I	Osmaniye	Curidet (Yarpuz)
	Samsun	Curidere	Ordu	Curideresi
2012	Mersin	Kadıköy	Mersin	Göksu
	Mersin	Gökdere	Adana	-
	Samsun	Güzelceçay 2	Sinop	Kanlıçay
	Samsun	Abdest	Sinop	Abdest
	Kastamonu	Çaycuma	Zonguldak	Filyos
2016	Kastamonu	Karaman	Bartın	-
	Samsun	Efirli	Ordu	-

Bu tez çalışmasının temel amacı Türkiye'deki akarsu köprülerine uygulanabilecek, özellikle hidrolik etkenleri dikkate alan bir güvenlik-değerlendirme algoritmasının geliştirilmesidir. Bu amaçla köprü çıkış noktası olarak alındığında köprünün üzerinde bulunduğu akarsuya akışın toplandığı havzanın hidrolojik özellikleri, üzerinde bulunduğu akarsuyun stabilitesi ile köprünün genel ve yapısal özellikleri dikkate alınarak bir güvenlik-değerlendirme algoritması geliştirilmiştir. Algoritmada ilgili havzaya ait hidrolojik özellikler kullanılarak köprünün maruz kalabileceği taşkın potansiyeli, akarsuyun şev ve yatağı, sediment özellikleri ile taşınımını, morfolojisini etkileyebilecek parametreler kullanılarak akarsu stabilitesi ve köprü verevlik açısı, orta ve kenar ayak şekli, yapısı gibi genel köprü özellikleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. İlgili havzanın hidrolojik olarak değerlendirilmesinde ve taşkın potansiyelinin belirlenmesinde havzaya ait morfometrik göstergelerden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında farklı zamanlarda gerçekleştirilmiş olan saha çalışmalarında Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan akarsu köprülerinde gözlemler yapılmış, köprüler üzerindeki etkiler belirlenmiş ve çalışma kapsamında seçilmiş olan beş adet köprüde detaylı muayene çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Böylece bu çalışma ile akarsu köprüleri için KGM'nin kullanabileceği hidrolojik, hidrolik, morfolojik ve sedimantolojik büyüklükleri de göz önünde bulunduran bir güvenlik-değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir.

İkinci bölümde literatür araştırması kapsamında öncelikle dünyada akarsu köprüleri ile ilgili yapılmış olan çalışmalar anlatılmış ve sonrasında KGM tarafından Türkiye'deki köprülerde yürütülmekte olan çalışmalar ile 2017 yılı itibariyle uygulamaya giren Köprü Yönetim Sistemi (KYS) ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca köprülerin güvenli işletilmeleri için farklı ülkeler tarafından uygulanmakta olan sistemler kısaca anlatılmıştır.

Bölüm üçte çalışma kapsamında Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan ve çalışma süresince muayenesi yapılmış olan köprüler tanıtılmış ve yürütülmüş olan saha çalışmalarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde akarsu köprülerini doğrudan etkileyebilecek taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi açısından yapılmış olan hidrolojik çalışmalar sunulmuştur. Bunun için çalışma kapsamındaki havzaların genel ve jeomorfolojik özelliklerinden yararlanılmış, ilgili morfometrik parametreler hesaplanmış ve hidrolojik bir model yardımıyla daha önce gözlemlenmiş yağış-akış ilişkisi kullanılarak farklı alt havza sayılarında hidrolojik parametreler kalibre edilerek farklı taşkın olaylarında doğrulukları test edilmiştir. Ayrıca

komşu havzadaki hidrolojik parametreler tahmin edilerek ilgili tarihlerdeki hidrograf havzalar arası benzerliğin incelenebilmesi için belirlenmiştir.

Bölüm beşte geliştirilmiş olan güvenlik-değerlendirme algoritmasına ait yöntem detaylarıyla anlatılmış ve KGM tarafından uygulanabilecek bir sistem geliştirilerek sunulmuştur.

Geliştirilmiş olan güvenlik-değerlendirme algoritmasının çalışma kapsamındaki beş adet köprüye uygulanması altıncı bölümde verilmiş, elde edilen sonuçlar ve geliştirilmiş olan yöntem değerlendirilmiştir.

Yedinci bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve bundan sonraki adımlar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Genel

Akarsu köprülerinin yıkılmasının veya ağır hasar görmesinin nedenlerinin başında hidrolik etkenler gelmektedir. Köprü emniyetini azaltan başlıca hidrolik etkenler, nedenleri ve sonuçları Çizelge 2.1.'de kısaca özetlenmiştir (Yanmaz, 2002a). Bu nedenler incelendiğinde köprünün hem tasarım aşamasındayken maruz kalabileceği etkiler göz önüne alınarak projelendirme yapılması hem de kullanıma açıldıktan sonra değişen koşulların köprü üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için periyodik olarak muayene edilmesi gerektiği görülmektedir. Ülkemizde köprü tasarım aşamasında iken köprü elemanları yapısal kriterlere azami dikkat gösterilerek projelendirilmekte ancak hidrolik etkiler yeterince dikkate alınmamaktadır. Örneğin akarsu akımı, sediment ve zemin özellikleri dikkate alınarak kenar ve orta ayaklarda detaylı bir oyulma hesabı veya oyulma güvenlik tahkiki yapılmamakta, buna karşın ayaklarda meydana gelebilecek oyulmaya karşı ekonomik olmayacak derinlikte kazıklı temeller kullanılabilmekte veya yol güzergâhına uygun olması için büyük verevlik açısına sahip köprüler projelendirilebilmektedir. Bu nedenlerle tasarlanan köprünün hidrolik hesapları yapılmalı, yapısal, hidrolik ve zeminle ilgili konular arasındaki gerekli ilişkiler kontrol edilmelidir (Yanmaz, 2002a). Köprü hizmete açıldıktan sonra ise köprünün periyodik olarak muayeneye tabi tutulması, özellikle akarsuda veya köprü civarında meydana gelebilecek, köprüyü doğrudan veya dolaylı, uzun veya kısa vadede etkileyebilecek hidrolik etkenlerin belirlenmesi, doğurabileceği sonuçların tespit edilerek gerekli önlemlerin zamanında alınması gerekmektedir.

Türkiye'de ve dünyada her yıl birçok köprü özellikle kenar ve orta ayaklarında meydana gelen aşırı oyulmalar nedeniyle yıkılmakta veya ciddi hasar almakta, bunların sonucunda maddi kayıpların yanı sıra can kayıpları da meydana gelebilmektedir. 1960'lardan önce, ABD'de akarsu üzerinde bulunan köprülerin denetlenme ve işletilmesine gereken önem verilmemekteydi (Chen ve Duan, 2003). 1967 yılında Batı Virginia'da meydana gelen ve 46 kişinin ölümüyle sonuçlanan Silver Bridge faciasından sonra, Amerikalı yetkililer bu konu üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlar (Phares, Rolander, Graybeal ve Washer, 2000) ve bu çalışmaların sonucu olarak 1971 yılında Ulusal Köprü Denetleme Standartları (National Bridge Inspection Standarts-NBIS) kurumunu kurmuşlardır (Chen ve Duan, 2003).

Çizelge 2.1. Köprü yıkılmalarındaki başlıca hidrolik etkenlerin nedenleri ve sonuçları (Yanmaz, 2002a)

ETKEN	NEDEN	SONUÇ
Doğal nedenlerle uzun dönemde taban seviyesi değişimleri	Akarsu doğal rejimine ve havza hidro-meteorolojik özelliklerine göre oluşan sürekli veya periyodik taban seviyesi alçalması veya yükselmesi, şev denge problemi ve yanal erozyon	Bu değişimler, genellikle köprü ekonomik ömründen daha uzun sürede oluşur ve köprü civarındaki düzenleme yapılarıyla telafi edilir.
İnsan kaynaklı nedenlerle kısa ve orta dönemde taban seviyesi değişimleri	Akarsu düzenlemesi, yargın inşaatı, taban malzemesi çekilmesi, su çekilmesi, baraj ve bağlama yapılması, arazi kullanımındaki olumsuzluklarla havza sediment veriminin artması	Akarsuda genişletme, derinleştirme, yargın inşası, baraj ve bağlama yapıları gibi etkenlerle taban rejiminin bozulması, taban malzemesi çekimiyle mansapta; su çekimiyle membada artan taban erozyonu
Daralma oyulması	Köprü aksındaki açıklığın dar olması	Mertebesi genellikle ayaklar etrafındakinden daha az olmak üzere köprü açıklığı tabanında oyulma
Ayaklar etrafında yerel oyulma	Ayaklar etrafında oluşan çevrintiler ve artan sürüntü maddesi taşıma kapasitesi	Köprü ayakları etrafındaki yerel oyulma nedeniyle temelde oturma ve olası köprü yıkımı
Köprü açıklığında hidrolik sıçrama	Köprü aksındaki açıklığın çok dar olması nedeniyle açıklıkta sel rejimi oluşma olasılığı	Hidrolik sıçramadaki çevrintilerin taban malzemesinin sürüklenme kapasitesini ve oyulmayı artırması
Ayaklar arasındaki açıklığın malzeme ile dolması	Alt yapı elemanlarının şekil ve boyutlarındaki yetersizlik, ayak sayısının fazla olması	Daralan açıklıkta artan akım hızıyla taban oyulma potansiyelinin artması ve memba su kotunun kabarması
Taşınan malzemenin dinamik itkisi	Akarsu şevlerinden veya vadi yamaçlarından toprak kaymasıyla taşınan kaya parçalarının köprü elemanlarına uyguladığı dinamik itki	Ayaklara veya tabliyeye yüksek hızlarla çarpan kaya parçalarının büyük tahrip etkisi
Basınçlı ve savak tipi	Açıklığı dar olan köprülerde taşkın esnasında su seviyesinin aşırı artması	Basınçlı akımda tabliyeye uygulanan alttan kaldırma kuvveti, savaklı akımlarda köprü trafiğinin maruz kaldığı tehlike, bu tip akımlarda düşey daralma etkisiyle tabanda oyulma eğiliminin artması
Köprü yeri seçimindeki hata	Depolama tesislerin yakın köprü mansabı çevirme tesislerinin yakın köprü membaı Akarsu birleşimlerinin mansabı Keskin kurplar	Depolama tesislerinin mansabında artan temiz su oyulması, çevirme tesislerinin membaında kabaran su derinliği nedeniyle tabanda artan gerilmeler, akarsu birleşimlerinin mansabında ve kurplarda taban oyulmaları
Köprü ayakları konumlarının seçimindeki hata	Orta ayakların açıklıktaki büyük hız bölgelerine konuşlandırılması	Ayak civarında taban oyulması artmakta ve köprü yıkılmasına neden olabilmektedir

Köprülerin emniyetli hizmet vermeleriyle ilgili özellikle ABD'de çok kapsamlı çalışmalar yapılmış ve köprü ayaklarında oyulma ile akarsu stabilitesi için ilgili kurum ve kuruluşların

uymak zorunda oldukları bir dizi yönetmelik geliştirilmiştir. ABD'de Ulusal Karayolu İdaresi (Federal Highway Administration - FHWA) tarafından yapılmış olan ulusal bir çalışmada büyük taşkın felaketleri sonucunda meydana gelen 383 adet köprü yıkılması olayı incelenmiş, bunlardan %25'inin köprü orta ayak hasarı ve %75'inin kenar ayak hasarı nedenleriyle yıkıldıkları tespit edilmiştir (Chang, 1973). 1978 yılında yapılan daha kapsamlı bir araştırmada ise köprü orta ayaklarındaki yerel oyulmanın kenar ayaklardaki oyulmalarla eşit oranda problem yarattığı tespit edilmiştir (Brice ve Blodgett, 1978). ABD'de New York ve New England'ta 1987 yılındaki ilkbahar taşkınlarında, 17 adet köprü oyulma nedeniyle hasar görmüş veya yıkılmıştır. 1985'te, Pennsylvania, Virginia ve West Virginia'da 73 adet köprü taşkınlarda ağır hasar görmüş veya yıkılmıştır. ABD'de bulunan önemli köprülerdeki oyulma nedenleri ve sonuçları ile ilgili bir dizi tarihi kayıt Ulaşım Araştırma Kayıt 950'de bulunabilir (Davis, 1984). Ayrıca Yukarı Mississippi Havzası'nda 1993 yılında meydana gelen taşkında 23 köprü yıkılmış ve yaklaşık 15 milyon $' lık bir zarar meydana gelmiştir. Yıkılan bu köprülerden 14 tanesi kenar ayak oyulması, iki tanesi orta ayak oyulması, üç tanesi kenar ve orta ayak oyulması, iki tanesi şev göçmesi, bir tanesi birikmiş parçaların yükü nedeniyle yıkılmış olup, bir tanesinin nedeni bilinememektedir (Jones, Morris, Pagán-Ortiz ve Parola, 1995). 1994 taşkınında Georgia'daki Alberto fırtınasında ise 500 üzerinde köprü oyulma nedeniyle zarar görmüştür. Eyalete ait olan 31 adet köprü altı metreye ulaşan uzun dönem taban alçalmasına ek olarak daralma oyulması ve/veya yerel oyulmaya maruz kaldığından bu köprüler yenilenmek zorunda kalınmıştır. 150'den fazla köprüden 73 tanesinin maliyeti 130 milyon $ olmuştur (Jones ve diğerleri, 1995).

Amerika'da yapılmış çalışmalardan birinde 1989 ile 2000 yılları arasında yıkılan 500 adet köprünün incelenmesiyle köprü yıkılmalarında en sık karşılaşılan nedenin taşkınlar ve kazalar olduğu belirlenmiştir (Wardhana ve Hadipriono, 2003). Taşkınlar, depremler, yangınlar, tufanlar gibi doğal afetlerin köprülerin yıkılmasına sebep olan başlıca nedenlerin %83'üne karşılık geldiği saptanmıştır. Yaşanan sorunların ve yapılan tespitlerin ışığında FHWA kullanıma açık bir köprüde yıllık olarak köprünün oyulma nedeniyle yıkılma riskini hesaplayan HYRISK (Hybrid Methods for Addressing Uncertainty in RISK Assessments) isimli bir yazılım geliştirmiştir. Böylece, söz konusu yazılım kullanılarak köprüye ait oyulma kritiklik derecesi mevcut ve meydana gelmesi muhtemel durumlar için yıllık oyulma riski hesaplanmakta ve uygun bir oyulma önlem yapısı projelendirilerek ekonomik analizi yapılabilmektedir. HYRISK'in kullanılabilmesi için köprü elemanlarının durumu ile köprüye yakın alanlardaki akarsu stabilitesinin incelendiği bazı değerlendirme yöntemlerine

ihtiyaç vardır. Bu değerlendirme için de her köprüye ait tüm envanter ve tetkik bilgilerinin yer aldığı NBIS veri bankası kullanılmaktadır.

Akarsu köprüleri, karşılaşılan problemler ve önlemleriyle ilgili literatür incelendiğinde konu ile ilgili ABD'nin büyük çaba ve kaynak ayırdığı, çeşitli düzenlemeler ve yönetmelikler geliştirdiği görülmektedir. Bu yönetmeliklere göre ABD'de kamuya açık her köprünün iki yıllık süreyi aşmayacak zaman aralıklarında denetiminin yapılması gerekmektedir. Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaşım Birimleri Birliği (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 1992) akarsu köprüleri için oyulma ve akarsu stabilite problemine karşı aşağıda belirtilen hususları zorunlu tutmaktadır;

- Hidrolik çalışmalar bir köprünün ön proje aşamasında gerekli bir bölümdür ve yapılması planlanan yapının kenar ve orta ayaklarında meydana gelebilecek oyulma derinlikleri hesabını da içermelidir.
- Muhtemel oyulma derinliği, zemin incelemesi ve hidrolik çalışmalarla belirlenmelidir. Her durumda, temel kazık uzunluğu yapısal proje yükünün güvenli bir şekilde tamamen muhtemel oyulma derinliğinin altındaki zemin tarafından karşılanacağı derinliğe kadar olmalıdır.
- Gerek mevcut gerekse proje aşamasında olan akarsu üzerindeki her köprü için alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla taşkınlara karşı ne kadar savunmasız olabilecekleri değerlendirilmelidir. Çünkü bir köprüyü oyulmaya karşı daha güvenli yapmanın maliyeti eklendiğinde bile bu tutar, köprünün tamamen yapılması durumunda gerekli olan köprü maliyetinin çok daha altındadır. Ayrıca halkın güvenliği ve köprülerin ulaşıma kapatılması nedeniyle oluşacak istenmeyen durumların asgariye indirgenmesi için oyulma etkilerine karşı dirençli köprü temellerinin projelendirilmesi ve gerekli yönetimin geliştirilmesi gerekmektedir (Richardson ve Davis, 2001).

2.2. Köprü Yönetim Sistemi ve KGM Uygulamaları

Hizmete açıldıktan sonra köprülerle ilgili yapılan çalışmalar birbiriyle ilişkili olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Bunlardan ilki yapısal ve işlevsel yani akarsu veya karayolu köprüsü ayırımı yapılmaksızın tüm köprüler için ülke şartlarına uygun bir Köprü Yönetim Sisteminin (KYS) geliştirilmesi ve uygulanmasıdır. Köprüler gerek özgün ve karmaşık yapıları gerekse istenen şekilde görevlerini yerine getirmedikleri durumlarda çevrede yaratacakları önemli etkiler nedeniyle bu tip sistemlerin geliştirilmesinde ve

uygulanmasında öncü yapılar olmuşlardır. Çalışmaların yürütüldüğü ikinci grup ise köprülerin yapısal (kemer, asma, konsol vb.) veya işlevsel özelliklerine göre değerlendirildikleri, işletim sırasında maruz kalınan problemlerin tespit edildiği ve uygulamaya yönelik çözüm yöntemlerinin geliştirildiği gruptur. Örneğin işletmede olan bir demiryolu köprüsü ile karayolu veya akarsu köprüsü çok farklı dış etkenlere ve kuvvetlere maruz kalabilmektedir. Demiryolu köprülerinde servis yükleri, geometrik ve malzeme bakımından lineer olmayan etkiler ile düğüm noktalarının yarı rijit davranış özellikleri dikkate alınırken, akarsu köprüleri için hidrolojik ve hidrolik etkenler hayati önem taşıdığından ilgili havzanın özelliklerinden başlamak üzere akarsu dengesi, sediment taşınımı, kenar ve orta ayaklarda oyulma gibi konuların detaylı olarak araştırılması, takip edilmesi ve gerek proje aşamasında gerekse işletim sırasında köprü-akarsu etkileşiminin yakından gözlemlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla ilgili etkileri göz önüne alacak ve değerlendirecek bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde birçok ülkede köprülerin bakım, onarım ve yeniden yapılmaları ile ilgili kararlar bilimsel ve teknik bilgiler ile mühendislik uygulamaları üzerine kurulmuş bilgisayar veri tabanları ve yazılımları kullanılarak yapılmaktadır. Bu amaca yönelik geliştirilmiş programlar KYS olarak adlandırılmaktadır. KYS'nin temel işlevi, köprülerin bakım ve yönetiminden sorumlu olan kurumun sahip olduğu bütçe ve kaynak miktarlarını göz önüne alarak, köprülerin bakım, onarım ve yeniden yapım maliyetlerini köprülerin yaşamı boyunca en iyi seviyede tutmak, köprülerin yeterliliğini ve hizmet kalitesini sürekli şekilde temin etmek ve köprülere ait onarım ve iyileştirmeye yönelik uygulamaların yürürlüğe konulması için gerekli olan uygun zamanların belirlenmesini sağlamaktır. KYS'de envanter, durum tespiti, yapısal değerlendirme, optimizasyon, öncelik belirleme, yönetim faaliyetlerinin maliyeti ve bütçe gözetimi gibi modüller yer alabilmektedir. KYS sayesinde geçmişteki yetersiz bakım uygulamaları sonucunda çok sayıda köprünün sonraki yıllarda bakım-onarım ihtiyacında ortaya çıkacak yığılmayı önlemek ve bakım-onarım eksikliğinin köprülerin yapısal sağlamlığını ve güvenliğini tehdit edici seviyeye ulaşmasını engellemek mümkün olabilmektedir. Sistemin geliştirilmesi ve uygulamaya konulmasının ardında yatan hedef kurumun sahip olduğu köprü ağının genel durumunu iyileştirmektir. Bu iyileştirmeyi yaparken üzerinde durulması gereken husus, bir köprünün genel sağlık durumunun köprünün hizmet ömrü süresince sağlıksız seviyeye düşmeyecek şekilde korunabilmesidir. KYS'deki ana işlemler envanter verilerinin toplanması, köprünün durumunun ve dayanımının değerlendirilmesi, köprü elemanlarının tamiri veya güçlendirilmesi ve tüm bunlar için

gerekli olan kaynağın en uygun şekilde dağıtılmasını içermektedir. Kısaca bir KYS, köprü işletiminin optimum harcamayla yapılmasını mümkün kılabilecek bir sistemdir.

Dünyada kullanılmakta olan pek çok KYS bulunmaktadır. Birçok ülke kendi ihtiyaç ve olanakları çerçevesinde ya kendi sistemini geliştirmiş ya da başka bir ülke tarafından geliştirilmiş olan bir sistemi kullanmaktadır. Uluslararası Köprü Bakım ve Güvenliği Birliği (International Association for Bridge Management and Safety – IABMAS) 1999 yılında kurulmuş uluslararası bir organizasyon olup, amacı köprü bakımı, güvenliği ve işletimi alanlarında yeni gelişmeleri sağlamak ve bu alanda öncü olmaktır. Birlik, köprü tamiri ve iyileştirme konularının yanı sıra köprü işletim sistemleri, ilgili kuruluşların ihtiyaçları, finansal planlama, köprü kullanım süresinde ihtiyaçları maliyetlendirme ve gelecek için yatırımlar, köprü güvenliği ve risk konuları ile ekonomik ve benzer diğer konular üzerinde çalışmalarını yürütmektedir. IABMAS, amacını ve misyonunu yerine getirmek için 2002 yılından başlayarak günümüze kadar her iki yılda bir olmak üzere uluslararası konferanslar düzenlemektedir. Birlik içerisinde iki teknik komite bulunmaktadır. Bunlardan biri Köprü Sağlık İzlemesi (Bridge Health Monitoring – BHM) olup, amacı BHM'nin kendine özgü avantajlarına dikkat çekmek ve tüm dünyadaki gelişmeleri yayınlamaktır. İkinci teknik komite ise Köprü Yönetimi (Bridge Management – BM) olup köprünün ömrü süresince maliyetleri ve güvenlik, hareketlilik ve trafik sıkışıklığı gibi fonksiyonel gereksinimleri dikkate alarak köprülerin ve yapıların kapsamlı işletimi için uygun maliyetli, program niteliğinde en uygun stratejilerin seçilmesi ve değerlendirilmesi için yöntem ve teknolojilerle ilgilenmektedir. IABMAS Köprü Yönetim Komitesi, 2012 yılında on altı ülkeden yirmi bir KYS ile ilgili bir anket çalışması yayınlamıştır. Çalışmada, kullanılmakta olan farklı sistemler, sistemi kullanan ülkenin memnuniyeti, sistemin yeterliliği ve zayıflıkları ile ülkenin genel değerlendirmesi ile ilgili anketler yapılmış ve bunlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmayla ilgili komite, KYS'lere yeni entegre edilecek çalışmaların bir çatı altında toplayarak ayrı ayrı kurumlar tarafından benzer çalışmaların yapılmasının önüne geçmeyi ve daha iyi sistemlerin farklı ülkelerce ortak geliştirilmesinde yardımcı olmayı hedeflemiştir. Çalışmaya katılan ülkeler arasında Kanada, Danimarka, Finlandiya, Almanya, İrlanda, Japonya, Kore, Litvanya, Hollanda, Polonya ve İspanya yer almıştır. Dolayısıyla yeni bir KYS'nin geliştirilmesinden önce mevcut yöntemlerin irdelenmesi, avantajlarının ve dezavantajlarının araştırılması hem zaman hem de kaynak tasarrufu sağlamaktadır. Ancak her ülkenin iç dinamiklerinin, ihtiyaçlarının, problemlerinin ve kaynaklarının farklı olabileceği unutulmamalıdır.

Son 10 yıl içerisinde çeşitli ülkelerde birçok KYS geliştirilmiş olup, halen bunların yeni bulgular ışığında yenilenmesi devam etmektedir. Bu yöntemlerden bazıları Finlandiya-KYS (Soderqvist, 2004), Danimarka'da DANBRO (Bjerrum ve Jensen, 2006), Japonya'da J-BMS (Kawamura, Miyamoto ve Ishida, 2008) ve BMSs (Furuta ve Watanabe, 2010), Tayvan'da T-BMS (Liao, Yen ve Yau, 2008), Kore'de çelik köprüler için SBMS, Arjantin'de KYS (Ruiz, Castelli ve Prato, 2008) sayılabilir. Avrupa'da BRIME (Bridge Management in Europe) çalışması (Woodward, Cullington, Daly ve Cremona, 2001) Avrupa karayolu ağındaki köprülerin yönetimi için bir çerçeve program önermektedir. KYS'ler ile ilgili yük taşıma kapasitesi ile yapısal durum değerlendirmesi, girdilerin tanımlanması, yük ve direnç modelleri, güvenirlik teknikleri, tamir-yenileme, durum gözlemi, noksanlıkları sınıflandıran sinir ağları ve bozulma modellemesi alanlarında da mevcut uygulamaları gözden geçiren ve değerlendiren bir dizi rapor hazırlanmıştır. Avrupa'daki son çalışmalar arasında birleşik bir altyapı risk yönetimi oluşturma (Integrated Infrastructure Risk Management - IRIS) (Wenzel ve Allmer, 2010), merkezi Avrupa karayolu yapılarının değerlendirilme ve rehabilitasyonu (Assessment and Rehabilitation of Central European Highway Structures - ARCHES) (Casas, 2010) içerikli çalışmalar bulunmaktadır.

KGM, 1 Ocak 2017 tarihi itibariyle 2 155 km otoyolu, 31 106 km devlet yolu ve 33 513 km il yolundan oluşan Türkiye Karayolları Ağı'nın sürekli olarak işletmeye açık tutulmasından, devlet yolları ile otoyollar üzerinde bulunan köprülerin bakım, tamir ve yenilenmesinden sorumlu olan kurumdur. Köprülerin bakım ve onarımlarının yanı sıra, tarihi köprülerin bakımı ve restorasyonunu da gerçekleştiren kurum, aynı zamanda servise devam edemeyecek durumda olan köprülerin yerine geçici panel köprüler kurarak geçişin sağlanması, yeni yapılacak köprüler için etüt ve proje programının hazırlanması, mevcut köprülerin envanterlerinin çıkarılması görevlerini de yürütmektedir. KGM ve taşra teşkilatınca kullanılmakta olan köprü bakım yöntemi ve uygulamaları, köprülerin bakımından sorumlu olan bu kuruluşun ihtiyaçlarına yoğun iş yükü ve personel eksikliği nedenleriyle cevap verememekteydi. Ülkemizdeki mevcut köprü stokuna her geçen yıl yeni köprülerin eklenmesi, geçmişteki bakım uygulamalarının istenilen seviyede gerçekleştirilememiş olması, çok sayıda köprünün bakım-onarım durumunun istenilen düzeyde olmaması ve ihtiyaç duyulan bakım-onarım gereksinimi için devlet bütçesinden ayrılan kaynakların yeterli seviyede olmayışı, ülke genelindeki köprülerin yönetimini mümkün kılacak bir KYS'nin geliştirilmesini zaruri hale getirmişti. Bu nedenle 2009 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Kamu Araştırmaları Grubu

(KAMAG) tarafından desteklenen ‘Karayolları Genel Müdürlüğü Köprü Yönetim Sistemi’nin Geliştirilmesi’ isimli projeyle Türkiye’de ilk kez bir KYS’nin geliştirilmesi hedeflenmiştir (Akgül, 2012). Söz konusu KYS’nin geliştirilmesi sırasında pilot olarak seçilmiş 200 adet köprünün bilgilerini içeren köprü envanterinin, belirlenen kriterler çerçevesinde oluşturulması ve güncellenmesi, bakım, yöntem ve yapılması gereken işlerin tanımlanması, hasar derecelerinin sınıflandırılması, köprü elemanlarının bakım-onarım maliyetlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması, köprülerin bakım önceliğini belirleyici kriterlerin belirlenmesi gibi birçok konuda inceleme ve araştırma yapılmıştır. 2012 yılında tamamlanan projeyle KGM’nin sorumlu olduğu köprülerin bakım-onarım ve yeniden yapım maliyetlerini sürekli gözlemleyebilmesi, teknik ve idari raporlar sayesinde bilimsel ve teknik verilere dayalı gerekçeler ışığında kurumun bir sonraki yıl için talep edeceği bütçenin belirlenmesi amaçlanmıştır. KGM, özel bir şirket aracılığıyla 2016 yılına kadar sorumluluğunda bulunan köprülerde gerekli köprü eleman ölçümleri ve değerlendirmeleri yaptırarak sistemi kullanıma açma aşamasına gelmiştir. Bu doğrultuda sistem geliştirilirken proje kapsamında yapılmış olan çalışmaların sunulduğu ‘Ekipmanlı ve Gözlemsel Muayene Analizleri’ kitabını yayınlamıştır (KGM, 2017a). Buna göre köprülerde yürütülen çalışmalar, köprü envanter çalışmaları, köprü gözlemsel muayene ve köprü ekipmanlı muayene olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Köprü envanteri ile KYS’nin birbirinden ayrı kavramlar olduğu, iki sistemin birbiri ile sürekli bilgi alışverişi yaptığı unutulmamalıdır. Envanter tamamıyla bir veri tabanından ibaret olup, KYS bu veri tabanını bir amaca yönelik kullanılan bilgisayar programı çerçevesinde kurulmuş uygulama ve işlevler düzenidir. Köprü envanter çalışmaları çerçevesinde köprü envanteri kontrol kesim fihristinin oluşturulması, yol şerit sayısı, köprü yönü, dever, verevlik açısı gibi araziden temin edilen köprü envanter bilgileri ile detaylı köprü alanı, en kesiti, profili gibi kroki çalışmaları yapılmıştır. KGM bünyesinde KYS’de bulunan bilgiler dışında köprülerle ilgili bir envanter sistemi mevcut değildir. Envanter çalışması kapsamında ayrıca köprünün genel fotoğrafları çekilerek KYS yazılımına aktarılmıştır. Sistemde sonraki bölümde köprü gözlemsel muayenesi yer almaktadır. Mevcut KYS’de köprü gözlemsel muayene hasar dereceleri dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

1. Yok veya az: Köprü tamamlayıcı yapılarına ait yapı elemanlarında eksiklik, kusur, hasar, eskime veya bozulmanın çok küçük boyutlarda olması veya hiç olmaması halidir.
2. Hafif: Köprü veya tamamlayıcı yapılarına ait yapı elemanlarında eksiklik, kusur, hasar, eskime veya bozulmaların ufak veya önemsiz denebilecek kadar az olması halidir.

3. Orta: Köprü üzerindeki seyahat konforunu azaltan, köprü veya tamamlayıcı yapılarının hizmet görmesine veya emniyetli olarak serviste kalacakları ömürlerine etkisi bulunan ciddi eksiklik, kusur, hasar, eskime veya bozulmaların tespit edildiği ve onarımın gerekli olduğu haldir.
4. Ağır: Köprüdeki yaya ve araç trafik güvenliğinin sürekliliğini temin etmek, köprü veya tamamlayıcı yapılarına ait yapı elemanlarındaki büyük eksiklik, kusur, hasar, eskime veya bozulmalar sonucunda üçüncü şahısların yararlanması veya rahatsızlık duymalarını önlemek ya da yakın gelecekte tehlikeli hale gelmesi olası hasarlardan kaçınmak için acil onarımın şart olduğu haldir (KGM, 2017a).

KYS'de köprü gözlemsel muayene formunda köprü elemanları üstyapı, altyapı ve aksesuar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Yaya korkuluğu, oto korkuluk, bordür, yan parapetler, aşınma tabakası, tecrit ve genleşme derzi üst yapı elemanları, orta ayak ve kenar ayak altyapı elemanı ve aydınlatma, işaretlendirme, tesisat, yol güvenliği elemanları, alt geçitlerde havalandırma, drenaj ve pompa odası gibi elemanlar aksesuar olarak değerlendirilmektedir. Bu elemanların durumları yukarıda belirtilen sınıflar cinsinden değerlendirilmekte ve sisteme girilmektedir. Köprünün ekipmanlı muayenesinde ise beton içerisindeki donatının ve pas payının, beton direncinin, betonarme çeliğindeki korozyonun çeşitli aletler ve yöntemler kullanılarak ölçülmesi ve muayene formuna işlenmesi yapılmaktadır. Köprü elemanlarında olabilecek hasarlar ise her yapı elemanının özelliğine göre belirlenmektedir. Hasar izlenmesi, detaylı muayene ve onarım işlerinin gereklilik veya uygulanma zamanlarına karar verilmesi için yapı elemanlarındaki kusur, eksiklik, eskime, bozulma veya hasarın derecesi, gözlem sonucu kanaat bildirme esasına göre yukarıda bahsedilen (1) yok veya az, (2) hafif, (3) orta ve (4) ağır olmak üzere dört ana hasar ön değerlendirme derecesiyle tanımlanmaktadır. Hasar tespitinde muayeneyi yapan teknik elemanın kişisel kanaati ağır basabileceğinden bu risk gruplarının daha detaylı ifade edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Özellikle hidrolik etkenlerin hissedildiği altyapı elemanları olan kenar ve orta ayak ile yaklaşım elemanlarının yeterince değerlendirilemediği düşünülmektedir. Kenar ve orta ayaklarda çatlak, kabarma ve dökülme, donatının açığa çıkması, boşluk veya oyuk, deformasyon, temelde oyulma, oturma ve çökme gibi hasarlara bakılırken yaklaşım elemanlarında oturma ve çökme, yol platformunda erozyon, dolgu gövdesinde erozyon, tahkimatta temelde oyulma ve çökme ile erozyon gibi hasarlar yine dört hasar derecesine göre değerlendirilmektedir. Ancak akarsu yatağı, şevler ve sediment taşınımı gibi oyulmada büyük önem arz eden parametreler hiçbir şekilde kontrol edilmemektedir. Düzenli

muayenenin yapılmadığı, hasarların çok kaba bir derecelendirilmeye tabi tutulduğu ve özellikle köprünün bulunduğu akarsu sisteminin bir parçası olduğu göz önüne alınmadan yapılan değerlendirmeler maalesef arzu edilen sonucu vermede yetersiz kalmaktadır. KYS ne kadar gelişmiş olursa olsun sisteme girilecek bilgi çeşidi, sıklığı ve sınıflaması yeterli olmadığı sürece uygulamada önemli bir yararı olamayacaktır. Dolayısıyla KYS'nin başarılı bir şekilde işlevini görebilmesi için sistemin ilişkili olduğu envanterin kapsamlı saha çalışmaları ve gözlemsel muayenelerle desteklenmesi gerekmektedir.

KGM'nin kullanmaya başladığı KYS'nin içeriğinden de görüldüğü üzere muayeneler çoğunlukla yapısal odaklı olup, hidrolik etkenler neredeyse hiç dikkate alınmamaktadır. Bu da akarsu köprülerinde hidrolik etkenler nedeniyle oluşan problemlerin ancak problem başladıktan sonra tespit edilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca sistemin verimli şekilde çalışabilmesi için köprülerin düzenli aralıklarla muayene edilmesi ve hasar seviyesi değerlendirmesine ve derecelendirmesine tabi tutulması gerekmektedir. Bu noktada köprülerle ilgili yukarıda bahsedilen ikinci grup araştırmalar, yani köprülerin yapısal ve işlevsel özelliklerine göre değerlendirildikleri, işletim sırasında maruz kalınan problemlerin tespit edildiği ve uygulamaya yönelik çözüm yöntemlerinin geliştirildiği bölüm büyük önem kazanmaktadır. Çünkü gerek karayolu, demiryolu gerekse akarsu köprüsü olsun tüm köprülere aynı standart envanteri hazırlamak, aynı muayene ve değerlendirmelere tabi tutmak, tüm köprüler için aynı muayene aralıkları belirlemek KYS ne kadar mükemmel olursa olsun bir grup köprü için kaçınılmaz olarak başarısız sonuçlar verebilecektir. Bu nedenle KYS'de özellikle köprü ile ilgili envanter çalışması sırasında işlevine uygun bir güvenlik-değerlendirme yöntemi uygulanmalı, köprü üzerinde etkili olan mekanizmalar ile bunların zaman ve konuma göre etkileri saptanmalı, bunun sonucuna göre köprünün değerlendirilmesi yapılmalıdır.

2.3. Köprü – Akarsu – Zemin İlişkisi

ABD'de akarsu stabilitesi, oyulma vb. konularla ilgili uzun süreli gözlem ve değerlendirmeler ışığında çok detaylı çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde önemli noktalar aşağıda kısa bir şekilde verilmiş olup konu ile ilgili daha detaylı bilgi Richardson ve Davis (2001) kaynağında bulunabilir.

Köprüde oyulma ifadesi ile anlatılmak istenen köprü orta veya kenar ayakları etrafındaki akarsu taban malzemesinin erozyonudur. Bu oyulmalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır;

(1) yerel oyulma: kenar veya orta ayakların akıma karşı gösterdiği engel nedeniyle meydana gelen oyulma türü,

(2) daralma oyulması: köprü açıklıklarının altında ve yakınında meydana gelen ve genellikle akım alanının daralması nedeniyle akarsu tabanının alçalmasına neden olan oyulma türü,

(3) akarsu tabanında aşınma: tüm akarsu tabanı boyunca meydana gelen erozyon anlamına gelip köprünün akarsu üzerinde olup olmamasıyla ilgili değildir.

Akarsu tabanındaki aşınma, matematiksel modeller veya kanal taban değişimine ait uzun yıllara ait verilerle tahmin edilebilir. Birçok alüvyal akarsu 100 yılın üzerinde uzun dönemli aşınmaya maruz kalabilir. Uzun dönem akarsu taban aşınmasını akarsu düzenlemesi ve şehirleşme gibi insan aktiviteleri etkileyebilir. Bu da çoğunlukla akarsu tabanının kararsız olmasına ve oyulmasına neden olmaktadır. Akarsu tabanındaki aşınmayı köprünün bulunduğu yerde kontrol etmek oldukça zordur. Aşınmanın hafifletilmesi için köprünün de bulunduğu tüm akarsu kolu boyunca uygun düzenlemelerin yapılması gerekmektedir (Richardson ve Davis, 2001).

Oyulmaya ek olarak akarsu yatağında yapılan genişletme ve yanal geçişler de köprü temellerini etkileyebilmektedir. Akarsu yatağının genişlemesi veya yanal olarak hareket etmesi durumunda orta ayak temelleri daha sığ olabilir veya kenar ayaklar taşkın yatakları içerisinde kalabilir. Bu işlemler akarsu yatağının aşınmasından daha zor tahmin edilebilen olaylardır (Richardson ve Davis, 2001).

Köprünün bulunduğu bölgede meydana gelecek aşırı birikme de köprünün akımı ve sediment geçirme kapasitesini etkileyebilir. Birikme yani depolanma, bir akarsu memba kesitinden akımla gelen sediment miktarının taşındığı kesitin sediment taşıma kapasitesinden daha büyük olması durumunda meydana gelmekte ve kanalın o kesitinde taşınamayan fazla malzemenin depolanmasına neden olmaktadır. Böylece köprü membaında akım hızları azalmakta ve depolanma oluşmaktadır.

Oyulmada taban malzemesinin özelliklerinin de önemli olduğu unutulmamalıdır. Yani farklı taban malzemesi farklı sürelerde denge oyulma durumuna gelmektedir. Gevşek, taneli

zeminler akım ile hızlı bir şekilde aşınırken, kohezyonlu veya sağlam zeminler oyulmaya karşı daha dirençli olabilmektedir. Ancak kohezyonlu veya sağlam zeminlerdeki nihai oyulma derinlikleri kum tabanlı akarsulardaki kadar derin olabilir. Sabit akım şartlarında oyulma, kum ve çakıl tabanlı yataklarda maksimum oyulma derinliğine saatler içinde ulaşırken, kohezyonlu taban malzemesi olan akarsularda günler, buzulların taşıyıp yığdığı çakıl veya kum ile karışık balçık, kumtaşı ve şist ise aylar, kireçtaşında yıllar ve yoğun granitte yüzyıllar mertebesinde sürebilir. Gerçek bir köprüdeki akım şartları altında olası maksimum oyulmanın meydana gelmesi için bazen şiddetli tek bir taşkın bazen de ardışık birkaç taşkının oluşması yeterli olabilmektedir (Richardson ve Davis, 2001).

Köprü ayaklarındaki oyulmayı etkileyen bir diğer faktör de akarsularda meydana gelen oyulma rejimidir. Hareketli taban oyulması köprü kesitinin memba bölgesinde taban malzemesinde taşınım olması halinde meydana gelen oyulmadır. Yani membadaki tabanda aktif sürüntü yükü taşınımı nedeniyle köprü kesitine membadan katı madde taşınımı 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 maksimum (dengeli) 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).

2.4. Akarsu Dengesini Değerlendirmede Kullanılan Yöntemler

ABD'de Hidrolik Mühendisliği Genelgesi (Hydraulic Engineering Circular 20 - HEC-20), köprü ve menfezlerin bulunduğu bölge civarında akarsu dengesini ve ilgili muhtemel problemleri değerlendirmek için kullanılan bir el kitapçığıdır (Lagasse, Schall ve Richardson, 2001). Değerlendirmede üç aşamalı bir yaklaşım önerilmektedir. Buna göre; (1) jeomorfolojik kavramlar ve niteliksel değerlendirme: bu bölüm akarsu boyutu, akım

davranışı, taban malzemesi, akarsu yatağı konumu, taşkın yatağı ve akarsu kenarında su taşmasına engel olacak set tarifi, aşınma, akarsu sınırları, şev bitki örtüsü, mendereslilik, örgülülük ve birikinti oluşumu gibi özellikleri; (2) hidrolojik, hidrolik ve sediment taşınımı özellikleri ile (3) matematiksel veya fiziksel modelleme çalışmalarını kapsamaktadır. Aşama 1'de yapılan inceleme sonucunda akarsu yatağının düşey veya yanal yönlerde kararsız olduğu sonucuna varılırsa muayeneyi yapan kişinin Aşama 2'ye ve bunun sonucuna göre gerekli olması halinde Aşama 3'e geçmesi öngörülmektedir. Johnson, Gleason ve Hey (1999), Aşama 1'in hızlı bir şekilde yapılabilmesi için jeomorfolojik ve hidrolik göstergelere dayalı bir denge değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntemde 13 nicel ve nitel gösterge sınıflandırılarak ağırlıkları belirlenmiş ve çakıl tabanlı akarsularda kullanılmak üzere bir denge oranı elde edilmiştir. Araştırmacılar, bu yöntemin ABD'de sadece belirli bölgelerde ve sınırlı sayıda köprü gözlemlerinden elde edilmiş olması nedeniyle her bölge ve durum için geçerli olabilecek kadar genel olmadığını ifade etmişlerdir.

Annandale (1994, 1999) nehir kararsızlığını da kapsayan köprünün yıkılma riskini belirleyen iki aşamalı bir yöntem geliştirmiştir. Aşama 1'de hasar tespiti ve hasarları sınıflandırma yöntemi mevcuttur. Hasar değerlendirmesi nehir kararsızlığını, morfolojik değişimler için potansiyeli ve akarsuda köprü gibi yerel değişimlerin yapısal sürekliliğini kapsamaktadır.

Rosgen (2001) sabit bir referans kıyı noktası için akarsu stabilitesini değerlendirerek aynı akarsu tipi için kararsız olan bir akarsu kıyı bölümünde kararlılık koşullarından sapmayı belirlemeye dayalı bir kanal stabilite yöntemi önermiştir. Araştırmacı stabilite değerlendirmesinde 10 adet stabilite bileşeni göz önünde bulundurmuştur. Ölçümü veya tanımı kapsayan adımlar ise (1) durum veya konum sınıfları, (2) düşey stabilitenin bir kesitte en alçak şev yüksekliğinin maksimum doluluk yüksekliğine oranı cinsinden ifadesi, (3) yanal stabilitenin mendereslilik, genişlik oranı ve kıyı erozyonu hasar indeksinin fonksiyonu cinsinden ifadesi, (4) akarsu biçimi, (5) akarsu profili ve taban özellikleri, (6) genişlik-derinlik oranı, (7) oyulma ve kritik kayma gerilmesi cinsinden kesitin tamamen dolu olma potansiyeli, (8) Pfankuch (1979) yönteminin düzenlenmiş halini kullanarak akarsu stabilitesinin değerlendirilmesi, (9) sediment sınıflandırma eğrileri ve (10) akarsu tipi gelişim senaryoları olarak özetlenebilir. Bu çalışma son derece yoğun şekilde veriye dayalı bir değerlendirme yöntemi olduğundan çok zaman alıcı ve kapsamlı veri toplanması zorunluluğu nedeniyle pahalı bir yaklaşımdır.

Montgomery ve MacDonald (2002) teşhise yönelik bir yöntem önermişlerdir. Bu yönteme göre değişkenler tanımlanmış, gözlemler sistemin jeomorfolojik durumunu karakterize edecek şekilde, mevcut durumu ifade eden etkili mekanizmaları belirlemek için değerlendirilmektedir. Gözlemler, bir dizi arazi göstergesine dayanarak hem akarsu tabanı hem de aktif kanalı karakterize etmekte kullanılmıştır. Akarsu taban göstergeleri arasında akarsu eğimi, sınırlanma, sağlamlaştırma, akarsu kıyısında yetişen bitki örtüsü ve kıyıda tortu olup olmadığı, aktif akarsu göstergeleri ise akarsu örneği, kıyı durumu, çakıl birikintileri, gölcük karakteristikleri ve taban malzemesi olarak alınmıştır.

Johnson (2005), Johnson ve diğerleri (1999) tarafından önerilmiş olan modeli düzenleyerek yeni gözlemler ve akarsu stabilitesini karakterize edecek yeni göstergeler eklemiş ve yeni bir akarsu stabilitesi değerlendirme yöntemi geliştirmiştir. Johnson, geliştirdiği yeni yönteminde akarsu dengesi için Knox'un (1976) tanımını kullanmıştır. Bu tanıma göre bir köprü civarındaki kararlı akarsuda jeomorfolojik yöntem ve biçim arasında bir ilişki olduğu ve sistemin morfolojisinin köprünün belirli mesafe memba ve mansap yönlerinde minimum yanal harekete göre nispeten sabit kaldığı kabul edilmektedir. Araştırmacının geliştirmiş olduğu yöntem Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Johnson ve Niezgoda (2004), çalışmalarında köprü yıkılma biçimlerini ve izlenim analizlerini kullanarak proje aşamasında oyulmaya karşı alınan önlemlerin seçiminde nisbi riski belirlemek için sistematik bir teknik kullanmışlardır. Derecelendirmeler daha sonra alınan önlemin başarısızlığına engel olmak ve köprüyü yeterli şekilde korumak için gerekli hassasiyetin gösterileceği proje elemanlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu bilgi, alınması gereken uygun önlemleri ve karar verilmesi için gerekli değerlendirmeyi sağlamaya yöneliktir. Köprü yıkılma biçimleri ve izlenim analizleri cazip bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Çünkü araştırmacılar yöntemde riski, yıkılmanın sonuçları, bir bileşenin yıkılma olasılığı ve yıkılmayı ortaya çıkarmadaki zorluk seviyesi cinsinden ifade etmişlerdir.

Johnson ve Whittington (2011), köprü temellerinde yetersiz şartlara ait nispi riski, tehlikeye açıklık ve kritiklik kavramlarının bir fonksiyonu olarak değerlendirmiştir. Tehlikeye açıklık ve kritiklik, NBIS'den doğrudan veya dolaylı olarak edilen parametrelerdir. Daha sonra nispi risk, tehlikeye açıklık ve kritiklik değerlerinin birleştirilmesiyle niteliksel olarak saptanmıştır. Söz konusu yöntem merkezi Pennsylvanya'da bulunan üç köprüye

uygulayarak Aşama 1'de köprülerin zayıflığını tespit edebilen ve daha detaylı analiz için Aşama 2'ye geçiş kriterlerini belirleyebilen göstergeler test edilmiştir.

Çizelge 2.2. Johnson'ın (2005) önerdiği stabilite göstergeleri, tanımları ve sınıflandırmaları

Denge Göstergesi	Sınıflandırma			
	Mükemmel (1-3)	İyi (4-6)	Vasat (7-9)	Zayıf (10-12)
1. Havza ve taşkın yatağı hareketi ve özellikleri	Dengeli, ormanlı, bozulmamış havza	Havzada nadiren küçük bozulmalar (konumsal ve/veya geçici), büyükbaş hayvanların bulunması, yapım, tomruk işleri, veya diğer küçük ölçekli orman açma, sınırlı tarımsal faaliyet	Havzada sık bozulmalar (konumsal ve/veya geçici) büyükbaş hayvanların bulunması, heyelan, kum ve çakıl ocağı işletilmesi, orman açma, çiftçilik, binaların, yolların vb. yapılması, havzanın büyük bölümünde şehirleşme	Havzada sürekli bozulmalar (konumsal ve/veya geçici) ciddi büyükbaş hayvan hareketi, heyelan, kum ve çakıl ocağı işletilmesi, orman açma, çiftçilik, binaların, yolların vb. yapılması, ciddi ve hızlı şehirleşme
2. Akım alışkanlığı	Göze çarpan bir davranışı olmayan sürekli akarsu	Sürekli akarsu veya çok az taşkın değeri artmış kısa süreli birinci derece akarsu	Sürekli veya göze çarpan bir davranışı olan aralıklarla akan akarsu	Son derece göze çarpan; şiddetli taşkınlara sık rastlanılan birinci-derece akarsu hariç kısa ömürlü akarsu
3. Akarsu düzeni	Doğrusal (düzenlenmemiş) ile küçük eğrilik yarıçapına sahip menderesli akarsular; başlıca askıda sediment	Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı; askıda ve taban yükü karışık; iyi şekilde korunmuş düzenlenmiş akarsu yatağı	Biraz örgülenmiş menderesli; kıvrımlı mendereslilik; esasen taban yükü; zayıf şekilde korunmuş düzenlenmiş akarsu yatağı	Örgülü; esasen taban yükü; korunmamış düzenlenmiş akarsu yatağı
4.Sağlamlaştırma/kanal sınırlandırması	Kıyının üstünde faal olan taşkın yatakları var; altyapının alttan kesildiğine ait işaret yok; set yok	Faal taşkın yatağı terkedilmiş; fakat yeniden yapılmış; minimum kanal sınırlanması, altyapı açığa çıkmamış; setler alçak ve nehirden uzakta konumlanmış	Akarsu yatak ve duvarlarında makul sınırlanma; altyapının az miktar açığa çıkması; teraslar mevcut; taşkın yatağı terkedilmiş, setler makul boyutta ve nehirden asgari geride inşa edilmiş	Mansapta ani değişimler görülüyor; açığa çıkmış su yoları veya diğer altyapılar; küçük kanal genişliği/kıyı üst genişliği oranı; derinlikce sınırlı; faal taşkın yatağı yok; setler akarsu kenarı boyunca ve yüksek
5. Taban malzemesi; Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı	Çeşitli büyüklüklerde sıkıca paketlenmiş; örtüşen ve muhtemelen üst üste konmuş; malzemenin çoğu >4mm; Fs < %20	Bir miktar örtüşen makul derecede sıkı; çok küçük miktarlardaki malzeme < 4mm; 20 < Fs < %50	Görünüşte örtüşme olmayan gevşek karışım; küçük-orta miktar arasında malzeme < 4mm; 50 < Fs < %70	Sıkılaşmamış çok gevşek karışım; büyük miktarlardaki malzeme < 4mm; Fs > %70
6. Birikinti oluşumu w=akarsu genişliği y=akım derinliği	S<0,02 ve w/y>12 için birikinti gelişmiş, düşük akımda akarsu genişliğine göre dar; iyi derecede bitki örtüsüne sahip ve kaba çakıl ile yuvarlak kaya parçasından oluşmuş; S>0,02 ve w/y<12 için birikinti söz konusu değil	S<0,02 ve w/y>12 için, birikintilerde bitki örtüsü olabilir ve/veya kaba çakıldan, yuvarlak kaya parçalarından oluşmuş olabilirler; fakat asgari son zamanlarda birikintilerde büyüme olmalı bu da bu kısımlarda bitki örtüsünün olmayışıyla anlaşılabilir; S>0,02 ve w/y<12 için birikinti yoktur	S<0,02 ve w/y>12 için birikinti genişliği geniş ve yeni birikmiş kaba kumdan küçük kaya parçacıklarından oluşmuş ve/veya seyrek bitki örtülü; birikintiler S>0,02 ve w/y<12 için oluşuyor	Düşük akımlarda birikinti genişliği genellikle akarsu genişliğinin yarısından büyüktür; birikintiler ince parçacıklardan kaba çakıla kadar hiç veya çok az bitki örtüsünden oluşmuştur; S<0,02 ve w/y>12 için birikinti yoktur
7. Engeller, kaya tabanın açığa çıkması, zırh tabakası, debris sıkışması, sınıf kontrolü, köprü taban döşemesi, duvar ve kanal, riprap	Çok nadir ve mevcut değil	Ara sıra, çapraz dalgalara, küçük kıyı ve taban erozyonuna neden oluyor	Az, çok sık ve ara sıra dengesiz engeller akarsuda fark edilir erozyona neden olur; engeller arkasında önemli derecede sediment birikimi	Sık sık ve çoğu kez dengesiz, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olur; kapanlar kolayca dolar, bu da akarsuyun yer değiştirmesine ve/veya genişlemesine neden olur

Çizelge 2.2. (devam) Johnson'ın (2005) önerdiği stabilite göstergeleri, tanımları ve sınıflandırmaları

Denge Göstergesi	Sınıflandırma			
	Mükemmel (1-3)	İyi (4-6)	Vasat (7-9)	Zayıf (10-12)
8. Kıyı toprak yapısı ve yapışkanlığı	Kil ve siltli kil; kohezyonlu malzeme	İçinde organik maddeler olan kil ile kumlu killi toprak; küçük miktarlarda kohezyonlu olmayan veya konsolide olmamış karışımlar; tabakalar olabilir fakat kohezyonlu malzeme	Kumlu kil ile içinde organik maddeler olan kumlu toprak; buzsu veya diğer malzemelerin konsolide olmamış karışımları; küçük tabakalar veya mercekler halinde kohezyonlu olmayan veya konsolide olmamış karışımlar	İçinde organik maddeler olan kum ile kum arasında; buzlu veya diğer malzemelerin konsolide olmamış karışımı; kohezyonlu olmayan kum ve çakıl içeren tabakalar veya mercekler
9. Kıyı şev açısı (90° düşey şev)	Şev eğimleri <3H:1V (18°) kohezyonlu olmayan veya konsolide olmamış malzemeler için; < 1:1 (45°) her iki tarafta kil	Şev eğimleri 2H:1V (27°) kohezyonlu olmayan veya konsolide olmamış malzemeler ile 0.8:1 (50°) bir veya her sıra her iki şevde kil	Şev eğimleri genellikle dik: 1H:1V (45°) kadar kohezyonlu olmayan veya konsolide olmamış malzemeler ile yaygın olarak bir veya her iki şevde 0,6 H:1V (60°) kil	Şev eğimleri sürekli 45° nin üstünde dik kohezif olmayan veya konsolide olmamış malzeme veya genellikle bir veya her iki şev üzerinde kil olması halinde 60° den fazla
10. Bitki örtüsü veya düzenlenmiş şev koruması	En az %90 yoğunluklu geniş ağaçlı bitki örtüsü; öncelikle sert ağaç, yapraklı, yapraklarını döken olgun ağaçlar; şevlerde sağlıklı ve çeşitli bitki örtüsü; düşey konumlanmış ağaçsı bitki örtüsü; bitki örtüsü olmadığında her iki şevde kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı	%70-90 arasında orta genişlikte ağaçsı bitki örtüsü; sert odunun çoğunluğu yapraklı, olgunlaşmış yapraklarını döken şevde konumlanmış çeşitli bitki örtüsü; ağaçsı bitki örtüsü asgari kökün görünmesi durumunda yataydan 80-90°de konumlanmış; kısmı kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama	%50-70 oranda küçük genişlikli ağaçsı bitki örtüsü; çoğu yumuşak odun, şevin en üstünde veya yakınında konumlanmış, çeşitliliği az genç veya yaşlı bitki örtüsü olan çam, iğne yapraklı ağaçlar; yataydan 70-80° de konumlanmış ağaçsı bitki örtüsü, sıklıkla kökleri açıkta, şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir	Ağaçsı bitki örtüsü şeridi yaşa ve durumlarına göre değişebilir, %50den daha az bitki örtüsü; çok genç, yaşlı ve ölmek üzere olan ve/veya tek başına şevlerin kapalı kısımlarında konumlanmış başlıca yumuşak ağaç, çam, iğne yapraklılar; yatayla 70° den daha azda konumlanmış ağaçsı bitki örtüsü ile yaygın şekilde köklerin açıkta oluşu; şevlerde kaplama veya zırhlama yok
11. Şev kesimi	Az veya belirsiz; tüm şeve göre önemsiz oranda nadiren işlenmemiş şevler	Akarsu kıvrımları boyunca ve belirgin dar bölgelerde bir miktar aralıklarla; işlenmemiş şevler düşey yönde şevin küçük bir bölümünü kapsar	Her iki şevde önemli ve sık sık; işlenmemiş şevlerde düşey yönde şevin büyük bir bölümünü kapsar; köklerden oluşmuş hasırlı yapı sarkar	Her iki şevde neredeyse sürekli kesikler; bir miktarı şevin büyük bölümüne kadar uzanır; alttan kesilmiş kısım ve ince çimensi kökler sarkar
12. Kütle azalması veya şev göçmesi	Çok küçük miktarlarda veya hiç veya çok az potansiyelli kütle zayıflaması; tüm kıyı boyunca üniform kanal genişliği	Nadir ve/veya küçük kütle kaybına ait belirti; çoğunlukla bitki örtüsü yardımıyla düzelmiş; nispeten sabit akarsu genişliği ve şevlerin asgari tarak kabuğu şeklinde olması	Yüksek akımlarla şiddetlenmiş sık ve/veya önemli kütle kaybı oluşumları, bunlar da dengesiz şevlerin altını oyabilir ve kütle kaybına neden olabilir; kanal genişliği oldukça düzensiz ve şevlerde tarak kabuğu şekli oluşumu belirli	Sık ve geniş kütle kaybı; şev göçmesi potansiyeli var; buna gerilme çatlakları, büyük alttan oyulmalar ve şevlerde toprak kayması önemli; akarsu genişliği oldukça düzensiz ve şevler tarak kabuğu şeklinde
13. Köprüden menderes etki noktasına membadan olan mesafe ve konumlanma	35 m'den daha fazla; köprü akarsu ile iyi konumlanmış	20 - 35 m; köprü akımla konumlanmış	10 - 20 m; köprü akıma paralel değil, eğri veya akım hizası köprünün altında bir şekilde merkezlenmiş değil	10 m'den daha az; köprü akımla zayıf bir şekilde konumlanmış

Buna göre riskle ilgili faktörleri sistematik olarak belgelendiren ve akarsu denge durumuna göre Aşama 2'ye geçiş için değerlendirme sağlayan bir çalışma yapılmıştır. Yapılan analizler ortalama günlük trafik (Average Daily Traffic-ADT) değerinin, nispeten uzun servis yolu uzunluğu ve dengesiz akarsu için nispeten yüksek risk vereceğini ve böylece Aşama 2'deki analiz için ilgi uyandıran bir sav oluşturacağını ortaya koymuştur.

Johnson, Clopper, Zevenbergen ve Lagasse (2015) akarsu üzerinde bulunan geçişlerde köprü orta ayak, kenar ayak, daralma ve toplam oyulmayı hesaplamak için kullanılabilecek bir risk – güvenilirlik tabanlı bir yöntem geliştirmiştir. Bu şekilde oyulma tahminleri bir olasılıkla ilişkilendirilmiştir.

Ashraf ve Johnson (2016), köprülerin göçme modlarıyla ilgili risk öncelik sayıları sınırlarını aşan ve oyulmaya karşı önlem yapılarının bağıl göçme risk modlarının değerlendirilmesi amacıyla bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri yaklaşımın köprülerin oyulmaya karşı yapılan önlem yapılarının risklerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için uygun bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz, Banerjee ve Johnson (2016), Kaliforniya'da bulunan köprülerin taşkın ve deprem gibi birden fazla afete maruz kalması durumundaki performanslarını incelemişlerdir. Taşkın olayının gerçekleşmesi durumunda köprünün hasar görme riskinin ve sismik hassasiyetinin özelliklerine bağlı olarak arttığını ortaya koymuşlardır.

Bones, Garrow ve Sturm (2017), zemin grup sınıflandırmasına göre kritik kayma gerilmesi ile ilişkilendirilen bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımı ABD'nin Georgia Eyaletinde bulunan kırk köprüye uygulayarak zemin özelliklerinin köprü göçmesi ile ilgili beklenen finansal kayıpları nasıl değiştirdiğini incelemişlerdir.

Türkiye'de Yanmaz ve Apaydın (2012), HYRISK kullanarak Fol I Köprüsünün yıllık oyulma riskini farklı tekerrürde debileri ve bunlara tekabül eden oyulma kritikliğini kullanarak incelemişlerdir. Meydana gelecek oyulmaya karşı yapılacak önlemlerin maliyetlerini inceleyerek etkili önlemle ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Köprülerin güvenliği açısından akarsu yatağındaki değişimlerle meydana gelen oyulmaların belirlenecek bir program çerçevesinde gözlemlenmesi ve takip edilmesi gerekmektedir.

Buna göre tüm akarsu köprülerinin oyulma riski düşük, orta veya kritik olup olmadığına bakılmaksızın takip altında tutulması gerekmektedir. Birçok ülkede, özellikle ABD'de köprüler oyulmaya karşı düzenli gözlem altında tutulmaktadır. Yapılan saha çalışmalarında mevcut şartlar, hidrolojik ve hidrolik etkenler değerlendirilerek daha sonra oluşabilecek taşkın durumlarında olası problemlerin belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması sağlanmaya çalışılmaktadır.

ABD'de oyulma ve akarsu stabilitesine karşı muayene ve değerlendirmelerde tüm akarsu köprüleri beş gruba ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla (1) düşük oyulma riski, (2) muhtemel oyulma, (3) kritik oyulma, (4) bilinmeyen temel ve (5) gel-git'tir. Öncelikle oyulma nedeniyle yıkılma riski bulunan köprüler ivedilikle incelenmektedir. Köprü ayaklarında oyulma meydana gelmiş veya oyulma riski bulunan, tabanı oyulmaya müsait akarsu üzerinde olan, temellerinde kısa kazıklar bulunan, köprü açıklıkları yetersiz veya çok çalı-çırpı tutan köprüler muhtemel oyulmaya maruz köprüler olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca akarsu yatağının morfolojik yapısı, aktif oyulma veya akarsu şevlerinde erozyon olup olmaması, yanal hareket, büyük akarsu taban eğimleri veya akım hızları da önemli göstergeler olarak kullanılmaktadır. Köprü yakınlarında akarsuda kum ve çakıl veya benzeri malzeme alımları da oyulmaya neden olmaktadır. Ayrıca akarsu kesişimlerine yakın yerlerde bulunan köprülerde özellikle akarsu kollarının daha büyük akarsuyla birleştiği yere yakın olmaları halinde keskin mendereslerde veya alüvyon bölümlerde bulunan köprüler de risk altındadır. Köprüler değerlendirilirken temeli ile ilgili herhangi bir bilgi olmaması durumunda hasar görme veya yıkılma olasılığının yanı sıra köprünün bulunduğu karayolu sınıfı, köprünün yıkılması durumunda halkın güvenli seyahati ve tüm bölgenin ulaşım durumunun nasıl etkileneceği de göz önüne alınarak karar verilmektedir (Richardson ve Davis, 2001).

ABD'de ilgili saha çalışmaları hidrolik, geoteknik ve yapı dallarında uzmanlaşmış mühendislerce gerçekleştirilmektedir. Köprünün temeli olası 100 yıl tekerrürden daha büyük bir taşkının olması durumu için düşey ve yanal güvenirlik açısından incelenmektedir. Böylece mevcut köprü temelinin dayanabileceği maksimum oyulma derinliği ile toplam oyulma derinliği karşılaştırılmakta, buna göre köprünün oyulmaya karşı kritik olup olmadığı belirlenmektedir. Oyulmaya karşı kritik durumda olduğu belirlenen köprülerde alınacak önlemler için bir eylem planı hazırlanmaktadır. Bunun başında köprünün durumunun gözlemlenmesi ve gerekli görülmesi durumunda taşkın sırasında veya sonrasında trafiğe kapatılması bulunmaktadır. Oyulma değerlendirme çalışmasının amaçları tüm köprülerin

oyulma açısından değerlendirilmesi, köprü temelinin oyulmaya karşı riskli olup olmadığının belirlenmesi ve oyulmaya karşı köprünün güvenli olması için gerekli önlemlerin alınması olarak sıralanabilir. Alınabilecek önlemler arasında köprünün yüksek su seviyelerinde trafiğe kapatılması ve köprülerin taşkınlar sonrasında incelenmesi bulunmaktadır (Richardson ve Davis, 2001).

Oyulma açısından köprülerin muayenesinden hedeflenen, köprü ve akarsuyun mevcut durumunu tam olarak saptamak ve daha sonraki muayene ve değerlendirmeler için oyulma ve akarsu yatağı stabilitesi açısından muhtemel problemleri işaret eden durumları tespit etmektir. Bu hedeflerin başarılabilmesi için muayeneyi yapan görevlilerin köprü, akarsu ve taşkın yatağı arasındaki ilişkiyi bilmesi ve anlaması gerekmektedir. Ayrıca muayenelerde detaylı gözlemlerin yerinde yapılacak ölçümlerle desteklenmesi gerekmektedir. Yapılacak değerlendirmede öznellik, tetkiki yapan kişiye bağlı olarak kaçınılmazdır (Abudayyeh, Bataineh ve Abdel-Qader, 2004). Değerlendirmedeki tutarsızlıklar farklı kişiler yanında aynı kişideki günlük değişimlerden de etkilenebilmektedir. İnsan kaynaklı hataların asgariye indirgenmesi veya önlenmesi için değerlendirmeler büyük bir titizlikle yapılmalı, parametreler mümkün olduğunca objektif olmalı ve değerlendirme deneyimli bir ekip tarafından gerçekleştirilmelidir (Caner, Yanmaz ve Berk, 2006).

Köprü muayenesinde akarsu yatağı kesitleri arasında farklılıklar varsa bunlar incelenmeli, bu kesitlerin aynı olup olmadığına ve oyulma veya depolanmanın yanal olarak hareket edip etmediğine bakılmalıdır. Köprü orta ve kenar ayaklarında oyulmanın olup olmadığı incelenmelidir. Bölgeye ait hava fotoğrafları varsa akarsu yatağında yer değiştirme olup olmadığı da incelenmelidir. Ayrıca akarsu tabanı yüzeyinin hemen altındaki zemin durumuna bakılmalıdır. Köprünün oyulma yönünden incelenmesi için alınmış önlemler varsa bunlar ve akarsu yatağı dikkatli bir şekilde incelenmelidir. İnceleme sırasında göz önünde bulundurulması gerekenler:

(1) Akarsu şevlerinde ve tabanında oyulma veya depolanma olup olmadığı,
(2) Köprü yakınında faaliyette olan çakıl veya kum ocağı olup olmadığı,
(3) Diğer akarsu kolları ile birleşme olup olmadığı,
(4) Akarsuyun büyük miktarlarda sediment taşıdığını gösteren kanıt olup olmadığı,
(5) Gelen atık parçaların köprüde asılı kalıp çevrinti yaratarak oyulmaya neden olma olasılığının olup olmadığı,

(6) Köprüye memba veya mansaptan bakılarak fotoğraflarının çekilmesi ve bunların yardımıyla kenar ve orta ayağa akımın herhangi bir açıyla gelip gelmediğinin belirlenmesi olarak özetlenebilir (Richardson ve Davis, 2001).

2.5. Köprülerin Oyulma Potansiyellerinin Değerlendirilmesi

ABD'de köprü muayenesi sırasında Çizelge 2.3.'te verilen kriterler yardımıyla bir akarsu köprüsünün oyulmaya karşı durumunun değerlendirilmesi yapılmaktadır (Richardson ve Davis, 2001). Köprülerin bakım, yönetim ve işletilmesi sistematik denetleme ve durum değerlendirmesine bağlıdır. Ancak, sadece gözle yapılacak muayene ile doğru bir şekilde değişen mekanizmaları değerlendirmek zordur. Düzenli değerlendirme çok zor ve önemli bir iş olup ilgili mühendisin deneyimli, dikkatli ve güvenilir olmasını gerektirmektedir (Wardhana ve Hadipriono, 2003). Bu nedenle Türkiye'de de öncelikle hizmete açık olan köprülerin hizmete açıldıktan sonra belirlenecek aralıklarda uzman bir ekip tarafından mutlaka güvenlik-değerlendirme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Böylece akarsu havzasında, akarsu akım ve rejiminde, köprünün hemen memba ve mansabında meydana gelen hidrolik değişimler başta olmak üzere hidrolojik, yapısal, zemin ve taşıdığı trafikle ilgili durum tespiti yapılarak veriler kayıt altına alınmalı ve bir veri bankası oluşturulmalıdır.

Çizelge 2.3. Köprülerde oyulma potansiyelinin değerlendirilmesi (Richardson ve Davis, 2001)

1	Akarsu Şevleri	Kararlı: Doğal bitki örtüsü, riprap, gabyonlar, kanal stabilizasyonu için setler
		Kararsız: Yanal hareket, şevlerde su birikintileri, kanal stabilizasyonu için alınan önlemlerde tahribat
2	Ana yatak	İyi yaklaşım akım koşullarına sahip temiz ve engelsiz veya menderesli veya örgülenmiş
		Akımı etkileyebilecek adacıkların, engellerin, atıkların varlığı
		Köprüye göre akarsuyun yatak değiştirmesi
		Akımın göllenme yapması
3	Taşkın Yatağı	Taşkın yatağında önemli akımın bulunması
		Taşkın yatağı akım yapısı
4	Döküntü atıklar	Memba tarafında suda atık parçaların olması
5	Diğer özellikler	Memba akarsu kollarının, köprülerin, barajların ve diğer etkileyici unsurların mevcudiyeti

Çizelge 2.3. (devam) Köprülerde oyulma potansiyelinin değerlendirilmesi (Richardson ve Davis, 2001)

6	Altyapı	Orta ayaklarda oyulma var mı?
		Yolda araçların geçtiği yaklaşım kısmında oyulma göstergesi var mı? (memba veya mansap)
		Kazık, kazık başlığı veya ayaklar açıkta mı ?
		Orta veya kenar ayaklarda döküntü parçaları var mı?
		Eğer ayaklar etrafına riprap döşenmişse, halen yerlerinde duruyorlar mı?
7	Üst yapı	Taşkın suyunun köprünün üzerinden aştığına dair kanıt var mı?
		Taşkın akımına karşı engel mi?
		Üstyapı, örneğin temel hareketiyle çökmeye karşı savunmasız mıdır?
8	Kanal koruması ve oyulmaya karşı alınan önlemler	Riprap (Riprap uygun bir şekilde akarsu tabanına yerleştirildi mi? yoksa altı boşaldı ve akım tarafından alıp götürüldü mü? Riprap orta ayak koruması yerinde mi? Görülebiliyor mu? Yoksa yerinden taşınmış ve taban malzemesi mi doldu?
		Yaklaşım (gido) duvarları ve mahmuzlar yerlerinde mi? Erozyon veya oyulma nedeniyle tahrip oldular mı?
		Akarsu ve akarsu tabanı (Ana akım orta veya kenar ayaklara bir açıyla çarpıyor mu? Akarsu tabanında veya şevlerinde özellikle hemen yakındaki ayaklara yakın bölümlerde oyulma var mı?
		Akarsu kesitinde ölçüm değerlerinde değişiklik var mı?
9	Akım alanı	Akım alanı akarsu yatağı ve taşkın yatağına göre daha küçük görünüyor mu?
		Köprünün olduğu kesitte akarsu tabanının büyük bölümünde oyulma var mı? Akım, tepecikler, bitki örtüsü veya döküntü parçalarıyla engelleniyor mu? Bu durum akımın belli bölgelere yönelmesine neden oluyor mu? Ayaklara saldırmasına neden oluyor mu?
10	Kıyı şevleri	Kararlı: Doğal bitki örtüsü, ağaçlar, şev stabilizasyonu için riprap, pere, gabyon, akarsu stabilizasyonu için set (mahmuz vb.) gibi önlemler mevcut
		Kararsız: Şevlerde su birikintisi, balçık, altının boşalması, yanal hareket, akarsu stabilizasyonu için alınan önlemlerde hasarlar
11	Ana yatak	Temiz ve engelsiz, iyi durumda akım geçiş yolu mu yoksa menderesli veya örgülenmiş adacık, birikmiş döküntü veya engellerle akım geciktirilip engelleniyor mu?
		Akarsu tabanında alçalma (oyulma) veya yükselme (birikme) var mı?
		Köprüye göre akarsu yatağında hareket var mı?
		Aşırı taban oyulması var mı?
12	Taşkın yatağı	Açık ve temiz, akım yumuşak bir şekilde ana yatağa dönüyor mu? Yoksa seddelerle, ağaçlarla, birikmiş atıklarla veya diğer nesnelerle engellenmiş veya tıkanmış mı?
		Mansap türbülansı nedeniyle oyulma ve erozyon var mı?

3. ARAZİ ÇALIŞMASI

3.1. Genel

Çalışma kapsamında saha çalışmaları için Batı Karadeniz Bölgesi'nin yer aldığı Kastamonu KGM 15. Bölge pilot bölge olarak seçilmiştir. Saha çalışmaları sırasında bölgede bulunan birçok akarsu köprüsünde gözlem ve inceleme yapılmış, bunlar arasından seçilmiş, detayları Çizelge 3.1.'de verilmiş olan beş akarsu köprüsünde detaylı muayene ve güvenlik-değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Böylece söz konusu köprülerin yapısal muayenesi, akarsu yatağı stabilitesi, şev yapısı ve köprü ayaklarının incelenmesi, akarsu ile akım özelliklerinin gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince Çizelge 3.2.'de verilen tarihlerde çalışma sahasındaki akarsu köprülerinin incelenmesi, seçilmiş olan köprülerin muayenesi ve güvenlik-değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarında yapılan muayene ve gözlemlerle akarsu köprülerinin maruz kaldığı etkilerin belirlenmesi ve mevcut uygulamanın incelenmesi hedeflenmiş, KGM tarafından uygulanabilecek, ekonomik bir güvenlik-değerlendirme yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada akarsu şevlerinde ve yatağında bitki örtüsü veya sediment bantlarının oluşup oluşmadığı, köprünün memba ve mansabında köprü hidroliğini etkileyecek herhangi bir oluşumun (örneğin kum ocağı), akarsu yatağında veya köprü açıklığında yer değiştirmelere veya değişimlere neden olabilecek etkilerin olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen köprüler betonarme köprü olduklarından betonun kalitesi ve dayanımı için Kastamonu 15. Bölge Müdürlüğü'nce gerekli dayanım testleri yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında pilot bölgede incelenen köprüler

Köprü adı	Konumu	İli	Yolu	Akarsu Adı	Köprünün Cinsi
Bartın I	41°37′24.47″K 32°20′00.42″D	Bartın	Safranbolu - Çaycuma	Gökırmak	Betonarme – Basit Kiriş
Bartın III	41°38′28.62″K 32°21′20.60″D	Bartın	Bartın - Amasra	Kocanaz Çayı	Betonarme – Basit Kiriş
Gökçebey (Tefen)	41°18′25.90″K 32°07′34.80″D	Zonguldak	Devrek – Gökçebey - Çaycuma	Yenice Irmağı	Betonarme – Gerber kiriş
Filyos V	41°12′06.89″K 32°22′35.19″D	Karabük	Karabük - Yenice	Yenice Irmağı	Betonarme – Basit Kiriş
Çatalzeytin	41°57′10.59″K 34°13′39.69″D	Kastamonu	Çatalzeytin - Türkeli	Akçay	Betonarme – Gerber kiriş

Çizelge 3.2. 01/11/2014 – 31/10/2017 tarihleri arasında yapılan saha çalışmaları

Çalışma No	Saha Çalışması İçeriği	Başlama tarihi	Bitiş tarihi
1	Genel muayene ve gözlem	24/12/2014	30/12/2014
2	Genel muayene ve gözlem	25/052015	05/06/2015
3	Genel muayene ve gözlem	10/08/2015	16/08/2015
4	Genel muayene ve gözlem	02/10/2015	10/10/2015
5	Genel muayene ve gözlem	01/02/2016	06/02/2016
6	Genel muayene ve gözlem	07/04/2016	15/04/2016
7	Genel muayene ve gözlem	04/08/2016	15/08/2016
8	Genel muayene ve gözlem	26/04/2017	01/05/2017
9	Genel muayene ve gözlem	04/08/2017	15/08/2017
10	Genel muayene ve gözlem	06/10/2017	12/10/2017

Saha çalışmaları sırasında köprünün taşıdığı trafik ve yoğunluğu ile ilgili olarak da gözlemler yapılmıştır. Bu gözlemler sonucunda her beş köprüde de değişen ekonomik ve çevresel nedenlerle köprünün kullanım süresinde trafik yoğunluğu ve tipinde önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Çalışma Kapsamındaki Akarsu Köprüleri

3.2.1. Filyos V Köprüsü

Filyos V Köprüsü, KGM 15. Bölge'ye bağlı Karabük il sınırları içerisinde Karabük-Yenice yolu üzerinde yer alan, gidiş-geliş olmak üzere iki şeritli çift yönlü bir akarsu köprüsüdür (Resim 3.1.). Köprü, Filyos Çayı üzerinde 1990 yılında inşa edilmiş, betonarme, dört açıklıklı, L=(4 x 20,0) m uzunluğunda basit kirişli, iki kenar ve üçlü kolon-kazıktan oluşan çerçeve şeklinde üç adet orta ayağa sahip bir köprüdür. Mesnetler arasındaki en uzun açıklık 20 m olup, betonarme kirişli döşeme ve ayak yapısına sahiptir. Köprü verevliği, yani köprünün akarsuyla yaptığı açı 45°'dir. Köprünün yük sınıfı H_{20} - S_{16}'dır. Projede köprü talveg kotu 136 ± 0,5, en yüksek su seviyesi 140,50, en alçak su seviyesi 137,30, üst platform enine yönde %1,0 dever ve boyuna yönde %0,076 eğimle projelendirilmiştir. Köprünün projelendirilme aşamasında yapılan sondaj çalışmalarında zeminin kum-çakıl, iri çakıl, az moloz kalkerden meydana geldiği saptanmıştır. Köprü ayakları temel taban kotu, ayakların sondaj kesitlerinde görülen kalker ve kum ile çakıl tabakasına oturtulmuştur. Köprü üst

yapısında demir korkuluk, betonarme bordür, bitüm esaslı genleşme derzleri ve PVC drenaj boruları (garguy) bulunmaktadır.



Resim 3.1. Filyos V Köprüsü genel görünüş (Mayıs, 2015)

Köprü membaında akarsu sol şevi ağaçlık ve çok sert eğimli olup, bu yönde dağ yolu ve ormanlık dağ bölgesi yer almaktadır. Karşı şev ise daha alçak, yumuşak eğimli, daha seyrek ağaç gövdesi ve daha ziyade ince gövdeli çalı-çırpı ile kaplı olup, yanından Karabük-Zonguldak karayolu geçmektedir. Köprü mansabında sol sahil daha alçak şevlerden oluşup yine ağaç ve bitki örtüsüyle kaplıdır. Sağ sahilde ise taşkın yatağı bulunmaktadır. Bölge coğrafi yapısı gereği çok engebeli araziye ve çok yoğun ormanlık alanlara sahiptir. Bölge ormanlarında standartların çok üzerinde boy ve çapa ulaşmış anıt ağaçlar ve çok miktarda ağaç türü bulunmaktadır. Bu nedenle bu bölge Türkiye'de ağaç ve yan ürünlerinin üretimi ve taşınması açısından ilklerde yer almaktadır. Dolayısıyla uzun vadede bu orman yapısında meydana gelebilecek ciddi bir değişikliğin havzanın yağış-akış ilişkisini etkileyeceği düşünülmektedir. Bununla birlikte akarsu yatağı etrafı yüksek dağlarla çevrilidir. Bu nedenle bölge kış mevsiminde yoğun kar yağışı almaktadır. Özellikle son yıllarda daha hissedilir olan iklim değişikliği nedeniyle karların hızlı bir şekilde erimesi sonucunda ani taşkın olaylarının yaşanma olasılığı artmıştır. Örneğin Ocak 2016 döneminde hava sıcaklığının

hızla artması ve yağmur nedeniyle karlar hızlı bir şekilde erimiş, Karabük ve Bartın'da çeşitli yerlerde ani taşkın olayları neticesinde ana yollarda heyelan ve alt yapıda ciddi zararlar meydana gelmiştir.

Köprü mansabı kıyı bölgesinde küçük ağaç ve çalılıkla kaplı, tabanında iri çakıl, kaya ve çok ince malzeme bulunan bir taşkın yatağı meydana gelmiştir. Taşkın durumunda akarsuyun yatağından taşarak 50-100 m içerilere kadar yükseldiği bölge halkından öğrenilmiştir. Resim 3.2.'den görüleceği üzere köprü mansabında askıdaki sedimentin birikmesiyle kum bantları oluşmuş, bu bölgede akarsu yatağı neredeyse örgülenmiştir. Akarsu tabanında ise iri çakıl ve kaya parçaları vardır. Köprü membaında bulunan Filyos Enerji'ye ait Yalnızca Hidroelektrik Santrali'nin (HES) yağışın az olduğu yaz aylarında su tutması nedeniyle öğle saatlerine kadar akarsu debisinin en düşük seviyede olduğu ve suyun akarsu yatağına bırakılmasıyla normal debisine kavuştuğu görülmüştür. Muayene sırasında su seviyesindeki alçalmayla köprü ayaklarında takılmış olan büyük ağaç gövdeleri de rahatlıkla görülebilmiştir (Resim 3.3.). Köprü membaındaki HES'in hem sedimenti tutması nedeniyle doğal akarsu yatağı dengesini etkilediği hem de akarsu debisindeki değişimler nedeniyle köprü ayaklarında oyulmalara neden olduğu düşünülmektedir. Ancak bu durumun tespiti için çok daha uzun gözlem sürelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Köprüde Mayıs 1998 tarihinde köprü orta ayaklarının birinde 65 cm'lik oturma olduğu tespit edilmiş ve Temmuz 1998'de köprü kaldırılarak eski haline getirilmiştir (Resim 3.3.). Bununla birlikte orta ayaklar etrafına kaya tahkimatlar yerleştirilerek oyulmaya karşı önlem alınmaya çalışılmıştır.

Türkiye'de genelde oyulma olan köprü ayaklarına kaya tahkimat yapılarak ayağın korunması yoluna gidilmektedir. Ancak bu yöntemin bazı sakıncaları olabilir. Örneğin, köprü ayağına yerleştirilmiş olan büyük kaya parçaları bu bölgedeki akım yapısını etkilemekte, türbülans ve çevrintiyi artırmakta ve böylece kayaların aralarında meydana gelen çevrintiler oyulmayı artırabilmektedir. Bir taşkın durumunda ise bu kaya blokları kolaylıkla yer değiştirerek köprüyü daha büyük risk altına alabilmektedir. Dolayısıyla öncelikle gerek kolay uygulanışı gerekse ekonomik oluşu nedeniyle uygulamada tercih edilen bu yaklaşım yerine bilimselliği ve geçerliliği kanıtlanmış yöntemlerin (riprap vb.) uygulanması tavsiye edilmektedir.



Resim 3.2. Bölgenin üstten fotoğrafı (https://www.google.com/maps)



Resim 3.3. Filyos V Köprüsü orta ayaklarında takılı malzemeler (Ekim, 2015)

Saha çalışmaları sırasında köprünün taşıdığı trafik yoğunluğu ve türü de gözlemlenebilmiştir. Özellikle tomruk ve inşaat malzemesi taşıyan ağır tonajlı kamyonlar ve minibüs benzeri yolcu taşıma araçları başta olmak üzere önemli bir trafik yükü

bulunmaktadır. Bölgede ormanlık alanların bulunması nedeniyle özellikle tomruk yüklü araçların sayısı oldukça fazladır. Bu araçların geçişi sırasında köprüde salınımlar rahatlıkla hissedilebilmektedir.

Filyos V Köprü muayenesi sırasında köprü yapısal olarak da değerlendirilmiştir. Köprüye ait üst yapı elemanları olarak korkuluk, bordür, asfalt kaplama, drenaj tertibatı - garguy, betonarme döşeme ve kirişler, mesnetler, genleşme derzleri sayılabilir. Alt yapı elemanları ise mesnetler altındaki mesnet takozları, başlık kirişleri, kenar ve orta ayaklar (elevasyonlar), temel ve kazıklardır. Filyos V Köprüsü üst yapı elemanları incelendiğinde göze çarpan ilk unsur genleşme derzlerinin görevlerini yerine getiremeyecek kadar hasarlı ve eleman kayıplarının olduğudur. Derzlerin üzerleri asfaltla kaplanmış, ancak bazı bölgelerde oluşan boşlukların büyüklüğü nedeniyle asfalt da zamanla düşerek orada büyük açıklıklar oluşmasına neden olmuştur. Bu boşluklardan akarsuyun rahatlıkla göründüğü tespit edilmiştir (Resim 3.4.). Köprüye ait muayene ile güvenlik-değerlendirme sonuçları Bölüm 6'da detaylı olarak verilmiştir.



Resim 3.4. Filyos V Köprüsünde tamir yapılan orta köprü ayağındaki derz (Ağustos, 2015)

Filyos V Köprüsü korkuluklarında çeşitli hasarlar, paslanma ve deformasyon mevcuttu. Ancak Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki tüm köprülerde korkulukların boyanması çalışması

kapsamında korkuluklar boyanmıştır. Köprü asfalt kaplamasının aşındığı ve bordürlerin bir kişinin güvenli bir şekilde kullanımı için dahi çok dar olduğu, betonunda segregasyon, kırılma ve dökülme olduğu görülmüştür. Köprünün drenaj sisteminde de ciddi problemler saptanmıştır. Garguyların ağızları hasarlı veya tıkalı olup gerek derzlerde gerekse başlık kirişlerinde, kenar ayak duvarlarında suyun sağlıklı bir şekilde drene edilemediği görülmektedir (Resim 3.5.).

Filyos V Köprüsü boyuna ve enine bağ kirişlerinde bir miktar segregasyon, çatlak ve dökülmeler olduğu görülmüştür (Resim 3.5.). Köprünün kenar ayaklarından birinde başlık kirişinde donatıların görüldüğü ve dolguda meydana gelen oturma nedeniyle bu bölgeye kaya tahkimat yapıldığı görülmüştür. Her iki kenar ayak dolgusunda da oturma meydana geldiği tespit edilmiştir (Resim 3.6. ve Resim 3.7.).



Resim 3.5. Filyos V Köprüsü'nde drenaj problemi (Mayıs, 2015)



Resim 3.6. Filyos V Köprüsü kenar ayağı ve şev pere kaplama (Ağustos, 2015)



Resim 3.7. Filyos V Köprüsü kenar ayağı dolgusunda oturma, beton duvarı ve pere (Ekim, 2015)

Resim 3.8.'de bölgenin aldığı sağanak yağış ve kar erimesiyle akarsu debisinin oldukça yüksek olduğu ve köprü ayaklarında şiddetli çevrintilere neden olduğu görülmektedir. Ayrıca köprü mansabında sağ kıyıda oluşmuş taşkın yatağının da sular altında kaldığı görülmüştür.



Resim 3.8. Filyos V Köprüsü orta ayakları ve akım yapısı (Şubat, 2016)

Resim 3.9.'da Filyos V köprüsü memba akarsu yatağı görülmektedir. Ağustos 2017 tarihli muayene çalışmasında akarsu yatağı boyunca köprü membaından başlayıp köprü ayakları mansabında son bulan bir seddenin yapıldığı görülmüştür. Bu sedde yapısıyla akarsu akımının köprü ayaklarına daha dik gelmesi sağlanarak orta ayaklar etrafındaki oyulmanın azaltılmasının hedeflendiği düşünülmektedir.

3.2.2. Gökçebey Köprüsü

Gökçebey Köprüsü, KGM 15. Bölge'ye bağlı Zonguldak il sınırları içerisinde Devrek Gökçebey - Çaycuma yolu üzerinde yer alan, gidiş – geliş olmak üzere iki şeritli çift yönlü bir akarsu köprüsüdür (Resim 3.10.). Köprü, Filyos Çayı üzerinde 1955 yılında inşa edilmiştir. L=(19,50+4x25,0+21,50) m uzunluğunda, altı açıklıklı gerber kirişli, iki kenar ve

beş orta ayağa sahip betonarme bir köprüdür. Mesnetler arasındaki en uzun açıklık 25 m olup betonarme döşeme ve ayağa sahiptir. Kenar ayakların birinde 20 adet, hemen yanındaki orta ayakta ise 14 adet 45 cm çapında ahşap kazık bulunmaktadır. Köprü akarsuyu dik kesmektedir. Köprü, talveg kotu 94,95, en yüksek su seviyesi 97,70, en alçak su seviyesi 95,25 olup üst platformu %1,0 deverle projelendirilmiştir. Köprü üst yapısında demir korkuluk, betonarme bordür, genleşme derzleri ve plastik garguy bulunmaktadır. 1968 yılında Gökçebey Köprüsü'nde yapılan muayenelerde kenar ayakta çatlama olduğu ve onarıma ihtiyaç olduğu saptanmıştır. Ayrıca kenar ayakta 1975'te 7 cm, 1980'de 14 cm, 1990'da 22 cm, 1994'te 32 cm ve 1999'da 35 cm'lik oturma olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle köprüde 1999 yılında tadilat yapılmıştır.



Resim 3.9. Filyos V Köprüsü memba görünüşü (Ağustos, 2017)

Köprü memba ve mansabında akarsu yatağı oldukça geniş olup, yumuşak eğimli, yüksek ve ağaçlık olmayan akarsu şevlerine sahiptir. Köprünün bulunduğu bölgede akarsu yatağı doğrusaldır. Bu çok geniş akarsu yatağında köprü memba ve mansabında yer yer kum ve çakıl bantları oluştuğu görülmüştür (Resim 3.11. ve Resim 3.12.). Köprü membaında bulunan Aksu Gruba ait Tefen HES 2009 yılında faaliyete geçmiştir.



Resim 3.10. Gökçebey Köprüsü'nün genel görünüşü (Mayıs, 2015)



Resim 3.11. Gökçebey Köprüsü mansap görünüşü (Aralık, 2014)



Resim 3.12. Gökçebey Köprüsü üstten görünüş (https://www.google.com/maps)

Çalışma süresi içerisinde akarsu yatağında Devlet Su İşleri (DSİ) 23. Bölge Müdürlüğü tarafından Karabük Yenice ilçesi Yenice Çayı Islah projesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında akarsu yatağı daraltılmış ve her iki kıyıya şevleri koruma amaçlı pere inşa edilmiştir. Gökçebey Köprüsü'nde yapılan gözlemlerle akarsu yatağı ve şevlerindeki ıslah çalışmalarının köprü üzerindeki olası etkilerinin de gözlemlenmesini mümkün kılmıştır. Örneğin ıslah çalışmaları sırasında bir orta ayağa ait temel pabucunun bir kısmı ile bu parça üzerindeki kazığın yerinden söküldüğü (Resim 3.13.), ayaklardan birinin hemen yanında en az 1,5 m derinliğinde oyulma çukuru meydana geldiği, buradan büyük bir ağaç gövdesi çıkarıldığı ve halen başka ağaç gövdesinin de çukurda olduğu tespit edilmiştir.

Gökçebey Köprüsü günümüzde çok ciddi trafik yükü taşımaktadır. Çalışmaların yürütüldüğü beş adet akarsu köprüsü içerisinde muayene dönemlerinde yapılan gözlemler doğrultusunda en yoğun trafik yüküne sahip olan köprüdür. Gerek küçük vasıta gerekse ticari, ağır tonajlı kamyon ve tır trafiği çok yoğundur. Köprüde muayene çalışmalarını bile yürütmek trafik nedeniyle zor olmaktadır. Özellikle ağır tonajlı kamyon ve tırların geçişi sırasında köprüde salınımlar rahatlıkla hissedilebilmektedir.

Köprüde yapılan gözlemsel muayene sırasında köprü üst ve alt elemanları detaylı olarak incelenmiş ve güvenlik değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre köprü üst yapı elemanlarından demir korkuluklar boyalı ve bakımlı olup, eksik bir eleman bulunmamaktadır. Asfalt yol kaplamasında üst tabakası neredeyse tamamen aşınmış,

mıcırlar ortaya çıkmış, kaplamada tekerlek izleri, çatlak ve sık olmasa da çukurlar gözlemlenmiştir. Bordürleri bakımlı olmasına rağmen yayalar için tehlikeli olabilecek kadar dardır. Köprü garguylarında yer yer giriş ağzı hasarları ve eleman eksiklikleri bulunduğundan köprüde drenaj problemi gözlemlenmiştir (Resim 3.14.). Boyuna ve enine kirişlerle tabliye incelendiğinde ise betonda ciddi problemler olduğu, donatıların açığa çıktığı, delik ve çukurların meydana geldiği ve özellikle beton ayrışmasının yaşandığı görülmüştür (Resim 3.14.).



Resim 3.13. Gökçebey Köprüsü temel pabuç parçası ve kırılan kazık (Ekim, 2015)

Genleşme derzlerinin olduğu yerlerde su sızmasına bağlı problemler görülmüştür. Köprü boyuna kirişleri de yakından incelendiğinde betonda segregasyon, yer yer kabarma ve dökülme ile donatıların açığa çıktığı tespit edilmiştir (Resim 3.15.). Köprü ayaklarında da özellikle delikler ve çukurlar, beton ayrışması, su ve sediment aşındırması ile çatlaklar görülmüştür. Resim 3.16.'da akarsu yatağında ve şevlerde gerçekleştirilen ıslah çalışmaları verilmiştir.

Karabük Yenice ilçesi Yenice Çayı Islahı projesi kapsamında Kasım 2015 döneminde köprü mansabında eğimin kırılması ve düzenlenmesi amacıyla brit uygulaması yapılmıştır (Resim

3.17.). Diğer tüm köprülerde olduğu gibi bu köprüde de orta ayaklarda önemli miktarlarda ağaç gövde ve dallarının birikimi söz konusudur (Resim 3.18.).



Resim 3.14. Gökçebey Köprüsü boyuna ve enine kirişleri (Aralık, 2014)



Resim 3.15. Gökçebey Köprüsü boyuna kiriş ve tabliyesi (Aralık, 2014)



Resim 3.16. Gökçebey Köprüsü ana yatağında ıslah çalışması (Ağustos, 2015)



Resim 3.17. Gökçebey Köprüsü brit çalışması (Kasım, 2015)



Resim 3.18. Gökçebey Köprüsü orta ayaklarında ağaç gövde ve dal birikmesi (Şubat, 2016)

Ağustos 2016'da yapılan saha çalışmasında daha önce Şubat veya Nisan 2016 muayenelerinde görülmeyen orta köprü ayaklarının birinde büyük bir beton kütlenin olduğu gözlemlenmiştir (Resim 3.19.). Yapılan incelemede söz konusu beton kütlenin köprü ayağı temeline ait büyük bir parça olduğu sonucuna varılmıştır. Ekim 2017 döneminde ise akarsu yatağında suyun tutulduğu, köprü orta ayaklarında oyulma meydana geldiği ve orta ayak önündeki beton elemanın halen kaldırılmadığı görülmüştür (Resim 3.20.).



Resim 3.19. Gökçebey Köprüsü orta ayağın yakınında konumlanmış beton kütle (Ağustos, 2016)



Resim 3.20. Gökçebey köprüsü membaından bir görünüş (Ekim, 2017)

3.2.3. Bartın I Köprüleri

Bartın I Köprüleri KGM 15. Bölge'ye bağlı Bartın il sınırları içerisinde Safranbolu-Çaycuma (Karabük – Devrek) yolu üzerinde yer alan, iki şeritli tek yönlü iki adet akarsu köprüsünden oluşmaktadır (Resim 3.21.). KGM tarafından Karabük yönüne giden trafiği taşıyan köprüye Bartın 1-A sağ, Devrek yönünde trafiği taşıyan köprüye Bartın 1–B sol isimleri verilmiştir. Burada da köprüleri tanımlamak için aynı isimler kullanılmıştır. Bartın I Köprüleri, Bartın Çayı'nın küçük kolu olan Kocanaz Çayı üzerinde 1979 yılında L=(3x20,0) m uzunluğunda, üç açıklıklı, basit kirişli, iki kenar ve iki orta ayağa sahip betonarme iki ayrı köprü olarak inşa edilmişlerdir. Mesnetler arasındaki en uzun açıklık 20 m olup betonarme döşeme ve ayak yapısına sahiptirler. Köprü verevliği, yani köprü aksının akarsu aksıyla yaptığı açı 20°'dir. Köprü talveg kotu -0,50, kazık taban kotu -20,0 m, en yüksek su seviyesi 5,50, en alçak su seviyesi 1,0 olup üst platformu %2,0 deverle projelendirilmiştir.

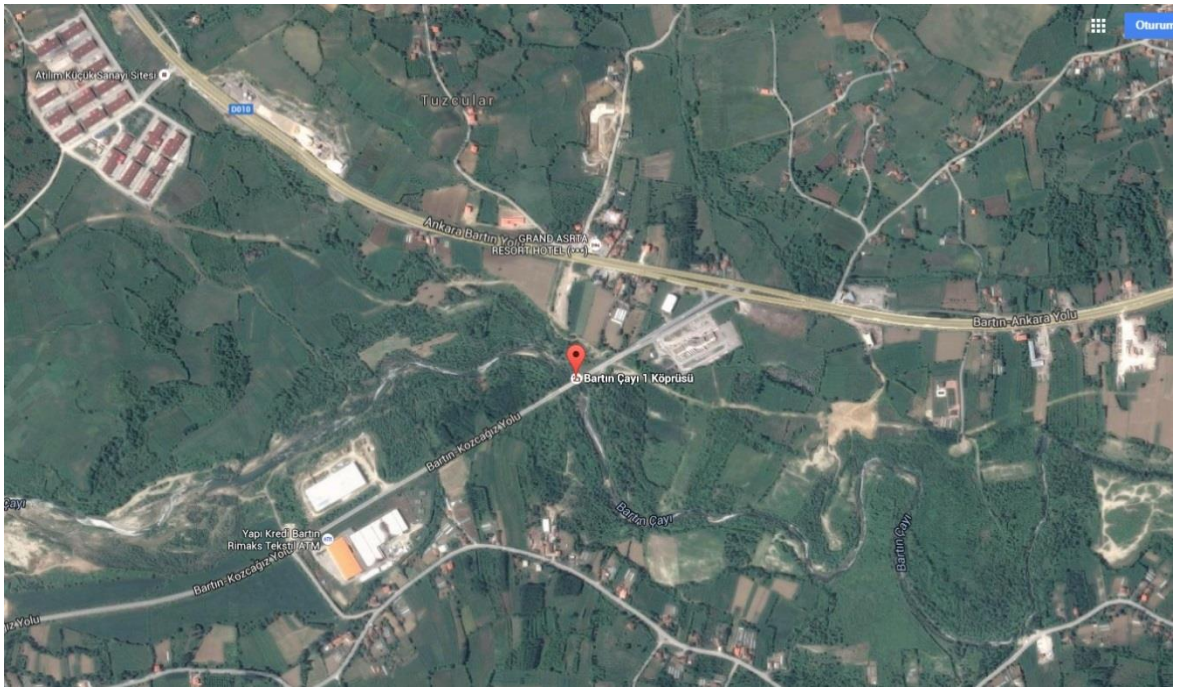


Resim 3.21. Bartın I –A sağ Köprüsü (Ekim, 2015)

Proje sırasında yapılan sondaj çalışmasında 34,0 m derinliğe kadar inilmiş olup zeminin yüzeyden 8,50 m derinliğe kadar kahverengi kil, 34,0 m derinliğe kadar ise mavi kilden oluştuğu tespit edilmiştir. Köprü inşa alanı belirlendikten sonra bağ kirişlerinin olduğu

seviyeye kadar hafriyat yapılmış sonrasında ise kazık kolonlar çakılmıştır. Bağlantı kirişi alt kotundan -1,0 kotuna kadar 2 mm kalınlığında saç kalıp kullanılarak kolon betonlarının düzgün çıkması sağlanmış ve kılıflar yerinde bırakılmıştır. Köprü üst yapısında demir korkuluk, betonarme bordür, bitüm esaslı genleşme derzleri ve plastik garguy bulunmaktadır.

Bartın Çayı bu bölgede oldukça menderesli olup, etrafı yeşillik ve ağaçlarla kaplıdır (Resim 3.22.) Ancak Resim 3.22.'de görülmeyen fakat saha çalışmalarında gözlenen bir gerçeklik bölgede özellikle son yıllarda çok sayıda apartman inşa edildiği ve oradaki bitki örtüsünün hızla değiştiğidir. Köprü mansabında ve membaında Bartın Çayı'nın her iki kıyısı da çok dik olup, çok sık ağaç ve çalılıklarla kaplıdır. Akarsu yatağı içerisinde de ince ağaç gövdeleri görülmektedir (Resim 3.23. ve Resim 3.24.). Köprü muayenesinde hemen göze çarpan ilk şey ise her iki köprü orta ayaklarında meydana gelmiş olan oyulmadır. Akarsu tabanı o kadar çok alçalmıştır ki zemin içerisinde olması gereken bağ kirişleri dahi görülmektedir. Açığa çıkmış olan saç kılıfların orta ayakları koruduğu, kılıfın olmadığı ayakta ise betonda son derece önemli deformasyonların, oyuk ve çukurların meydana geldiği görülmektedir (Resim 3.25. ve Resim 3.26.).



Resim 3.22. Bartın I Köprüsü (https://www.google.com/maps)



Resim 3.23. Bartın I Köprüsü mansap tarafı (Aralık, 2014)



Resim 3.24. Bartın I Köprüsü memba tarafı (Mayıs, 2015)



Resim 3.25. Bartın I Köprüleri orta ayakları (Ekim, 2015)



Resim 3.26. Bartın I A-sağ Köprüsü kılıf olmayan orta ayaktaki deformasyon (Ekim, 2015)



Resim 3.27. Bartın 1 A-sağ Köprüsü kenar ayağı (Mayıs, 2015)



Resim 3.28. Bartın 1 B sol Köprüsü kenar ayak ve beton tahkimat duvarı (Ekim, 2015)

Resim 3.29.'dan da görüleceği üzere kenar ayağın dolgusunda bir miktar oturma meydana gelmiş ve başlık kirişi donatıları açığa çıkmıştır.



Resim 3.29. Bartın 1 B-sol Köprüsü kenar ayağı ve başlık kirişi (Mayıs, 2015)

Bartın I Köprüleri yapısal olarak incelendiğinde üst yapıda asfalt kaplamada dalgalar, hafif çatlak ve tekerlek izlerinin olduğu görülmektedir. Bordürlerde ise betonda çatlaklar, dökülmeler ve kabarmalar mevcuttur. Korkuluklarda deformasyon, paslanma ve eleman eksikliği bulunmaktadır. Ancak Ekim 2015 tarihinde yapılmış olan saha çalışmasında korkulukların boyandığı görülmüştür.

Köprülerin diğer üst yapı elemanları incelendiğinde gerek enine ve boyuna kirişlerde gerekse tabliyede beton ayrışmasından, donatıların açığa çıkmasına, oyuk ve çukurlara ve su sızma problemlerine kadar tüm sorunların olduğu tespit edilmiştir (Resim 3.30. – Resim 3.31.). Özellikle de genleşme derzlerinden su sızdığı görülmüştür.



Resim 3.30. Bartın I Köprüleri boyuna kiriş ve tabliye (Mayıs, 2015)



Resim 3.31. Bartın I B sol Köprüsü drenaj problemi (Ekim, 2015)

Köprüde farklı dönemlerde yapılan muayenelerde yapısal olarak ciddi bir farklılık gözlenmemiştir. Sadece köprü derzlerinin üzerine asfalt dökülerek araçların geçişi sırasında oluşabilecek rahatsızlığın önüne geçilmeye çalışılmıştır. Özellikle yaz dönemlerinde yapılan muayenelerde akımın oldukça sakin ve akım derinliğinin sığ olduğu gözlemlenmiştir. Muayenelerde bu bölgelerde yılan vb. vahşi hayvanlarla da karşılaşılmış olup bu durumun muayeneyi yapan mühendis için ciddi risk oluşturduğu düşünülmektedir. Bu nedenle sağlıklı ve güvenli muayene yapılabilmesi için köprü etrafının mutlaka düzenli temizlenmesi gerekmektedir.

3.2.4. Bartın III Köprüsü

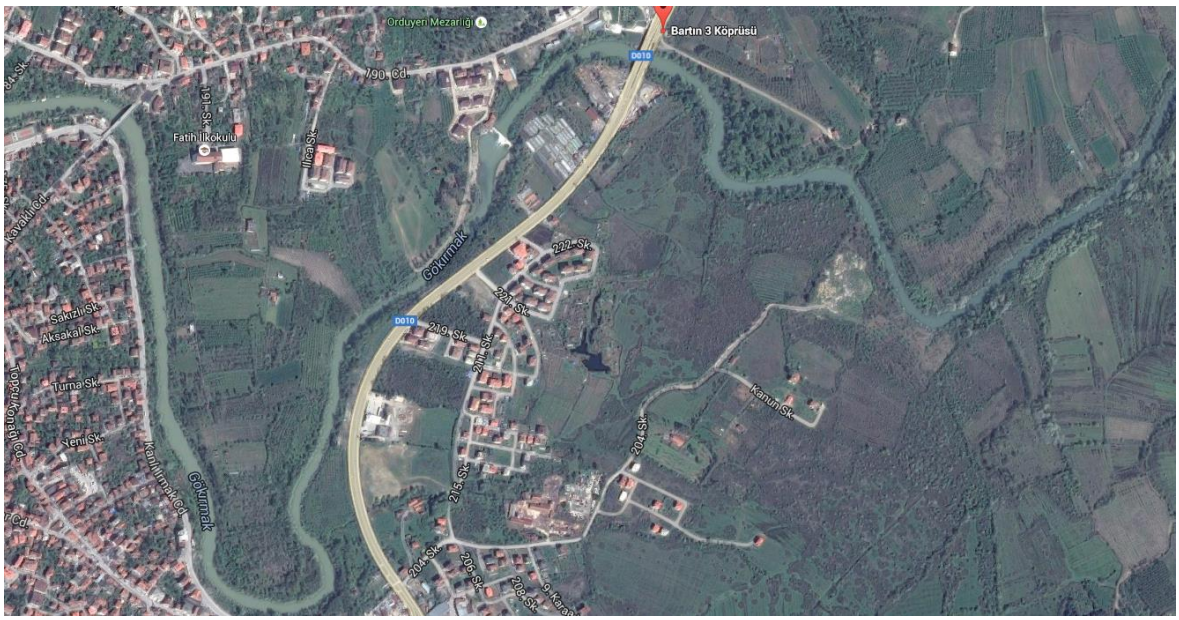
Bartın III Köprüsü KGM 15. Bölge'ye bağlı Bartın il sınırları içerisinde Bartın – Amasra yolu üzerinde yer alan, gidiş-geliş olmak üzere iki şeritli çift yönlü bir akarsu köprüsü olarak 1984 yılında inşa edilmiştir (Resim 3.32.). Ancak şehir trafiğinin artması ve Amasra'nın gelişmesiyle köprü bu trafiği karşılamada yetersiz kalınca 2010 yılında hemen mansabına iki şeritli yeni bir köprü daha inşa edilmiştir. Böylece her iki köprü de çift şeritli tek yönlü olarak hizmet vermeye başlamıştır. Çalışmada Amasra yönüne giden trafiği taşıyan yeni köprü için 'Bartın III-yeni', Bartın merkez yönünde trafiği taşıyan eski köprü için ise 'Bartın III' isimleri kullanılmıştır. Bartın III Köprüsü L=(4x17,50) m uzunluğunda, dört açıklıklı, basit kirişli, iki kenar ve üç orta ayağa sahip betonarme bir köprüdür. Mesnetler arasındaki en uzun açıklık 17,50 m olup betonarme döşeme ve ayak yapısına sahiptir. Köprü akarsuyu dik kesmektedir. Köprü, talveg kotu -2,50 m, orta ayak kazık taban kotu -27,50 m, kenar ayak kazık taban kotu -24,50 m en yüksek su seviyesi 6,50 m, en alçak su seviyesi 2,75 m olup üst platformu %1,0 deverle projelendirilmiştir. Proje aşamasında yapılmış olan sondaj çalışmalarında zeminin yüzeye yakın kil-silt ve ince kumdan meydana geldiği, daha derinlerde ise kum-çakıl, kil, çok az silt şeklinde devam ettiği ve yüzeyden 30,0 m derinliklerde silt taşı ile yer yer kil bandı olduğu tespit edilmiştir. Köprü üst yapısında demir korkuluk, betonarme bordür, bitüm esaslı genleşme derzleri ve plastik garguy bulunmaktadır. Projede her iki kenar ayak önüne pere yapılmış ama sonradan bunlar kaldırılarak kenar ayaklar önüne beton duvar yapılmıştır.

Köprü Bartın Çayı'nın büyük kolu olan Gökırmak üzerindedir. Memba ve mansapta her iki kıyı şev eğimleri oldukça yumuşak olup yer yer dikleşme göstermektedir. Akarsu yatağı menderesli olup, etrafında son yıllarda yoğunluğu artan yerleşim yerleri kurulmaktadır

(Resim 3.33.). Her iki şevde ince gövdeli ağaç ve çalılık bulunmaktadır (Resim 3.34. ve Resim 3.35.). Genelde köprü altındaki akımın çok yavaş olduğu ancak bir günlük yağış sonunda akarsu debisinin hızlı bir şekilde artarak köprü altından şiddetli akımın geçtiği görülmüştür (Resim 3.35.). Bu da bölgede yağışın hemen akışa geçtiğini göstermektedir.



Resim 3.32. Bartın III Köprüsü genel görünüşü (Mayıs, 2015)



Resim 3.33. Bartın III Köprüsü ve civarı (https://www.google.com/maps)



Resim 3.34. Bartın III Köprüsü memba tarafı (Mayıs, 2015)



Resim 3.35. Bartın III Köprüsü mansabı (Aralık, 2014)

Bartın'dan Amasra'ya gidiş yönünde köprü kenar ayağı ile orta ayak arasında tamamen kuru olan akarsu taşkın yatağında bölge halkı tarafından ulaşım için kullanılan bir yol bulunmaktadır. Ayrıca köprülerin mansabındaki taşkın yatağında yer alan bir çay bahçesi ve restoran işletilmektedir (Resim 3.36.). Bu nedenle bu yönde köprü ayaklarını incelemek ve muayene yapmak çok kolay olmuş, ancak karşı kenar ayaklara ulaşım dik şev eğimi ve bitki örtüsü nedeniyle oldukça zor olmuştur.



Resim 3.36. Bartın III Köprüsü kenar ve orta ayak arası taşkın yatağı (Ağustos, 2015)

Köprü muayenesinde hemen göze çarpan ilk detay Bartın III Köprüsü orta ayaklarında meydana gelmiş olan oyulmalardır. Bartın I Köprüsü orta ayaklarında olduğu gibi burada da zeminde gömülü olması gereken bağ kirişlerinin dahi ortaya çıktığı ve akarsu tabanında alçalma meydana geldiği tespit edilmiştir (Resim 3.37.). Açığa çıkmış bağ kirişleri altında su içerisindeki ayaklarda ise betonun son derece yıprandığı, yer yer çatlakların ve oyukların oluştuğu, hatta donatıların ortaya çıktığı görülmektedir (Resim 3.37.). Köprü üstyapı elemanları incelendiğinde asfalt kaplamada aşınma ve tekerlek izleri, demir korkuluklarda eleman eksikliği görülmüştür. Bordür betonunda ise dökülme, ayrışma, çatlaklar gözlenmiş; hatta donatılar açığa çıkmıştır (Resim 3.38.). Aynı durum orta ayak başlık kirişlerinde de görülmüştür.



Resim 3.37. Bartın III Köprüsü orta ayakları (Ekim, 2015)



Resim 3.38. Bartın III Köprüsü bordüründe betonda dökülme ve donatı (Ekim, 2015)

Köprünün drenaj sisteminde de çok ciddi problemler olduğu, neredeyse tüm elemanlarında; kenar ayak, orta ayak, boyuna ve enine kirişler veya köprü tabliyesinde sızan su ve yarattığı tahribat rahatlıkla görülebilmektedir (Resim 3.39. ve Resim 3.40.).



Resim 3.39. Bartın III Köprüsü tabliyesi (Mayıs, 2015)



Resim 3.40. Bartın III Köprüsü tabliyesi (Mayıs, 2015)

Bartın III Köprüsü'nün tüm betonarme elemanlarında önemli derecede betonda ayrışma, delikler ve çukurlar ile donatı açığa çıkması görülmüştür. Tabliyede bulunan ahşap elemanlar köprü tabliyesinde ciddi problem yaşandığını ve bu nedenle bu elemanların köprü inşasından sonra tamirat sırasında yapıldığını göstermektedir. Tabliyede de sızma probleminin ciddi boyutlarda olduğu, bazı bölgelerde donatıların ortaya çıktığı görülmüştür (Resim 3.39.-3.41.).



Resim 3.41. Bartın III Köprüsü başlık kirişi ve tabliyesi (Ağustos, 2015)

Bartın III Köprüsü kenar ayakları incelendiğinde her iki kenar ayağın önünde beton tahkimat duvarı olduğu ve bu duvarların birinde ciddi, diğerinde ise bir miktar oturma meydana geldiği görülmüştür (Resim 3.42. ve Resim 3.43.). Ayrıca bu bölgelerde de drenaj problemi yaşandığı, bazı bölgelerde dolguda kayma olduğu görülmüştür (Resim 3.43.).

Filyos V ve Gökçebey Köprüleri'nde görülen, akımla taşınıp gelen ve köprü ayaklarında takılı kalarak köprü ayaklarında oyulmayı etkileyen nedenler arasında yer alan atıkların, ağaç dal ve gövdelerinin bu köprü ayaklarında da takılı kaldığı gözlemlenmiştir (Resim 3.44. ve Resim 3.45.).



Resim 3.42. Bartın III Köprüsü kenar ayağı ve beton tahkimat duvarı (Ekim, 2015)



Resim 3.43. Bartın III Köprüsü kenar ayak dolgusunda ve tahkimat duvarında kayma (Mayıs, 2015)



Resim 3.44. Bartın III Köprüsü orta ayakları ve bu ayaklarda takılı kalan ağaç dalları (Ağustos, 2015)



Resim 3.45. Bartın III Köprüsü orta ayağında takılı ağaç gövdesi (Ağustos, 2016)

Resim 3.46.'de ise akarsu su seviyesinin oldukça düşük olması sebebiyle orta ayak bağ kirişi altında kalan kısmında betonda meydana gelmiş ciddi segregasyon görülmektedir.



Resim 3.46. Bartın III Köprüsü orta ayak bağ kirişi altındaki bölümü (Ağustos, 2016)

3.2.5. Çatalzeytin Köprüsü

Çatalzeytin Köprüsü KGM 15. Bölge'ye bağlı Kastamonu il sınırları içerisinde Akçay Çayı üzerinde bulunan, Çatalzeytin – Türkeli yolu üzerinde Çatalzeytin – Sinop sınırında yer alan, gidiş-geliş olmak üzere iki şeritli çift yönlü bir akarsu köprüsü olarak 1963 yılında inşa edilmiştir (Resim 3.47.). Betonarme olan köprü 68 m uzunluğunda, üç açıklıklı, gerber kirişli, iki kenar ve iki orta ayağa sahip bir köprüdür. Köprü akarsuyu dik kesmektedir. Akçay Çayı köprünün yaklaşık 250 m mansabında Karadeniz'e deşarj olmaktadır (Resim 3.48.). Köprü üst yapısında demir korkuluk, betonarme bordür, bitüm esaslı genleşme derzleri ve plastik garguy bulunmaktadır. Ekim 1988'de köprünün orta ayaklarından birinde oturma olduğu tespit edilmiş ve Kasım 1988'de köprü kaldırılmak suretiyle tamir edilmiştir.



Resim 3.47. Çatalzeytin Köprüsü genel görünüşü (Ağustos, 2015)



Resim 3.48. Çatalzeytin Köprüsü (https://www.google.com/maps)

Köprü membaında 2015 yılı içerisinde faaliyete geçen Yunuslar HES bulunmaktadır. Akarsu kıyı şevleri derin ve dik olup, üzerlerinde bitki örtüsü bulunmamaktadır. DSİ 23. Bölge

Müdürlüğü tarafından Kastamonu – Çatalzeytin İlçe Merkezi Akçay Çayı Taşkın Koruma İnşaatı projesi kapsamında ıslah çalışmaları yapılmıştır (Resim 3.49.).



Resim 3.49. Çatalzeytin Köprüsü mansabı (Ekim, 2015)

Çatalzeytin Köprüsü'nün bulunduğu Akçay Çayı tabanının iri çakıl ve kaya parçalarıyla kaplı olduğu görülmüştür. Akarsu yatağında yapılan ilk muayenede köprünün her iki orta ayağında oyulma meydana geldiği ve temel pabuçlarının görüldüğü tespit edilmiştir (Resim 3.50.). Ayrıca diğer akarsu köprü ayaklarında olduğu gibi bu köprü ayaklarında da takılı kalmış, nispeten daha küçük ve ince ağaç dalları görülmüştür. Her iki kenar ayağın önünde betonarme tahkimat duvar olup, akarsu tabanında kaymayı engellemek için yaklaşık bir metre genişliğinde pabuç yapılmıştır (Resim 3.51.). Resim 3.51.'den görüldüğü gibi beton duvara sürekli olarak su sızması nedeniyle bu bölümdeki betonda bir miktar kabarma ve ayrışma meydana gelmiştir.



Resim 3.50. Çatalzeytin Köprüsü orta ayağında oyulma (Aralık, 2014)



Resim 3.51. Çatalzeytin Köprüsü kenar ayak tahkimat duvarı (Ağustos, 2015)

Akarsu yatağında yürütülen çalışmaların yanında, Çatalzeytin – Türkeli arasında yapılmakta olan ve kıyı şeridinin doldurularak mevcut yolun genişletilmesi çalışmalarında da Çatalzeytin Köprüsü önemli etkilere maruz kalmıştır. Proje kapsamında kullanılan çok büyük ve ağır kaya kütleleri Çatalzeytin'e yakın kurulmuş taş ocağından alınarak köprü üzerinden inşaat alanına taşınmaktadır. Bu nedenle köprü çok ağır ve yoğun büyük araç trafiğine maruz kalmış, üst kaplamadaki problemler artmış ve büyük çukurlar oluşmuştur. Köprü kenarlarında bulunan garguylar büyük ölçüde tıkalı ve/veya hasarlı olduğundan yol üzerinde büyük su birikintileri meydana gelmiş, hem yaya hem de araç trafiğini olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca köprü kenarlarında bulunan bordürler de tek kişinin güvenli bir şekilde geçmesi için dahi oldukça dardır. Bordürlerde yer yer beton ayrışması ve çatlaklar mevcuttur. Çalışma sırasında köprü korkulukları bir kez boyanmış ancak deformasyon ve köprüde meydana gelen hareketler nedeniyle olduğu düşünülen eleman kopmaları olduğu gözlemlenmiştir. Köprüdeki tüm korkuluk birleşim yerlerinde bu şekilde görülen farklılıklar köprüde meydana gelen hareketler nedeniyle olduğu düşüncesini yaratmaktadır. Ayrıca korkuluğun bulunduğu yerdeki genleşme derzinin olduğu yerde de bir insan ayağının rahatlıkla sığacak genişlikte ayrılma olduğu belirlenmiştir (Resim 3.52.).



Resim 3. 52. Çatalzeytin Köprüsü'nde genleşme derzi (Ağustos, 2015)

Köprü genleşme derzlerinin genelde asfaltla kaplı olduğu, ancak Resim 3.52.'de görüldüğü gibi genleşme derzinde tamamen eleman eksikliği ve fonksiyon kaybı olduğu görülmüştür. Köprünün artan ağır tonajlı kamyon geçişleri sırasında da hissedilen salınımları köprü taşıyıcı sisteminde problem olabileceği işaretlerini vermektedir. Bu problemin ayaklardaki oyulmadan ziyade taşıyıcı sistem kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Çatalzeytin Köprüsü üst yapı elemanları incelendiğinde de betonda ayrışma olduğu, donatıların açığa çıktığı, hatta yer yer boşluklar meydana geldiği görülmektedir (Resim 3.53. ve Resim 3.54.). Ayrıca orta ayak ve kirişlerde de çukurlar ve beton ayrışması mevcuttur (Resim 3.55. – Resim 3.56.). Şubat 2016'da yapılan muayenede yağış esnasında köprünün tüm açıklıklarından akım geçtiği görülmektedir (Resim 3.57.).



Resim 3.53. Çatalzeytin Köprüsü'nde derz bölgesine yakın kirişlerde donatıların açığa çıkması (Ağustos, 2015)



Resim 3.54. Çatalzeytin Köprüsü'nde donatı açığa çıkması ve betonda ayrışma (Ağustos, 2015)



Resim 3.55. Çatalzeytin Köprüsü'nde orta ayakta oyulma ve betonda ayrışma (Aralık, 2014)



Resim 3.56. Çatalzeytin Köprüsü'nde gerber kiriş bölgesi sızma problemi (a) Ekim (b) Mayıs 2015



Resim 3.57. Çatalzeytin köprüsü orta ayakları memba görünüşü (Şubat, 2016)

Resim 3.58.'de köprü membaı akarsu yatağı boyunca inşa edilmiş sekiler ve Resim 3.59.'da köprü orta ayağında meydana gelmiş oyulma görülmektedir.



Resim 3.58. Çatalzeytin Köprüsü memba görünüşü (Ekim, 2017)



Resim 3.59. Çatalzeytin Köprüsü orta ayağında meydana gelen oyulma (Ağustos, 2016)

3.3. Köprülerde Beton Dayanım Test Sonuçları

Bu çalışmalara ek olarak çalışma kapsamında incelenen köprüler betonarme köprü olduklarından betonun kalitesi ve dayanımı için KGM'nin uygun görüşüyle kurum tarafından alınan karot numunelerine dayanım testleri yapılmıştır. Şekil 3.1.'de Kastamonu 15. Şube Müdürlüğü'nce ilgili köprülerde tahribata neden olmamak için karotsuz Schmidt Çekici yöntemiyle yerinde deney yapıldığı belirtilerek sonuçlar sunulmuştur. Ancak bu yöntemin hata oranının oldukça yüksek olduğu unutulmamalıdır (Topçu, Uygunoğlu ve İnce, 2010).

T.C.
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
15. Bölge Müdürlüğü

Sayı : 28845371- 622 / 196645 09.10.2015
Konu : Yrd.Doç.Dr. Müsteyde BADUNA
KOÇYİĞİT Dilekçesi

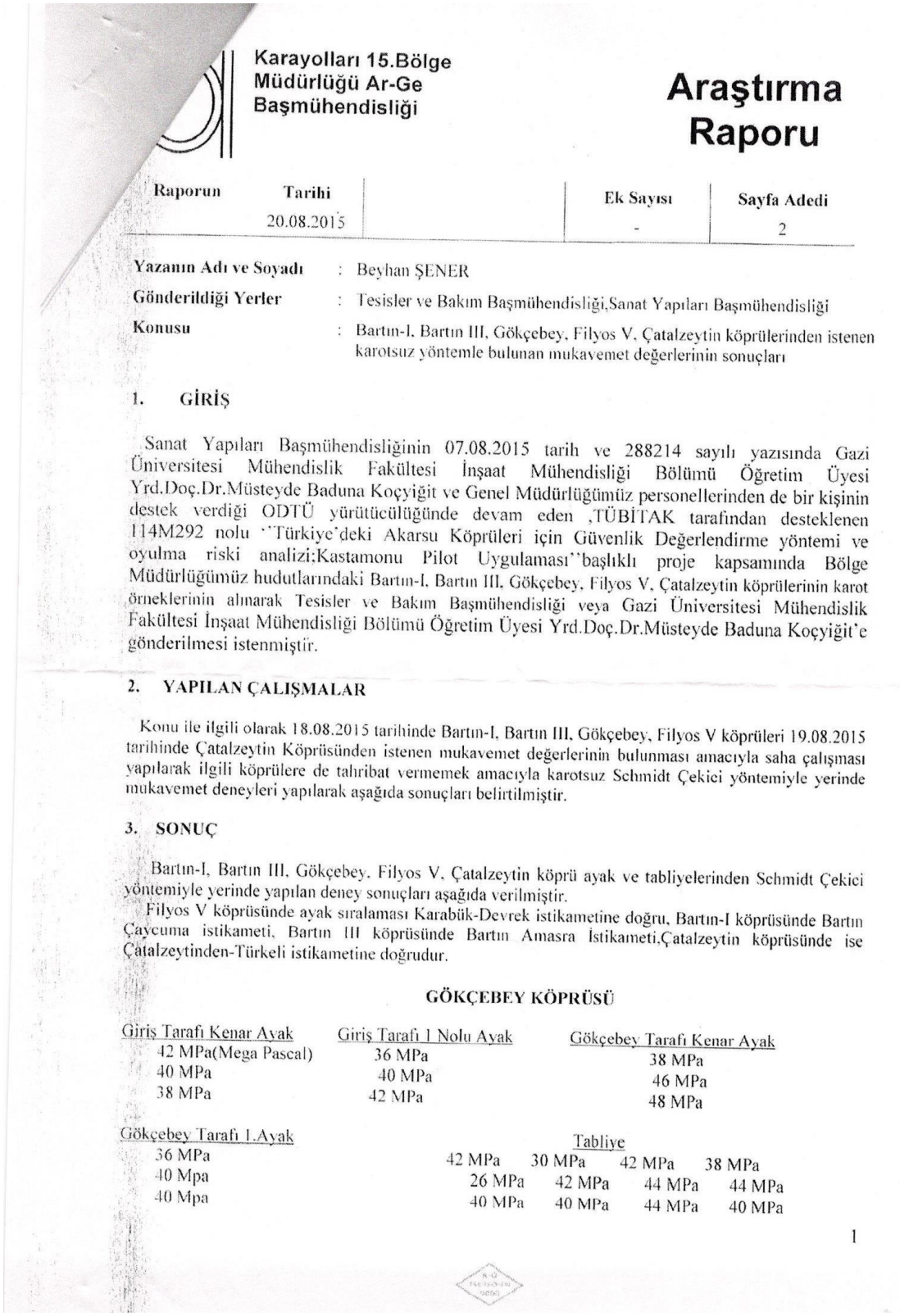
SAYIN MÜSTEYDE BADUNA KOÇYİĞİTE
Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yrd. Doç. Dr.
Müsteyde Baduna KOÇYİĞİT
ANKARA

TUBİTAK tarafından desteklenen 114M292 no.lu "Türkiye'deki Akarsu Köprüleri İçin Güvenlik Değerlendirme Yöntemi ve Oyulma Riski Analizi, Kastamonu Pilot Uygulaması" başlıklı proje kapsamında Bölge Müdürlüğümüz hudutlarındaki beş adet köprü (Bartın-I, Bartın-III, Gökçebey, Filyos-V, Çatalzeytin) incelemeye alındığı ve bu köprüden karot örneklerinin alınarak sonuçlarının tarafınıza bildirilmesini talep etmektesiniz.
Bahsi geçen konu ile ilgili karot örneklerinin sonuçları ekteki raporda sunulmuştur.
Bilgi ve gereğini arz ve rica ederim.

İbrahim BOZKURT
Bölge Müdürü a.
Bölge Müdür Yrd.

EK:
Tarot Numunesi Deney Sonucu

Şekil 3.1. KGM 15. Bölge Müdürlüğü beton dayanım test sonuçları raporu



Karayolları 15.Bölge Müdürlüğü Ar-Ge Başmühendisliği

Araştırma Raporu

Raporun Tarihi		Ek Sayısı	Sayfa Adedi
20.08.2015		-	2

Yazanın Adı ve Soyadı : Beyhan ŞENER

Gönderildiği Yerler : Tesisler ve Bakım Başmühendisliği,Sanat Yapıları Başmühendisliği

Konusu : Bartın-I, Bartın III, Gökçebey, Filyos V, Çatalzeytin köprülerinden istenen karotsuz yöntemle bulunan mukavemet değerlerinin sonuçları

1. GİRİŞ

Sanat Yapıları Başmühendisliğinin 07.08.2015 tarih ve 288214 sayılı yazısında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd.Doç.Dr.Müsteyde Baduna Koçyiğit ve Genel Müdürlüğümüz personellerinden de bir kişinin destek verdiği ODTÜ yürütücülüğünde devam eden ,TÜBİTAK tarafından desteklenen 114M292 nolu ''Türkiye'deki Akarsu Köprüleri için Güvenlik Değerlendirme yöntemi ve oyulma riski analizi;Kastamonu Pilot Uygulaması''başlıklı proje kapsamında Bölge Müdürlüğümüz hudutlarındaki Bartın-I, Bartın III, Gökçebey, Filyos V, Çatalzeytin köprülerinin karot örneklerinin alınarak Tesisler ve Bakım Başmühendisliği veya Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd.Doç.Dr.Müsteyde Baduna Koçyiğit'e gönderilmesi istenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Konu ile ilgili olarak 18.08.2015 tarihinde Bartın-I, Bartın III, Gökçebey, Filyos V köprüleri 19.08.2015 tarihinde Çatalzeytin Köprüsünden istenen mukavemet değerlerinin bulunması amacıyla saha çalışması yapılarak ilgili köprülere de tahribat vermemek amacıyla karotsuz Schmidt Çekici yöntemiyle yerinde mukavemet deneyleri yapılarak aşağıda sonuçları belirtilmiştir.

3. SONUÇ

Bartın-I, Bartın III, Gökçebey, Filyos V, Çatalzeytin köprü ayak ve tabliyelerinden Schmidt Çekici yöntemiyle yerinde yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Filyos V köprüsünde ayak sıralaması Karabük-Devrek istikametine doğru, Bartın-I köprüsünde Bartın Çaycuma istikameti, Bartın III köprüsünde Bartın Amasra İstikameti,Çatalzeytin köprüsünde ise Çatalzeytinden-Türkeli istikametine doğrudur.

GÖKÇEBEY KÖPRÜSÜ

Giriş Tarafı Kenar Ayak	Giriş Tarafı 1 Nolu Ayak	Gökçebey Tarafı Kenar Ayak
42 MPa(Mega Pascal)	36 MPa	38 MPa
40 MPa	40 MPa	46 MPa
38 MPa	42 MPa	48 MPa

Gökçebey Tarafı 1.Ayak	Tabliye			
36 MPa	42 MPa	30 MPa	42 MPa	38 MPa
40 Mpa	26 MPa	42 MPa	44 MPa	44 MPa
40 Mpa	40 MPa	40 MPa	44 MPa	40 MPa

1

Şekil 3.1. (devam) KGM 15. Bölge Müdürlüğü beton dayanım test sonuçları raporu

FİLYOS V KÖPRÜSÜ

Kenar Ayak Sol Taraf	Orta Ayak	Kenar Ayak Sağ Taraf	Tabliye
42 MPa 52 MPa 32 MPa	46 MPa	46 MPa	54 MPa 38 MPa
36 MPa 36 MPa 30 MPa	42 Mpa	52 Mpa	54 MPa 44 MPa
37 MPa 42 MPa 32 MPa	44 Mpa	52 Mpa	54 MPa 46 MPa
40 MPa 44 MPa			
46 MPa 38 MPa			

BARTIN III KÖPRÜSÜ

Eski Köprü

Kenar Ayak	Ayaklar					Kiriş
28 MPa	36 MPa	28 MPa	26 MPa	24 MPa	30 MPa	40 MPa
28 MPa	30 MPa	30 MPa	28 Mpa	24 MPa	30 MPa	36 MPa
28 MPa	30 MPa	36 MPa	24 MPa	26 MPa	30 MPa	36 MPa

Yeni Köprü

Kenar Ayak Giriş Tarafı	Ayaklar	Kenar Ayak Çıkış Tarafı	Kiriş
42 MPa	38 MPa 40 MPa	44 MPa 42 MPa	34 MPa
42 MPa	36 MPa 38 MPa	42 MPa 42 MPa	34 MPa
44 MPa	36 MPa 38MPa	42 MPa 42 MPa	36 MPa

BARTIN I KÖPRÜSÜ

Kenar Ayak Giriş Tarafı(Sağ Taşıma)	Kiriş(Sağ Taşıma)	Kenar Ayak Çıkış(Sağ Taşıma)
38 MPa	30 MPa 30 MPa	46 MPa
40 MPa	24 MPa 28 MPa	40 MPa
44 MPa	26 MPa 38 MPa	40 MPa
	28 MPa	

Ayak(Sol Taraf)
44 MPa 42 MPa
36 MPa 44 MPa

ÇATALZEYTİN KÖPRÜSÜ

Kenar Ayak(Çatalzeytin Tarafı)	Ayak (Çatalzeytin Tarafı)	Ayak(Türkeli Tarafı)
50 MPa 42 MPa	52 MPa	46 MPa
48 MPa 58 MPa	50 MPa	42 MPa
46 MPa 50 MPa	44 MPa	42 MPa

Kenar Ayak (Türkeli Tarafı)
46 MPa
48 MPa
42 MPa

Beyhan ŞENER
Zem.Mek.ve Tün.Müh.

2

Şekil 3.1. (devam) KGM 15. Bölge Müdürlüğü beton dayanım test sonuçları raporu

4. HAVZA HİDROLOJİSİ VE HİDROLOJİK MODELLEME

4.1. Genel

Tez çalışması kapsamında taşkın olaylarının sıklıkla meydana geldiği, Çaycuma Köprüsü örneğinde olduğu gibi köprü hasar veya yıkılmalarının yaşandığı Batı Karadeniz Bölgesi'nde farklı özelliklere sahip köprüler seçilmiştir. Batı Karadeniz Havzası, 30 000 km^2 drenaj alanına sahip olup ortalama 811 mm yıllık yağış almaktadır. Ortalama yıllık akış miktarı ise 9,93 km^3'tür (Yanmaz, 2006: 8). 1984 yılında oluşturulmuş olan arazi kullanım ve toprak tipi haritaları Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Toprak Reformu Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Buna göre Batı Karadeniz Havzası genel olarak yoğun orman, tarımsal alan, mera ve çayır örtüsüne sahiptir. Ayrıca havzaların eğri numaraları bu haritalardan yararlanılarak hesaplanabilmektedir.

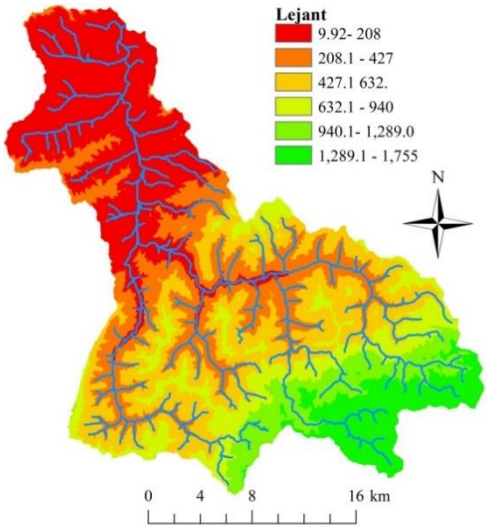
Batı Karadeniz Havzası içerisinde meteorolojik gözlem istasyonları (MGİ) ile akım gözlem istasyonları (AGİ) sayısı dünya standartlarına göre az olsa da, Türkiye geneli göz önüne alındığında ortalamanın üzerinde gözlem istasyonu bulunan bir havzadır. Karadeniz Bölgesi genelinde olduğu gibi çalışma alanı kapsamında da enerji üretim kapasitesinin artırılması amacıyla birçok HES yapılmıştır. Sanat yapılarının projelendirilmesi aşamasında hidrolojik veriler büyük önem taşımaktadır. Bunun için noktasal akım ölçümü yapılan noktalara göre frekans analizleri yapılarak farklı tekerrürlerde taşkın debilerinin büyüklüğü belirlenmektedir. Ancak, her bir akarsu köprüsünün üzerinde bulunduğu akarsuda noktasal olarak ölçüm yapılamamaktadır. Bu durumda varsa aynı havza içerisinde akım gözlemi yapılan yakın noktalardan ya da ölçüm yapılan komşu havzalar üzerindeki akımlarla korelasyon kurulup debiler belirlenmekte ve frekans analizleri yapılmaktadır. Komşu havzalar her zaman aynı hidrolojik davranışa sahip olamayabileceğinden havzaların değerlendirilmesinde her bir havzanın kendi özellikleri dikkate alınarak farklı tekerrürlü debilerin tahminlerinin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle son zamanlarda araştırmacılar, akım gözlemi alınmayan havzaların hidrolojik parametre ve hidrograf tahminini yapabilmek için akım gözlemi yapılan komşu havzalarla aralarında olabilecek benzerlik ilişkisi üzerinde çalışmaktadırlar (Piman ve Babel, 2013; Begou, Jomaa, Benabdallah, Bazie, Afouda, ve Rode, 2016). Benzerlik ilişkisi ise çoğunlukla havzanın geometrik ve drenaj özellikleri kullanılarak yapılmaktadır.

Çalışmada köprülerin çıkış noktası olarak alındığı havzaların hidrolojik olarak değerlendirilmesi için 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak havzanın sayısal yükseklik modeli (SYM) ArcGIS 10.1 programı ile oluşturulmuştur. Böylece oluşturulan SYM'ler yardımıyla havzaların bazı fiziksel özellikleri belirlenip havza modeli elde edilmiştir. Havzanın yağış-akış ilişkisi ise havza modeli kullanılarak hidrolojik modeller yardımıyla belirlenebilir.

4.2. Çalışma Kapsamındaki Havzaların Genel Hidrolojik Özellikleri

4.2.1. Bartın I Köprüsü

Bartın I Köprüsü çıkış noktası olarak alındığında, elde edilen havza 435 135 – 471 964 X ve 4 571 883 – 4 609 400 Y koordinatları arasında (UTM ED50, Zone 36N) yer almaktadır. Havzanın büyük bölümü Bartın ili Merkez ve Ulus ilçelerinden, çok küçük kısmı ise Karabük'ten drene olan suları toplamaktadır. Havzanın drenaj alanı, çevresi, en uzun akım yolu ile en yüksek, en düşük ve ortalama kotları sırasıyla 648,7 km^2, 202,4 km, 60,7 km, 1755 m, 1340 m ve 10 m'dir (Şekil 4.1.). Havzanın ortalama eğimi %34'tür. Havza, Bartın Çayı'nın küçük drenaj alanına sahip yan bir koludur.

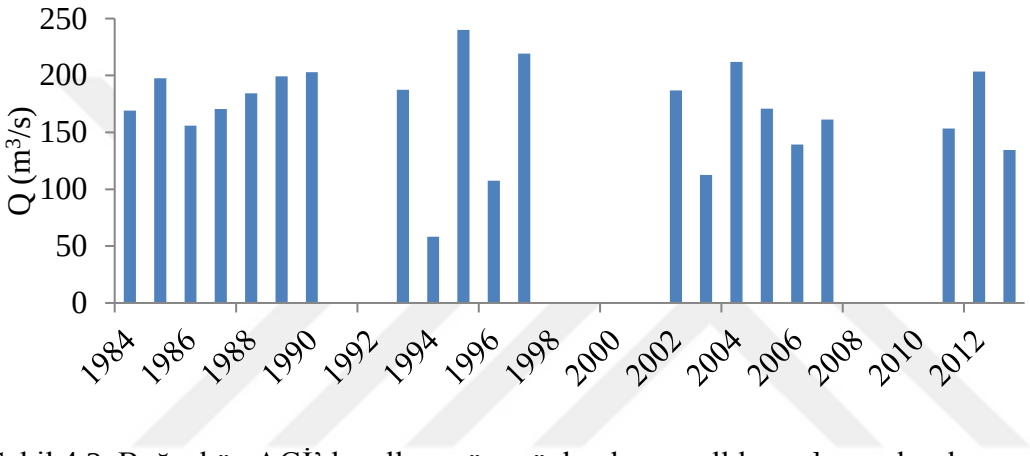


Şekil 4.1. Bartın I Köprü havzasına ait SYM

Çıkış noktası civarında artan şehirleşme etkisiyle birçok yerleşim birimi yer almaktadır. Yukarı havza kısımlarında küçük yerleşim birimleri (köy) olmasına rağmen havza

çoğunlukla ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Orman örtüsünün yanı sıra mera, çayır ve tarımsal alanlar da bulunmaktadır.

Havza içerisinde Bartın Çayı'nın küçük kolu olan Kocanaz Çayı üzerinde kurulu D13A039 kodlu 322 km^2 drenaj alanına sahip Boğazköy AGİ bulunmaktadır. Bu istasyonda 1984-2013 yılları arasında farklı yıllarda akım gözlemleri yapılmıştır. Boğazköy AGİ'de gözlenen yıllık toplam akım değerleri Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Ayrıca, 2015 yılı içerisinde işletime alınan ve köprüye yakın noktada kurulan Otogar AGİ bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Boğazköy AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık ortalama akımlar

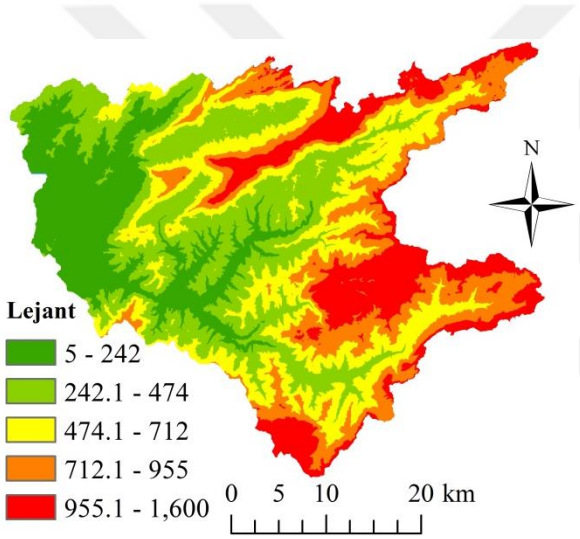
Kozcağız ve Bartın merkezinin taşkın zararlarından korunması amacıyla havza içerisinde Kışla sel kapanı ve Kozcağız Barajı iki yan kol üzerinde inşa edilmektedir. Depolama hacmi 46 000 000 m^3 ve temelden yüksekliği 54 m olan Kozcağız Barajı 24 600 dekar zirai sulama ve taşkından koruma amaçlı olarak inşa edilmektedir. 11 360 000 m^3 depolama hacmine sahip olan Kışla sel kapanı da Bartın merkezini taşkın zararlarından koruma amaçlı olarak inşa edilmektedir (DSİ, 2017). Söz konusu iki taşkın koruma tesisi hizmete açıldığında büyük bir drenaj alanından gelecek suyu depolayabileceklerdir. Bartın I Köprüsü de ekstrem koşullar dışında bu yapılardan faydalanmış olacaktır.

4.2.2. Bartın III Köprüsü

Bartın III Köprüsü çıkış noktası olarak alındığında, elde edilen havza 443 833 – 498 543 X ve 4 578 260 – 4 624 360 Y koordinatları arasında (UTM ED50, Zone 36N) yer almaktadır. Havzanın büyük bölümü Karabük-Safranbolu ile Bartın Merkez, Ulus ve Amasra ilçelerinden drene olan suları toplamaktadır. Havzanın drenaj alanı, çevresi, en uzun akım

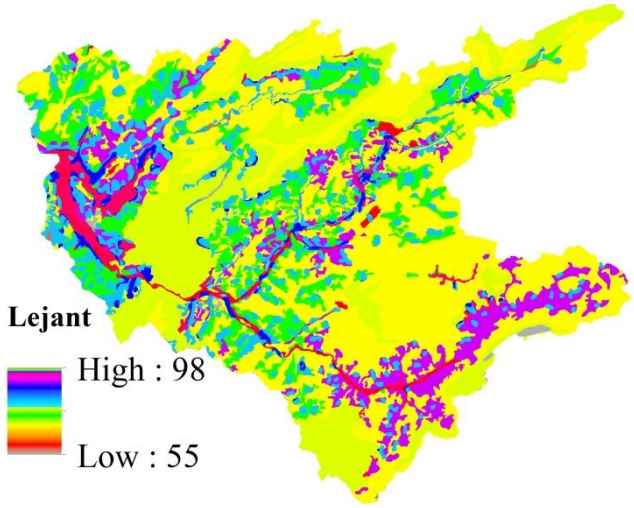
yolu ile en yüksek, ortalama ve en düşük kotları sırasıyla 1374,6 km^2, 348,1 km, 82,3 km, 1600 m, 1070 m ve 5 m'dir (Şekil 4.3.). Havzanın ortalama eğimi %35'tir. Havza, Bartın Çayı'nın büyük kolunu toplayan drenaj alanına sahiptir.

Bartın III Köprüsü'nün drenaj alanında da, Bartın I Köprüsü'nün drenaj alanında görüldüğü gibi küçük yerleşim birimleri, ormanlık alanlar, mera, çayır ve tarımsal alanlar bulunmaktadır. Havzanın zemin tipi ve arazi kullanımı dikkate alındığında, havzanın ortalama eğri numarası 75,8 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4.). Havzada meydana gelen taşkın olayları incelendiğinde, hem büyük drenaj alanına sahip Ulus Çayı'nda hem de daha küçük drenaj alanına sahip Arıt Çayı'nda meydana geldiği görülmektedir.

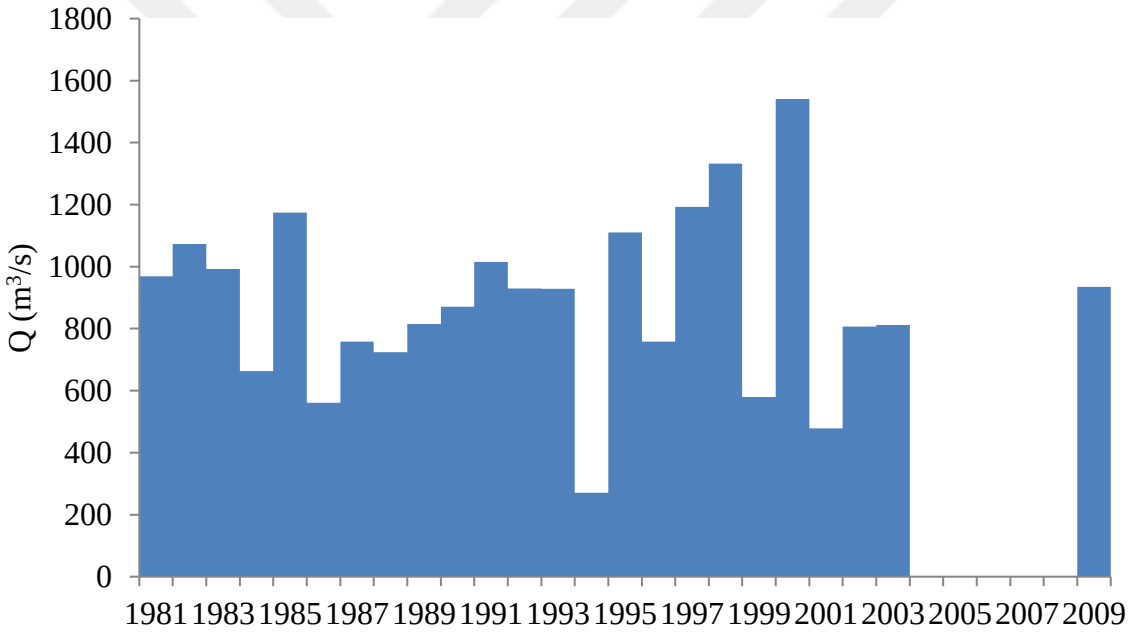


Şekil 4.3. Bartın III Köprü havzasına ait SYM

Havza içerisinde Gökırmak ana kolu üzerinde ve yan derelerinde kurulu uzun yıllar ölçüm alınan üç farklı AGİ bulunmaktadır. Bunlar, D13A014 kodlu 995 km^2 drenaj alanına sahip Ulus Çayı Bayıryüzü AGİ, D13A049 kodlu 124 km^2 drenaj alanına sahip Arıt Çayı Darıören AGİ ve E13A031 kodlu Bartın III Köprüsü üzerinde kurulu 1375 km^2 drenaj alanına sahip Kocaırmak Bartın AGİ'dir. Bu istasyonlarda farklı yıllarda akım gözlemleri yapılmıştır (Şekil 4.5. – Şekil 4.7.).



Şekil 4.4. Bartın III Köprüsü drenaj alanında eğri numaralarının değişimi

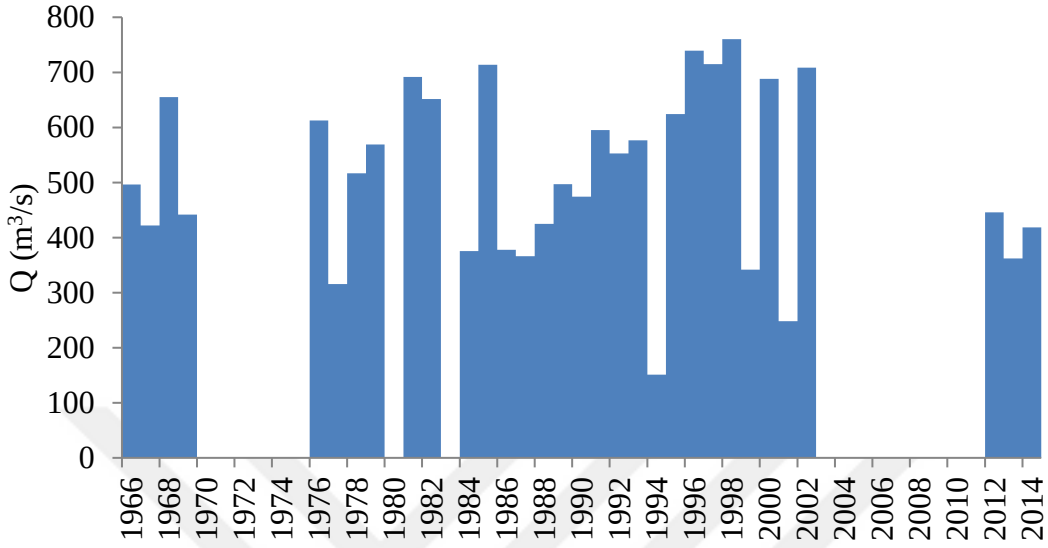


Şekil 4.5. Kocaırmak AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık ortalama akımlar

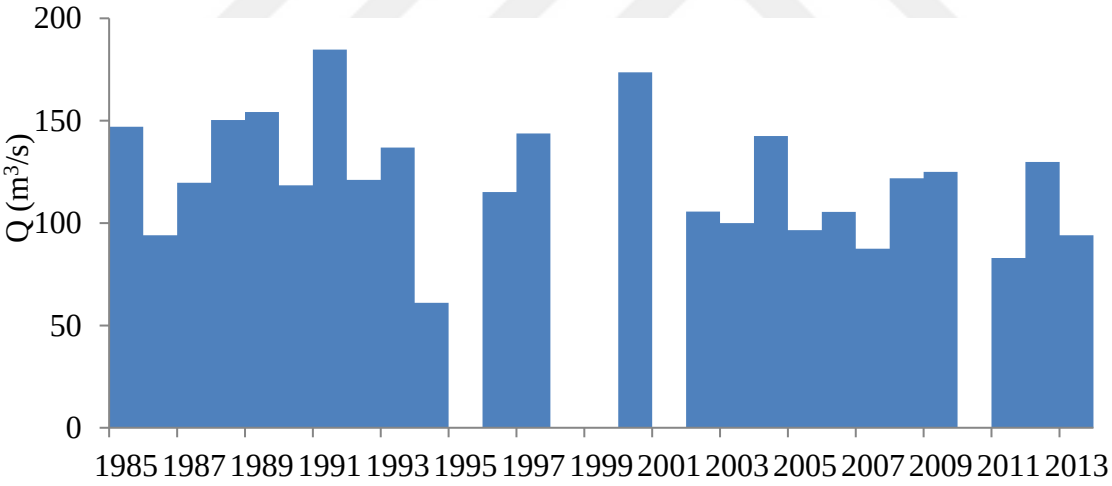
Bartın Çayı'nda günümüze kadar farklı tarihlerde ciddi taşkın olayları yaşanmıştır. En büyük tarihi taşkın 1998 yılında yaşanmış olup şehir sular altında kalmış ve alt yapıya ciddi zararlar vermiştir. Son yıllarda da Bartın Çayı'nda şiddetli yağış, ani sıcaklık değişimiyle kar erimeleri gibi nedenlerle önemli taşkın olayları gerçekleşmektedir.

Havza içerisinde Gökırmak üzerinde Kirazlıköprü Barajı inşa edilmektedir. Depolama hacmi 66 190 000 m^3 ve temelden yüksekliği 72,5 m olan Kirazlıköprü Barajı 31 000 dekarlık tarım alanını sulama, yıllık 41 GW enerji üretimi ve taşkından koruma amaçlı olarak

inşa edilmektedir (DSİ, 2017). Ayrıca, Ova Çayı üzerinde planlanmış farklı HES projeleri de bulunmaktadır.



Şekil 4.6. Bayıryüzü AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık ortalama akımlar

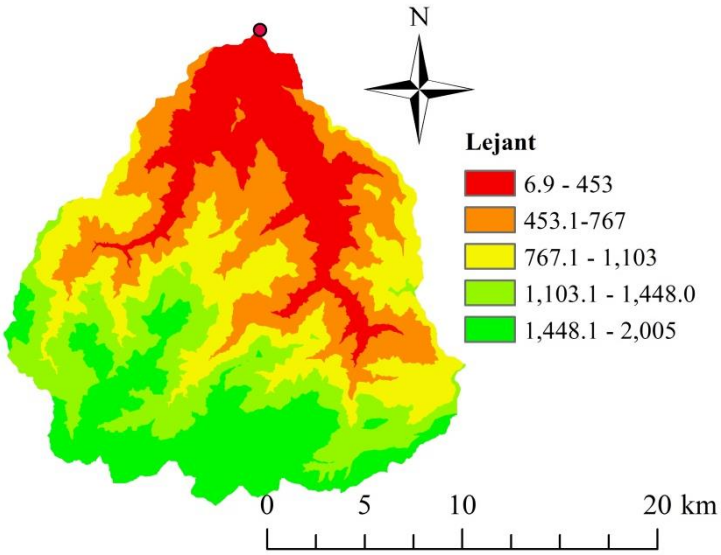


Şekil 4.7. Darıören AGİ'de yıllara göre gözlemlenen yıllık ortalama akımlar

4.2.3. Çatalzeytin Köprüsü

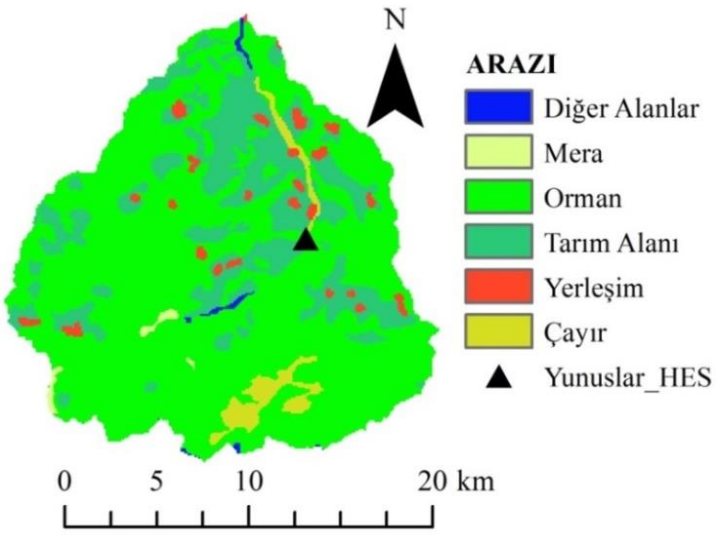
Çatalzeytin Köprüsü çıkış noktası alındığında, elde edilen havza 588 770 – 612 453 X ve 4 620 904 – 4 645 334 Y koordinatları arasında (UTM ED50, Zone 36 N) yer almaktadır. Havzanın drenaj alanı Kastamonu ili Çatalzeytin ve Bozkurt (%76,5) ilçeleri ile Sinop ili Türkeli (%23,5) ilçe sınırları içerisinden drene olan suyu toplamaktadır. Havzanın drenaj alanı, çevresi, en uzun akım yolu ile en yüksek, ortalama ve en düşük kotu sırasıyla 372,4

km^2, 112,4 km, 35,6 km, 2005 m, 1150 m ve 7 m'dir. Havza oldukça dik eğime sahip olup ortalama eğimi %45'tir (Şekil 4.8.).



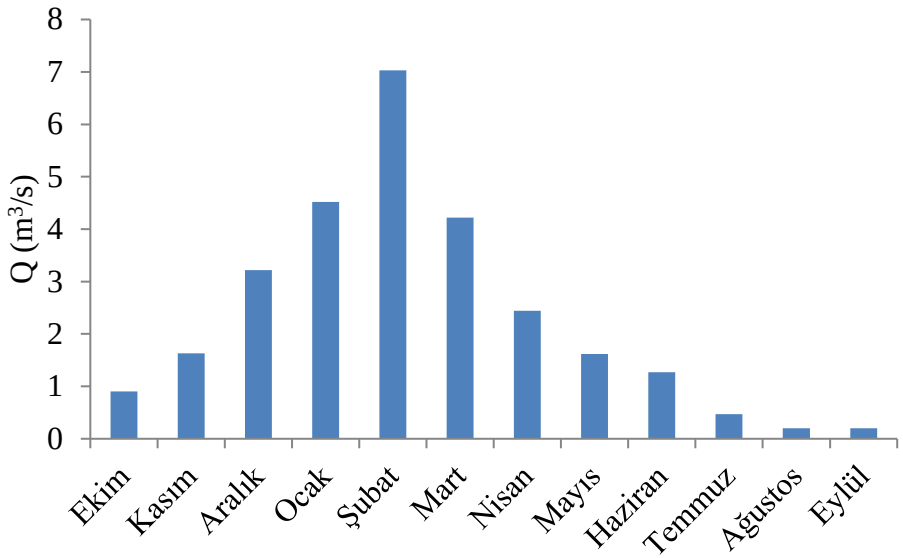
Şekil 4.8. Çatalzeytin Köprüsü havzasına ait SYM

Havzanın büyük bölümü dağlık bölgelerden ve ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Ormanlık alanlara kurulmuş köyler, köylülerin tarım aktiviteleri için tarımsal alanlar, çayır ve mera alanları bulunmaktadır. Havzada taş ocağı haricinde herhangi bir sanayi tesisi bulunmamaktadır. Havzanın yukarı kısımlarında 2015 yıllarında faaliyete geçen ve kurulu gücü 8 MW olan Yunuslar HES bulunmaktadır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Akçay Havzası'nda arazi kullanımı

Akçay Çayı'nın membaında 117,8 km^2 drenaj alanına sahip büyük kol üzerinde 2015 yılında ölçüm almaya başlayan Çatalzeytin AGİ bulunmaktadır. Bu süreçte gözlenen aylık ortalama akımlar Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Çatalzeytin AGİ'de ölçülen aylık ortalama akım değerleri

Havzada taşkın, sık sık karşılaşılan bir afet türüdür. En son 20 Haziran 2017'de aşırı yağışlar neticesinde taşkın olayı yaşanmıştır. Meydana gelen taşkın genellikle köy yolları, menfezler, akarsu köprüleri gibi alt yapı elemanlarıyla tarım alanlarına ciddi zararlar vermektedir.

4.3. Havzaların Morfometrik Özellikleri

Akarsu köprülerini doğrudan etkileyebilen, havza ve yağış özelliklerine bağlı olarak şiddeti değişen ani taşkınların köprüler açısından değerlendirilebilmesi amacıyla akarsu köprülerinin bulunduğu havzalar ve bunların yağış-akış ilişkileri ile ilgili parametreler dikkate alınmıştır. Örneğin havzada azalan bitki örtüsü ve artan yerleşim alanlarıyla yağış-akış ilişkisi değişebilmekte, daha fazla yağış miktarının doğrudan akışa geçmesi ile taşkın riskinin artması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle ilgili havzada meydana gelebilecek olası taşkın potansiyeli ile ilgili bir çalışmanın yapılması hem mevcut köprüler hem de o havzada yapılması muhtemel yeni köprüler için önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada havzalara ait SYM kullanılarak morfometrik parametreleri belirlenmiştir.

Morfometrik parametreler, havzanın şekil, alan, drenaj yapısı gibi geometrik özellikleri kullanılarak havzanın fiziksel yapısı hakkında fikir veren büyüklüklerdir. Bu parametreler, havzanın iklimi, litolojik yapısı, sızma kapasitesi, bitki örtüsü, jeolojik yapısı gibi özellikler hakkında bilgi vermektedir. Genel olarak havzaya ait morfometrik parametreler belirlenerek havzanın morfometrik analizi yapılmakta, böylece hidrolik parametreler ile jeomorfolojik özellikler arasındaki ilişki anlaşılmaya çalışılmaktadır (Aher, Adinarayana ve Gorantiwar, 2014; Yadav, Singh, Gupta ve Srivastava, 2014; Abdul Rahaman, Abdul Ajeez, Aruchamy ve Jegankumar, 2015; Asode, Sreenivasa ve Lakkundi, 2016). Havzanın detaylı morfometrik analizi sayesinde havzanın drenaj ağı ve bu drenaj ağının arazi şekli ve diğer özellikleri üzerindeki etkisinin anlaşılmasında ciddi katkılar sağlanmaktadır (Leopold ve Miller, 1956; Asode ve diğerleri, 2016). Akarsu ağlarının analizi ile drenaj alanının coğrafik ve morfolojik değerlendirilmesi çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Markose, Dinesh ve Jayappa, 2014). Morfometrik bağıntıların kullanıldığı alanlardan bazıları akarsu hidroliği, taşkın tahmini, akarsularda sediment ve kirleticilerin taşınım ve birikiminin modellenmesi (Jolly, 1982; Ogunkoya, Adejuwon ve Jeje, 1984; Pitlick, 1994; Özdemir ve Bird 2009; Shi, Huang, Ai, Fang ve Wu, 2014), yeraltı suyu potansiyelinin değerlendirilmesi (Sreedevi, Subrahmanyam ve Ahmed, 2005), ani taşkın risk tahmini (El-Shammy, 1992; Youssef, Pradhan ve Hassan, 2011) ve havzaların ani taşkın potansiyellerine göre önceliklendirilmesi (Javed, Khanday ve Ahmed, 2009; Deepika, Avinah ve Jayappa, 2013; Patel, Gajjar ve Srivastava, 2013) sayılabilir (Markose ve diğerleri, 2014).

Bir havzaya ait morfometrik büyüklüklerin o havzanın hidrolojik parametreleriyle de doğrudan ilişkisi bulunmaktadır (Markose ve diğerleri, 2014). Örneğin Magesh, Chandrasekar ve Soundranayagam (2011) yaptıkları çalışmada havzaya ait morfometrik bağıntıları kullanarak pik taşkın debisi, sediment verimi ve erozyon oranlarının tahminini gerçekleştirmişlerdir. Taşkınlar, arazi veya drenaj ağları karakteristikleriyle yakından etkilenmektedir. Hudson ve Colditz (2003) yaptıkları çalışmada akarsu mertebesi, drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, eğimi, reliyef oranı, yüzey akış uzunluğu gibi morfometrik parametrelerle benzer diğer jeomorfolojik büyüklüklere bağlı olarak havza sistemlerinin daha iyi anlaşılabileceğini ifade etmişlerdir.

Ani taşkının meydana gelme potansiyelinin belirlenmesi için kullanılan grafiksel sınıflamaya dayalı yöntem ise El–Shamy (1992) tarafından geliştirilmiştir. El-Shamy (1992), alt havzalarda akarsuların dallanma oranı – akarsu sıklığı ile dallanma oranı–drenaj

yoğunluğu arasındaki ilişkiye göre ampirik bir diyagram oluşturmuş ve ilgili büyüklüklerin grafikte kesiştikleri bölgeye göre alt havzaların taşkın oluşma potansiyelini az, orta ve yüksek olmak üzere üç gruba ayırmıştır. Mısır'da bulunan havzalar için geliştirilmiş olan bu yaklaşım günümüzde birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda da kullanılmaktadır (Youssef ve diğerleri, 2011; Asode ve diğerleri, 2016). Javed ve diğerleri (2009), Özdemir ve Bird (2009), Patel ve diğerleri (2013) çalıştıkları havzayı alt havzalara ayırmış ve herbir alt havzanın morfometrik parametrelerini hesaplamışlardır. Her bir alt havzayı, havzanın morfometrik parametrelerine göre notlandırıp her bir alt havza için toplam not elde etmişlerdir. Toplam nota göre alt havzaları ani taşkın potansiyeline göre önceliklendirip önlem alınması gereken alt havzaları önceliklendirmişlerdir.

Bu çalışmada ani taşkınlar nedeniyle akarsu köprülerinde meydana gelebilecek hidrolojik etkileri göz önüne alabilmek için ani taşkın oluşumunda etkili olduğu düşünülen morfometrik parametreler Çizelge 4.1.'de tanımlanmıştır. Morfometrik parametrelerin bir bölümü havzanın drenaj durumu bir bölümü de havzanın şekil özellikleriyle ilgilidir. Havzanın drenaj durumu, o havzadaki doğal drenaj kanallarını oluşturan ana mecra ve ona bağlı bulunan çok çeşitli ve değişik derecelerdeki yan kolların veya derelerin havzaya düşen yağış sularını boşaltabilme yeteneği veya kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Bir havzanın drenaj durumunu ifade edebilmek amacıyla bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar akarsu sayısı, akarsu uzunluğu, akarsu sıklığı, drenaj yoğunluğu ve dallanma oranı olarak ifade edilen yöntemlerdir.

Dallanma oranı (R_b), bir mertebedeki akarsu sayısının bir mertebe büyük olan akarsu sayısına oranı olarak ifade edilmektedir. Çalışmada ArcGIS yardımıyla Strahler (1957) yaklaşımına göre belirlenen akarsu mertebeleri ana kol en büyük mertebeyi alacak şekilde belirlenmiştir. Her bir alt havzaya ait R_b değeri akarsu mertebelerinin ağırlıklı ortalamalarına göre hesaplanmıştır. R_b değeri genellikle 3 - 5 arasında değişmekte ve havza jeolojik yapısının drenaj ağı üzerindeki etkisi hakkında fikir vermektedir (Strahler, 1964). Küçük R_b değerleri drenaj ağı üzerinde az rahatsızlık oluştururken, büyük R_b değerleri drenaj ağı üzerinde önemli rahatsızlıklar oluşturmaktadır (Javed ve diğerleri, 2009; Patel ve diğerleri, 2013).

Çizelge 4.1. Morfometrik parametreler, formülleri ve tanımları

Morfometrik Parametreler	Sembol	Formül	Birim	Tanım	Referans
Dallanma Oranı	R_b	N_u/N_{u+1}	-	Herhangi bir mertebedeki akarsu sayısının o mertebe sonrasındaki akarsu sayısına oranıdır	(Strahler,1957)
Drenaj Yoğunluğu	D_d	$\Sigma L_u/A$	1/km	Birim drenaj alanındaki toplam akarsu uzunluğudur	(Horton, 1932)
Akarsu Sıklığı	F_s	$\Sigma N_u/A$	$1/km^2$	Birim drenaj alanındaki toplam akarsu sayısıdır	(Horton, 1932)
Tekstür Oranı	T	N_1/P	1/km	Birim çevre uzunluğundaki birinci mertebe akarsu uzunluğudur	(Schumm,1956)
Yüzey Akış Uzunluğu	L_o	$A/2L_u$	km	Drenaj yoğunluğunun tersinin yarısıdır	(Horton, 1945)
ρ Katsayısı	ρ	L_{ur}/R_b	km	Akarsu uzunluk oranının dallanma oranına oranıdır	(Horton, 1945)
Biçim Faktörü	F_f	A/L^2	-	Havza drenaj alanının havza uzunluğunun karesine oranıdır	(Horton, 1945)
Şekil Faktörü	S_f	L^2/A	-	Havza uzunluğunun karesinin havza drenaj alanına oranıdır	(Horton, 1945)
Uzunluk Oranı	E_r	$1{,}128A^{0,5}/L$	-	Havza ile aynı drenaj alanına sahip dairenin çapının havzanın uzunluğuna oranıdır	(Schumm,1956)
Sıklık Katsayısı	C_c	$0{,}282P/A^{0,5}$	-	Havzanın çevresinin havzanın drenaj alanı ile aynı alana sahip dairenin çevresine oranıdır	(Patel ve diğerleri, 2013)
Dairesellik Oranı	C_r	$12{,}566A/P^2$	-	Havzanın alanının havzanın çevresi ile aynı çevreye dairenin alanına oranıdır	(Patel ve diğerleri, 2013)
Genişlik Uzunluk Oranı	WL_r	W/L	-	Havzanın genişliğinin (W) uzunluğuna (L) oranıdır	(Al-Saif, 2010)

Drenaj yoğunluğu 1 km^2'ye düşen ortalama akarsu uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Havza içinde su taşıyan tüm doğal kolların toplam uzunluğunun havza alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. Drenaj yoğunluğu (D_d), havzadaki akış potansiyeli, sızma kapasitesi, iklim şartları ve bitki örtüsü hakkında fikir vermektedir (Özdemir ve Bird, 2009). Büyük D_d değerleri, akarsuların oldukça yoğun olduğunu ve fırtınada suyun çok hızlı akışa geçeceğini ifade etmektedir (Srivastava, Mukherjee ve Gupta, 2008; Patel ve diğerleri, 2013). Bir havzadaki drenaj yoğunluğu aynı zamanda havzada meydana gelen yıllık ortalama yağışlarla da doğrudan ilgilidir. Drenaj yoğunluğunun büyük olması halinde büyük akış değerleri elde edilirken küçük değerlerinde küçük akış değerleri söz konusudur. Drenaj yoğunluğunun yüksek oluşu, iyi gelişmiş bir drenaj sistemini ve yüzeysel akışın hızlı bir şekilde oluştuğunu

göstermektedir. Düşük drenaj yoğunluğu, yüzey altı geçirgen kayaların, sıkı bitki örtüsünün ve düşük reliyefin varlığında gelişmektedir (Markose ve diğerleri, 2014).

Akarsu sıklığı (F_s), belirli bir havzada bütün mertebedeki akarsu kolları sayısının havza alanına bölünmesiyle elde edilir. F_s değerinin büyük olması havzada geçirimsiz yüzey altı malzemesi, seyrek bitki örtüsü, yüksek reliyef şartları ve düşük sızma kapasitesine sahip toprak örtüsünün olduğunu göstermektedir (Özdemir ve Bird, 2009). Küçük F_s değerleri de küçük eğimi, zemindeki büyük geçirimliliği ve küçük akışı ifade etmektedir (Patel ve diğerleri, 2013).

Tekstür oranı (T), 1. mertebeden akarsu sayısının (N_1) havzanın çevresine (P) oranı olarak tanımlanmaktadır. T değeri, jeoloji, ana kayanın sızma kapasitesi, reliyef yönü gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir (Özdemir ve Bird, 2009). T değeri büyük olan havzalarda meydana gelecek akış değeri de büyük olmaktadır.

Yüzey akış uzunluğu (L_o), suyun belirli bir akarsuya bağlanmadan önceki uzunluğunu ifade etmektedir. Havzanın hem hidrolojik hem de fizyografik gelişimini etkiler. Drenaj ağının gelişiminde hidrolojik ve morfolojik faktörlerin en baskını olup akarsu ara mesafesi ile akarsuyun parçalara ayrılıp incelenme derecesinin bir ölçüsüdür (Asode ve diğerleri, 2016).

ρ parametresi, akarsu ağırlıklı uzunluk oranının dallanma katsayısına oranı olup drenaj ağının depolama kapasitesinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. ρ değerinin büyük olması taşkınlar sırasında akarsuyun daha fazla depolama yaptığını ve artan debiyle sönümleme etkisinin de fazla olacağını göstermektedir (Horton, 1945).

Uzunluk oranı (E_r) değerinin 0,90'dan büyük olması durumunda havza dairesel, 0,80–0,90 arasında olması halinde havza oval olarak tanımlanmakta, 0,70'den küçük ise uzunluk oranı az olarak sınıflandırılmaktadır. Uzunluk oranı az olan havzalarda pik debi daha küçük değerlerde ve daha geç meydana gelmektedir. E_r değerinin 1'e yakın olması durumunda havza çok küçük reliyef ve eğim değerine sahip olmaktadır. Küçük E_r değerlerinde havzanın ani taşkın hassasiyeti daha az olmaktadır (Markose ve diğerleri, 2014).

Biçim faktörü (F_f) havzanın şekliyle ilgili bir büyüklük olup havzanın drenaj alanı ve en uzun akım yolu büyüklükleri kullanılarak hesaplanmaktadır. F_f değerinin büyük olması

halinde pik debi daha çabuk meydana gelirken, küçük F_f değerlerinde daha küçük pik debi daha geç meydana gelmektedir. Şekil faktörü (S_f), F_f ile ters orantılıdır (Horton, 1945). Ayrıca, küçük F_f değerleri havzanın daha uzun olduğunu, büyük F_f değerleri ise havzanın dikdörtgen-daire şekilli olduğunu göstermektedir (Markose ve diğerleri, 2014).

Sıklık katsayısının (C_c) küçük değerlerinde havza daha az uzunken, büyük değerlerinde havza daha uzundur. Dairesellik oranının (C_r), küçük olması halinde akım daha yavaş ve erozyon ihtimali daha az olmaktadır (Patel ve diğerleri, 2013). Genişlik uzunluk oranının (WL_r), az olması durumunda ise havzanın uzunluk oranı da artmaktadır (Al-Saif, 2010).

Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde araştırmacılar havzayı alt havzalara ayırarak taşkın zararlarından korunmak için yapılacak yapıların yerlerini tespit etmeye yönelik öneriler içeren çalışmalar yapmışlardır. Bu nedenle çalışmada köprüler çıkış noktası olarak alındığında suların drene olduğu havzaya ait alt havzalar belirlenerek bunların hidrolojik davranışlarının anlaşılabilmesi için morfometrik parametrelerden yararlanılmıştır.

4.3.1. Yöntem

Bir havzadaki drenaj ağları, saha gözlemleri ve topoğrafik haritalar gibi geleneksel yöntemlerin yanı sıra uzaktan algılama ve SYM gibi gelişmiş yöntemler kullanılarak da tanımlanabilir (O'Callaghan ve Mark, 1984; Macka, 2001; Maidment, 2002; Özdemir ve Bird, 2009). Bu çalışmada morfometrik parametreler 1/25 000 ölçekli haritalardan ArcGIS 10.1 yardımıyla 10 m aralıklarla oluşturulmuş SYM kullanılarak hesaplanmıştır. SYM ve akım yönü kullanılarak akım toplanma miktarları belirlenmiştir. Havzanın drenaj ağının ve akarsuyun başlatılabilmesi akım toplanma miktarlarının eşik değerine göre belirlenebilir. Eşik değere göre drenaj ağının havzanın neresinde oluşacağı ve akarsu mertebeleri doğrudan etkilenmektedir. Burada önemli olan bu eşik değerin hangi değeri alabileceğidir. Büyük değerler kullanılması durumunda daha seyrek drenaj ağı elde edilirken, küçük değerler kullanılması halinde daha sık drenaj ağı elde edilmektedir. Seyrek drenaj ağı kullanılması durumunda alt havzalara ait morfometrik büyüklüler birbirine yakın değerler alacağından havzalar arası farklılıkların azalacağı anlamına gelmektedir. Alt havzalar arası sağlıklı, göreceli bir kıyaslama ve anlamlı bir yorum yapmak morfometrik parametrelerdeki çok küçük değişimlerden dolayı zor olmaktadır. Bu nedenle akarsuyun oluşabilmesi için gerekli olan akım toplanma eşik değeri Özdemir ve Bird (2009) tarafından 75 olarak alınmışken, bu

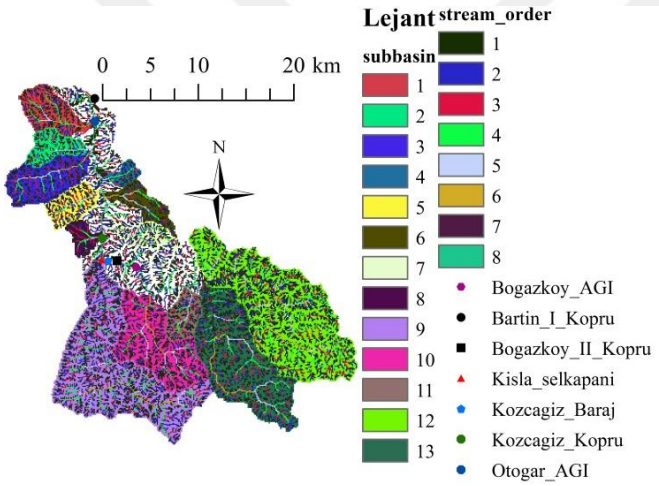
çalışmada, Youssef ve diğerleri (2011) ile Gabr ve El Bastawesy (2015) tarafından önerildiği gibi 100 olarak alınmıştır. Çalışılan tüm havzalarda bu değer kullanılarak havzalar arasında da bir korelasyonun kurulması sağlanmıştır.

ArcGIS'te belirlenen havza ve drenaj ağı vb. katmanlar HecGeo–HMS'e aktarılmış, drenaj ağının mertebeleri Strahler (1957) yaklaşımına göre belirlenmiştir. ArcGIS işlemi sonucunda elde edilen akarsu mertebeleri, her bir kolun birleşiminden sonra ayrı ayrı bir akarsu olarak tanımlanmaktadır. Hesaplanan dallanma oranı, akarsu sıklığı, tekstür oranı ve ρ katsayısı gibi morfometrik parametreler 1. mertebe haricindeki diğer tüm mertebeleri tek bir parça olarak dikkate alınmaktadır. Bu nedenle ArcGIS'te gerekli işlemler manuel olarak yapılıp öz nitelik tablosuna işlenmiştir. Bu işlem hidrolojik olarak değerlendirilmeye alınan Bartın I, Bartın III, Çatalzeytin Köprülerinin bulunduğu havzaların yanı sıra Bartın Çayı'na komşu olan, Batı Karadeniz Havzası sınırlarında yer alan ve köprü hasar veya yıkılmalarının gözlemlendiği Araç Çayı Havzası'nda da gerçekleştirilmiştir. Araç Çayı'nın drenaj alanı 2812,5 km^2, çevresi ise 471,8 km'dir. Morfometrik analizleri yapılan havzalar göz önüne alındığında Batı Karadeniz Havzası'nın %17,4'lük drenaj alanı altı aylık süre içerisinde tamamlanmıştır. %17,4'lük drenaj alanına ait morfometrik analizin Batı Karadeniz Havzası'nın sınırlarında yer alan büyük havzalar dikkate alınarak yapıldığından havzanın özelliklerinin yansıtılabilmesi bakımından da anlamlı olduğu düşünülmektedir.

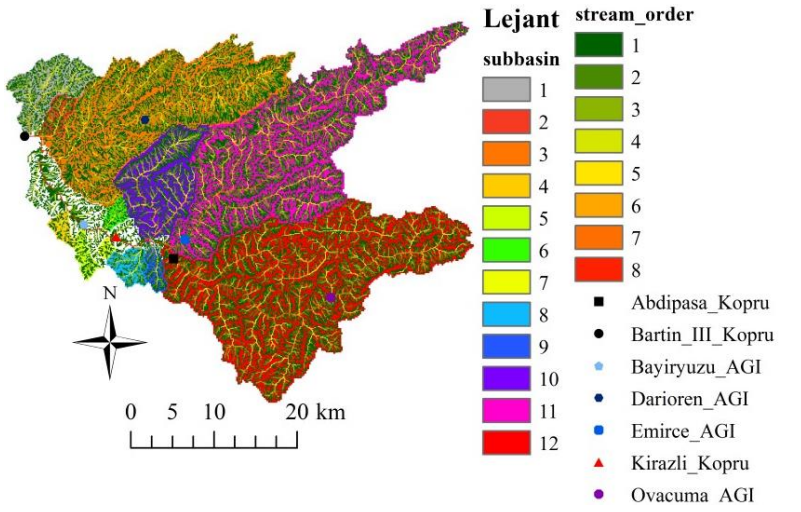
4.3.2. Bulgular

Araç, Bartın I, Bartın III ve Çatalzeytin havzalarında ana kanalların mertebesi sırasıyla 9, 8, 8 ve 7 olarak belirlenmiştir. Her dört havza alt havzalara ayrılarak her bir alt havzanın morfometrik parametreleri hesaplanmıştır. Bartın I, Bartın III ve Çatalzeytin Köprülerinin havzalarında ana kanalı oluşturan ve mertebesi ana kanalın mertebesinden bir küçük olan iki yukarı havza alt havza olarak belirlenmiştir. Ana kanal mertebesi 7 olan havzalar için, ana kanala bağlanan 5 ve 6 mertebeli akarsu kolları, ana kanal mertebesi 8 olan havzalar için ana kanala bağlanan 5, 6 ve 7 mertebeli akarsu kollarının drene olduğu alanlar da alt havza olarak belirlenmiştir. Ana kanala bağlanan bu akarsu mertebeleri Bartın I ve Bartın III için ana kanalın mertebesinden üç mertebe kadar küçük olurken, Çatalzeytin için ana kanal mertebesinden iki mertebe kadar küçük olmuştur. Çatalzeytin için üç mertebe küçük akarsu kolları alt havza olarak alındığında çok küçük drenaj alanlarına sahip alt havzalar oluşmaktadır. Bu nedenle küçük drenaj alanına sahip olan Çatalzeytin'i daha fazla alt

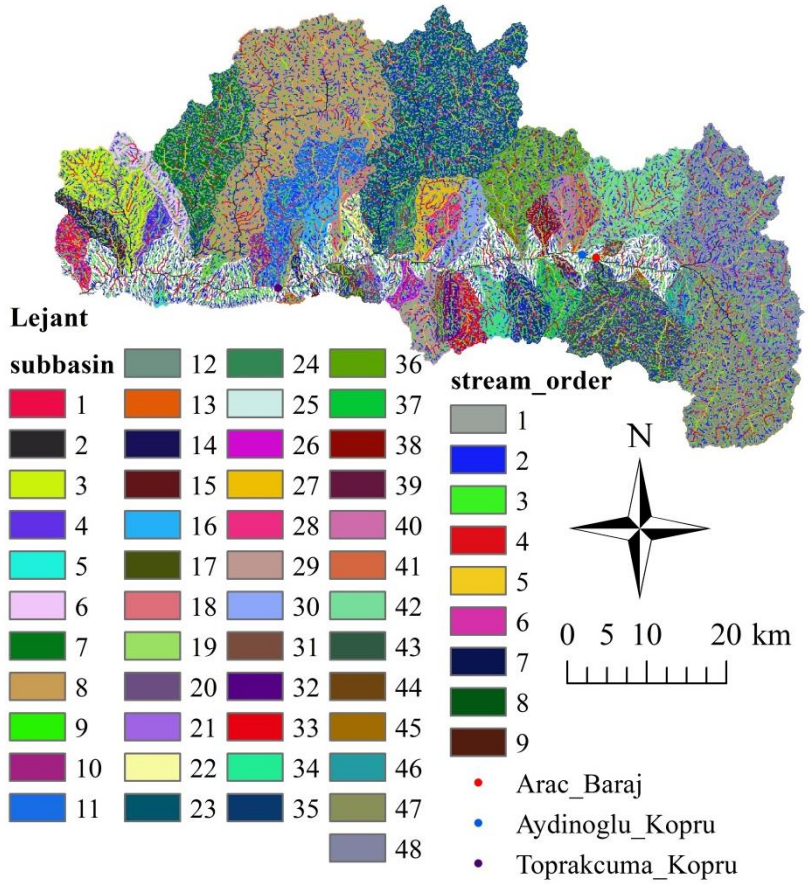
havzalara ayırmanın faydalı olmayacağına karar verilmiştir. Ana kanal mertebesi 9 olan Araç Çayı Havzası, mertebesi 8 olan iki adet akarsudan oluşmaktadır. Bu havza için ana kanal, mertebeleri 8 ve 9 olan akarsular olarak belirlenmiştir. Bu şekilde Bartın I ve Bartın III havzalarında olduğu gibi kanal mertebesi 8'i oluşturan ve mertebeleri 7 olan akarsuların drene olduğu ikişer yukarı havza, mertebeleri 8 ve 9 olan ana kollara yandan bağlanan ve mertebeleri 5, 6 ve 7 olan akarsuların toplandığı alanlar da alt havza olarak alınmıştır. Bu işlem sonucunda Bartın I, Bartın III Köprüleri, Araç Çayı ve Çatalzeytin Köprüsü için sırasıyla 13, 12, 48 ve 11 adet alt havza oluşturulmuş olup, bunlar sırasıyla Şekil 4.11.-4.14.'te verilmiştir. Ayrıca bu alt havzaların morfometrik büyüklükleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.



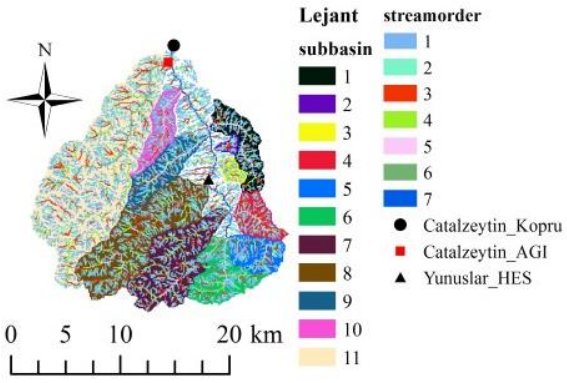
Şekil 4.11. Bartın I Köprüsü drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu AGİ'ler, barajlar ve kritik durumdaki köprüler



Şekil 4.12. Bartın III Köprüsü drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu AGİler, barajlar ve kritik durumdaki köprüler



Şekil 4.13. Araç Çayı drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu barajlar ve kritik durumdaki köprüler



Şekil 4.14. Çatalzeytin Köprüsü drenaj alanında alt havzalar, akarsu mertebeleri, üzerinde kurulu AGİ ve HES

Havzaların drenaj ağları incelendiğinde en büyük morfometrik değerleri R_b değeri için Bartın I Köprüsü, D_d değeri için Bartın III Köprüsü, F_s değeri için de Çatalzeytin Köprüsü'nün aldığı görülmüştür. Drenaj alanı en büyük havza olan Araç Çayı'nın 1. mertebeden drenaj kolu fazla olup dolaylı olarak havza büyüklüğüyle ilgili olan T değeri de

büyük olmaktadır. Drenaj alanlarındaki akarsuyun taşkını öteleyebilme kapasiteleri bakımından Araç Çayı daha iyidir, çünkü suyu daha fazla depolayabilme kapasitesine sahiptir. Diğer üç havzanın suyu depolayabilme kapasiteleri birbirlerine yakındır. Bartın I ve Bartın III Köprülerinin drenaj alanları birbirlerine komşu olmalarına rağmen, dallanma oranları bakımından Bartın I Köprüsü'nün alt havzaları, Bartın III Köprüsü'nün alt havzalarına göre daha büyük değerler almaktadır. Bartın III Köprüsü'nün alt havzaları ve havza genelinin drenaj yoğunluğu Bartın I Köprüsü'nün alt havzalarının drenaj yoğunluğuna göre oldukça büyüktür. Bu bakımdan iki komşu havzanın birbirleriyle benzer hidrolojik özellikler göstermediği söylenebilir. Bartın III Köprüsü'nün drenaj yoğunluğunun Çatalzeytin Köprüsü'nün drenaj yoğunluğundan fazla olmasına rağmen, Çatalzeytin'in yukarı havza kısımlarında ve Yunuslar HES'in drenaj alanında bulunan 5 no'lu alt havzanın drenaj yoğunluğu en fazla olan alt havzadır. Köprülere ait tüm drenaj özellikleri dikkate alındığında Çatalzeytin Köprüsü'nün en dezavantajlı durumda olduğu söylenebilir. Havza şekliyle ilgili parametreler dikkate alındığında Çatalzeytin Köprüsü en dezavantajlı durumdayken, Bartın I Köprüsü'nün en avantajlı köprü olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.2. Köprülerin drene oldukları havzaların alt havzalarında hesaplanan morfometrik değerler

Akarsu/Köprü	Alt havza	Morfometrik parametreler											
		R_b	D_d	F_s	T	L_o	ρ	F_f	S_f	E_r	C_c	C_r	WL_r
Bartın I	1	4,92	5,74	30,31	18,41	0,087	0,47	0,24	4,24	0,55	1,79	0,31	0,29
	2	5,18	5,32	31,21	14,78	0,094	0,39	0,23	4,35	0,54	1,87	0,29	0,26
	3	5,26	5,53	31,32	22,84	0,090	0,39	0,20	5,03	0,50	1,77	0,32	0,25
	4	4,70	5,87	32,04	9,76	0,085	0,46	0,18	5,58	0,48	1,86	0,29	0,33
	5	4,98	5,22	29,70	16,22	0,096	0,51	0,26	3,89	0,57	1,66	0,36	0,31
	6	5,30	5,36	29,90	12,67	0,093	0,37	0,14	7,04	0,43	2,14	0,22	0,17
	7	4,53	5,44	32,73	13,38	0,092	0,54	0,12	8,01	0,40	2,01	0,25	0,16
	8	4,84	5,40	32,50	12,15	0,093	0,47	0,29	3,42	0,61	1,75	0,33	0,41
	9	4,84	5,39	29,74	32,27	0,093	0,44	0,10	9,75	0,36	2,30	0,19	0,19
	10	4,90	5,60	32,33	28,87	0,089	0,42	0,27	3,67	0,59	1,87	0,29	0,36
	11	4,94	5,31	29,64	17,37	0,094	0,48	0,24	4,16	0,55	1,49	0,45	0,36
	12	4,76	5,56	30,75	40,61	0,090	0,43	0,19	5,32	0,49	1,93	0,27	0,27
	13	4,64	5,41	30,92	34,17	0,092	0,44	0.,4	7,18	0,42	1,86	0,29	0,19
	Bartın I	4,90	5,57	30,71	78,32	0,090	0,43	0,18	5,68	0,47	2,24	0,20	0,27
	Boğazköy II	4,80	5,52	30,95	68,04	0,091	0,43	0,22	4,58	0,53	1,85	0,29	0,31
	Kozcağız	4,82	5,49	30,61	78,58	0,091	0,43	0,25	3,96	0,57	1,88	0,28	0,36
Bartın III	1	4,58	6,11	32,29	26,06	0,082	0,51	0,24	4,10	0,56	1,96	0,26	0,31
	2	4,50	6,56	33,44	16,17	0,076	0,48	0,21	4,67	0,52	1,70	0,34	0,30
	3	4,74	7,13	31,86	50,49	0,070	0,46	0,14	7,09	0,42	2,35	0,18	0,20
	4	4,47	6,27	34,68	12,12	0,080	0,38	0,24	4,14	0,55	1,74	0,33	0,28
	5	5,10	5,84	34,27	12,41	0,086	0,39	0,15	6,72	0,44	1,97	0,26	0,18
	6	4,21	5,34	28,38	9,39	0,094	0,46	0,21	4,75	0,52	1,79	0,31	0,26
	7	4,57	5,67	37,11	9,28	0,088	0,45	0,29	3,46	0,61	1,60	0,39	0,36
	8	4,84	5,58	30,88	17,02	0,090	0,44	0,31	3,23	0,63	1,64	0,37	0,61
	9	4,98	6,16	29,74	11,61	0,081	0,48	0,17	5,96	0,46	1,90	0,28	0,21
	10	4,41	6,14	30,99	37,53	0,081	0,47	0,18	5,71	0,47	1,74	0,33	0,25
	11	4,64	6,91	33,59	56,72	0,072	0,42	0,12	8,06	0,40	2,51	0,16	0,15
	12	4,73	6,62	32,90	69,72	0,075	0,43	0,15	6,62	0,44	2,20	0,21	0,53
	Bartın III	4,71	6,80	32,80	102,04	0,074	0,42	0,20	4,93	0,51	2,65	0,14	0,31

Çizelge 4.2. (devam) Köprülerin drene oldukları havzaların alt havzalarında hesaplanan morfometrik değerler

Akarsu/Köprü	Alt havza	Morfometrik parametreler											
		R_b	D_d	F_s	T	L_o	ρ	F_f	S_f	E_r	C_c	C_r	WL_r
Çatalzeytin	1	4,76	6,02	33,05	14,68	0,083	0,58	0,14	6,97	0,43	2,16	0,21	0,25
	2	4,35	7,01	37,78	7,54	0,071	0,44	0,25	4,04	0,56	1,69	0,35	0,29
	3	4,40	6,33	34,11	9,70	0,079	0,34	0,24	4,10	0,56	1,57	0,41	0,32
	4	4,30	6,94	35,00	16,59	0,072	0,48	0,27	3,69	0,59	1,66	0,36	0,36
	5	4,55	8,41	37,38	20,94	0,059	0,39	0,22	4,61	0,53	1,50	0,44	0,64
	6	5,21	7,14	36,33	20,11	0,070	0,37	0,27	3,67	0,59	1,99	0,25	0,38
	7	4,73	5,74	33,57	24,16	0,087	0,47	0,15	6,85	0,43	1,97	0,26	0,21
	8	4,65	6,45	34,41	29,29	0,077	0,45	0,16	6,43	0,45	1,95	0,26	0,21
	9	4,83	6,31	33,37	15,94	0,079	0,55	0,12	8,11	0,40	2,07	0,23	0,15
	10	4,85	6,43	33,32	13,76	0,078	0,48	0,11	8,91	0,38	2,09	0,23	0,14
	11	4,79	6,04	31,98	38,29	0,083	0,47	0,11	9,03	0,38	2,02	0,24	0,17
	Çatalzeytin	4,74	6,38	33,46	87,50	0,078	0,43	0,29	3,42	0,61	1,64	0,37	0,45
Araç Çayı	1	4,92	5,21	30,16	18,10	0,096	0,49	0,15	6,66	0,44	1,84	0,30	0,19
	2	4,75	6,34	33,26	18,02	0,079	0,58	0,10	10,07	0,36	2,27	0,19	0,13
	3	4,96	5,85	33,29	35,20	0,085	0,47	0,16	6,08	0,46	2,00	0,25	0,23
	4	6,75	5,24	30,27	13,50	0,095	0,46	0,12	8,68	0,38	2,16	0,21	0,14
	5	3,92	7,77	32,64	8,26	0,064	0,53	0,19	5,28	0,49	1,78	0,32	0,22
	6	5,93	5,31	31,18	18,81	0,094	0,53	0,09	10,79	0,34	2,54	0,16	0,11
	7	4,78	6,08	33,37	39,96	0,082	0,45	0,15	6,84	0,43	2,22	0,20	0,18
	8	4,69	6,59	33,74	55,64	0,076	0,48	0,12	8,04	0,40	2,53	0,16	0,19
	9	4,97	8,39	36,72	9,66	0,060	0,48	0,12	8,16	0,39	1,93	0,27	0,18
	10	4,61	7,00	34,28	14,60	0,071	0,47	0,17	5,98	0,46	1,80	0,31	0,21
	11	4,88	6,29	32,68	29,62	0,079	0,45	0,10	9,90	0,36	2,46	0,16	0,14
	12	5,47	5,24	30,12	8,92	0,095	0,48	0,08	13,15	0,31	2,48	0,16	0,10
	13	4,19	6,71	36,91	7,04	0,075	0,48	0,20	4,92	0,51	2,03	0,24	0,27
	14	3,64	6,35	38,22	7,65	0,079	0,63	0,17	5,95	0,46	1,84	0,29	0,20
	15	3,21	8,19	43,63	6,06	0,061	0,61	0,20	4,93	0,51	1,69	0,35	0,26
	16	5,58	5,76	30,71	18,23	0,087	0,44	0,14	7,23	0,42	1,91	0,28	0,17
	17	4,63	6,80	32,67	12,66	0,074	0,49	0,17	6,05	0,46	1,93	0,27	0,21
	18	4,57	5,93	27,38	7,61	0,084	0,67	0,06	16,73	0,28	3,16	0,10	0,08
	19	4,44	6,25	36,98	8,09	0,080	0,56	0,10	10,30	0,35	2,13	0,22	0,12
	20	4,61	6,45	31,65	10,73	0,078	0,46	0,17	6,03	0,46	1,99	0,25	0,23
	21	5,03	7,07	33,24	6,83	0,071	0,45	0,12	8,43	0,39	2,06	0,23	0,14
	22	4,48	6,42	34,04	13,08	0,078	0,55	0,13	7,42	0,41	2,14	0,22	0,16
	23	4,85	5,75	31,26	53,81	0,087	0,47	0,16	6,11	0,46	2,40	0,17	0,22
	24	5,45	5,66	32,59	17,09	0,088	0,46	0,15	6,74	0,43	2,03	0,24	0,19
	25	5,15	6,01	30,97	11,46	0,083	0,57	0,15	6,52	0,44	1,76	0,32	0,21
	26	4,54	5,57	31,69	12,75	0,090	0,55	0,17	5,74	0,47	1,98	0,25	0,28
	27	5,02	5,91	32,07	17,15	0,085	0,61	0,08	12,29	0,32	2,35	0,18	0,12
	28	5,36	5,93	32,09	16,27	0,084	0,53	0,14	6,92	0,43	2,01	0,25	0,17
	29	4,75	6,17	34,46	19,07	0,081	0,46	0,13	7,46	0,41	2,37	0,18	0,17
	30	4,83	6,22	33,05	21,31	0,080	0,48	0,14	7,35	0,42	1,97	0,26	0,17
	31	6,03	5,50	28,89	9,31	0,091	0,58	0,09	11,14	0,34	2,42	0,17	0,11
	32	5,93	5,55	27,68	12,48	0,090	0,55	0,13	7,55	0,41	1,97	0,26	0,15
	33	4,65	5,86	32,56	16,80	0,085	0,47	0,15	6,53	0,44	2,18	0,21	0,19
	34	4,90	6,00	32,55	19,10	0,083	0,44	0,14	6,95	0,43	1,95	0,26	0,21
	35	4,76	5,99	31,34	23,36	0,083	0,47	0,19	5,26	0,49	1,86	0,29	0,26
	36	4,87	5,78	30,43	36,01	0,087	0,49	0,21	4,72	0,52	1,97	0,26	0,27
	37	4,65	6,22	32,82	19,96	0,080	0,49	0,14	6,91	0,43	2,01	0,25	0,21
	38	4,83	5,32	29,89	14,81	0,094	0,60	0,14	7,11	0,42	1,89	0,28	0,20
	39	4,91	7,26	35,90	11,97	0,069	0,46	0,15	6,48	0,44	1,87	0,29	0,19
	40	5,36	5,69	31,88	16,99	0,088	0,55	0,16	6,29	0,45	2,00	0,25	0,19
	41	4,80	5,80	29,43	15,33	0,086	0,54	0,14	7,20	0,42	2,09	0,23	0,19
	42	4,83	5,74	32,52	34,95	0,087	0,49	0,21	4,65	0,52	2,20	0,21	0,26
	43	4,69	5,79	31,50	44,02	0,086	0,49	0,19	5,29	0,49	1,90	0,28	0,30
	44	4,52	6,78	33,53	9,17	0,074	0,36	0,20	4,96	0,51	1,75	0,33	0,25
	45	4,63	5,89	30,04	8,14	0,085	0,49	0,32	3,10	0,64	1,67	0,36	0,41
	46	5,10	5,85	30,45	17,39	0,086	0,49	0,21	4,70	0,52	1,75	0,33	0,26
	47	4,49	6,27	32,67	53,69	0,080	0,47	0,23	4,30	0,54	1,99	0,25	0,32
	48	4,72	6,30	32,39	49,76	0,079	0,46	0,37	2,69	0,69	2,34	0,18	0,54
	Araç	4,81	6,14	32,10	151,67	0,081	0,46	0,20	5,08	0,50	2,51	0,16	0,29

Genel olarak Araç Çayı'na ait alt havzaların morfometrik değerlerinin en küçük değeri diğer köprülerin alt havzalarının en küçük değerinden daha küçük olurken, en büyük değerleri ise diğer köprülerin en büyük değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Çalışma alanında olmayan fakat ani taşkınlar nedeniyle köprü hasarlarının görüldüğü Araç Çayı'nda morfometrik parametrelerin hesaplanması Batı Karadeniz Havzası'nın genel davranışının anlaşılmasına katkı sağlamıştır. Akarsu köprülerinin hidrolojik yönden maruz kalabileceği ve sonucunda yıkılma ihtimali olan havzaların ani taşkın potansiyelleri, 84 alt havzaya ait 12 adet morfometrik parametreler kullanılarak tahmin edilmiş ve değerlendirmeleri Bölüm 5'te anlatılmıştır.

Bartın I ve Bartın III Köprülerinin morfometrik parametre değerlerine göre ani taşkın potansiyeli öncelikleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Bartın I ve Bartın III köprüleri sırasıyla 4 ve 8 morfometrik parametreye göre taşkına daha duyarlıdır.

Bartın III Köprüsü'nün çıkış noktasında bulunan Kocaırmak AGİ verileri ve Bartın I Köprüsü havzası içerisinde yer alan Boğazköy AGİ verilerinin Bartın I Köprüsü ile Boğazköy AGİ'nin drenaj alanları oranında çarpılmasıyla elde edilen değerleri ile uygun olan frekans analizi yapılarak 100 yıl tekerrürlü pik debiler (Q_{100}) hesaplanmıştır. Havzaya ait taşkın hidrografının gecikme süresi (T_L) ve giriş hidrografı (I) sırasıyla ABD Toprak Muhafaza Servisi (SCS) ve Horn (1987) tarafından önerilen yöntemlere göre hesaplanmıştır (Eş. 4.1, 4.2). Havzalarda 6 saatlik yağış süresi dikkate alındığında pike gelme süreleri (t_p) havzanın taşkın hidrografının gecikme süresinden üç saat fazladır.

$$T_L = \frac{2.587 L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900 S^{0.5}} \tag{4.1}$$

$$I(t) = I_p \left(\left(\frac{t}{t_p} \right)^{3.5} \exp\left(-3.5 \left(\frac{t}{t_p} - 1 \right) \right) \right) \tag{4.2}$$

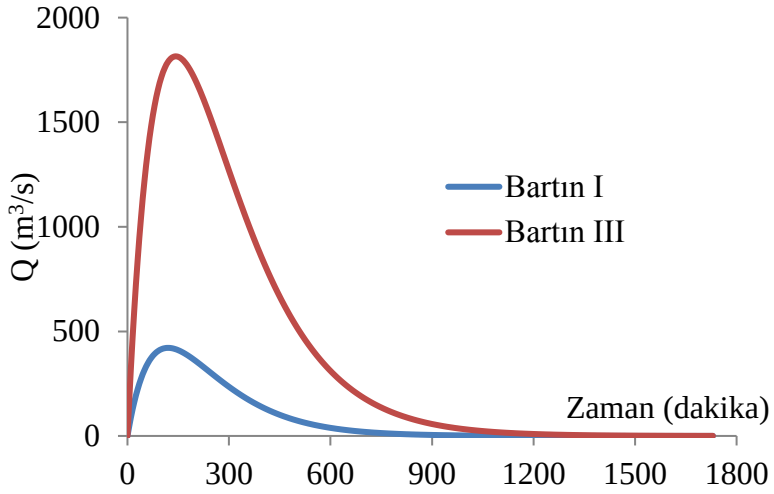
Eş. 4.1 ve 4.2'de T_L havzanın gecikme süresini (saat), L en uzun akım yolunu (m), CN havzanın ortalama eğri numarasını, S havzanın ortalama eğimini (%), t zamanı (saat) ve I_p giriş hidrografı pik debisini ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. Bartın I ve Bartın III köprülerinin morfometrik parametrelere göre taşkına duyarlılıkları

Morfometrik Büyüklükler			Taşkın Duyarlılığı	
Parametreler	Bartın I	Bartın III	Bartın I	Bartın III
R_b	4,90	4,71	X	
D_d	5,57	6,80		X
F_s	30,71	32,80		X
T	78,32	102,04		X
L_o	0,09	0,07		X
ρ	0,43	0,42		X
F_f	0,18	0,20		X
S_f	5,68	4,93		X
E_r	0,47	0,51		X
C_c	2,24	2,65	X	
C_r	0,20	0,14	X	
WLr	0,27	0,31	X	
Toplam Parametre Sayısı			4	8

Eş. 4.2'ye göre hesaplanmış hidrograflar Şekil 4.15.'te verilmiştir. Bartın I ve Bartın III Köprülerinde Q_{100} debileri sırasıyla 421 m^3/s ve 1814 m^3/s olarak hesaplanmıştır. Pike gelme süreleri ise Bartın I ve Bartın III Köprüleri için sırasıyla 420 ve 500 dakika olarak belirlenmiştir.

Bartın I ve Bartın III Köprülerinin drenaj alanları, eğimleri ve en uzun akım yolu uzunluklarının birbirine eşit olmaması nedeniyle pik debiler ve pike gelme süreleri arasında doğrudan bir kıyaslama yapmak doğru değildir. Havzanın su üretme verimi, pik debinin drenaj alanına oranı ve pike gelme süresinin havzanın gecikme süresine oranı kullanılarak havzaların karşılaştırılması daha uygun görülmüştür. Bartın I ve Bartın III Köprülerinin su üretme verimi sırasıyla 0,65 ve 1,32, pike gelme süresinin havzanın gecikme süresine oranı ise sırasıyla 1,75 ve 1,56 olarak belirlenmiştir. Buna göre Bartın III Köprüsü havzasının daha fazla miktardaki suyu daha kısa sürede taşıdığı görülmektedir. Sonuç olarak frekans analizi ve SCS yöntemine göre belirlenen giriş hidrografı ile Çizelge 4.3.'te yapılan taşkın duyarlılık sınıflandırmasının birbirleriyle uyumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 4.15. Bartın I ve Bartın III köprülerinin Q_{100} hidrografı

4.4. Hidrolojik Modelleme

4.4.1. Giriş

Bir havzada meydana gelen yağışın o havzada yaratacağı etki ancak akışla ölçülebilir. Bu nedenle havzada hidrolojik süreçlerde kullanılacak parametrelerle birlikte yağışın bilinmesiyle akış hesaplanabilir. Bu değerlerin tam olarak bilinmemesi durumunda uzun ya da kısa zaman aralığında meydana gelmiş bir fırtına için havzanın herhangi bir noktasında ölçülmüş akışla hidrolojik süreçlerde kullanılan parametreler kalibre edilebilir. Ancak kalibre edilen hidrolojik parametrelerin meydana gelmiş farklı bir fırtınada doğruluğunun test edilmesi gerekmektedir. Literatürde, yağış-akış ilişkisi kullanılarak hidrolojik parametrelerin kalibrasyonunu yapan farklı modeller mevcut olmasına rağmen, alt havza sayısının hidrolojik parametrelerin üzerindeki etkisini inceleyen çalışma sayısı, işlem süresinin çok fazla olması nedeniyle kısıtlıdır.

Alt havzaların oluşturulması ve özelliklerinin belirlenmesi sırasında, havzanın arazi kullanımı ve zemin tipi gibi yerel parametrelerinin ortalaması dikkate alınmaktadır. Alt havza sayısı değiştikçe, eğim, akarsu ağı, akım toplanma miktarları, akarsu mertebeleri, yağış modeli ve sızma parametreleri gibi arazinin, akarsuyun fiziksel özelliklerinden etkilenen parametreleri de değişkenlik göstermektedir. Yarı dağılımlı hidrolojik modeller havzanın alt havzalara ayrılması, havzanın farklı bölgelerinde arazi kullanımı, bitki örtüsü, zemin tipi gibi yerel farklılıkları dikkate alarak modellemenin yapılmasını sağlarlar (Zhang,

Wang, Wang, Li ve Wang, 2013). Böylelikle, pik debi, çıkış hidrografı, pike ulaşma süreleri, taşkın ötelemesi gibi parametreler, alt havza sayısıyla doğrudan etkilenir.

Literatürde, alt havza sayısı etkisinin incelenmesi amacıyla farklı modeller kullanılmıştır. Özellikle çoğu araştırmacı, alt havza sayısının etkisini SWAT (Soil Water Assessment Tool) modelini kullanarak incelemiştir (Jha, Gassman, Secchi, Gu ve Arnold, 2004; Arabi, Govindaraju, Hantush ve Engel, 2006; Tripathi, Raghuwanshi ve Rao, 2006; Kumar ve Merwade, 2009; Rouhani, Willems ve Feyen, 2009; Cho ve diğerleri, 2010; Gong, Shen, Liu, Wang ve Chen, 2010; Chiang ve Yuan, 2015). Bunun yanı sıra Model for Urban Stormwater Improvement (MUSIC) (Elliot, Trowsdale ve Wadhwa, 2009), Storm Water Management Model (SWMM) (Ghosh ve Hellweger, 2012), BTOPMC (Ao ve diğerleri, 2003; Wan, Yin, Liu, Cui ve Ao, 2008), Win TR-20 model (Casey, Stagge, Moglen ve McCuen, 2015), Semi-distributed Land Use-based Runoff Process (SLURP) (Susilo, 2002; Han, Huang, Zhang, Li ve Li, 2014a, 2014b), WinVAST (Chang, 2009), BASINS (Chang ve Chao, 2014) ve Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System (HEC-HMS) (Cleveland, Luong ve Thompson, 2009; Chen, Xie ve Chen, 2011; Zhang ve diğerleri, 2013) modelleri kullanılarak alt havza sayısının model sonuçları üzerindeki etkisini incelenmiştir (Zhang ve diğerleri, 2013).

Hidrolojik modellerde, tüm havzayı tam olarak temsil edebilecek alt havzalara ayırmak, en iyi model sonuçlarını daha az belirsizlikle tahmin etmek bakımından önemlidir. Bazı araştırmacılar, alt havza büyüklüklerinin pik debiyi doğrudan etkilediğini ifade ederken, bazı araştırmacılar da yüzey akışını belirgin bir şekilde etkilemediğini belirtmektedirler (Ao ve diğerleri, 2003; Chang, 2009; Kumar ve Merwade, 2009; Rouhani ve diğerleri, 2009; Zhang ve diğerleri, 2013; Han ve diğerleri, 2014a, 2014b; Casey ve diğerleri, 2015). Çoğu araştırmacılar, alt havza sayısı arttıkça model sonuçlarının iyileştiğini, ancak belirli bir sayıdan sonra alt havza sayısını artırmanın model sonuçlarında belirgin bir değişiklik meydana getirmediğini ifade etmişlerdir (Susilo, 2002; Jha ve diğerleri, 2004; Tripathi ve diğerleri, 2006; Cleveland ve diğerleri, 2009; Cho ve diğerleri, 2010; Gong ve diğerleri, 2010; Han ve diğerleri, 2014a, 2014b; Chiang ve Yuan, 2015). Örneğin, Chiang ve Yuan (2015), akarsu mertebesinin üçten fazla olacak şekilde alt havza sayısını artırmayı önermemektedirler. Diğer taraftan, bazı araştırmacılar da alt havza sayısını artırmanın model sonuçlarına ters etki yaptığını ifade etmişlerdir (Ao ve diğerleri, 2003; Rouhani ve diğerleri, 2009; Zhang ve diğerleri, 2013).

Hidrolojik modellemede, hidrolojik parametrelerin doğrulanması için araştırmacılar tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir. Çoğu araştırmacı, tek bir fırtına için yaptıkları kalibrasyonla hidrolojik parametreleri farklı fırtına verileri kullanmak suretiyle doğrulamaktadırlar. Ancak, bazı araştırmacılar birden fazla fırtına için hidrolojik parametreleri kalibre edip karşılıklı doğrulama ya da bunların ortalamasını kullanarak hidrolojik parametrelerin doğruluğunu incelemişlerdir.

Ölçüm alınmayan havzalarda model parametrelerini tahmin etmek için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bunlar; (1) ölçüm alınmayan havzanın hemen yakınında ölçüm alınan havzanın hidrolojik parametrelerini doğrudan kullanmak, (2) ölçüm alınan havzalardaki hidrolojik parametreleri havzanın bilinen ve ölçülebilen geometrik özellikleriyle yerelleştirmek ve ölçüm alınmayan havzanın geometrik özelliklerine göre tahmin etmek, (3) havzanın hidrolojik parametrelerini arazi testleri ya da uzaktan algılama yöntemleriyle belirlemektir (Sivapalan ve diğerleri, 2003; Piman ve Babel, 2013). Ölçüm alınmayan havzanın parametreleri, ölçüm alınan havzaya ait parametreler yardımıyla bazı benzerlik oranları kullanarak tahmin edilebilmekte ve böylece herhangi bir ölçüme gerek duymadan debi tahmini yapılabilmektedir (Begou ve diğerleri, 2016).

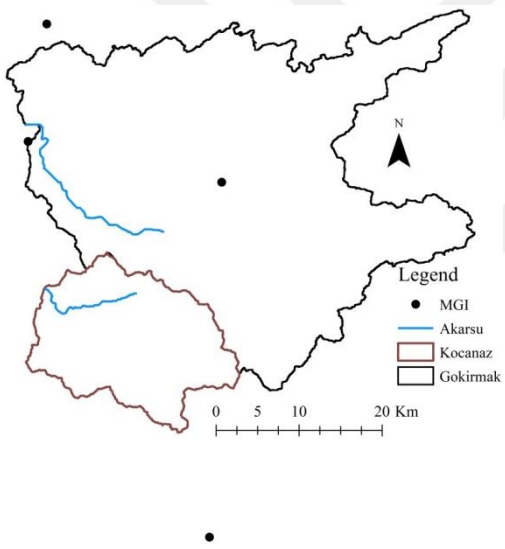
Bu kapsamda, sık sık taşkın felaketine maruz kalan ve çıkış noktası Bartın III Köprüsü olan Gökırmak Havzası'nın hidrolojik parametreleri farklı alt havza sayıları kullanılarak iki farklı taşkın olayı için HEC-HMS hidrolojik modeli yardımıyla kalibre edilmiştir. Kalibre edilen hidrolojik parametrelerin karşılıklı olarak doğruluğu incelenmiş, dört farklı taşkın olayı için her bir parametrenin ve bunların ortalamalarının doğruluğu test edilmiştir. Ayrıca, literatürde bulunmayan bir çalışma yapılarak Gökırmak Havzası'na komşu olan Bartın I Köprüsü drenaj alanı içerisinde yer alan Kocanaz Çayı'nın üzerinde kurulu, çıkış noktası Boğazköy AGİ olan havzanın hidrolojik parametreleri Gökırmak Havzası'nın farklı alt havza sayılarına göre hesaplanmış ve Boğazköy AGİ'ye göre hidrograf tahmin edilerek doğrulukları ölçüm değerleriyle test edilmiştir.

4.4.2. HEC-HMS model uygulaması

HEC-HMS, başlangıçta dallı havza sistemlerinin yağış-akış ilişkisini modellemek için geliştirilmiştir (Yılmaz, İmteaz ve Ogwuda, 2012). HEC-HMS, havzalar için yağış modeli, sızma, yağıştan akışa dönüşüm, baz akım ile akarsular için taşkın öteleme parametre

bileşenlerini yarı dağılımlı hidrolojik model kapsamında içerir. Alt havza, akarsu geometrik ve karakteristik özellikleri HEC-GeoHMS yardımıyla arazi modeli oluşturulmak suretiyle belirlenebilir. Farklı sayıda alt havza ve drenaj ağları da HEC-GeoHMS kullanılarak oluşturulur. HEC-HMS, yağış verileri, buharlaşma, terleme, yağış ve eğri numaraları gibi parametreleri kullanarak hidrolojik analiz yapar.

Çalışmada alt havzalara ait yağış modeli, havza içerisinde veya etrafında konumlanmış Amasra, Bartın, Karabük ve Ulus MGİ (Şekil 4.16.) verilerine Thiessen poligon yönteminin uygulanmasıyla belirlenmiştir. Alt havzalar için kayıp, etkili yağıştan akışa geçiş, akarsular için ötelenme gibi hidrolojik süreçlerin modellenebilmesi için sırasıyla SCS, Clark birim hidrografı ve Muskingum yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 4.16. Gökırmak ve Kocanaz Havzaları

DSİ'den temin edilen akış değerlerinden baz akım değerleri Gustard, Bullock ve Dixon (1992) yöntemi kullanılarak çıkarılmış ve dolaysız akış elde edilmiştir. Böylelikle hidrolojik modelde baz akım kullanılmamıştır. Her bir alt havzada sızma için başlangıç kaybı (I_a), akış parametreleri için toplanma süresi (T_c) ve depolama katsayısı (S_c), her bir akarsuda ötelenme parametreleri için taşkın dalgasının ağırlık merkezinin membadan mansaba seyahat süresi (K) ile giriş ve çıkış debilerinin ağırlık katsayısı (x), modelde kalibre edilen hidrolojik parametreler olarak seçilmiştir. Modelde hidrolojik parametrelerin optimizasyonu için yedi farklı amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bu çalışmada pik debi ağırlıklı hataların ortalama karekökü yöntemi (PW-RMSE) kullanılarak hidrolojik parametreler kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi hesaplanan pik debinin değişmediği analiz sonunda durdurulmuştur.

Elde edilen sonuçlar, sırasıyla Eş. 4.3 - Eş.4.6'da verilmiş olan Nash-Sutcliffe katsayısı (E_{NS}), belirleme katsayısı (R^2), kütle denkliği hatası (MBE) ve pik debi hatası (PE) gibi istatistiki gösterge (SI) sonuçlarına göre değerlendirilmiştir (Gupta, Sorooshian ve Yapo, 1999; Santhi ve diğerleri, 2001; Van Liew, Arnold ve Garbrecht, 2003; Moriasi ve diğerleri, 2007; Kuntiyawichai, Sri-Amporn ve Pruthong, 2014; Jiao, Xu, Wang, Yu ve Han, 2015). İstatistiki göstergeler -%30 ≤ PE ≤%30 ve 30% ≤ MBE ≤%30 olması halinde sonuçlar kabul edilebilir düzeydedir (Moriasi ve diğerleri, 2007; Joo, Kjeldsen, Kim ve Lee, 2014).

$$E_{NS} = 1.0 - \frac{\sum (Q_s - Q_o)^2}{\sum (Q_o - Q_{o,av})^2} \tag{4.3}$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum (Q_s - Q_{s,av})(Q_o - Q_{o,av})\right]^2}{\left[\sum (Q_s - Q_{s,av})\right]^2 \left[\sum (Q_o - Q_{o,av})\right]^2} \tag{4.4}$$

$$MBE = \frac{Q_{s,av} - Q_{o,av}}{Q_{o,av}} \tag{4.5}$$

$$PE = \frac{Q_{sp} - Q_{op}}{Q_{op}} \tag{4.6}$$

Eş. 4.3 – Eş. 4.6'da Q_s ve Q_o, sırasıyla model sonucunda elde edilen ve gözlemlenen debileri, $Q_{s,av}$ ve $Q_{o,av}$ sırasıyla model sonucunda elde edilen ve gözlemlenen debilerin ortalamalarını, Q_{sp} ve Q_{op} sırasıyla model sonucunda elde edilen ve gözlemlenen pik debileri göstermektedir.

1998 yılında havzada meydana gelen yağış miktarı Bartın MGİ verilerine göre Batı Karadeniz Havzası ortalamasından %55 daha fazla olup 1250 mm olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl içerisinde ilki 01 Şubat – 04 Mart 1998 (FE1), ikincisi ise 05 Mayıs – 03 Temmuz 1998 (FE2) aralıklarında meydana gelmiş olan iki taşkın olayı yaşanmıştır. Özellikle FE2 tarihi bir taşkın olup analiz süresi boyunca 240 mm yağış gerçekleşmiş ve pik debisi 882 m^3/s olarak kaydedilmiştir. Akım verileri Gumbel dağılımına göre değişmekte olup taşkının periyodu 600 yıl olarak belirlenmiştir. Hidrolojik parametreler, bu iki taşkın olayı için ayrı ayrı kalibre edilmiştir. Kalibre edilen parametreler ve bunların ortalama değerleri

kullanılarak Çizelge 4.4.'te özellikleri verilen farklı taşkın olaylarının doğrulukları test edilmiştir.

Çizelge 4. 4. Meydana gelmiş farklı taşkın olaylarına ait karakteristik özellikler

Taşkın Olayı	Doğrulama Periyodu	Q_p (m^3/s)	Taşkın Hacmi (10^3 m^3)
FE3	25.06.1991 - 03.07.1991	574,0	180 297,8
FE4	07.12.1994 - 11.01.1995	416,0	109 499,1
FE5	19.12.2002 - 15.01.2003	255,0	74 952,0
FE6	13.07.2009 - 01.08.2009	704,0	114 181,1

FE1 ve FE2 ile kalibre edilen hidrolojik parametrelerin doğrulukları karşılıklı olarak test edilmiştir. Ayrıca, kalibre edilmiş olan FE1, FE2 hidrolojik parametrelerinin ve bunların ortalama değerlerinin doğrulukları FE3, FE4, FE5 ve FE6 taşkın olayları için test edilmiştir.

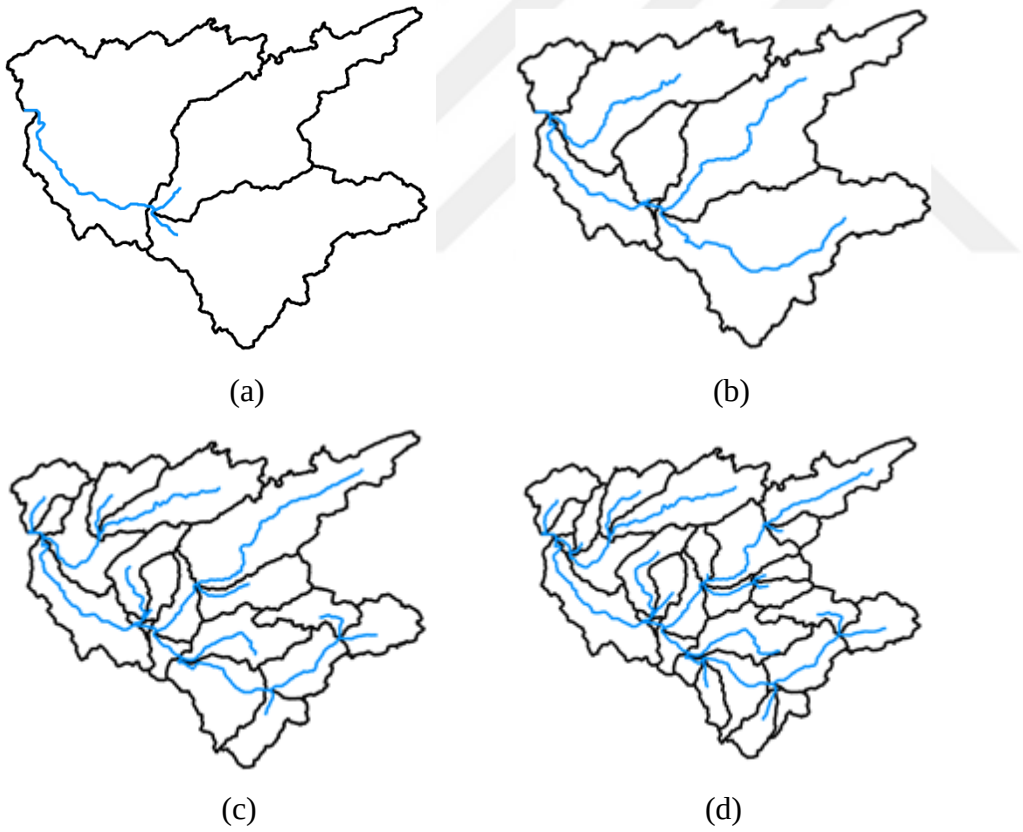
4.4.3. Yöntem

Bu çalışmada izlenen yöntem şu şekilde özetlenebilir. (1) Gökırmak Havzası yedi farklı alt havza sayısına ayrılır; (2) her bir alt havza için I_a, T_c, S_c, her bir akarsu için K ve x parametreleri FE1 ve FE2 verileri kullanılarak kalibre edilir; (3) FE1 ve FE2 taşkın olayları için sırasıyla FE2 ve FE1 için kalibre edilen parametreler kullanılarak hidrolojik analiz yapılır; (4) FE1, FE2 olayları için kalibre edilen hidrolojik parametreler ve bunların ortalamaları kullanılarak FE3, FE4, FE5 ve FE6 taşkın olayları için hidrolojik analizler yapılır; (5) kalibre edilen alt havza parametreleri ile ilgili alt havzaların drenaj alanı (A), en uzun akım yolu (L), havzanın ortalama eğiminin en uzun akım yolunun %10 ve %85'i arasında kalan kısmının eğimine oranı (S_r) gibi geometrik büyüklüklerin logaritmaları kullanılarak regresyon analizi yapılır; (6) Kocanaz Havzası'nın geometrik büyüklüklerini Gökırmak Havzası'nın farklı alt havza sayıları için elde edilen regresyon denkleminde yerine yazarak her bir taşkın olayı için hidrolojik parametreleri tahmin edilir; (7) Kocanaz Havzası için çıkış noktasında hesaplanan hidrolojik parametreler kullanılarak FE5 taşkın olayı verileri kullanılarak havza çıkış noktasındaki hidrografı belirlenir ve (8) her bir SI değeri, açıklıklarına göre notlandırılıp her alt havza sayısı için her bir SI değerinden alınan notlar

toplanarak hem her bir taşkın olayı için hem de Kocanaz Havzası için optimum alt havza sayısına karar verilir.

4.4.4. Havzayı alt havzalara ayırma

HEC-GeoHMS kullanılarak havza alt havzalara, akarsu oluşumu için akım toplanma eşik hücre sayısı ya da alana göre ayrılabilir. Bu çalışmada Gökırmak Havzası alt havza sayısı 1, 3, 5, 7, 11, 21 ve 33 olacak şekilde akım toplanma hücreleri seçilerek deneme yanılma yöntemine göre belirlenmiştir. Şekil 4.17. farklı alt havza sayılarını ve akım ağını göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, alt havzaların drenaj alanları, en uzun akım yolları ve drenaj ağlarında alt havza sayısında meydana gelen değişiklikle birlikte meydana gelen farklılıklar gözlemlenmektedir.

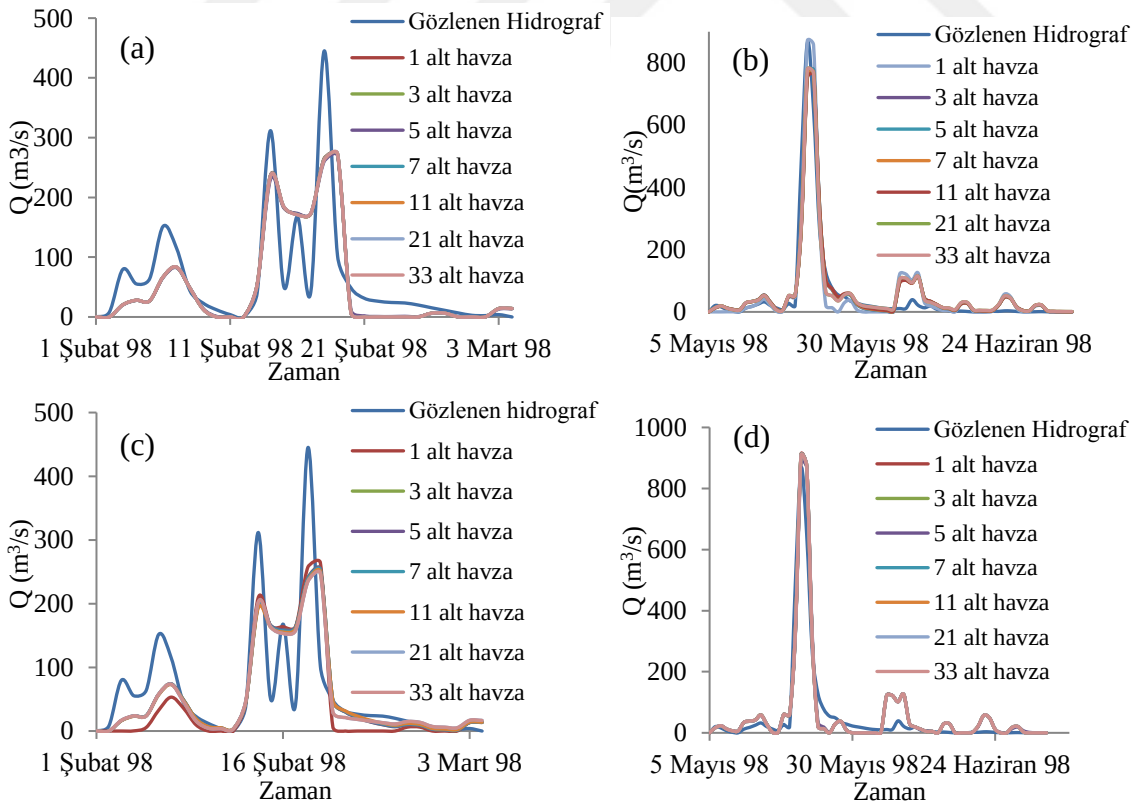


Şekil 4.17. Gökırmak Havzası farklı alt havza sayısı kombinasyonları (a) 3 alt havza, (b) 7 alt havza, (c) 21 alt havza, (d) 33 alt havza

4.4.5. Model kalibrasyon sonuçları

Hidrolojik parametreler yedi farklı alt havza sayısı için FE1 ve FE2 verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Öncelikle, FE1 ve FE2 için gözlenen yağış-akış verilerine göre hidrolojik parametreler kalibre edilmiştir (Şekil 4.18. a, b). Daha sonra kalibre edilen parametrelerin karşılıklı doğrulukları test edilmiştir (Şekil 4.18. c, d). Model sonuçlarına göre hesaplanan SI değerleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

FE1 için kalibre edilen hidrolojik parametreler, dolaysız akış hidrografını ve pik debilerini daha küçük tahmin etmektedir. MBE değeri kabul edilebilir aralıkta bulunurken, PE değeri kabul edilebilir aralıkta bulunmamıştır. Ayrıca, alt havza sayısı arttıkça hidrograf tahminin iyileşmediği ve tüm SI değerlerinin sabit bir sayı etrafında dalgalandığı görülmüştür. Her bir alt havza için etkili yağışın akışa dönüşümü ve akışın ötelenme süreçleri tamamlanmadan yağışın yeniden başlaması nedeniyle akış parametreleri hassas olarak tahmin edilemediğinden hidroğtaf ve pik debi daha küçük tahmin edilmiştir.



Şekil 4.18. Gökırmak Havzası'nda farklı alt havza sayısına göre elde edilen dolaysız akış hidrografları (a) FE1 kalibrasyonu, (b) FE2 kalibrasyonu, (c) FE2 parametreleriyle FE1, (d) FE1 parametreleriyle FE2

Çizelge 4.5. FE1, FE2 kalibrasyonu ve karşılıklı doğrulama sonuçlarına göre SI değerleri

Taşkın olayı	SI	1	3	5	7	11	21	33
FE1	MBE	-12,3	-12,4	-12,8	-12,5	-12,6	-12,5	-12,5
	E_{NS}	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
	R^2	0,59	0,59	0,58	0,59	0,59	0,58	0,58
	PE	-38,9	-38,9	-39,4	-38,8	-38,9	-38,7	-38,7
FE2	MBE	10,7	19,1	19,1	19,0	18,8	18,8	18,7
	E_{NS}	0,89	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92
	R^2	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,78
	PE	0,6	-10,3	-10,3	-11,0	-12,0	-10,1	-10,1
FE2 parametreleriyle FE1	MBE	-24,8	-12,6	-12,6	-12,7	-12,9	-13,8	-13,7
	E_{NS}	0,51	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,56
	R^2	0,55	0,57	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57
	PE	-40,7	-43,0	-42,9	-43,3	-43,8	-44,5	-44,4
FE1 parametreleriyle FE2	MBE	19,2	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0
	E_{NS}	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
	R^2	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	PE	5,2	4,9	2,5	4,9	4,9	4,8	4,8

FE2 için kalibre edilen hidrolojik parametreler dolaysız akış hidrografını daha büyük, pik debiyi ise alt havza sayısı bir olan durum hariç daha küçük tahmin etmiştir. Hidrolojik parametreler, hidrografı çok iyi tahmin etmiş ve alt havza sayısının artmasıyla hidrografın tahmininin çok az gelişim gösterdiği görülmüştür. R^2 ve E_{NS} değerleri benzer davranışlar göstermesine rağmen, alt havza sayısının 33 olması durumunda R^2 değerinde bozulma meydana gelmiştir.

FE2 hidrolojik parametreleri kullanılarak FE1'in karşılıklı doğrulaması yapıldığında, FE1 hidrografı ve pik debi daha küçük tahmin edilmiştir. MBE ve PE değerleri, FE1 kalibrasyonunda olduğu gibi aynı eğilimi gösterirken, FE2 için kalibre edilen I_a değerinden kaynaklı olarak SI değerlerinin daha küçük tahmin edilmesine neden olmuştur. Gözlenen drenaj yoğunluğu FE2 için daha fazla olduğundan, alt havza sayısının artması model sonuçlarını ters olarak etkilemiştir.

FE1 hidrolojik parametreleri kullanılarak FE2'nin karşılıklı doğrulaması yapıldığında, FE2 hidrografı ve pik debi daha büyük tahmin edilmiştir. E_{NS} değeri bir miktar azalım gösterirken, PE değerinde artış meydana gelmiştir.

MBE değerleri alt havza sayısına göre değiştikçe sadece E_{NS} değerinde hafif bir değişime neden olması durumunda PE değerinde E_{NS} değerinden daha büyük bir değişime neden olduğu görülmüştür. MBE değerindeki değişimin PE değerinde küçük bir değişime neden olması halinde E_{NS} değerinde PE değerinden daha fazla değişime neden olmuştur. Kalibrasyon ve karşılıklı doğrulama arasındaki farklar, farklı taşkınlar için kalibre edilen parametrelerin önceliklendirildiği mekanizmayı yansıtmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2013).

Havzanın davranışını daha detaylı incelemek ve alt havza sayısının model sonuçları üzerindeki etkisini anlamak için FE3, FE4, FE5 ve FE6 taşkın olayları, kalibre edilen hidrolojik parametreler ve bunların ortalamaları kullanılarak hidrolojik analiz yapılmıştır (Çizelge 4.6.). Parametreler genel olarak FE3 ve FE4 hidrograflarını ve pik debilerini daha küçük tahmin ederken, FE5 ve FE6 hidrograflarını daha büyük tahmin etmiştir. Ancak FE3 ve FE5 hidrograf tahminleri kabul edilebilir aralıktadır. Genel olarak ortalama parametreler, FE3 pik debisini, FE1 parametreleri FE5 pik debisini daha iyi tahmin etmiştir. FE2 parametreleri, FE6 hidrografını ve pik debisini daha iyi tahmin etmiştir.

4.4.6. Kalibre edilen hidrolojik parametrelerin regresyon analizi

Kalibre edilen FE1, FE2 hidrolojik parametreleri ve bunların ortalamaları ile A, L ve S_r gibi alt havzaların geometrik büyüklüklerinin logaritmalarının çoklu lineer regresyonu Eş. 4.7'teki gibi yapılmıştır. Çizelge 4.7. regresyon formülündeki sabit katsayıları ve bunların R^2 değerlerini göstermektedir. Bütün parametreler için R^2 değerlerinin 0,90'dan büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen regresyon denkleminin model parametrelerini çok iyi tahmin ettiği söylenebilir. Ayrıca, alt havza sayısının üçten büyük olması durumunda elde edilen R^2 değerlerine Fisher testi uygulanmış ve sonuçların %99 güven aralığında olduğu görülmüştür (Köksal, 2003: 401).

$$I_a = a_1 A^{b1} L^{c1} S_r^{\ d1} \tag{4.7a}$$

$$T_c = a_2 A^{b2} L^{c2} S_r^{\ d2} \tag{4.7b}$$

$$S_c = a_3 A^{b3} L^{c3} S_r^{\ d3} \tag{4.7c}$$

Çizelge 4.6. Farklı taşkın olaylarının farklı sayıda alt havza kullanılarak doğrulama işlemi ve SI değerleri

Taşkın olayı	Hidrolojik parametre	SI	1	3	5	7	11	21	33
FE3	FE1	MBE	-2,0	-2,2	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2
		E_{NS}	0,82	0,83	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83
		R^2	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84
		PE	10,9	10,6	9,7	10,6	10,7	10,7	10,8
	FE2	MBE	-13,9	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-3,1	-3,1
		E_{NS}	0,79	0,82	0,82	0,82	0,82	0,84	0,84
		R^2	0,80	0,82	0,82	0,82	0,83	0,84	0,84
		PE	7,4	-5,8	-5,8	-6,6	-7,3	-4,7	-4,6
	Ortalama	MBE	-8,0	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2
		E_{NS}	0,81	0,82	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83
		R^2	0,82	0,82	0,81	0,82	0,82	0,84	0,83
		PE	9,3	-0,2	0,5	-0,4	-1,6	-1,7	-1,6
FE4	FE1	MBE	-40,1	-40,2	-40,2	-40,3	-40,2	-40,2	-40,2
		E_{NS}	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
		R^2	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
		PE	-41,0	-41,1	-41,5	-41,1	-41,0	-40,9	-40,9
	FE2	MBE	-50,9	-40,4	-40,4	-40,5	-40,6	-41,2	-41,2
		E_{NS}	0,43	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57
		R^2	0,59	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72
		PE	-47,9	-50,1	-50,1	-50,6	-51,0	-49,6	-49,5
	Ortalama	MBE	-45,6	-40,2	-40,2	-40,3	-40,2	-40,5	-40,4
		E_{NS}	0,54	0,61	0,61	0,61	0,60	0,59	0,59
		R^2	0,67	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73
		PE	-46,6	-47,1	-46,8	-47,2	-47,8	-47,8	-47,7
FE5	FE1	MBE	20,0	20,6	19,8	19,8	19,7	19,8	19,8
		E_{NS}	0,66	0,66	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66
		R^2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74
		PE	-11,2	-11,2	-11,9	-11,8	-12,0	-12,1	-12,2
	FE2	MBE	-5,5	18,6	18,5	18,2	17,5	15,1	15,1
		E_{NS}	0,74	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
		R^2	0,77	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
		PE	-17,8	-23,5	-23,6	-24,3	-25,1	-23,9	-23,9
	Ortalama	MBE	7,1	19,7	19,6	19,5	19,2	18,3	19,4
		E_{NS}	0,71	0,70	0,70	0,70	0,71	0,72	0,71
		R^2	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
		PE	-14,2	-20,0	-19,8	-20,3	-21,2	-21,1	-20,3
FE6	FE1	MBE	69,7	70,6	69,5	69,7	69,4	69,7	69,7
		E_{NS}	0,61	0,61	0,63	0,61	0,62	0,61	0,61
		R^2	0,85	0,85	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85
		PE	14,7	15,0	12,3	14,4	14,3	14,3	14,3
	FE2	MBE	50,9	69,2	69,0	69,1	68,6	67,0	67,1
		E_{NS}	0,74	0,71	0,71	0,71	0,72	0,73	0,73
		R^2	0,86	0,84	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85
		PE	8,5	0,2	0,1	-0,5	-1,5	0,4	0,4
	Ortalama	MBE	60,3	69,5	69,4	69,5	69,1	69,2	70,8
		E_{NS}	0,69	0,67	0,67	0,67	0,68	0,70	0,69
		R^2	0,86	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84
		PE	11,9	5,2	5,2	5,1	3,8	3,5	4,5

Çizelge 4.7. Regresyon analizi sonucunda elde edilen a, b, c, d katsayıları ve R^2 değerleri

Parametreler	FE	N	a_i	b_i	c_i	d_i	R^2
I_a	FE1	3	2099,7	-0,5	-2,75	-0,1889	1
		5	0,0038	-3,75	5,8293	-0,5	0,9533
		7	10^{-7}	-2	-1	8,288	0,9723
		11	0,625	-3,5	5,6503	-2	0,9778
		21	0,0025	-2	4,6069	-1	0,9288
		33	0,034	-2	4,4559	-1	0,9462
	FE2	3	2099,7	-0,5	-2,75	-0,1889	1
		5	0,0016	-4,5	10,09	-1,75	0,9568
		7	$5x10^{-5}$	-2	-1	6,7906	0,9839
		11	17,999	-3,5	5,0664	-2	0,9724
		21	0,0157	-2	4,3681	-1	0,9293
		33	0,0119	-2	4,4355	-1	0,9500
	Ortalama	3	2099,7	-0,5	-2,75	-0,1889	1
		5	0,0023	-4,5	8,268	-1,75	0,9691
		7	$2x10^{-5}$	-2	-1	7,0569	0,9845
		11	2,4887	-3,25	3,8841	-0,5	0,9747
		21	0,0099	-2	4,4188	-1	0,9356
		33	0,005	-2	4,2063	-0,5	0,9555
T_c	FE1	3	$6x10^{-40}$	-2	21,271	-1,25	0,9981
		5	17806	-3	4,2729	-2	0,9868
		7	1,9596	-1,75	-1,25	4,316	0,9185
		11	2,8763	-3	6,0599	-2	0,9270
		21	25,959	0,7145	0	-2	0,9448
		33	0,0304	-3	6,2068	-0,5	0,9314
	FE2	3	215,63	-7,75	3,5	8,948	0,9741
		5	3868,1	-2	-3,5	5,492	0,9074
		7	1,2462	-1,5	3,4606	-0,5	0,9896
		11	11,942	-2	4,7895	-2	0,9664
		21	1,3924	-2	6,8416	-2	0,9837
		33	2,206	-2	3,982	-0,5	0,9856
	Ortalama	3	0,0014	-0,9927	3,25	0,75	0,9997
		5	4051,4	-2,5	3,9324	-2	0,9909
		7	1,9449	-1,5	3,2062	-0,5	0,9886
		11	2,5426	-2,5	5,2055	-1,25	0,9808
		21	0,8974	-3	6,8851	-2	0,9848
		33	1,4248	-2	4,0208	-0,5	0,9854
S_c	FE1	3	54,206	-4,75	2,75	4,7863	0,9939
		5	37612	-2,25	-3,25	4,8022	0,9187
		7	0,9966	-0,25	0,25	0,8043	0,9604
		11	1,941	-2	4,1496	-1	0,9557
		21	0,8321	-2	4,3798	-1	0,9893
		33	4,96	-1	2,342	-1	0,9512
	FE2	3	$5x10^{12}$	-7,75	4	1,479	1
		5	21,055	-4	6,87	-1,5	0,9388
		7	206	-4,75	2,75	4,7863	0,9221
		11	0,0753	-4	8,037	-1	0,9724
		21	0,0524	-3	6,5489	-1	0,9378
		33	0,3343	-3	6,0233	-1	0,9275
	Ortalama	3	$2x10^{10}$	-7,75	4	3,1567	0,9965
		5	19796	-6	7,599	-1	0,9587
		7	0,2004	-2	4	0,0628	0,9814
		11	439,13	1,5536	-2,5	-1	0,9750
		21	0,1466	-3	6,3958	-1	0,9890
		33	1,0367	-2	3,9483	-0,5	0,9546

4.4.7. Kocanaz Havzası'nın hidrolojik parametrelerinin tahmini ve hidrolojik analizi

Kocanaz Havzası'nın hidrolojik modellemesi şu adımları içermektedir; (1) Kocanaz Havzası için arazi ve hidrolojik model oluşturularak HEC-HMS'ye aktarılır; (2) Kocanaz Havzası'nın hidrolojik parametreleri, Gökırmak Havzası'nın alt havza sayısına göre belirlenmiş regresyon analizi denkleminden tahmin edilir, Gökırmak Havzası'nın tek havza alınması durumunda kalibre edilen hidrolojik parametre doğrudan Kocanaz Havzası için kullanılır; (3) hesaplanan parametrelerle Kocanaz Havzası'nın dolaysız akış hidrografı HEC-HMS yardımıyla belirlenir ve (4) hesaplanan ve gözlenen hidrograflar karşılaştırılır (Piman ve Babel, 2013). Bu işlemler, Kocanaz Havzası'nda veri eksikliği nedeniyle sadece FE5 taşkın olayı için uygulanmıştır.

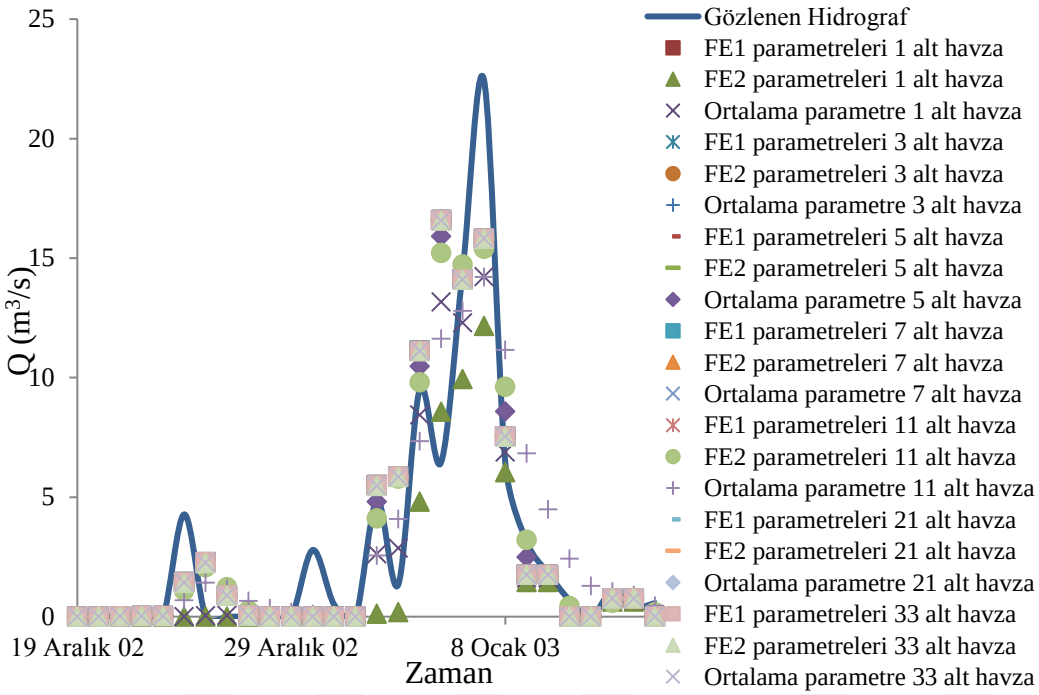
Kocanaz Havzası'nın geometrik büyüklükleri, arazi modelinden elde edilmiştir (Çizelge 4.8.). Gökırmak Havzası'nın farklı alt havza sayılarıyla Kocanaz Havzası'nda tahmin edilen dolaysız akış hidrografları Şekil 4.19.'da, SI değerleri de Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Tüm alt havza sayıları için Kocanaz Havzası'nın dolaysız akış tahmininde benzer bir eğilim olduğu görülmüştür. Pik debi ve hidrograf daha küçük tahmin edilmiştir.

4.4.8. Model sonuçlarının tahmininde alt havza sayısının değerlendirilmesi

İstatistiki gösterge (SI) değerlerinin değerlendirilmesi, model performansına karar vermek ve alt havza sayısına bağlı gereksiz işlem sürecinden kaçınılması bakımından önemlidir. Çalışma kapsamında, her bir alt havza ve taşkın olayı için SI değerleri, en uygun alt havza sayısını belirleyebilmek için Youssef ve diğerleri (2011) tarafından önerilen yönteme benzer bir şekilde, yedi farklı alt havza sayısı için her bir SI değeri mutlak değerce (en büyük-en küçük)/veri sayısı adım aralığına göre notlandırılmıştır. Notlandırmaya göre, 1 en iyi, veri sayısı da en kötü not değerini ifade etmektedir. Toplam not ise tüm SI değerlerinden alınan notların toplanmasıyla elde edilir. En küçük toplam not, en uygun kalibrasyon veya doğrulama sonucunu vermektedir. Öncelikle, FE1 ve FE2 kalibrasyon ve karşılıklı doğrulama sonuçlarına göre notlandırma yapılmıştır (Çizelge 4.10.). Daha sonra FE3, FE4, FE5 ve FE6 taşkın olayları FE1, FE2 ve bunların ortalama parametre değerlerine göre notlandırılmıştır (Çizelge 4.11.). Son olarak, Kocanaz Havzası'nın tahmin edilen farklı hidrolojik parametrelere göre hesaplanan hidrograflarının notlandırılması yapılmıştır (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.8. Kocanaz Havzası'na ait geometrik özellikler

A (km^2)	L (km)	S_r
322,41	37,05	10,34



Şekil 4.19. Kocanaz Havzasında Gökırmak Havzasının farklı alt havza sayılarına göre hesaplanan ve gözlenen dolaysız akış hidrografları

Çizelge 4.9. Kocanaz Havzasında FE1, FE2 ve bunların ortalama hidrolojik parametreleri kullanılarak Gökırmak Havzasının farklı alt havza sayılarında Kocanaz Havzası için elde edilen hidrografın istatistiki gösterge değerleri

Taşkın Olayı	Hidrolojik Parametreler	SI	1	3	5	7	11	21	33
FE5	FE1	MBE	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,8
		E_{NS}	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
		R^2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
		PE	-29,6	-29,6	-26,4	-26,1	-26,1	-26,2	-26,2
	FE2	MBE	-43,0	6,9	6,9	6,9	6,9	6,6	6,6
		E_{NS}	0,71	0,73	0,73	0,73	0,75	0,73	0,73
		R^2	0,84	0,75	0,75	0,75	0,76	0,75	0,75
		PE	-45,9	-26,1	-26,1	-26,1	-31,5	-26,3	-26,3
	Ortalama	MBE	-19,2	6,9	6,9	6,9	6,4	6,7	6,8
		E_{NS}	0,78	0,73	0,74	0,73	0,74	0,73	0,73
		R^2	0,80	0,75	0,76	0,75	0,74	0,75	0,75
		PE	-36,7	-26,1	-29,2	-26,1	-36,7	-26,2	-26,2

Çizelge 4.10. SI değerlerinin FE1 ve FE2 kalibrasyon ve karşılıklı doğrulama yöntemlerine göre notlandırılması

Parametre	N	MBE	E_{NS}	R^2	PE	Toplam		MBE	E_{NS}	R^2	PE	Toplam
FE1	1	1	1	1	2	5	FE2	1	7	1	1	10
	3	2	2	2	2	8		7	1	1	6	15
	5	7	6	7	7	27		7	1	1	6	15
	7	3	4	4	2	13		7	1	1	7	16
	11	4	4	4	2	14		7	1	1	7	16
	21	3	7	6	1	17		7	1	1	6	15
	33	3	7	7	1	18		7	1	7	6	21
FE2 parametreleriyle FE1	1	14	14	14	5	47	FE1 parametreleriyle FE2	14	14	1	6	35
	3	1	3	9	11	24		14	14	1	6	35
	5	1	3	9	11	24		14	13	1	3	31
	7	1	3	10	12	26		14	14	1	6	35
	11	1	4	10	13	28		14	14	1	6	35
	21	2	1	6	14	23		14	14	1	6	35
	33	2	1	7	14	24		14	14	1	6	35
FE1	1	1	1	1	1	4	FE2	1	13	2	1	17
	3	1	1	1	1	4		14	2	1	12	29
	5	1	2	3	2	8		14	2	1	12	29
	7	1	1	2	1	5		14	2	1	13	30
	11	1	1	2	1	5		14	2	1	14	31
	21	1	2	2	1	6		14	1	1	12	28
	33	1	2	3	1	7		14	1	14	12	41

Çizelge 4.10.'a göre FE1, FE2 taşkın olayları için tek alt havza alarak kalibre edilen hidrolojik parametrelerle hesaplanan hidrograf, karşılıklı doğrulama sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. FE3 hidrografı, hidrolojik parametrelerin ortalamasıyla 21 ve 33 alt havza sayısına göre hesaplandığında, FE4 hidrografı FE1'e ait tüm alt havza sayılarına göre hesaplandığında en iyi tahminleri verdiği görülmüştür. FE4 hidrografı sadece FE1 hidrolojik parametreleri sonuçlarına göre değerlendirildiğinde 33 alt havza sayısının en iyi tahmini verdiği söylenebilir. Tek alt havza sayısıyla FE2 hidrolojik parametreleri FE5 ve FE6 hidrograflarını en iyi tahmin etmiştir. Diğer taraftan, tek alt havza sayısı ve ortalama parametre değerleriyle Kocanaz Havzası'nın hidrografı ve pik debisi daha küçük tahmin edilmesine rağmen bu parametreler diğerlerine göre Kocanaz hidrografını daha iyi tahmin etmiştir.

4.4.9. Sonuçlar

Genel olarak, izlenen yönteme göre tek alt havza sayısının hidrografları en iyi tahmin ettiği, kalibre edilen hidrografların, karşılıklı doğrulama sonuçlarına göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir. 33 alt havza sayısıyla FE1 parametreleri FE4 hidrografını, tek alt havzayla FE2 parametreleri FE5 ve FE6 hidrograflarını en iyi tahmin etmiştir. Ayrıca 21 ve 33 alt havza sayısıyla ortalama parametrelerin FE3 hidrografını en iyi tahmin ettiği görülmüştür. Kocanaz

Çizelge 4.11. FE1, FE2 ve ortalama parametreler kullanılarak doğrulanan FE3, FE4, FE5 ve FE6'ya ait SI değerlerinin notlandırılması

		N	MBE	E_{NS}	R^2	PE	Toplam			MBE	E_{NS}	R^2	PE	Toplam
FE3	FE1	1	1	7	4	21	33	FE5	FE1	21	21	17	1	60
		3	1	5	2	21	29			21	21	18	1	61
		5	1	10	8	19	38			20	19	18	2	59
		7	1	4	1	21	27			20	20	19	1	60
		11	1	4	1	21	27			20	20	19	2	61
		21	1	4	1	21	27			20	21	21	2	64
		33	1	4	1	21	27			20	21	21	2	64
	FE2	1	21	21	21	15	78		FE2	1	1	1	10	13
		3	1	9	10	11	31			19	4	16	19	58
		5	1	10	11	11	33			19	4	16	19	58
		7	1	9	9	13	32			18	4	17	20	59
		11	1	9	9	14	33			17	3	17	21	58
		21	2	1	1	9	13			14	2	17	20	53
		33	2	1	1	9	13			14	2	17	20	53
	Ortalama	1	11	12	11	18	52		Ortalama	3	8	5	5	21
		3	1	10	12	1	24			20	10	17	14	61
		5	1	14	17	1	33			20	11	20	13	64
		7	1	9	12	1	23			20	10	19	14	63
		11	1	9	12	3	25			20	8	18	16	62
		21	1	2	4	3	10			18	6	16	16	56
		33	1	2	4	3	10			20	8	17	14	59
FE4	FE1	1	1	1	3	1	6	FE6	FE1	20	20	7	21	68
		3	1	1	3	1	6			21	21	8	21	71
		5	1	1	2	2	6			20	18	11	18	67
		7	1	1	3	1	6			20	20	8	21	69
		11	1	1	3	1	6			20	20	8	20	68
		21	1	1	3	1	6			20	21	9	21	71
		33	1	1	3	1	6			20	21	9	21	71
	FE2	1	21	21	21	15	78		FE2	1	1	1	12	15
		3	1	5	2	20	28			20	5	17	1	43
		5	1	5	2	20	28			20	5	17	1	43
		7	1	6	3	21	31			20	5	17	1	43
		11	1	6	3	21	31			19	4	16	2	41
		21	3	6	3	19	31			17	3	9	1	30
		33	3	6	3	19	31			18	3	9	1	31
	Ortalama	1	11	10	11	12	44		Ortalama	10	9	1	17	37
		3	1	2	1	13	17			20	11	18	8	57
		5	1	2	1	13	17			20	12	21	8	61
		7	1	2	1	14	18			20	11	19	7	57
		11	1	3	1	15	20			20	10	19	6	55
		21	1	4	2	15	22			20	7	12	5	44
		33	1	4	2	15	22			21	9	12	7	49

Havzası ise tek alt havza sayısı ile ortalama parametre değerleri kullanılarak analiz edildiğinde hesaplanan hidrografın MBE'nin daha küçük tahmin edilmesi nedeniyle PE'nin çok daha büyük olmasına rağmen iyi tahmin edildiği görülmüştür. Tüm sonuçlar, alt havza boyutunun hidrolojik parametreler üzerinde etkisinin olduğunu göstermiştir. Tek alt havza ile modelleme akarsu ötelemesi olmadan etkili yağışın doğrudan akışa dönüşümü anlamına gelmektedir. Alt havza sayısı arttıkça, drenaj yoğunluğu ve akımın taşınım eğilimi de artmaktadır. Böylece, akım taşınmakta, depolama kapasitesi artmakta ve sönümlenmektedir.

Gökırmak ve Kocanaz Havzaları çok dik eğime sahip olduklarından yağışın akışa dönüşümü, akışın taşınımından daha baskın hale gelmektedir. FE3 ve FE4 taşkın olayları, yağışın yerel değişimi nedeniyle farklı taşkınların kalibrasyon süreçlerinde önceliklendirilen

taşınım olayının önemini artırmış ve söz konusu hidrograflarda bozulmaya neden olmuştur. 21 ve 33 alt havza sayıları kullanılarak yapılan hidrolojik analiz sonuçlarında oluşan istisnai durum farklı taşkın olaylarındaki değişen yağış modeli, akışa dönüşüm ve akışın taşınım süreçlerindeki iç dinamiği anlamaya katkı sağlamıştır (Zhang ve diğerleri, 2013).

Çizelge 4.12. Gökırmak Havzası parametrelerinden tahmin edilen Kocanaz Havzası'nın SI değerlerine göre notlandırılması

Taşkın Olayı	Hidrolojik Parametreler	N	MBE	E_{NS}	R^2	PE	Toplam
FE5	FE1	1	1	17	20	4	42
		3	1	17	20	4	42
		5	1	17	20	1	39
		7	1	17	20	1	39
		11	1	17	20	1	39
		21	1	17	20	1	39
		33	1	17	20	1	39
	FE2	1	21	21	1	21	64
		3	1	17	20	1	39
		5	1	17	20	1	39
		7	1	17	20	1	39
		11	1	11	18	6	36
		21	1	17	20	1	39
		33	1	17	20	1	39
	Ortalama	1	8	1	9	12	30
		3	1	17	20	12	50
		5	1	13	18	4	36
		7	1	17	20	1	39
		11	1	13	21	12	47
		21	1	17	20	1	39
		33	1	17	20	1	39

5. GÜVENLİK – DEĞERLENDİRME ALGORİTMASI

5.1. Genel

Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan güvenlik-değerlendirme algoritmasında akarsu köprüleri üzerinde doğrudan veya dolaylı etkili olabilecek tüm parametreler sırasıyla havza hidrolojisi ve taşkın potansiyeli, akarsu ve köprü özellikleri olmak üzere üç ana başlık altında değerlendirilmiştir. Algoritmada yapısal değerlendirmeler Yanmaz, Caner ve Berk (2007) tarafından Türkiye'deki akarsu köprüleriyle yapılan çalışma sonucunda önerilmiş yöntem esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilmiş olan algoritmanın akarsu köprüleri için yeterliliği kadar bir sistem içerisinde uygulanabilirliği de çok önemlidir. Bu nedenle çalışma kapsamında Türkiye'de karayolları ağında bulunan köprü sayısı, KGM sorumlulukları, bütçe ve personel sayısı dikkate alınarak hem kaynakların etkin şekilde kullanımı hem de köprülerin güvenli şekilde ekonomik ömürlerini uzatarak hizmet etmelerini sağlamak amacıyla iki aşamalı bir sistem önerilmiştir. Bunlar sırasıyla;

- Seviye 1 - Genel güvenlik-değerlendirmesi ve hızlı oyulma tahkiki
- Seviye 2 - Detaylı oyulma risk değerlendirmesi

olarak belirlenmiştir.

Seviye 1'de, Türkiye'deki tüm akarsu köprülerinin muayenesi ve güvenlik-değerlendirmesi ile çok basit ve hızlı bir oyulma tahkiki yapılmaktadır. Seviye 1 çalışmasıyla aşağıdaki amaçlara ulaşılması hedeflenmektedir:

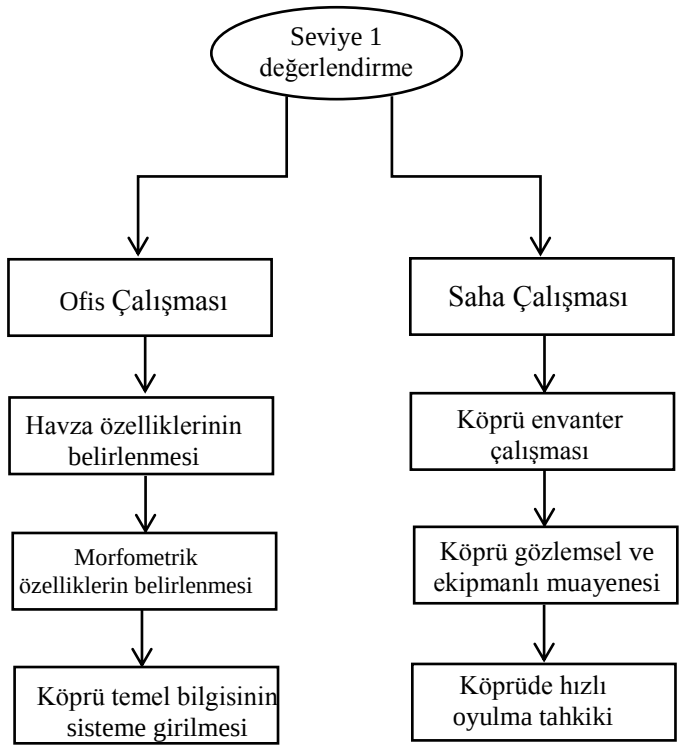
- Köprünün hem hidrolik hem de yapısal olarak detaylı envanteri elde edilir.
- Yapılacak gözlemsel muayeneyle köprü stabilitesi değerlendirilir.
- Köprünün bakım-onarım durumu tespit edilir.
- Akarsu yatağında veya bölgede köprü üzerinde etkili olabilecek, değişiklik gösteren parametreler ve durumlar tespit edilir ve değerlendirilir.
- Köprü ayaklarında çok basit ve hızlı bir oyulma tahkiki sağlar.

Seviye 2 çalışmasıyla ise şu hedeflere ulaşılması amaçlanmaktadır:

- Köprü için risk teşkil edecek oyulma çukuru derinliklerini hesaplayabilmek için havza ve jeomorfolojik özelliklerden de yararlanarak değerlendirme debi değerleri belirlenir.

- Değerlendirme debi değerlerinde akarsuda meydana gelecek akım yapısı sayısal modeller yardımıyla belirlenir ve söz konusu akımın yaratacağı oyulma çukuru derinliği hesaplanır.
- Belirlenen akım şartlarında oluşması muhtemel oyulma çukuru derinliği ile köprü temel bilgileri karşılaştırılarak köprünün oyulmaya karşı riski tespit edilir.
- Alınması gereken önlemler belirlenir.

Şekil 5.1.'de Seviye 1'de yapılması planlanan çalışmalar görülmektedir. Çalışmalar ofis ve saha çalışması olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Ofis çalışmaları kapsamında havzaya ait sayısal haritalardan yararlanılmaktadır. Saha çalışmasında ise köprü muayenesi ve güvenlik-değerlendirmesi ile basit bir oyulma tahkiki yapılmaktadır. Ayrıca muayene kapsamında köprü yeri koordinatı, şerit sayısı, yol ve akarsu adları, açıklık adedi ve ölçüleri gibi bilgiler kaydedilmekte, gerekli boy görüntüsü, enkesit ve genel yerleşim planı ile memba, mansap yönlerinden fotoğraflar alınmaktadır. Her köprü muayene ve güvenlik-değerlendirme çalışmasının konuyla ilgili gerekli eğitimi almış, teorik bilgiye sahip ve tecrübeli en az iki uzman tarafından aynı anda ayrı ayrı yapılması ve muayenenin ses kaydının yapılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 5.1. Seviye 1 güvenlik-değerlendirme çalışmaları şematik gösterimi

5.2. Yöntem

5.2.1. Ofis çalışmaları

Gerek literatürde gerekse sahada yapılan araştırma ve incelemelerde, KGM ile yürütülen görüşmelerde, akarsu köprülerini havzada meydana gelen taşkınların önemli ölçüde etkilediği, ayaklarda meydana gelen oyulmalar nedeniyle köprülerde ağır hasar ve hatta yıkılma meydana geldiği tespit edilmiştir. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde yaşanan taşkın felaketleri sırasında veya sonrasında birçok akarsu köprüsünün zarar gördüğü ve yıkıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmada havza özellikleri, havzanın hidrolojik davranışı ile özellikle olası ani taşkınlar ve havzanın taşkın potansiyeli, havzanın morfometrik parametreleri üzerinde durulmuştur. Söz konusu havza özelliklerinin ve parametrelerin belirlenebilmesi için günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmakta olan Coğrafi Bilgi Sistemleri'nden (CBS) yararlanılarak havzaya ait güncel yükseklik, bitki örtüsü ve arazi kullanımına ait sayısal haritalar altlık olarak kullanılarak havza özelliklerinin belirlenmesi mümkündür.

5.2.2. Saha çalışmaları

Saha çalışmaları kapsamında ilgili akarsu köprülerinde farklı akım şartlarında muayene ve güvenlik-değerlendirme çalışmaları yapılmıştır. Muayeneler sırasında köprüler yapısal olarak değerlendirilmiş ve köprüler üzerinde etkili olan hidrolik etkenlerin yanı sıra akarsu yatağı, şevler gibi akarsu elemanları da değerlendirilmiştir. Köprü ve elemanlarının gerekli fotoğrafları çekilmiş ve krokileri çizilmiştir. Böylece köprülerle ilgili bir envanter oluşturulmuş, köprüler üzerinde etkili olan mekanizmaların, yaşanan problemlerin ve mevcut uygulamanın yerinde tespit edilmesi sağlanmıştır.

5.3. Güvenlik-Değerlendirme Algoritmasının Geliştirilmesi

5.3.1. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

Özellikle köprü ayaklarında neden oldukları oyulmalar vb. nedenlerle akarsu köprülerini doğrudan etkileyebilen, havza ve yağış özelliklerine bağlı olarak şiddeti ve sıklığı değişebilen taşkınların köprüler bakımından göz önüne alınması köprü güvenliği açısından

büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında ilgili havzada meydana gelebilecek ve köprüyü etkileyebilecek taşkın potansiyelinin ve havza hidrolojisinin belirlenebilmesi için havzadaki derelerin durumunu, yağışı ve yüzey akışı etkileyen parametreler dikkate alınmıştır. Bir havzada yer alan derelerin akım durumunu etkileyen karakteristikler arasında toprak özellikleri, arazi kullanımı, havzanın büyüklüğü, ortalama yüksekliği ve eğimi, genel bakış yönünü, drenaj durumu ile derelerin dallanma oranı gibi faktörler yer almaktadır. Bir havzada yüzeysel akışı etkileyen faktörler ise havzanın fiziksel yapısı, arazi örtüsü ve kullanımı gibi havza jeolojisi, meteorolojik ve havza sızma özellikleri olarak sıralanabilir. Havza genelinde etkili olan meteorolojik özellikler arasında yağışın türü, şiddeti, süresi, miktarı, yağışın havzadaki alansal dağılımı, havzadaki önceki yağışlar ve dolayısıyla zemin nemi, evapotranspirasyonu etkileyen diğer etkenlerin tümü yer almaktadır. Yağışı etkileyen havza özellikleri ise havzanın büyüklüğü, şekli, eğimi, drenaj yoğunluğu ve jeolojik yapısıdır. Çalışmada havza taşkın potansiyelinin değerlendirilebilmesi için söz konusu birçok parametre arasından mümkün olduğunca nicel olarak değerlendirilebilen, kolay ve sağlıklı tespit edilebilebilen parametreler seçilmeye çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında havza hidrolojisi ve havzanın taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi Çizelge 5.1.'de verildiği şekilde yapılmıştır. Çalışmada ana amaç akarsu köprülerinin güvenirliklerinin değerlendirilmesi olduğundan ilgili köprünün bulunduğu konum çıkış noktası olarak alındığında oluşan havza dikkate alınmıştır. Havzanın hidrolojik davranışını ve taşkın potansiyelini belirleyebilmek için Bölüm 4'te seçilmiş olan morfometrik parametrelerin değerlendirilmesi morfometrik indeks (Mİ) olarak isimlendirilen ve havzanın morfometrik parametre değerlerine göre aldığı toplam sınıf notunun sınıf sayısına bölünmesiyle hesaplanan ortalama sınıf notu, havzanın arazi kullanımı, bitki örtüsü, fiziksel yapısı, yağış miktarı ve şekli yanında değerlendirmede havzadaki su tutma yapıları da dikkate alınmıştır. Bunun nedeni de enerji üretimi veya taşkından koruma gibi farklı amaçlar için yapılan baraj, regülatör, sel kapanı vb. farklı kapasite ve etkilere sahip su tutma yapılarının su depolama özellikleri nedeniyle akarsu rejimini ve sediment taşınımını etkilemeleridir. Bu tür yapılar özellikle akarsu morfolojisini ve köprüleri doğrudan veya dolaylı olarak ciddi derecede etkileyebildiğinden güvenlik-değerlendirmede dikkate alınmıştır.

Çalışmada tüm güvenlik-değerlendirme algoritmasında yer alan göstergeler ve morfometrik parametrelerin sınıflandırması, Johnson'ın (2005) önerdiği akarsu stabilitesi değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Buna göre güvenlik-değerlendirme algoritmasında parametreler mükemmel (1-3), iyi (4-6), vasat (7-9) ve zayıf (10-12) şeklinde sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmaya göre göstergenin 'mükemmel' olması göstergenin köprü güvenliği için bir problem yaratmadığını, 'zayıf' olması ise ciddi problem yaratabileceği anlamına gelmeketdir.

Çizelge 5.1. Havzanın hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

HAVZA HİDROLOJİSİ ve TAŞKIN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ													
Gösterge	Sınıflandırma												
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Morfometrik İndeks (Mİ)	0 < Mİ ≤ 3			3 < Mİ ≤ 6			6 < Mİ ≤ 9			9 < Mİ ≤ 12			
Havza arazi kullanımı	İnsan müdahalesi neredeyse yok veya çok az			Sınırlı orman kaybı, az tarımsal arazi, hayvancılık ve insan müdahalesiyle değişim			Farkedilir derecede kentleşme, hayvancılık ve tarımsal faaliyet, orman kaybı, çayır, mera alanlarında artış			Yoğun kentleşme veya endüstriyelleşme, ciddi ormöan kaybı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri			
Havza bitki örtüsü, fiziksel yapısı	Doğal, çok az veya hiç değişmeyen bitki örtüsü, çoğunlukla düzlükler veya az eğimli araziler			Havzanın doğal bitki örtüsünde nadiren bozulma, ağırlıklı orta eğimli, hafif dalgalı arazi yapısı			Orman yapısı sık sık bozulmuş, mera, bayır ve çayırlıkta artış, platolar, tepeler, dik eğimli araziler			Havzada düzenli bitki örtüsü yok veya sürekli bozulmuş bitki örtüsü mevcut, dağlık, sarp havza		
Havzada yağış miktarı ve şekli ile havzanın taşkın ve heyelan geçmişi	Yılın büyük bölümü kurak, uzun süreli, şiddeti zayıf yağışlar görülüyor, taşkın tekerrür sıklığı ≥ 50 yıl			Yılın ilkbahar ve sonbahar aylarında kısa süreli şiddetli yağışlar, az miktarda kar yağışı, 25 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 50 yıl			Yılın büyük bölümünde kısa süreli şiddetli yağış ve kar yağışı, toprak kayması, 10 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 25 yıl			Yılın her mevsiminde kısa süreli şiddetli yağış, önemli miktarda kar yağışı, ciddi toprak kayması, taşkın tekerrür sıklığı < 10 yıl			
Havzada su tutma yapıları	HES, baraj yok, küçük kapasiteli, köprüye uzak konumda gölet veya sel kapanı			HES, gölet veya sel kapanı, köprüye uzak konumda su yüzeyi alanlarının havza alanına oranı < %0,5			Ardışık HES'ler, köprüye yakın konumda, köprü altı akımı etkileniyor, %0,5<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı< %1			Baraj ve ardışık HES'ler, köprüye çok yakın konumda, köprü altı akım ve akarsu yatağı etkileniyor, %1<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı		

Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyeli açısından ise göstergenin ‘mükemmel’ olması akımı olumlu etkilediği, zayıf olması ise olumsuz etkileyerek kuvvetli akış veya taşkın olasılığını artırabileceğini ifade etmektedir. Bu sınıflamanın yararı, hem akarsu stabilitesi için daha önce uygulanmış bir sistem oluşu hem de bu sınıflandırmada aynı sınıf içinde üç ayrı derecelendirme yapılabilmesidir. Bu da değerlendirmeyi yapan mühendise kolaylık sağlamakta ve göstergelerin daha ayrıntılı değerlendirilebilmelerine imkân verebilmektedir.

Mİ’nin hesaplanmasında öncelikle her parametreye ait sınıf sınır değerlerinin (mükemmel, iyi, vasat ve zayıf) belirlenmesi ve böylece her parametrenin değerine göre aldığı sınıf notunun hesaplanması gerekmektedir. Morfometrik parametreler her havza için çok farklı değerler alabildiklerinden parametre sınır değerlerinin mümkün olduğunca doğru bir yaklaşımla belirlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalarda literatürde bu parametrelerin değerlerine göre sınıflandırılabilmeleriyle ilgili herhangi bir çalışma veya yöntem bulunamamıştır. Bu nedenle parametrelerin sınır değerlerini mümkün olduğunca sağlıklı bir şekilde belirleyebilmek amacıyla ilgili havzada meydana gelmiş taşkın olayları ile bunların sonucunda oluşmuş akarsu köprü yıkılma veya hasar görme olaylarının incelenmesi, bu köprülerin havza ve konumlarına göre çalışma kapsamındaki morfometrik parametre değerlerinin hesaplanması ve bu değerlerden yararlanarak sınır değerlere geçilmesi düşünülmüştür. Bu doğrultuda ilgili havzalarda meydana gelmiş taşkın olayları ile köprü hasar veya yıkılma olayları incelenmiştir. Çizelge 5.2.’de KGM envanterinden alınan ve Batı Karadeniz Havzası’nda meydana gelmiş köprü yıkılma ve hasar olayları, Çizelge 5.3.’te ise DSİ envanterinden alınan ilgili havzalardaki taşkın olayları görülmektedir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere ülkemizde gelişmiş bir envanter sistemi olmadığından mevcut envantere göre morfometrik parametre sınırlarını sağlıklı bir şekilde belirleyecek yeterli sayıda taşkın, köprü yıkılması veya hasar kaydı bulunamamıştır. Bu nedenle mevcut çalışmada morfometrik parametre sınırlarının belirlenebilmesi için Çizelge 4.2.’de hesaplanmış 84 alt havzaya ait morfometrik parametre değerleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan morfometrik parametreler havzaların taşkın potansiyelini yansıtmaları bakımından iki ana gruba ayrılmaktadır. Grup 1, taşkın potansiyeli ile doğru orantılı olan yani parametre değeri büyüdükçe taşkın potansiyelini de artıran R_b, D_d, F_s, E_r, F_f, T ve C_r gibi parametreleri içermektedir. Grup 2 ise taşkın potansiyeli ile ters orantılı olan yani parametre değeri büyüdükçe taşkın potansiyelini de küçülten L_o, ρ, S_f, C_c ve WL_r gibi parametreleri kapsamaktadır.

Çizelge 5.2. KGM envanterinden alınan Batı Karadeniz havzasında meydana gelen akarsu köprü yıkım ve hasarları

No	Köprü Adı	Bulunduğu İl	Yolu	Akarsu Adı	Döşeme uzunluğu (m)	Açıklık Sayısı	Yapılış Tarihi	Açıklamalar
1	Abdipaşa	Bartın	(Bartın-Safranbolu) Ayrımı-Ulus	Ova Çayı	60,75	5	1959	1982 yılındaki feyezan nedeniyle yıkıldı
2	Ahlatlı (Susuzdere)	Kastamonu	Araç-Boyalı	-	46,70	3	1978	Muhtelif zamanlarda feyezan
3	Aydınoğlu	Kastamonu	İhsangazi-Araç	-	17,70	2	1970	2011 yılındaki feyezanda yıkıldı
4	Aydos (Sakallı)	Kastamonu	Cide-İnebolu	Aydos Deresi	112,70	6	1975	1981 yılındaki feyezan nedeniyle tahkimat hasarı ve onarımı
5	Azdavay	Kastamonu	Daday-Azdavay	Devrekani	40,35	3	1956	Muhtelif zamanlarda feyezan
6	Bağırsak IV	Karabük	(Karabük-İsmetpaşa) Ayrımı-Ovacık	Bağırsak Deresi	50,00	3	1987	Muhtelif zamanlarda feyezan
7	Bartın I	Bartın	Safranbolu-Çaycuma	Bartın Çayı	61,55	3	1979	Muhtelif zamanlarda feyezan
8	Bartın III	Bartın	Bartın-Amasra	Bartın Çayı	72,40	4	1985	Muhtelif zamanlarda feyezan
9	Boğazköy II	Bartın	Kozcağız-Kumluca	-	48,80	4	1966	1998 yılındaki feyezan nedeniyle onarıldı
10	Çatalzeytin	Kastamonu	Çatalzeytin-Türkeli	Akçay	68,10	3	1963	1988 yılındaki feyezan nedeniyle onarıldı
11	Filyos V	Karabük	Karabük-Yenice	Filyos Çayı	81,90	4	1990	1998 yılındaki feyezan nedeniyle onarıldı
12	Güble	Kastamonu	Cide-İnebolu	Güble Deresi	102,85	5	1976	Muhtelif zamanlardaki feyezan nedeniyle şüt duvarı yıkıldı
13	Gürdeşe	Zonguldak	Devrek-Eğerci	Bolu Çayı	27,65	3	1960	1998 yılındaki feyezanda yıkıldı
14	İnköy (Devres)	Çankırı	Çankırı-Ilgaz	Devres Çayı	86,50	6	1977	Muhtelif zamanlarda feyezan
15	İnköy (Devres)	Çankırı	Çankırı-Ilgaz	Devres Çayı	87,50	3	2008	Muhtelif zamanlarda feyezan

Çizelge 5.2. (devam) KGM envanterinden alınan Batı Karadeniz havzasında meydana gelen akarsu köprü yıkım ve hasarları

No	Köprü Adı	Bulunduğu İl	Yolu	Akarsu Adı	Döşeme uzunluğu (m)	Açıklık Sayısı	Yapılış Tarihi	Açıklamalar
16	Kayran	Kastamonu	Cide-İnebolu	Kayran Dere	11,55	1	1978	2016 yılındaki feyezanda yıkıldı
17	Kozcağız	Bartın	Kozcağız-Bartın	Gönye Deresi	79,80	5	1968	1998 yılındaki feyezan nedeniyle kenar ayaktaki hasar onarıldı
18	Küre II	Kastamonu	Kastamonu-İnebolu	Küre Çayı	44,90	3	1982	Muhtelif zamanlarda feyezan
19	Manastır	Kastamonu	İnebolu-Çatalzeytin	-	59,50	3	1979	1982 yılındaki feyezan nedeniyle onarıldı
20	Tefen (Gökçebey)	Zonguldak	Devrek-Gökçebey-Çaycuma	Filyos Çayı	141,85	6	1955	1998 yılındaki feyezan nedeniyle onarıldı
21	Terme	Çankırı	Çankırı-İskilip	Terme	64,90	4	1957	1968 yılındaki feyezan nedeniyle onarıldı
22	Toprakcuma	Karabük	Safranbolu-Araç	Araç Çayı	43,55	3	1975	Muhtelif zamanlarda feyezan
23	Üzülmez 13	Zonguldak	Zonguldak-Devrek	Üzülmez Deresi	25,40	3	1983	2014 yılındaki feyezan nedeniyle yıkıldı
24	Valay III	Kastamonu	Ağlı-Şenpazar	Valay Çayı	67,20	4	1986	Muhtelif zamanlarda feyezan
25	Valay IV	Kastamonu	Ağlı-Cide	Valay Çayı	66,10	4	1987	Muhtelif zamanlarda feyezan

Çizelge 5.3. DSİ envanterinden alınan ve 2016 yılından itibaren tutulmaya başlanan taşkın envanteri

No	Tarih	Bölgesi	Taşkının Meydana Geldiği Yer	Taşkının Meydana Geldiği Akarsuyun Adı	Taşkın Olayının Özeti	Alınan/Alınacak Önlemler
1	05.01.2016	5	Düzce İli, Akçakoca İlçesi, Çayağzı Köyü	Çayağzı Deresi	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Taşkın sonrasında toplu makine çalışması yapılmıştır.
2	05.01.2016	5	Düzce İli, Cumayeri İlçesi, Merkez	Köprü Deresi	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Makinalı çalışma yapılarak dere yatağındaki kar kütlesi temizlenmiştir. Taşkın sonrasında köprü deresini 1100 metrelik kısmında toplu makine çalışması yapılmıştır.
3	05.01.2016	5	Düzce İli, Gümüşova İlçesi, Elmacık Köyü		Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Taşkın esnasında mevcut dere yataklarında taşan suların fazlaca olması nedeniyle herhangi bir çalışma yapılamamıştır. Taşkın sonrasında gerekli izinler alındıktan sonra köy içerisindeki küçük dere yataklarında temizlik çalışması yapılmıştır.
4	05.01.2016	5	Düzce İli, Gümüşova İlçesi, Fatih Mahallesi	Kocagöz Deresi	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Taşkın esnasında makinalı temizlik yapılarak rusubat ve vejetatif (bitkisel) oluşumlar temizlenmiş ve dere açılmıştır.
5	05.01.2016	5	Düzce İli, Merkez, Çakırhacıibrahim Köyü	Drenaj kanalı	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Taşkın esnasında makinalı temizlik yapılarak mevcut drenaj kanalından taşan sular derive edilmiştir. Taşkın sonrasında makinalı çalışma yapılarak drenaj kanalı temizlenmiştir.
6	17.01.2016	25	Balıkesir İli, Manyas İlçesi, Tepecik Mahallesi.	Mürvetler Deresi	Yoğun yağış, sedde ve kanal yarılması neticesinde maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Kısa vadede yırtılan seddeler onarılacak, uzun vadede ise Mürvetler deresinde yatak temizliği ve rusubat temizliği yapılması planlanmıştır.
7	17.01.2016	25	Balıkesir İli, Susurluk İlçesi, Yeni mahalle Köyü, İstasyon Caddesi	Hatap Çayı	Yoğun yağış neticesinde maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	Uzun vadede etüd programına alınarak beton kanal olarak ıslah edilmesi planlanmaktadır.

Çizelge 5.3. (devam) DSİ envanterinden alınan ve 2016 yılından itibaren tutulmaya başlanan taşkın envanteri

No	Tarih	Bölgesi	Taşkının Meydana Geldiği Yer	Taşkının Meydana Geldiği Akarsuyun Adı	Taşkın Olayının Özeti	Alınan/Alınacak Önlemler
8	17-18. 01.2016	11	Edirne ili, Merkez, Suakacağı, Hatipköy, Yolüstü,Değirmenyeri, Avarız, Doyran, Bosna Köyleri	Arda, Tunca, Meriç	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir. Taşkın yalnızca tarihi Sarayiçi Mevki ile Meriç Nehri arasında bulunan çay bahçelerinde maddi hasara yol açmıştır.	Nehir seviyesi anlık olarak takip edilmekte ve debi değerleri iki saatlik aralıklarla www.dsiedirnenehir.com adresinde bulunmaktadır.
9	01.02.2016	23	Karabük ili, Merkez, Kireçlidere, Bostan Köyü	Kireçlidere	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir. Karabük - Kasatamonu yolu geçici olarak trafiğe kapanmıştır.	
10	1.02.2016	23	Bartın ili, Merkez, Sütlüce, Şirinler Köyü	Gökırmak	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir.	
11	02.02.2016	23	Bartın, Merkez, Potbaşı Mevki, Kutlubey Terminal Mevki	Gökırmak, Kozcağız Çayı, Bartın Çayı	Yoğun yağış ve kar erimesinin birlikte görülmesi ile birlikte maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir. Taşkın esnasında Gökırmak 615 m^3/s, Kozcağız Çayı ise 283 m^3/s'lik debiye ulaşmıştır.	Makinalı çalışma ile köprü ayaklarına takviye yapılmıştır. Derelerin ıslah projeleri hazırlanmakta olup 2016 yılı yatırım programında yer alması teklif edilmiştir.
12	03.02.2016	23	Kastamonu İli, Cide İlçesi, Toygarlı, Aydıncık, Kovanören, Çayyaka, Baltacı Köyleri	Güble ve Fakas Çayları	Yoğun yağış, sedde ve kanal yarılması neticesinde maddi hasarlı taşkın meydana gelmiştir. Taşkın esanasında Kovanören Köyü TKT 30 m beton duvar zarar görmüştür. Toygarlı Köyündeki TKT 50 m kesit, ayrıca aynı köyün (Toygarlı) soğuksu Mevkiindeki TKT (beton duvar) 40 m yıkılmıştır. Baltacı Köyü TKT 60 m beton duvar yıkılmıştır.	Kastamonu İli, Cide İlçesi, İlyasbey, Baltacı Köyleri Fakas Çayı taşkın koruma projesi istikşaf raporu 2013 yılında hazırlanmış olup proje çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca İlyasbey Köyü sınırları içinde yaklaşık 700 m taşkın koruma tesisi Baltacı Köyü sınırlarında ise 2550 m TKT projesi bulunmaktadır.
13	05.02.2016	3	Sakarya ili, Adapazarı, Söğütlü, Ferizli İlçeleri	Çarksuyu kanalı, Kaynarca Dokuzoluk kanalı	Havzada meydana gelen yoğun yağış havza bitki örtüsünün zamanla tahrip olması nedeniyle yaşanan taşkının boyutlarını artırmıştır.	

Söz konusu on iki adet morfometrik parametrenin her biri için sınıf sınırlarının belirlenebilmesi amacıyla 84 alt havzaya ait veriler en küçükten en büyüğe doğru sıralanmış ve değerler dört çeyrekliğe (kartillere) ayrılarak sınıfların sınırları belirlenmiştir. Örneğin Grup 1 parametreleri için en küçük değer ile birinci çeyreklik değeri sırasıyla sınıf 1 ve sınıf 3, ikinci çeyreklik sınıf 6, üçüncü çeyreklik sınıf 9 ve en büyük değer yani dördüncü çeyreklik sınıf 12 olacak şekilde sınıflandırma yapılmıştır. Ara sınıf değerlerinin (2, 4, 5, 7, 8, 10 ve 11) ise bulundukları sınırlarda parametrelerin doğrusal değişimlerine göre sınıf aralıkları belirlenmiştir. Belirlenmiş olan sınıf aralık değerleri en büyük parametre değeri olarak alınmıştır. Sınıf 11'in en büyük değeri, sınıf 12'nin en küçük değerini oluşturacak şekilde belirlenmiştir. Grup 2'deki parametreler için de dördüncü çeyreklik sınıf 1, üçüncü çeyreklik sınıf 3, ikinci çeyreklik sınıf 6, birinci çeyreklik sınıf 9 ve en küçük değer sınıf 12 olacak şekilde sınıflandırma yapılmıştır. Ara sınıf değerleri Grup 1'de anlatıldığı şekilde yapılmıştır. Bu şekilde yapılan sınıf sınırlarını belirleme amacı morfometrik parametrelerde ekstrem değerlerin sağlıklı değerlendirmeyi etkilemesini önlemektir. Yapılan çalışma doğrultusunda Çizelge 5.4.'te morfometrik parametrelerin sınıflandırma sınırları verilmiştir. Böylece ilgili havzanın her bir morfometrik parametre değeri hesaplanmış ve bu değerlerden aldığı sınıf notları toplanarak havzanın toplam notu (N) elde edilmiştir. Çalışma kapsamında köprülerin ilişkili olduğu havzaların aldıkları N ve Mİ değerleri Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Havzanın hidrolojik yönden değerlendirildiği Çizelge 5.1.'de yer alan havzanın arazi kullanımı ile bitki örtüsü ve fiziksel yapısı olan göstergeler için doğal durum mükemmel, insan müdahalesinin fazla ve doğal topoğrafyanın sarp, dağlık olduğu durumlar ise zayıf olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Aynı şekilde havzada meydana gelen yağış miktarı ve şekli ile havzada daha önce meydana gelmiş olan taşkınlar sınıflandırılmıştır. Son olarak havzada akarsu üzerinde kurulu depolama tesisleri de köprüye yakınlığı ve kapasiteleri açısından değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Böylece havza, hidrolojik ve taşkın potansiyeli açısından değerlendirilmiş olmaktadır. Her bir gösterge için sınıf değerlerinin toplanmasıyla havza hidrolojisi için hidroloji notu (HN) hesaplanmıştır. Çizelge 5.6.'daki değerlendirme aralıkları Pfankuch (1979) ile Johnson ve diğerleri (1999) tarafından kullanılan yaklaşıma göre belirlenmiştir. Bu yaklaşıma göre sınıflandırma sonucunda HN'nin alabileceği notlar 5 – 60 arasında değişmektedir. Bu değerler arası dört eşit adım aralığına bölünerek not artırımları belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. Morfometrik parametrelerin sınıflandırılma aralıkları

Morfometrik parametre	Mükemmel			İyi		
	1	2	3	4	5	6
R_b	≤ 3,21	≤ 3,90	≤ 4,60	≤ 4,66	≤ 4,68	≤ 4,77
D_d	≤ 5,21	≤ 5,43	≤ 5,64	≤ 5,76	≤ 5,88	≤ 6,00
F_s	≤ 27,38	≤ 29,15	≤ 30,91	≤ 31,45	≤ 31,98	≤ 32,51
T	≤ 6,06	≤ 9,07	≤ 12,08	≤ 13,62	≤ 15,16	≤ 16,70
L_o	≥ 0,096	≥ 0,092	≥ 0,089	≥ 0,087	≥ 0,085	≥ 0,083
ρ	≥ 0,67	≥ 0,59	≥ 0,51	≥ 0,50	≥ 0,49	≥ 0,47
F_f	≤ 0,06	≤ 0,10	≤ 0,136	≤ 0,143	≤ 0,15	≤ 0,16
S_f	≥ 16,73	≥ 12,05	≥ 7,37	≥ 7,03	≥ 6,69	≥ 6,36
E_r	≤ 0,28	≤ 0,35	≤ 0,42	≤ 0,43	≤ 0,44	≤ 0,45
C_c	≥ 3,16	≥ 2,65	≥ 2,14	≥ 2,08	≥ 2,03	≥ 1,97
C_r	≤ 0,10	≤ 0,16	≤ 0,22	≤ 0,23	≤ 0,24	≤ 0,26
WL_r	≥ 0,64	≥ 0,46	≥ 0,28	≥ 0,26	≥ 0,23	≥ 0,21
Morfometrik parametre	Vasat			Zayıf		
	7	8	9	10	11	12
R_b	≤ 4,83	≤ 4,90	≤ 4,96	≤ 5,56	≤ 6,16	> 6,16
D_d	≤ 6,14	≤ 6,29	≤ 6,42	≤ 7,09	≤ 7,75	> 7,75
F_s	≤ 32,85	≤ 33,20	≤ 33,54	≤ 36,90	≤ 40,27	> 40,27
T	≤ 19,34	≤ 21,99	≤ 24,63	≤ 39,66	≤ 54,69	> 54,69
L_o	≥ 0,082	≥ 0,080	≥ 0,078	≥ 0,072	≥ 0,066	< 0.066
ρ	≥ 0,465	≥ 0,456	≥ 0,45	≥ 0,41	≥ 0,37	< 0,37
F_f	≤ 0,18	≤ 0,19	≤ 0,21	≤ 0,27	≤ 0,32	> 0,32
S_f	≥ 5,81	≥ 5,26	≥ 4,72	≥ 4,04	≥ 3,37	< 3,37
E_r	≤ 0,47	≤ 0,50	≤ 0,52	≤ 0,58	≤ 0,63	> 0,63
C_c	≥ 1,91	≥ 1,86	≥ 1,80	≥ 1,70	≥ 1,59	< 1,59
C_r	≤ 0,27	≤ 0,29	≤ 0,31	≤ 0,36	≤0,40	> 0,40
WL_r	≥ 0,20	≥ 0,19	≥ 0,17	≥ 0,14	≥0,11	< 0,11

Çizelge 5.5. Köprülerin bulunduğu havzaların morfometrik parametre sınıf ve morfometrik indeks değerleri

Köprü	R_b	D_d	F_s	T	L_o	ρ	F_f	S_f	E_r	C_c	C_r	WL_r	N	(Mİ)
Bartın I	9	3	3	12	3	10	8	8	8	3	3	4	74	6,17
Bartın III	6	10	7	12	10	10	9	9	9	3	2	3	90	7,50
Çatalzeytin	6	9	9	12	9	10	11	10	11	11	11	3	112	9,33

Çizelge 5.6. Sınıflandırma gruplarına göre not aralıkları

Sınıflandırma grubu	Notlar (HN)
Mükemmel	$HN < 19$
İyi	$19 \leq HN < 33$
Vasat	$33 \leq HN < 47$
Zayıf	$HN \geq 47$

Havzanın taşkın potansiyeli açısından değerlendirilmesinin yanı sıra envanter amaçlı ek bilgilerin de toplanmasının yararlı olabileceği düşünülmektedir. Bu amaç doğrultusunda Çizelge 5.7.'de verilen bilgiler kullanılabilir. Havzaya ait bazı özelliklerin saptanmasında saha çalışmasının yanı sıra CBS olanakları kullanılarak sayısal yükseklik, bitki örtüsü ve toprak yapısına ait haritalar da altlık olarak kullanılabilir. Bunlarla birlikte Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçümleri alınan büyüklüklerden de yararlanılabilir.

5.3.2. Akarsu Özellikleri

Güvenlik – değerlendirme algoritmasında havza özelliklerinden sonra akarsu özelliklerinin değerlendirildiği bölüm yer almaktadır. Batı Karadeniz Bölgesi'nde yapılan saha çalışmalarında özellikle aşağıda belirtilen konuların köprüler üzerinde önemli rol oynadığı tespit edilmiştir.

Kum ve çakıl ocaklarının bulunması: Çoğunlukla köprünün tasarımı sırasında mevcut olmayan ama köprü trafiğe açıldıktan sonra herhangi bir zamanda söz konusu olabilecek akarsu köprüleri için önemli bir etken de akarsu yatağından kum ve çakıl çekilmesidir.

Çizelge 5.7. Havzaya ait genel özellikler

HAVZA GENEL ÖZELLİKLERİ				
Havza ile ilgili gösterge	Büyüklük Değeri			
Alan (km^2)				
Maksimum yükseklik (m)				
Ortalama yükseklik (m)				
Minimum yükseklik (m)				
Ortalama eğim (%)				
En büyük akım yolu uzunluğu (m)				
Mevcut su tutma yapıları Kapasiteleri, Köprüye uzaklığı	□ Sel kapanları …….	□ Gölet …….	□ HES …….	□ Baraj …….
Fiziki yapısı Kapladığı alan (%)	□ Düzlükler, az eğimli araziler …….	□ Orta eğimli hafif dalgalı araziler …….	□ Platolar, tepeler Arızalı dik eğimli sahalar …….	□ Dağlık sarp sahalar …….
Arazi örtüsü Kapladığı alan (%)	□ İğne yapraklı ağaçlar/orman …….	□ Yaprak döken ağaçlar/orman …….	□ Mera, bayır, bodur ağaç, dağ çayırları …….	□ Otlak, çimen, yok …….
Arazi kullanımı Kullanım (%)	□ Doğal …….	□ Tarım/otlak …….	□ Kırsal/bozkır/ banliyö …….	□ Kentleşme, endüstriyel …….
Hidrolojik toprak grubu Kapladığı %	□ A …….	□ B …….	□ C …….	□ D …….
İklim Etkili olduğu havza %	□ Akdeniz iklimi Yağmur …….	□ Karadeniz iklimi Sağanak …….	□ Karasal iklim Dolu …….	□ Sert karasal iklim Kar …….
En yağışlı aylar				
En kuru aylar				
Ortalama yağış yüksekliği (mm)				
Nüfus (10^3)	Toplam:		Km^2 :	
Doğal afetler Meydana geldiği yıl-büyüklüğü	□ Deprem-şiddet …….	□ Heyelan (m^3) …….	□ Çığ (m^3) …….	□ Taşkın-Frekansı ……

Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde kum ve çakıl ocağı işletmeleri dere yatağı malzemesini usulüne uygun olarak almamakta, konu ile ilgili çıkarılmış 2006/27 numaralı Başbakanlık Genelgesi'ne (Resmi Gazete, 2006) de aykırı olarak köprüye 1000 metreden yakın yerlerde kum-çakıl ocağı işletilebilmektedir. Bunun sonucunda köprünün bulunduğu bölgede alçalan akarsu yatağı tabanı ve azalan taban eğimi nedeniyle köprü ayak temelleri açığa çıkmakta, artan oyulma nedeniyle de ağır hasar görmekte veya olası şiddetli bir taşkında yıkılabilmektedir.

Akarsu yatak eğimi: Akarsu yatak eğiminin dik olduğu yerlerde gerekli önlemlerin (örneğin tersip benti) alınmaması durumunda akarsu yatağında meydana gelecek taban alçalması nedeniyle köprü ayaklarında önemli miktarlarda oyulma ve temellerin açığa çıkması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle söz konusu yapıların seçimi ve doğru projelendirilmesi de büyük önem taşımaktadır.

Akarsu kolu birleşimi: Köprü membaında veya mansabında köprünün üzerinde bulunduğu akarsu kolunun başka bir akarsu kolu ile birleşmesi de gerek akarsudaki akımı gerekse akarsu taban eğimini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle bu durumun da mutlaka değerlendirmede dikkate alınması önerilmiştir.

Akarsu yatağı mendereslilik durumu: Köprünün bulunduğu bölgeye yakın akarsu yatağının menderesli oluşu akarsu taban ve şev değişimlerini etkilemektedir. Dolayısıyla değerlendirmede akarsu köprüsünün mendereslilik etkisine olan mesafesi önemlidir.

Akarsu yatağı ıslah çalışmaları: Türkiye'de akarsularda taşkın koruma ve ıslah çalışmaları DSİ tarafından yürütülmektedir. Bu çerçevede yapılan çalışmalarda amaç, istenen tekerrür sürelerinde meydana gelecek debinin (Q_{100} veya Q_{500}) akarsu yatağından geçmesini sağlamaktır. Ancak saha çalışmaları sırasında söz konusu düzenlemelerde bu çalışmaların köprüler üzerindeki etkilerinin yeterince göz önüne alınmayabildiği görülmüştür. Bu nedenle köprünün bulunduğu akarsu yatağında böyle bir çalışmanın yapılıp yapılmadığının bilinmesinin ve bu durumun köprü üzerinde yaratabileceği etkilerinin değerlendirilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Akarsu akımında ve yatağında meydana gelecek her türlü değişimin akarsu köprülerinde kısa veya uzun vadede az veya çok derecede etkisi görülebilir. Dolayısıyla akarsuyun ve

stabilite durumunun incelenmesi ve takip edilmesi köprüler açısından son derece önemlidir. Johnson (2005), ABD'de 13 farklı akarsuda yaptığı gözlemlerle akarsu stabilitesini karakterize edecek göstergeler belirlemiş ve bunlardan yararlanarak bir akarsu stabilite değerlendirme yöntemi geliştirmiştir. Araştırmacının geliştirmiş olduğu yöntem Çizelge 2.2.'de verilmiştir. Bu çalışmada yapılan saha çalışmaları ve gözlemlenen sorunlar çerçevesinde Johnson'ın (2005) önerdiği sınıflandırma yöntemi temel alınarak bu çalışmadaki akarsu ve köprü özellikleri şekillendirilmiştir. Çalışmada akarsu özellikleri ana yatak, taşkın yatağı ve şev özellikleri ile önemli diğer özellikler olmak üzere dört bölümde değerlendirilmiştir. Çizelge 5.8.'de akarsu yatağı, Çizelge 5.9.'da taşkın yatağı, Çizelge 5.10.'da akarsu şev ve Çizelge 5.11.'de diğer önemli özellikler verilmiştir. Değerlendirmede Knox'un (1976) da belirttiği üzere bazı göstergeler için köprünün belirli mesafe memba ve mansap kesitleri de değerlendirmede yer almıştır. Çalışmada doğrusal akarsu yatakları üzerinde bulunan köprüler için memba ve mansap bölgelerinde 100-500 m'ye kadar olan akarsu yatağının incelenmesi yeterli görülürken, menderesli veya örgülenme olan akarsu yataklarında bu mesafenin 1000 m'ye kadar çıkarılması söz konusu olabilir. Çünkü menderesli veya örgülü yapının meydana getirdiği karmaşık akım yapısı akarsu taban ve kıyısında erozyon ve depolanmaya neden olarak, bu bölgelerdeki akarsu stabilitesini etkileyebilmektedir. Akarsu yatağının düşey ve yatay doğrultulardaki değişimleri akarsu boyuna profili ve plan durumuyla dikkate alınmıştır. Plan durumundaki değişim akarsu boyunca çok uzun bir dönemde fark edilebilir olsa da, özellikle boyuna değişimler köprüler açısından çok önemli sonuçlar doğurabilmektedir.

Çizelge 5.8.'de akarsu tabanı bölümünde yatak içerisinde oluşması muhtemel kum ve çakıl birikimlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çünkü düzensiz akımlar sonucunda biriken ve kum dalgacıkları/basamakların oluşmasını sağlayan koşullar taban oyulmalarını artırma eğilimi göstermektedir. Akarsu yatağında gelişmiş bu birikimleri oluşturan malzeme özelliği, bitki örtüsü ve bu oluşumların genişliği de akarsu yatağında oluşabilecek muhtemel oyulmayı değerlendirebilmek için önemlidir.

Çizelge 5.8. Akarsu yatak özellikleri

AKARSU YATAK ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ana Yatak Özellikleri													
Akarsu davranışı (Johnson, 2005)		Yıl boyunca akım mevcut, ani debi değişimi yok			Yıl boyunca veya bazı yağış dönemlerinde akım mevcut, çok az debi değişimi var			Yıl boyunca veya yağış dönemlerinde akım mevcut, ani debi değişimi var			Son derece coşkulu akım mevcut, yağış dönemlerinde büyük debi değişimleri var		
Akarsu boyuna profil durumu		Geniş akarsu ve haliçler, yatak eğimi < 0,0001			Ova akarsuları 0,001< eğim < 0,0001			Plato (yayla) akarsuları, 0,001<eğim<0,01			Dağ akarsuları, eğim > 0,01		
Akarsu plan durumu (Johnson, 2005)		Doğrusal veya çok az menderesli yatak, eğrilik yarıçapı küçük, başlıca askıda katı madde taşınımı			Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı, askıda ve taban yükü karışık; iyi ıslah edilmiş akarsu yatağı			Menderesli, kısmen örgülü yatak, kıvrımlı mendereslilik çoğunluğu taban yükü taşınımı, zayıf şekilde ıslah edilmiş akarsu yatağı			Örgülü akarsu yatağı, başlıca taban yükü taşınımı, ıslah edilmemiş akarsu yatağı		
Taban malzemesi Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı (Johnson, 2005)		Çeşitli boyutlarda, birbirine sıkıca tutunmuş, yüksek sıkılıkta malzeme, çoğu>4 mm; Fs < %20			Orta sıkılıkta, bir araya gelmiş, bir miktar tutunmuş, çok küçük miktarlardaki malzeme < 4 mm; %20 < Fs < %50			Görünürde birbirine tutunmamış, gevşek malzeme karışımlı, az-orta miktarlardaki malzeme < 4 mm; %50 < Fs < %70			Çok gevşek, birbirine tutunmamış, büyük miktarlardaki malzeme <4 mm; Fs > %70		
Taban koruma, eğim kontrol yapıları, zırhlanma (Johnson, 2005)		Mevcut değil veya çok nadir, taban sıkı zırhlı			Ara sıra konumlanmış çapraz dalgalara ve küçük kıyı ve taban erozyonuna neden olan yapılar, yeterli sıkılıkta zırhlı taban			Orta sıklıkta konumlanmış, bazen düzensiz engeller oluşturarak akarsuda fark edilir erozyona neden olan yapılar, arkalarında önemli derecede sediment birikimi, gevşek zırhlı taban			Sık sık ve genellikle düzensiz konumlanmış, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olan yapılar var, kapanlar kolayca dolarak akarsuyun yer değiştirmesine ve / veya genişlemesine neden olur, çok gevşek zırhlı taban		
	Memba												
	Mansap												
Kum veya çakıl set oluşumu (Lagasse ve diğerleri, 1995)		Set oluşumu yok veya tamamlanmış, düşük akım derinliğinde akarsu genişliğine göre nispeten dar, kaba malzemeli ve bitki örtüsü içeriyor			Setin kenarlarında yeni oluşumlar söz konusu, bu bölgelerdeki oluşum bitki örtüsüz yapıdan anlaşılabilir			Geniş ve genişlemeye devam eden set oluşumu mevcut			Genişliği akarsu genişliğinin yarısından fazla, çok miktarda inceden kalına değişen malzeme var, bitki örtüsü yok veya çok az		
	Memba												
	Mansap												

Çizelge 5.9. Taşkın yatağı özellikleri

TAŞKIN YATAĞI ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taşkın yatağı oluşumu (Johnson, 2005)		Aktif taşkın yatağı mevcut, doğal sedde yok			Aktif taşkın yatağı bozulmuş, yeni taşkın yatağı oluşum aşamasında, alçak sedde mevcut			Aktif taşkın yatağı yok, teraslanma söz konusu, seddeler orta yükseklikte			Aktif taşkın yatağı ve teraslanma yok, akarsu yatağı boyunca seddeler yüksek, insan kullanımı mevcut		
	Memba												
	Mansap												
Taşkın yatağı genişliği		Üniform veya üniforma yakın, her iki sahilde toplam genişliği < 1 akarsu genişliği olan taşkın yatağı mevcut			Üniform olmayan, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 1 - 5 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 5 - 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği > 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut		
	Memba												
	Mansap												

Çizelge 5.10.'da akarsu şevlerinin dengesiyle ilgili değerlendirme yapılmıştır. Şev özelliklerinden şev yüksekliği debinin özellikle taşkın sırasında akarsu yatağı içerisinde kalma durumunu ifade etmek için seçilmiştir. Çünkü ani debi artışının yaşandığı taşkın sırasında akarsu köprüsünün maruz kalabileceği basınçlı veya savak tipi akım köprü ayaklarında meydana gelebilecek oyulmayı doğrudan etkileyebilmektedir. Ortalama şev eğimi, şev malzemesi ve özellikleri ise şev dengesinin akarsu stabilitesi üzerindeki etkisinin analizi için göz önüne alınmıştır. Şevdeki bitki örtüsü durumu ise şevin erozyona karşı mukavemetinin bir göstergesidir. Şev kayması yerçekimi etkisiyle gevşek toprak malzemenin şevden kayma eğilimini ifade etmektedir. Şev kesilmesi, akımın bilhassa kurplu bölgelerde kısa yolu takip etme eğilimi sonucunda karşısına çıkan şeve çarpma eğilimini göstermektedir. Şev koruması ise olası şev erozyonuna karşı şevin akarsu yatağında oluşturacağı dengesizliklerin ve alınan önlemlerin etkisinin incelenmesi için seçilmiş bir göstergedir.

Çizelge 5.10. Akarsu şev özellikleri

AKARSU ŞEV ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Şev yüksekliği		Köprü boyuna kirişi altında			Köprü boyuna kiriş alt kotu ile tabliye seviyesinde			Köprü tabliye seviyesinde			Köprü korkuluklarının çok üzerinde		
	Memba												
	Mansap												
Şev eğimi (Johnson, 2005)		Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 3Y:1D; killi malzeme için < 1:1 (her iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 2Y:1D; killi malzeme için < 0,8:1 (tek veya iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 1,7Y:1D; killi malzeme için < 0,6:1 (tek veya iki şevde			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için > 45°; killi malzeme için > 60° (tek veya iki şevde)		
	Memba												
	Mansap												
Şev koruması ve bitki örtüsü (Pfankuch, 1979)		Yoğun, odunsu ağaçlar, sık makilik yapı; her iki şev kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı			Orta yoğunlukta yapraklı, odunsu ağaçlar, orta sıklıkta makilik yapı; kısmi kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama			Az yoğunlukta bitki örtüsü, düşük sıklıkta makilik yapı; şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir, problemli şev koruması uygulaması var			Çoğunluğu yumuşak odunsu, yapraklı ağaç, bitki örtüsü yoğunluğu < %50; şevlerde kaplama veya zırhlama yok, kaplama varsa temelinde veya yapısında ciddi problemler var		
	Memba												
	Mansap												
Şev malzemesi (Pfankuch, 1979)		Kil ve siltli kil, kohezyonlu malzeme; kaplamalı şev			Killi tın - kumlu killi tın malzeme, çoğunluğu kohezif malzeme			Kumlu kil - kumlu tın malzeme, az miktarda kohezif olmayan malzeme			Kumlu tın - kum, çoğunluğu kohezif olmayan malzeme,		
	Memba												
	Mansap												
Şev kayması (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya çok az, üniform yatak genişliği			Az miktarda sık olmayan kütle kayması, nispeten üniform yatak genişliği			Sık veya önemli miktarda kütle kayması, kanal genişliği oldukça düzensiz			Sık ve çok önemli miktarda kütle kayması, kesme çatlakları,muhtemel şev göçmesi, kanal genişliği çok düzensiz		
	Memba												
	Mansap												
Şev kesilmesi (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya az (şev yüksekliği < 15 cm)			Akarsu kıvrımlarında bir miktar mevcut (şev yüksekliği < 30 cm)			Sık ve fazla miktarda, ağaç kökleri askıda (şev yüksekliği 30 – 60 cm)			Sürekli şev kesilmesi mevcut, ağaç kökleri açıkta (şev yüksekliği > 60 cm)		
	Memba												
	Mansap												

Çizelge 5.11. Diğer önemli etkiler

DİĞER ETKİLER													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Akarsu yatağından kum - çakıl çekilmesi		Çekilmiyor veya köprüden mesafesi > 5 km			Köprüye 5 – 2 km mesafede, kurulu tesis yok, sürekli ve çok malzeme çekilmiyor			Köprüye 2 - 1 km mesafede, kurulu tesis var, sürekli malzeme çekiliyor			Köprüye mesafesi < 1 km, kurulu tesis var, sürekli ve çok miktarda malzeme çekiliyor		
	Memba												
	Mansap												
Akarsu kol birleşimi		Köprüye yakın noktalarda ana kanala birleşen kol yok, aşırı yağışlar sırasında ana yatağa yakın geçici dereler oluşmuyor			Köprüden çok uzak noktalardan ana kanala ihmal edilebilecek büyüklükte debiye sahip geçici dereler bağlanıyor			Ana kanalın mertebesinden 3-4 mertebeye kadar küçük, akarsuyun yan kol ile birleşim mesafesi LB<4 km, yandan bağlanan kol için $0,05 < R \leq 0,15$			Ana kanalınkinden 1-2 mertebe daha küçük, LB < 2,5 km, yandan bağlanan kol için $R > 0,15$		
	Memba												
	Mansap												
Atık birikmesi (Pfankuch, 1979)		Atık yok veya akıma engel teşkil eden veya türbülansı artıran potansiyel birikim ihmal edilebilir			Küçük miktarlarda atık birikmesi mevcut, küçük ama önemsiz daralmalar oluşabilir			Farklı boyutlarda birikmiş malzeme, önemli birikme sonucunda daralma olabilir			Köprü ayaklarında büyük kütükler sıkışmış, kuvvetli çevrinti söz konusu olabilir, mevcut köprü açıklıkları daralmış		
Islah çalışması		Köprüyü etkileyecek akım değişikliği yok			Akımda değişiklik var ama köprüde olumsuz etkisi gözlenmiyor			Akım şiddeti ve yönünde değişim var, ayaklarda oyulma başlamış, çevrinti söz konusu			Köprü ayaklarında ciddi oyulma ve kuvvetli çevrintiler oluşuyor		
En kesit daralması (Simon ve Downs, 1995)		0 - %5			%6 - %25			%26 - %50			> %50		
Memba veya mansabında yeni köprü yapılması		Yeni köprü akım yapısını değiştirmiyor veya ihmal edilebilir değişiklik var			Yeni köprü akım yapısını etkiliyor ama eski köprüde ihmal edilebilir etkisi var			Yeni köprü akım yapısını değiştiriyor ama ciddi oyulmaya neden olmuyor			Yeni köprü ciddi çevrintiler, ikincil akım ve oyulmaya neden oluyor		

Çizelge 5.11.'de ise akarsu köprüleri için önemli olabilecek, akarsuyla ilgili diğer önemli göstergeler yer almaktadır. Bunların başında köprü yakınında akarsu yatağından kum-çakıl çekilmesidir. Akarsu köprüleri için önemli olabilecek diğer değişimlerin başında ise akarsu yatağında yapılacak ıslah çalışmaları gelmektedir. Bu çalışmaların da gerek proje öncesinde gerekse sonrasında köprüyü nasıl etkilediği her açıdan değerlendirilmelidir. Böylece bu bölümde akarsuyun köprü üzerindeki etkileri de göz önüne alınmıştır. Akarsuya yandan bağlanan akarsu kol için engebelilik sayısı (R) kullanılmıştır. Bu sayı, havzanın en büyük kotu ile çıkış noktasının bulunduğu kot arasındaki farkın (reliyef) havzanın drenaj alanının kareköküne oranı olup dolaylı şekilde havzanın alansal olarak eğimiyle ilgili bir parametredir. Bu oran, havzada meydana gelebilecek taşkın, taşkınlarla çok fazla miktarda sedimentin taşınmasıyla (%10-%75 oranlarında) meydana gelebilecek katı madde taşkını ve sıvılaşmış, konsolide olmamış ve doygun durumdaki zeminin hızlı hareket etmesiyle oluşan katı madde akımı gibi hidro-jeomorfik süreçler hakkında fikir vermektedir. Farklı araştırmacılar hidro-jeomorfik süreç ile engebelilik sayısı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve bu süreçlerin sınırları hakkında önerilerde bulunmuşlardır (Çizelge 5.12.). Buna göre sınıflandırmada R > 0,15 olduğu hallerde ana kola birleşen akarsu kolunun ana kol üzerindeki etkisi fazla olduğundan bu durum tamamen zayıf olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.12. Havzaların R'ye göre sınıflandırılması

Hidro-jeomorfik süreç	R Aralığı	Kaynak
Taşkın	R < 0,30	Jackson, Kostaschuk ve MacDonald (1987) Wilford, Sakals, Innes, Sidle ve Bergerud (2004) Millard, Wilford ve Oden (2006)
Katı madde akımı ve taşkını	R > 0,30	Jackson ve diğerleri (1987)
Katı madde taşkını	R > 0,30 ve LB > 2,7 km	Wilford ve diğerleri (2004)
Katı madde taşkını	0,30 < R < 0,60	Millard ve diğerleri (2006)
Katı madde akımı	R > 0,60 ve LB < 2,7 km	Wilford ve diğerleri (2004)
Katı madde akımı	R > 0,52	Bovis ve Jakob (1999)
Katı madde akımı	R > 0,60	Millard ve diğerleri (2006)

5.3.3. Köprü özellikleri

Güvenlik – değerlendirme algoritmasında dikkate alınan bir diğer özellik ise köprülerin geometrik ve akımla olan etkileşim özellikleridir. Saha çalışmaları sırasında köprülerle ilgili aşağıdaki özelliklerin önem kazandığı tespit edilmiştir;

- Köprü konumu ve verevliği: Akarsu yatakları üzerindeki köprülerin konumları önemlidir. Örneğin dik yamaç eteklerinde veya yüksek eğime sahip havzalarda şiddetli yağış veya

ani kar erimesiyle oluşan debi büyük bir hızla ve kısa sürede akarsuya ulaşabilmektedir. Bu durumda bu bölgelerdeki köprüler daha sık ve şiddetli taşkın debisine maruz kalarak ayaklardaki oyulma riski artabilmektedir. Ayrıca köprü aksıyla yaklaşım akım yönü arasında verevlik açısı olması yani köprünün akarsuyu dik değil de bir açıyla kesmesi durumunda ayaklarda meydana gelen akım yapısı ve dolayısıyla oyulma önemli derecede etkilenebilmektedir.

- Ağaç gövdesi, dalı gibi malzemelerin bulunması: Saha çalışmaları sırasında neredeyse tüm köprü ayaklarında akımla taşınmış ve köprü ayaklarında takılmış çeşitli büyüklüklerde ağaç gövdesi, dalı gibi çeşitli atıkların olduğu tespit edilmiştir. Köprü ayağında biriken bu tür atıkların olması durumunda köprü ayağı etrafındaki akım yapısı etkilenmekte ve oyulma potansiyeli artmaktadır. Ayrıca bu atıkların zaman içinde birikmesiyle akım alanı kademeli olarak azalarak ayaklar arasındaki akım hızının ve oyulmanın artmasına neden olmaktadır. Taşkın sırasında köprü açıklıklarının tıkanması neticesinde basınçlı akım söz konusu olabilmekte, bu durumda da ayaklardaki oyulmalarda ciddi artışlar meydana gelebilmektedir.
- Oyulmaya karşı yapılan tahkimatlar: Gerek muayene ve değerlendirmelerin yürütüldüğü köprülerde gerekse bölgede bulunan diğer köprülerde yapılan gözlemlerde, ayaklarda oyulma olması durumunda büyük kaya parçalarının ayaklar etrafına yerleştirilerek oyulmaya karşı önlem alınmaya çalışıldığı tespit edilmiştir. Ancak bu şekilde büyük kaya parçalarının yerleştirildiği ayaklarda kayalar arasındaki boşluklarda türbülanslı akım meydana gelebileceği ve kayaların yerleştirildiği tabanda oyulmanın daha da artabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca tamamen rastgele yerleştirilen bu kaya parçaları kuvvetli akımla birlikte yer değiştirebilmekte ve sorunu daha da artırabilmektedir. Bu nedenle oyulmaya karşı yapılan tahkimat çalışmaları da önem taşımaktadır. Ciddi taşkınlar sonrasında köprülerin bu açıdan da değerlendirilmeleri yararlı olacaktır.
- Trafik yükü değişimleri: Hidrolik etkenler arasında olmamakla birlikte köprünün taşıdığı trafik tipinde ve yoğunluğunda ciddi değişimler meydana gelebilmekte, bu da köprü için yapılması gereken bakım-onarım çalışmalarını etkileyebilmektedir. Örneğin köprünün bulunduğu bölge civarında HES, baraj, çevre yolu gibi yapılacak önemli bir inşaat çalışmasında kullanılacak malzemelerin taşınmasıyla veya açılacak bir fabrikanın bulunması köprünün hem önemini artıracak hem de bakım-onarım ihtiyacını etkileyebilecektir.

Yapılan gözlemler ışığında Çizelge 5.13.'te güvenlik-değerlendirme algoritmasında dikkate

alınan akarsu köprü özelliklerine ait seçilmiş göstergeler ve bunların sınıflandırılmaları görülmektedir.

Çizelge 5.13. Köprü özellikleri ve sınıflandırma

KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü konumu	Deniz veya göl kenarında			Yumuşak eğimli akarsu üzerinde			Vadi akarsuyu üzerinde			Dağ eteğinde veya sert eğimli akarsu üzerinde		
Köprünün memba kurp etki noktasından uzaklığı ve akım yönünü etkilemesi (Dm) (Johnson, 2005)	Dm > 35m			20 < Dm ≤ 35m			10 < Dm ≤ 20m			0 < Dm ≤ 10 m		
Köprü verevliği (Simon ve Downs, 1995)	0 ≤ α ≤ 5°			5 < α ≤ 10°			10 < α ≤ 30°			α > 30°		
Köprü açıklığındaki akım durumu	Açıklık yeterli, kabarma yok, serbest akım var			Açıklık yeterli, su seviyesinde artış var ama önemli miktarda değil, serbest akım var			Su seviyesi köprü başlık kirişine yakın ama halen serbest akım söz konusu			Su seviyesi köprü başlık kirişini aştı, basınçlı veya savak tipi akım söz konusu		
Orta Ayak Özellikleri												
Ayak tipi, tekil veya grup olma durumu ile verevlik	Tekil ayak, yuvarlak veya yarım daire uçlu, akımda ayrılmalar az veya ihmal edilebilir boyutta			Tekil ayak, dairesel olmayan memba veya mansap yüzeyi, akımda ayrılmalar var ama güçlü çevrinti yok			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayak eksenleriyle akım arasında açı yok, çevrintili akım oluşumu söz konusu			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayaklar arası kuvvetli çevrintili akım, ayakların aksıyla akım arasında açı var		
Ayak uzunluğunun genişliğine oranı (Yanmaz, 2002b)	< 2			2 - 3			3 - 5			> 5		
Gözlemlenebilirlik	Her dönem gözlemlenebiliyor			Sığ su olması nedeniyle gözlemlenebiliyor			Kurak dönemlerde gözlemlenebiliyor			Her zaman su altında gözlem yapılamıyor		
Oyulma	Oyulma yok veya ihmal edilebilir büyüklükte, temel pabuçları görünmüyor			Oyulma az, temel pabuçları çok az görünüyor			Oyulma var, temel pabuçları görünüyor			Oyulma derinliği ciddi boyutta		
Oyulmaya karşı alınan önlem	Herhangi bir önleme gerek yok			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış, yeterli ve uygun bir uygulama			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış ancak taşlar yer değiştirmiş, uygulama başarısız			Oyulmaya karşı hiçbir önlem alınmamış		
Kenar Ayak Özellikleri												
Korunma şekli ve durumu	Betonarme perde hasarsız, deformasyon yok			Betonarme perdede küçük hasar ve çatlak var, deformasyon yok			Betonarme perdede çatlak ve tahribat var, deformasyon yok			Betonarme perdede ciddi hasar ve deformasyon var		
Oturma ve dolgu durumu	Gözle görünür oturma yok, dolgu hasarsız			Gözle görünür oturma yok, dolguda çok az miktarda kayma mevcut			Dolguda önemli kayma veya deformasyon mevcut			Dolgu topuğunda hasar, dolguda ciddi kayma ve oturma var		
Kenar ayağı etkileyecek çevresel veya fiziksel değişiklik	Herhangi bir değişiklik yok			Yol genişletme vb. nedenle dolguda veya perdede az hasar			Su drenaj vb. problemle oluşan oturma, ıslah çalışmalarında hasar			Akarsu şev stabilitesi veya taşkın yatağında meydana gelen kararsızlıklar nedeniyle hasar		

Öncelikle köprünün bulunduğu konum, özellikle taşkın sırasında görebileceği zararı etkilemektedir. Dağ eteğinde veya sert eğimli bir yatak üzerinde bulunan köprü altından geçecek debinin hızı yerçekimi nedeniyle yumuşak eğimli akarsuya göre nispeten daha büyük olacak, bu da özellikle debide ciddi artışların yaşandığı taşkın dönemlerinde daha büyük risk teşkil edecektir. Bu nedenle köprü konumu bir gösterge olarak seçilmiştir. Diğer göstergeler arasında Johnson'ın (2005) kontrol listesinde de yer alan köprünün kurp merkezinden uzaklığı ile gözlemlerden ve deneysel çalışmalardan bilinen köprü verevlik etkisidir. Köprünün kurp merkezinden uzaklığı akımın merkezkaç kuvveti etkisiyle dış bükey kıyıda erozyon, iç bükey kıyıda ise birikme potansiyelini artırmaktadır. Köprünün verevlik açısına sahip olması durumunda ise özellikle orta ayaklardaki yerel oyulma potansiyeli artmaktadır. Bu nedenle köprü verevliği de bir gösterge olarak seçilmiştir. Yapılan saha çalışmalarında köprü açıklıklarının ve bu açıklıklardaki akımın, kesitte herhangi bir daralmaya neden olup olmadığının da önemli bir etken olduğu görülmüştür. Bu nedenle köprü açıklık özellikleri de göstergeler arasında yerini almıştır. Bunların yanısıra köprü orta ve kenar ayakları ile bunlara ait özellikler oyulma çukuru üzerinde önemli etkiye sahip olduğundan göstergeler içerisinde yer almaktadır. Özellikle birçok hidrolik olayın etkisi akarsu ayaklarında oyulmalara neden olacağından bu bölümlerin gerek maruz kaldıkları etkiler gerekse alınan veya alınması gerekli önlemler açısından dikkatli bir şekilde incelenmesi ve gerekirse ölçümler yapılarak desteklenmesi gerekmektedir.

5.3.4. Köprülerin yapısal değerlendirilmesi

Muayene sırasında köprü elemanları yapısal olarak da değerlendirilmelidir. Berk (2006) ve Yanmaz ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmalarda periyodik denetlemenin gereklilikleri, etkili faktörler ele alınarak irdelenmiş, Türkiye'deki mevcut köprüler ve ABD'deki pratik örnekler kullanılarak yapılan incelemelerle Türkiye'deki köprüler için kontrol listesi grupları oluşturularak bir algoritma önerilmiştir. Çalışmada değerlendirme ve yorumlama Ankara çevresinden seçilmiş akarsu köprülerinin incelenmesiyle sağlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Yanmaz ve diğerleri (2007) tarafından Türkiye için önerilen sınıflandırma algoritmasından yararlanarak Çizelge 5.14.'te verilen yapısal değerlendirme geliştirilmiştir. Köprüde yapılan yapısal muayene ana gövde bileşenleri, yüzey koruma bileşenleri ve servis elemanları olmak üzere üç ana bölümde yapılmış ve diğer güvenlik

değerlendirme bölümleriyle uyumlu olması açısından üçerli dört gruptan oluşan derecelendirme kullanılarak elemanların durumu sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.14. Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Tabliye	Çatlaklar												
	Beton ayrışması												
	Donatı açığa çıkması												
	Boşluk ve oyuklar												
	Su sızması												
Mesnetler	Ana hasar												
	Mesnet yatağı												
	Metalik mesnet ise												
	Eleman kaybı												
	Sabitleme												
	Elastomerik mesnet ise												
	Yüzey düzenlemesi												
	Deformasyon												
Kirişler	Deformasyon												
	Çatlaklar												
	Çelik ise												
	Paslanma												
	Bulon ve perçin												
	Betonarme ise												
	Beton ayrışması												
	Donatı açığa çıkması												
	Boşluk ve oyuklar												

Çizelge 5.14. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü orta ayakları		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
	Deformasyon												
	Çatlaklar												
	Beton ayrışması												
	Donatı açığa çıkması												
	Boşluk ve oyuklar												
	Su ve sediment aşındırması												
	Temelde oyulma												
YÜZEY KORUMA BİLEŞENLERİ													
Kenar Ayaklar	Deformasyon												
	Çatlaklar												
	Beton ayrışması												
	Donatı açığa çıkması												
	Boşluk ve oyuklar												
	Su ve sediment aşındırması												
	Temelde oyulma												
Yaklaşım Dolgusu	Oturma ve yığılma												
	Yol platformunda erozyon												
	Dolguda erozyon												
Stabilizasyon	Oturma ve yığılma												
	Erozyon												
	Yatak seviyesinde oyulma												

Çizelge 5.14. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

SERVİS ELEMANLARI													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kaplama		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
	Dalgalanma												
	Tekerlek izi												
	Çatlaklar												
	Oyuk ve çukurlar												
Bordür	Betonda çatlaklar												
	Kabarma ve dökülme												
	Donatının açığa çıkması												
Korkuluk	Korkulukta deformasyon												
	Korkulukta paslanma												
	Korkulukta eleman eksikliği												
Genleşme Derzi	Gürültü												
	Su sızıntısı												
	Deformasyon												
	Boşluk ve oyuklar												
	Eleman eksikliği												
	Fonksiyon kaybı												
Drenaj Tertibatı	Boru hasarı												
	Tıkanmalar												
	Giriş ağzı hasarları												

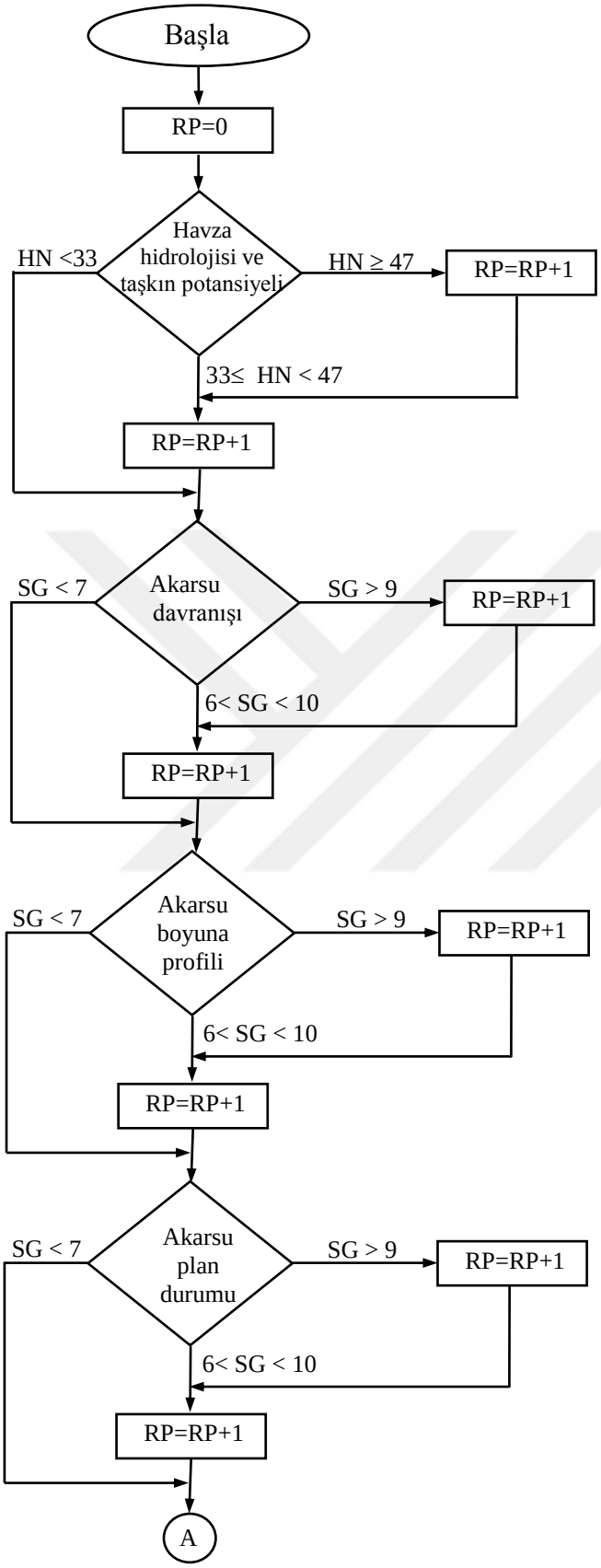
Kontrol listesinde incelenen göstergenin mevcut olmadığı veya yapı için geçerli olmaması nedeniyle hesaplanamadığı durumlarda gösterge sınıfının sırasıyla 11 (zayıf) ve 12 (zayıf)

alınarak değerlendirme yapılması tavsiye edilmektedir. Köprüde yapılacak gözle yapısal muayene yanında ekipmanlı muayene de gerekli olabilmektedir. Tüm köprüler için ekipmanlı muayene yapılmasının anlamlı olmaması nedeniyle ön muayeneden elde edilecek sonuçlara göre bu aşamaya geçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

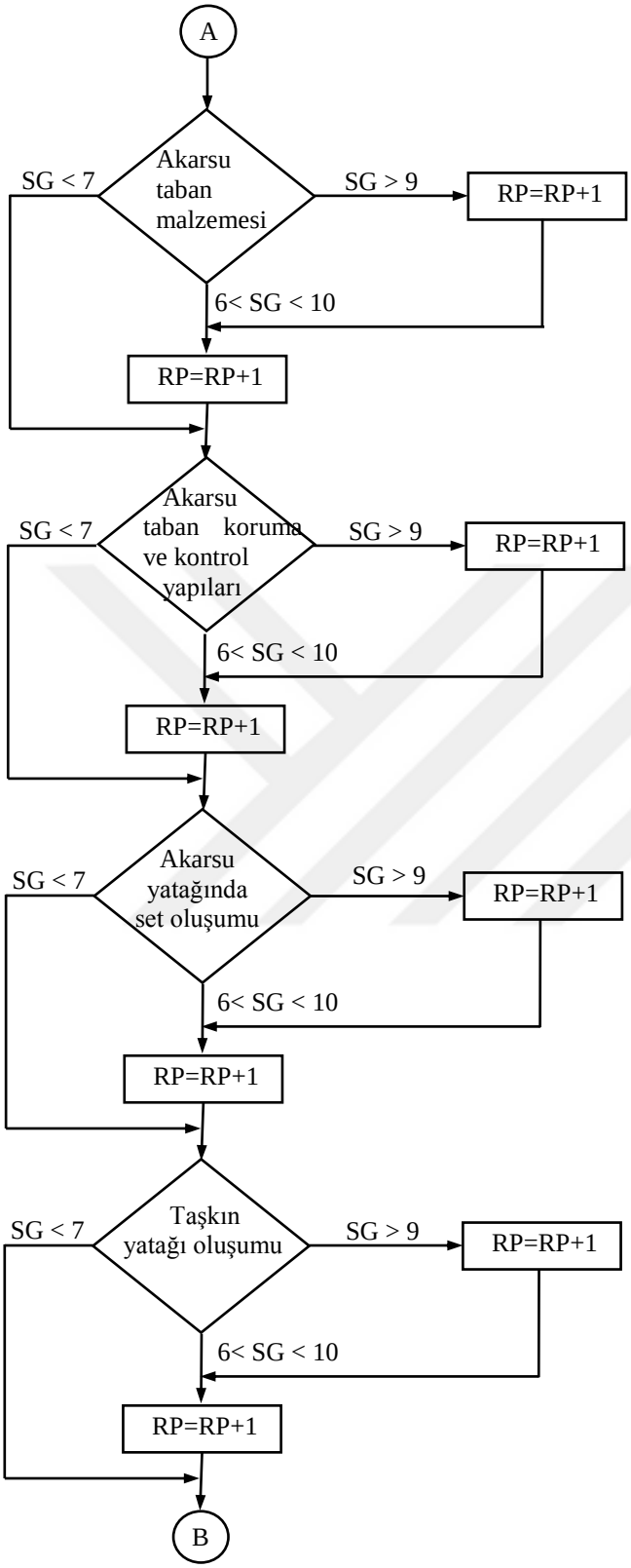
5.4. Güvenlik-Değerlendirme Algoritmasının Değerlendirilmesi

Güvenlik-değerlendirme algoritmasının pratik ve kullanılabilir sonuçlar vermesi için Şekil 5.2.'de verilmiş olan çalışma şeması geliştirilmiştir. Çalışma şemasına göre muayene başında bir risk parametresi (RP) tanımlanmakta ve değeri '0' olarak alınmaktadır. Güvenlik-değerlendirme algoritmasında yer alan havza hidrolojisi ve taşkın potansiyeli, akarsu ve köprü özelliklerine ait göstergeler köprü güvenliği açısından değerlendirilmektedir. Değerlendirmede her bir gösterge sınıfının (SG) mükemmel ve iyi olması durumunda RP değeri değişmemekte, sınıfın vasat olması halinde '1', zayıf olması halinde ise '2' notu verilerek her bir SG'ye göre RP değerleri toplanmaktadır. Böylece farklı göstergelerden zayıf olan köprülerin RP notu da yüksek olmaktadır.

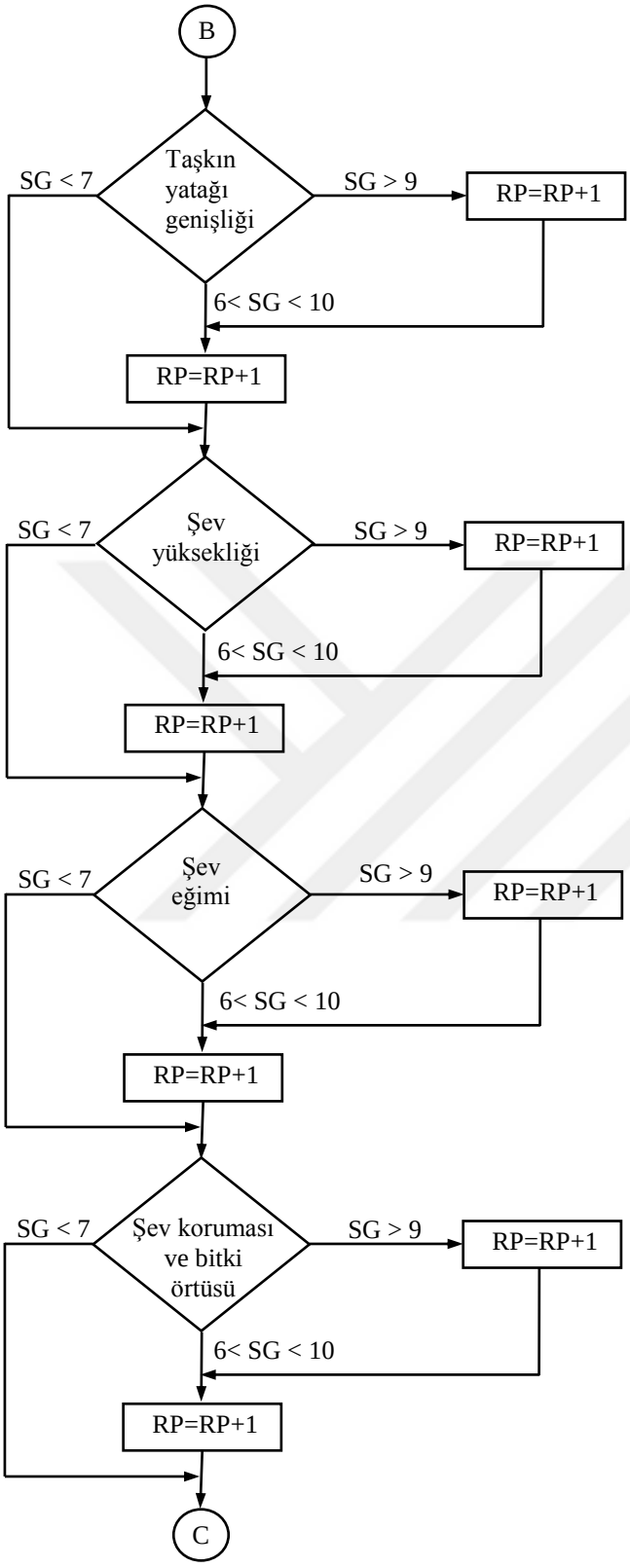
Akış şemasına göre öncelikle havzanın hidrolojisi ve taşkın potansiyeli değerlendirilmiştir. Bunun için havza hidrolojisi ve taşkın potansiyeli için belirlenmiş olan havza hidroloji notundan (HN) yararlanılmıştır. Daha sonra köprünün üzerinde bulunduğu akarsu özellikleri dikkate alınmıştır. Sırasıyla akarsu davranışı, boyuna profili, plan durumu, taban malzemesi, taban koruma ve kontrol yapıları ile akarsu tabanında kum-çakıl set oluşumu değerlendirilmiştir. Taşkın yatağı durumu genişliği ile oluşumu ve bitki örtüsü göstergeleri ile değerlendirmeye katılmıştır. Sonrasında akarsu şev özelliklerinin değerlendirildiği göstergeler aynı şekilde akış şemasında yer almıştır. Göstergelerin sınıflandırmasında özellikle Johnson (2005) çalışmasından yararlanılmıştır. Bundan sonra 'Diğer etkiler' başlığı altında özellikle saha çalışmalarında gözlemlenen ve önemli olduğu düşünülen göstergelerin her biri ayrı ayrı yer almıştır. Son olarak köprü özelliğine ait göstergeler değerlendirilmiştir. Böylece değerlendirme sonucunda köprüye ait bir RP elde edilmiştir. RP, tüm göstergelerin mükemmel veya iyi sınıflandırılması durumlarında sıfır değerini almakta ve zayıf olması durumunda 70 değerine eşit olmaktadır. Her sınıf aralığı, alınabilecek en yüksek puanın dört aralığa eşit bölünmesiyle belirlenmiştir. Yapısal değerlendirme için de benzer şekilde yapısal göstergelerin sınıf notları toplanarak yapısal not (YN) değerleri belirlenmiş ve sınıf aralıkları da HN'ye benzer şekilde yapılmıştır. Böylece köprü yapısal olarak YN değerine göre



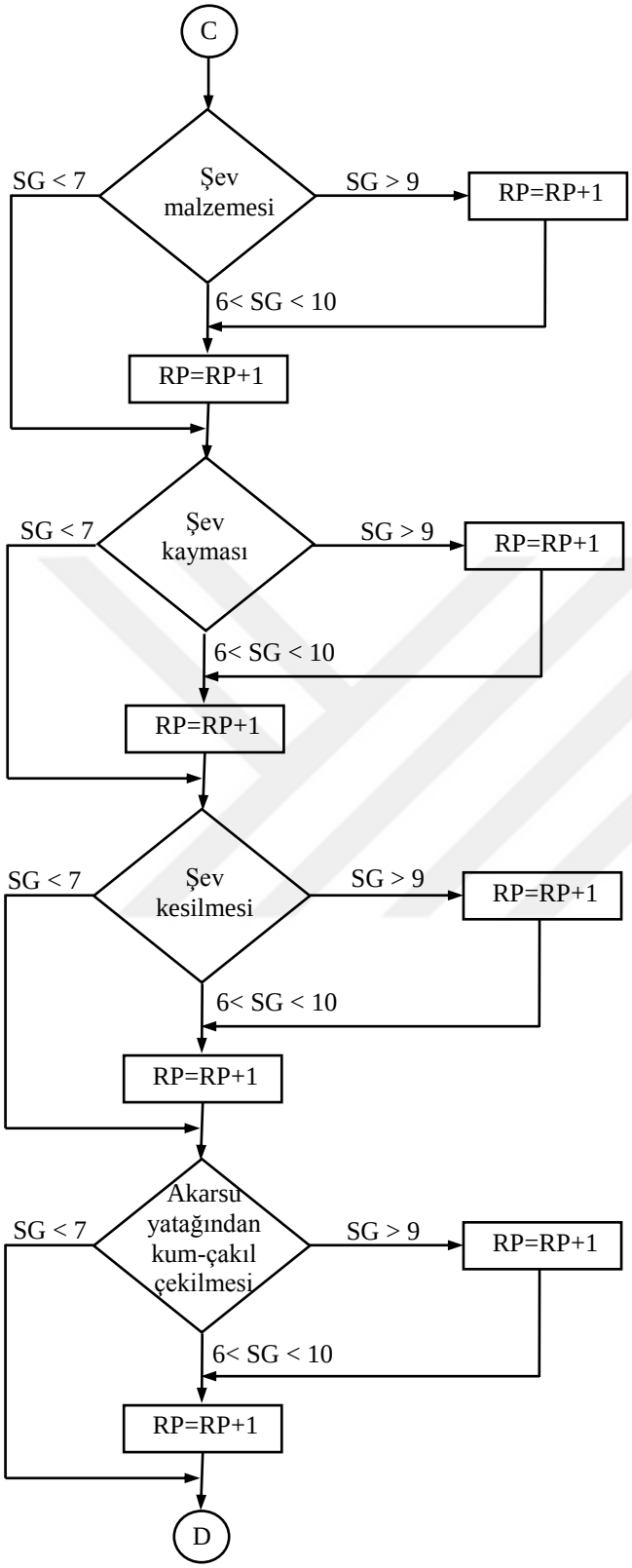
Şekil 5.2. Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



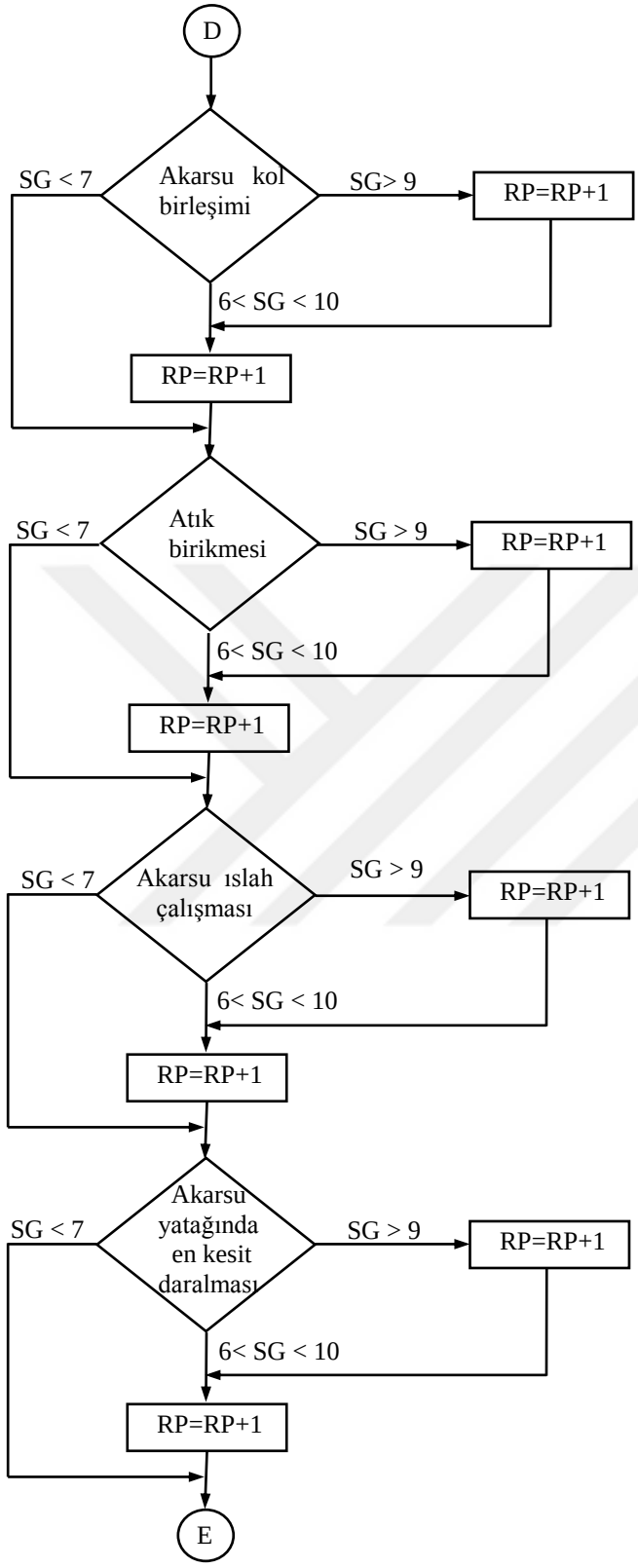
Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



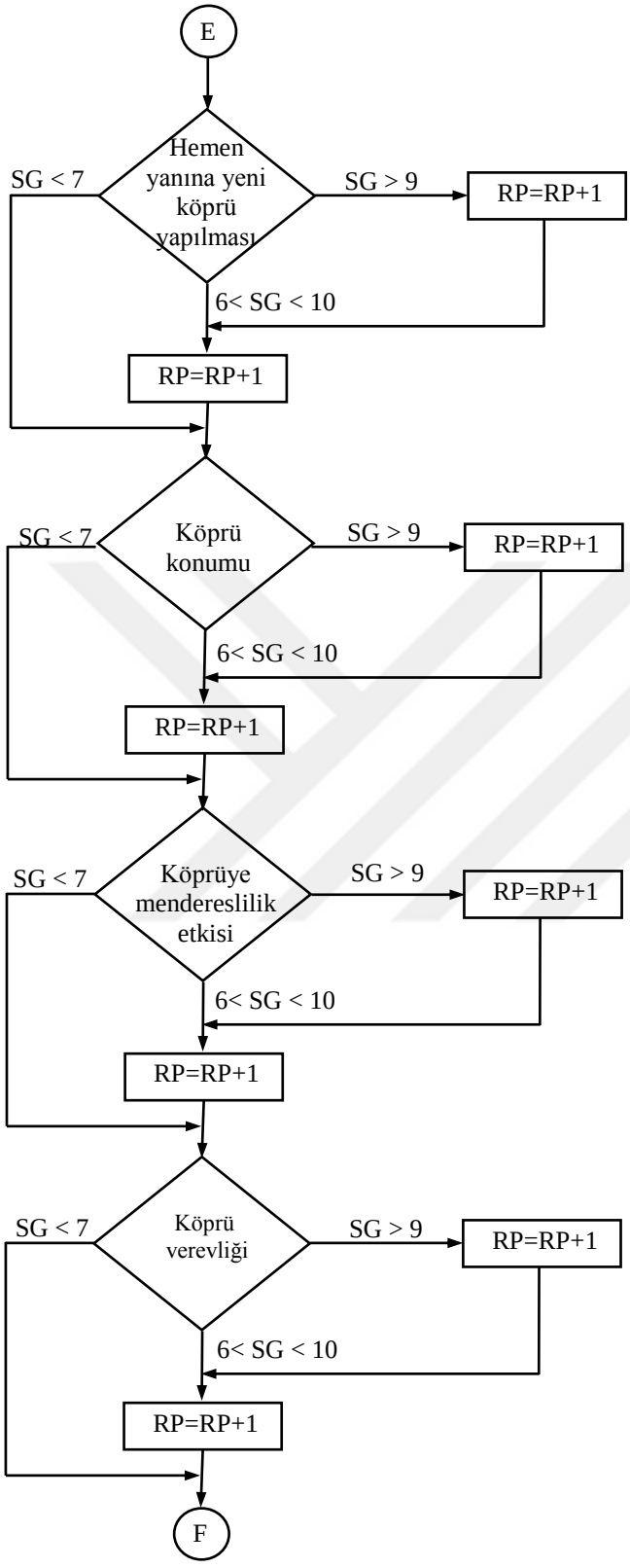
Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



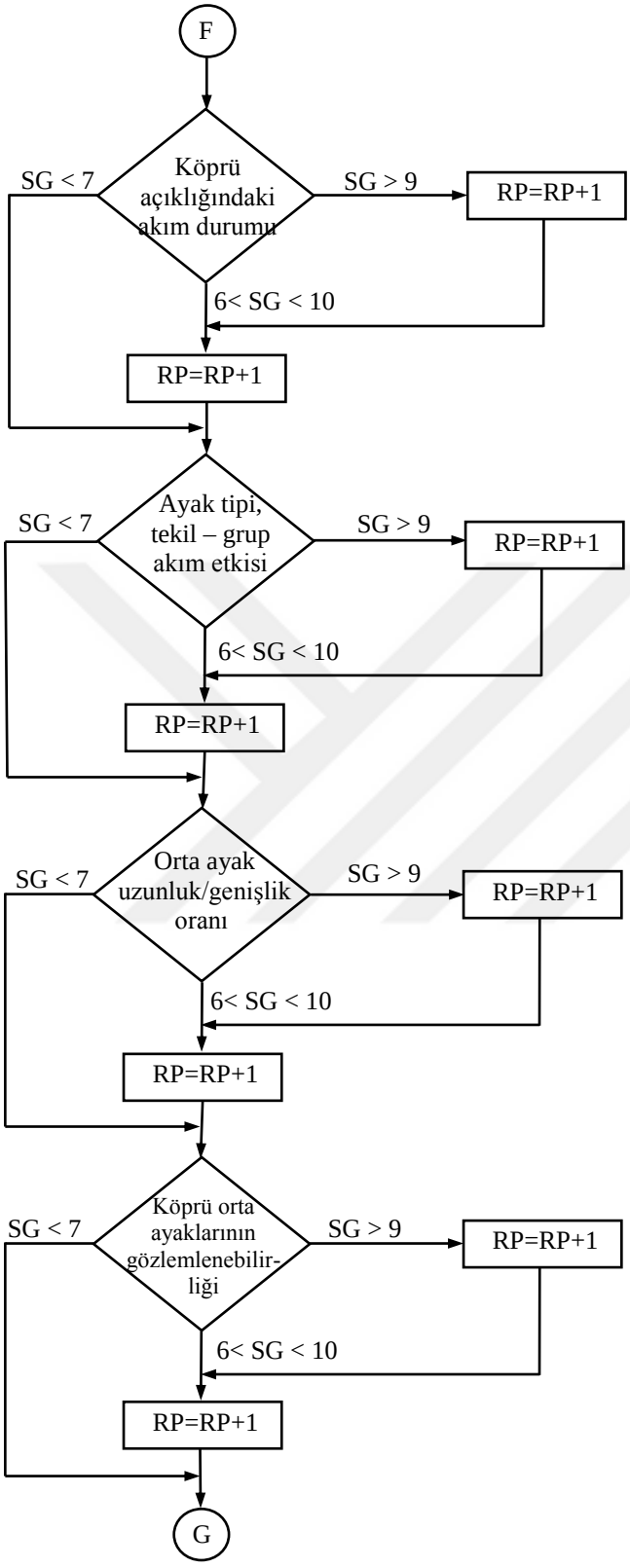
Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



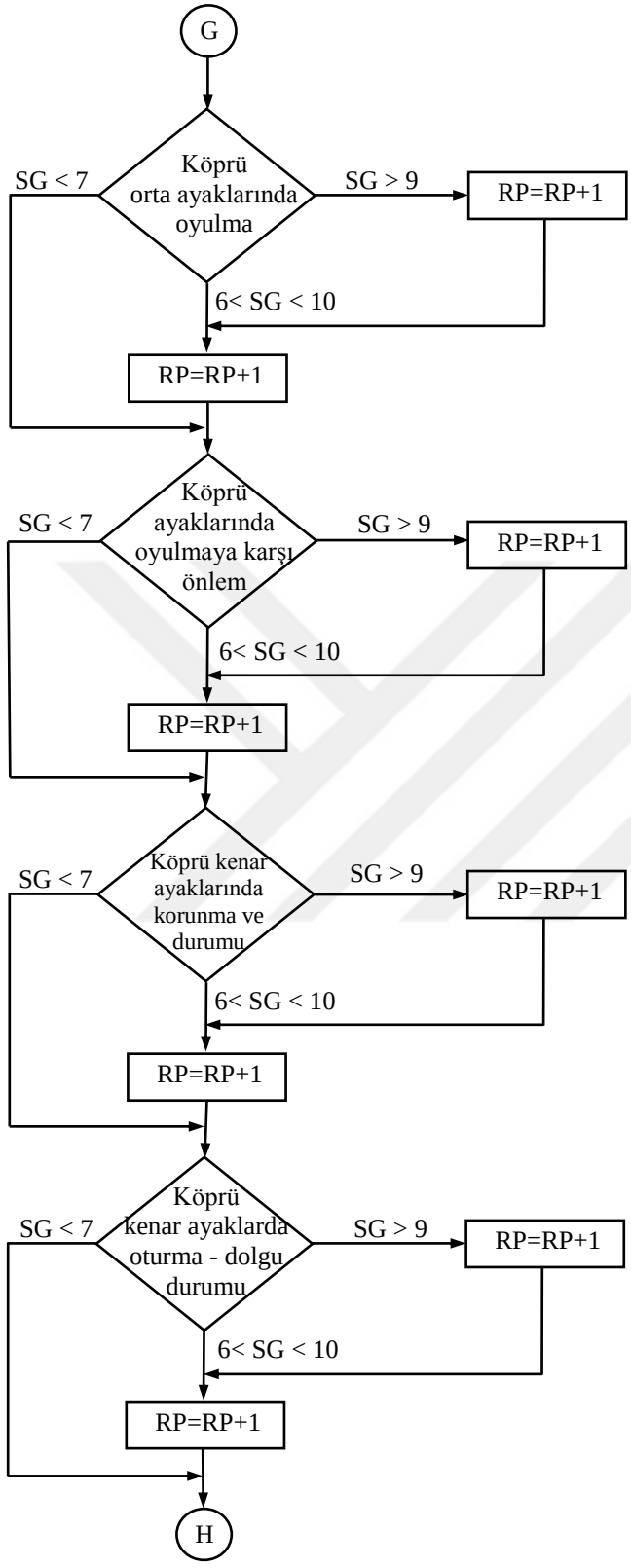
Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



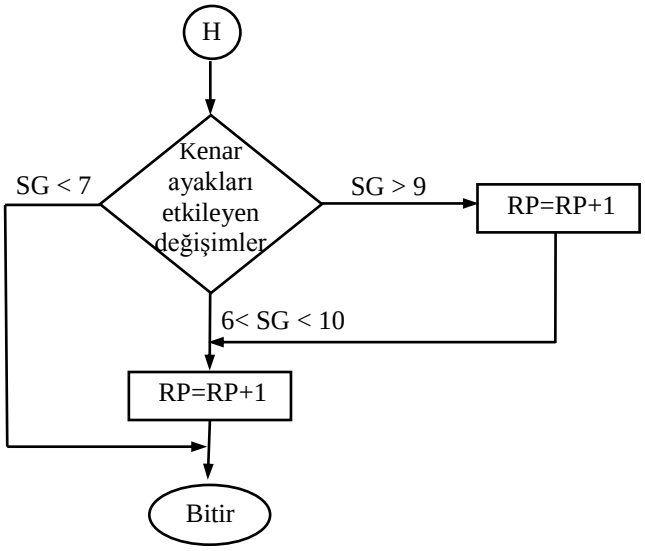
Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



Şekil 5.2. (devam) Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması



Şekil 5.2. Güvenlik-değerlendirme algoritması değerlendirme şeması (devam)

Köprü değerlendirmeleri yapısal açıdan, Çizelge 5.15. ve hidrolik etkenler açısından ise RP değerine göre Çizelge 5.16. ile gerçekleştirilmiştir. Böylece köprüler için tavsiye edilmekte olan işlemlere karar verilmiş olunmaktadır.

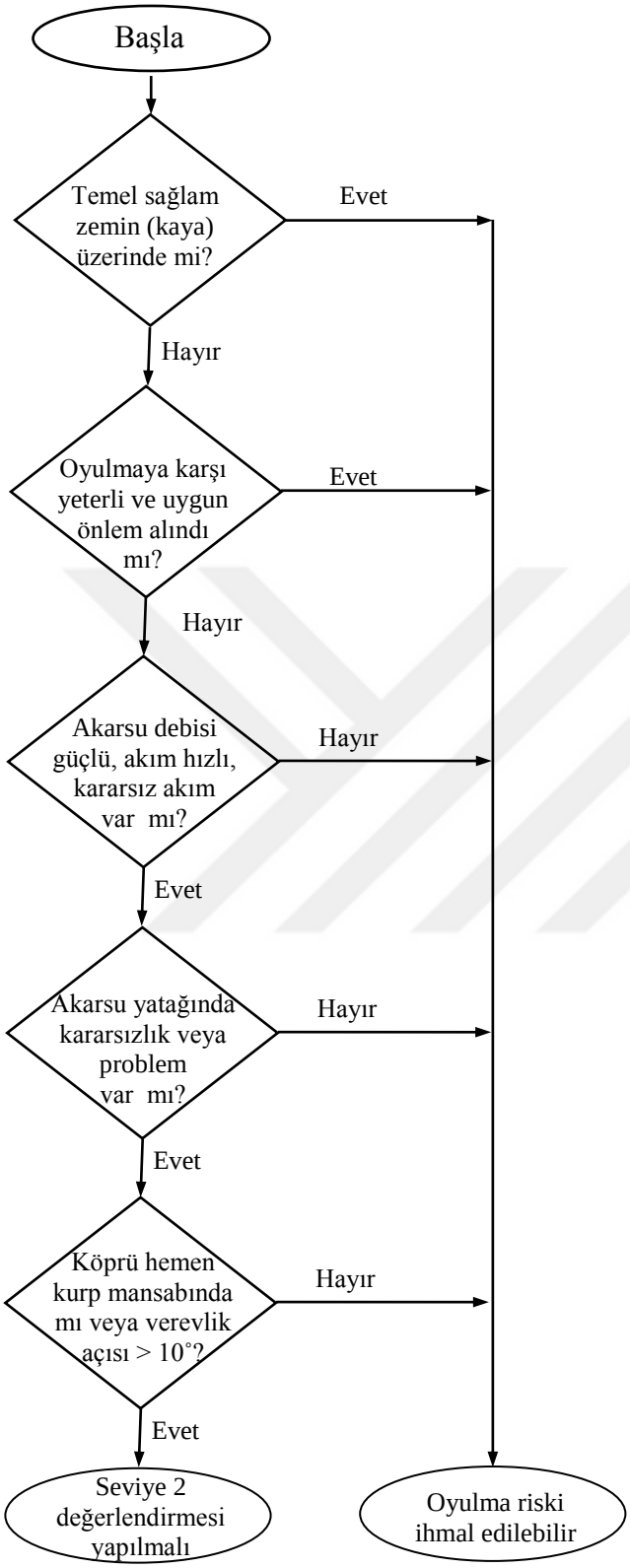
Çizelge 5.15. Yapısal açıdan köprünün değerlendirilmesi

Durum	Yapısal	Sınıflandırma	Yapılması tavsiye edilen işlem
1	YN < 199	Mükemmel	Hiçbir bakım-onarıma ihtiyaç yok.
2	199 ≤ YN < 345	İyi	Acil bakım-onarıma ihtiyaç yok.
3	345 ≤ YN < 491	Vasat	Bakım-onarıma ihtiyaç var. Takip edilmeli.
4	YN ≥ 491	Zayıf	Acil bakım - onarıma ihtiyaç var. Köprü yapısal olarak çok problemli.

Çizelge 5.16. Hidrolik etkenler açısından köprünün değerlendirilmesi

Durum	Hidrolik Etken	Sınıflandırma	Hidrolik yönden yapılması tavsiye edilen işlem
1	0 ≤ RP < 12	Mükemmel	Köprü için önemli bir hidrolik etken yok.
2	12 ≤ RP < 23	İyi	Köprüye etkiyen hidrolik etkenler var ama köprü üzerinde problem yaratmıyor.
3	23 ≤ RP < 45	Vasat	Köprüye etkiyen çok önemli hidrolik etkenler var. Önlem alınması ve takip edilmesi gerekli.
4	RP ≥ 45	Zayıf	Köprüye etkiyen çok önemli hidrolik etkenler var. Acil önlem alınması gerekli. Seviye 2 çalışması yapılmalı

RP puanına göre yapılan değerlendirmede ise köprüye etkiyen hidrolik etkenler göz önüne alınmış ve bunların köprü üzerinde yarattıkları problemler değerlendirilmiştir. Seviye 1'de yer alan güvenlik-değerlendirme için Çizelge 5.16.'dan sonra, köprü ayaklarında oyulma olması durumunda hızlı oyulma tahkiki için Şekil 5.3.'te verilen yaklaşımın kullanılması tavsiye edilmektedir. Böylece önerilmekte olan algoritma ve sınıflandırmaya göre ciddi hidrolik problemlere maruz kalmayan ancak ayaklarında oyulma problemi olan köprüler için basit bir oyulma tahkiki yapılmış olunmaktadır. Bunun sonucuna göre gerekli olması durumunda Seviye 2'ye geçilerek söz konusu köprü için daha detaylı oyulma risk analizleri yapılabilir. Önerilmekte olan sisteme göre köprünün zayıf olarak nitelendirilmesi durumunda da Seviye 2 değerlendirmesinin yapılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 5.3. Köprü ayaklarında kısa ve hızlı oyulma tahkiki

6. ÇALIŞMA KAPSAMINDAKİ KÖPRÜLERİN GÜVENLİK-DEĞERLENDİRME ALGORİTMASINA GÖRE MUAYENESİ

Bölüm 5'te eliştirilmiş olan güvenlik-değerlendirme algoritması çalışma kapsamında detaylı muayeneleri yapımış olan beş adet akarsu köprüsüne aşağıda verildiği şekilde uygulanmıştır.

6.1. Bartın I Köprüsü

Bartın I Köprüsü'ne ait hidrolik ve yapısal etkenlerin sınıflandırılması Çizelge 6.1. – Çizelge 6.6. arasında verilmiştir.

Çizelge 6.1. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

HAVZA HİDROLOJİSİ ve TAŞKIN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ													
Gösterge	Sınıflandırma												
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Morfometrik İndeks (Mİ)	0 < Mİ ≤ 3			3 < Mİ ≤ 6			6 < Mİ ≤ 9			9 < Mİ ≤ 12			
							7						
Havza arazi kullanımı	İnsan müdahalesi neredeyse yok veya çok az			Sınırlı orman kaybı, az tarımsal arazi, hayvancılık ve insan müdahalesiyle değişim			Farkedilir derecede kentleşme, hayvancılık ve tarımsal faaliyet, orman kaybı, çayır, mera alanlarında artış			Yoğun kentleşme veya endüstriyelleşme, ciddi ormöan kaybı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri			
								8					
Havza bitki örtüsü, fiziksel yapısı	Doğal, çok az veya hiç değişmeyen bitki örtüsü, çoğunlukla düzlükler veya az eğimli araziler			Havzanın doğal bitki örtüsünde nadiren bozulma, ağırlıklı orta eğimli, hafif dalgalı arazi yapısı			Orman yapısı sık sık bozulmuş, mera, bayır ve çayırlıkta artış, platolar, tepeler, dik eğimli araziler			Havzada düzenli bitki örtüsü yok veya sürekli bozulmuş bitki örtüsü mevcut, dağlık, sarp havza			
											11		
Havzada yağış miktarı ve şekli ile havzanın taşkın ve heyelan geçmişi	Yılın büyük bölümü kurak, uzun süreli, şiddeti zayıf yağışlar görülüyor, taşkın tekerrür sıklığı ≥ 50 yıl			Yılın ilkbahar ve sonbahar aylarında kısa süreli şiddetli yağışlar, az miktarda kar yağışı, 25 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 50 yıl			Yılın büyük bölümünde kısa süreli şiddetli yağış ve kar yağışı, toprak kayması, 10 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 25 yıl			Yılın her mevsiminde kısa süreli şiddetli yağış, önemli miktarda kar yağışı, ciddi toprak kayması, taşkın tekerrür sıklığı < 10 yıl			
												12	
Havzada su tutma yapıları	HES, baraj yok, küçük kapasiteli, köprüye uzak konumda gölet veya sel kapanı			HES, gölet veya sel kapanı, köprüye uzak konumda su yüzeyi alanlarının havza alanına oranı < %0,5			Ardışık HES'ler, köprüye yakın konumda, köprü altı akımı etkileniyor, %0,5<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı< %1			Baraj ve ardışık HES'ler, köprüye çok yakın konumda, köprü altı akım ve akarsu yatağı etkileniyor, %1<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı			
										10			

Çizelge 6.2. Akarsu yatak özellikleri

AKARSU YATAK ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ana Yatak Özellikleri													
Akarsu davranışı (Johnson, 2005)		Yıl boyunca akım mevcut, ani debi değişimi yok			Yıl boyunca veya bazı yağış dönemlerinde akım mevcut, çok az debi değişimi var			Yıl boyunca veya yağış dönemlerinde akım mevcut, ani debi değişimi var			Son derece coşkulu akım mevcut, yağış dönemlerinde büyük debi değişimleri var		
						5							
Akarsu boyuna profil durumu		Geniş akarsu ve haliçler, yatak eğimi < 0,0001			Ova akarsuları 0,001< eğim < 0,0001			Plato (yayla) akarsuları, 0,001<eğim<0,01			Dağ akarsuları, eğim > 0,01		
									8				
Akarsu plan durumu (Johnson, 2005)		Doğrusal veya çok az menderesli yatak, eğrilik yarıçapı küçük, başlıca askıda katı madde taşınımı			Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı, askıda ve taban yükü karışık; iyi ıslah edilmiş akarsu yatağı			Menderesli, kısmen örgülü yatak, kıvrımlı mendereslilik çoğunluğu taban yükü taşınımı, zayıf şekilde ıslah edilmiş akarsu yatağı			Örgülü akarsu yatağı, başlıca taban yükü taşınımı, ıslah edilmemiş akarsu yatağı		
								7					
Taban malzemesi Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı (Johnson, 2005)		Çeşitli boyutlarda, birbirine sıkıca tutunmuş, yüksek sıkılıkta malzeme, çoğu>4 mm; Fs < %20			Orta sıkılıkta, bir araya gelmiş, bir miktar tutunmuş, çok küçük miktarlardaki malzeme < 4 mm; %20 < Fs < %50			Görünürde birbirine tutunmamış, gevşek malzeme karışımlı, az-orta miktarlardaki malzeme < 4 mm; %50 < Fs < %70			Çok gevşek, birbirine tutunmamış, büyük miktarlardaki malzeme <4 mm; Fs > %70		
						5							
Taban koruma, eğim kontrol yapıları, zırhlanma (Johnson, 2005)		Mevcut değil veya çok nadir, taban sıkı zırhlı			Ara sıra konumlanmış çapraz dalgalara ve küçük kıyı ve taban erozyonuna neden olan yapılar, yeterli sıkılıkta zırhlı taban			Orta sıklıkta konumlanmış, bazen düzensiz engeller oluşturarak akarsuda fark edilir erozyona neden olan yapılar, arkalarında önemli derecede sediment birikimi, gevşek zırhlı taban			Sık sık ve genellikle düzensiz konumlanmış, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olan yapılar var, kapanlar kolayca dolarak akarsuyun yer değiştirmesine ve / veya genişlemesine neden olur, çok gevşek zırhlı taban		
	Memba				4								
	Mansap				4								
Kum veya çakıl set oluşumu (Lagasse ve diğerleri, 1995)		Set oluşumu yok veya tamamlanmış, düşük akım derinliğinde akarsu genişliğine göre nispeten dar, kaba malzemeli ve bitki örtüsü içeriyor			Setin kenarlarında yeni oluşumlar söz konusu, bu bölgelerdeki oluşum bitki örtüsüz yapıdan anlaşılabilir			Geniş ve genişlemeye devam eden set oluşumu mevcut			Genişliği akarsu genişliğinin yarısından fazla, çok miktarda inceden kalına değişen malzeme var, bitki örtüsü yok veya çok az		
	Memba	1											
	Mansap	1											

Çizelge 6.2. (devam) Akarsu yatak özellikleri – taşkın yatağı

TAŞKIN YATAĞI ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taşkın yatağı oluşumu (Johnson, 2005)		Aktif taşkın yatağı mevcut, doğal sedde yok			Aktif taşkın yatağı bozulmuş, yeni taşkın yatağı oluşum aşamasında, alçak sedde mevcut			Aktif taşkın yatağı yok, teraslanma söz konusu, seddeler orta yükseklikte			Aktif taşkın yatağı ve teraslanma yok, akarsu yatağı boyunca seddeler yüksek, insan kullanımı mevcut		
	Memba												12
	Mansap												12
Taşkın yatağı genişliği		Üniform veya üniforma yakın, her iki sahilde toplam genişliği < 1 akarsu genişliği olan taşkın yatağı mevcut			Üniform olmayan, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 1 - 5 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 5 - 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği > 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut		
	Memba	1											
	Mansap	1											

Çizelge 6.3. Akarsu şev özellikleri

AKARSU ŞEV ÖZELLİKLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Şev yüksekliği		Köprü boyuna kirişi altında			Köprü boyuna kiriş alt kotu ile tabliye seviyesinde			Köprü tabliye seviyesinde			Köprü korkuluklarının çok üzerinde			
	Memba									9				
	Mansap									9				
Şev eğimi (Johnson, 2005)		Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 3Y:1D; killi malzeme için < 1:1 (her iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 2Y:1D; killi malzeme için < 0,8:1 (tek veya iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 1,7Y:1D; killi malzeme için < 0,6:1 (tek veya iki şevde			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için > 45°; killi malzeme için > 60° (tek veya iki şevde)			
	Memba										10			
	Mansap										10			
Şev koruması ve bitki örtüsü (Pfankuch, 1979)		Yoğun, odunsu ağaçlar, sık makilik yapı; her iki şev kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı			Orta yoğunlukta yapraklı, odunsu ağaçlar, orta sıklıkta makilik yapı; kısmi kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama			Az yoğunlukta bitki örtüsü, düşük sıklıkta makilik yapı; şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir, problemli şev koruması uygulaması var			Çoğunluğu yumuşak odunsu, yapraklı ağaç, bitki örtüsü yoğunluğu < %50; şevlerde kaplama veya zırhlama yok, kaplama varsa temelinde veya yapısında ciddi problemler var			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev malzemesi (Pfankuch, 1979)		Kil ve siltli kil, kohezyonlu malzeme; kaplamalı şev			Killi tın - kumlu killi tın malzeme, çoğunluğu kohezif malzeme			Kumlu kil - kumlu tın malzeme, az miktarda kohezif olmayan malzeme			Kumlu tın - kum, çoğunluğu kohezif olmayan malzeme,			
	Memba								8					
	Mansap								8					
Şev kayması (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya çok az, üniform yatak genişliği			Az miktarda sık olmayan kütle kayması, nispeten üniform yatak genişliği			Sık veya önemli miktarda kütle kayması, kanal genişliği oldukça düzensiz			Sık ve çok önemli miktarda kütle kayması, kesme çatlakları,muhtemel şev göçmesi, kanal genişliği çok düzensiz			
	Memba						6							
	Mansap						6							
Şev kesilmesi (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya az (şev yüksekliği < 15 cm)			Akarsu kıvrımlarında bir miktar mevcut (şev yüksekliği < 30 cm)			Sık ve fazla miktarda, ağaç kökleri askıda (şev yüksekliği 30 – 60 cm)			Sürekli şev kesilmesi mevcut, ağaç kökleri açıkta (şev yüksekliği > 60 cm)			
	Memba			3										
	Mansap			3										

Çizelge 6.4. Diğer önemli etkiler

DİĞER ETKİLER													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Akarsu yatağından kum - çakıl çekilmesi		Çekilmiyor veya köprüden mesafesi > 5 km			Köprüye 5 – 2 km mesafede, kurulu tesis yok, sürekli ve çok malzeme çekilmiyor			Köprüye 2 - 1 km mesafede, kurulu tesis var, sürekli malzeme çekiliyor			Köprüye mesafesi < 1 km, kurulu tesis var, sürekli ve çok miktarda malzeme çekiliyor		
	Memba	1											
	Mansap	1											
Akarsu kol birleşimi		Köprüye yakın noktalarda ana kanala birleşen kol yok, aşırı yağışlar sırasında ana yatağa yakın geçici dereler oluşmuyor			Köprüden çok uzak noktalardan ana kanala ihmal edilebilecek büyüklükte debiye sahip geçici dereler bağlanıyor			Ana kanalın mertebesinden 3-4 mertebeye kadar küçük, akarsuyun yan kol ile birleşim mesafesi LB<4 km, yandan bağlanan kol için 0,05 < R ≤ 0,15			Ana kanalınkinden 1-2 mertebe daha küçük, LB < 2,5 km, yandan bağlanan kol için R > 0,15		
	Memba								8				
	Mansap												
Atık birikmesi (Pfankuch, 1979)		Atık yok veya akıma engel teşkil eden veya türbülansı artıran potansiyel birikim ihmal edilebilir			Küçük miktarlarda atık birikmesi mevcut, küçük ama önemsiz daralmalar oluşabilir			Farklı boyutlarda birikmiş malzeme, önemli birikme sonucunda daralma olabilir			Köprü ayaklarında büyük kütükler sıkışmış, kuvvetli çevrinti söz konusu olabilir, mevcut köprü açıklıkları daralmış		
										9			
Islah çalışması		Köprüyü etkileyecek akım değişikliği yok			Akımda değişiklik var ama köprüde olumsuz etkisi gözlenmiyor			Akım şiddeti ve yönünde değişim var, ayaklarda oyulma başlamış, çevrinti söz konusu			Köprü ayaklarında ciddi oyulma ve kuvvetli çevrintiler oluşuyor		
		1											
En kesit daralması (Simon ve Downs, 1995)		0 - %5			%6 - %25			%26 - %50			> %50		
					4								
Memba veya mansabında yeni köprü yapılması		Yeni köprü akım yapısını değiştirmiyor veya ihmal edilebilir değişiklik var			Yeni köprü akım yapısını etkiliyor ama eski köprüde ihmal edilebilir etkisi var			Yeni köprü akım yapısını değiştiriyor ama ciddi oyulmaya neden olmuyor			Yeni köprü ciddi çevrintiler, ikincil akım ve oyulmaya neden oluyor		
		1											

Çizelge 6.5. Köprü özellikleri ve sınıflandırma

KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü konumu	Deniz veya göl kenarında			Yumuşak eğimli akarsu üzerinde			Vadi akarsuyu üzerinde			Dağ eteğinde veya sert eğimli akarsu üzerinde		
				4								
Köprünün memba kurp etki noktasından uzaklığı ve akım yönünü etkilemesi (Dm) (Johnson, 2005)	Dm > 35m			20 < Dm ≤ 35m			10 < Dm ≤ 20m			0 < Dm ≤ 10 m		
				4								
Köprü verevliği (Simon ve Downs, 1995)	0 ≤ α ≤ 5°			5 < α ≤ 10°			10 < α ≤ 30°			α > 30°		
								8				
Köprü açıklığındaki akım durumu	Açıklık yeterli, kabarma yok, serbest akım var			Açıklık yeterli, su seviyesinde artış var ama önemli miktarda değil, serbest akım var			Su seviyesi köprü başlık kirişine yakın ama halen serbest akım söz konusu			Su seviyesi köprü başlık kirişini aştı, basınçlı veya savak tipi akım söz konusu		
												12
Orta Ayak Özellikleri												
Ayak tipi, tekil veya grup olma durumu ile verevlik	Tekil ayak, yuvarlak veya yarım daire uçlu, akımda ayrılmalar az veya ihmal edilebilir boyutta			Tekil ayak, dairesel olmayan memba veya mansap yüzeyi, akımda ayrılmalar var ama güçlü çevrinti yok			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayak eksenleriyle akım arasında açı yok, çevrintili akım oluşumu söz konusu			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayaklar arası kuvvetli çevrintili akım, ayakların aksıyla akım arasında açı var		
							7					
Ayak uzunluğunun genişliğine oranı (Yanmaz, 2002b)	< 2			2 - 3			3 - 5			> 5		
		2										
Gözlemlenebilirlik	Her dönem gözlemlenebiliyor			Sığ su olması nedeniyle gözlemlenebiliyor			Kurak dönemlerde gözlemlenebiliyor			Her zaman su altında gözlem yapılamıyor		
												12
Oyulma	Oyulma yok veya ihmal edilebilir büyüklükte, temel pabuçları görünmüyor			Oyulma az, temel pabuçları çok az görünüyor			Oyulma var, temel pabuçları görünüyor			Oyulma derinliği ciddi boyutta		
					5							
Oyulmaya karşı alınan önlem	Herhangi bir önleme gerek yok			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış, yeterli ve uygun bir uygulama			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış ancak taşlar yer değiştirmiş, uygulama başarısız			Oyulmaya karşı hiçbir önlem alınmamış		
												12
Kenar Ayak Özellikleri												
Korunma şekli ve durumu	Betonarme perde hasarsız, deformasyon yok			Betonarme perdede küçük hasar ve çatlak var, deformasyon yok			Betonarme perdede çatlak ve tahribat var, deformasyon yok			Betonarme perdede ciddi hasar ve deformasyon var		
											11	
Oturma ve dolgu durumu	Gözle görünür oturma yok, dolgu hasarsız			Gözle görünür oturma yok, dolguda çok az miktarda kayma mevcut			Dolguda önemli kayma veya deformasyon mevcut			Dolgu topuğunda hasar, dolguda ciddi kayma ve oturma var		
										10		
Kenar ayağı etkileyecek çevresel veya fiziksel değişiklik	Herhangi bir değişiklik yok			Yol genişletme vb. nedenle dolguda veya perdede az hasar			Su drenaj vb. problemle oluşan oturma, ıslah çalışmalarında hasar			Akarsu şev stabilitesi veya taşkın yatağında meydana gelen kararsızlıklar nedeniyle hasar		
	1											

Çizelge 6.6. Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Tabliye	Çatlaklar			3									
	Beton Ayrışması						6						
	Donatı Açığa Çıkması								8				
	Boşluk ve Oyuklar						6						
	Su sızması										10		
Mesnetler	Ana hasar												12
	Mesnet Yatağı												12
	Metalik mesnet ise												
	Eleman Kaybı												12
	Sabitleme												12
	Elastomerik mesnet ise												
	Yüzey Düzenlemesi												
	Deformasyon												
Kirişler	Deformasyon												12
	Çatlaklar		2										
	Çelik ise												
	Paslanma												
	Bulon ve Perçin												
	Betonarme ise												
	Beton Ayrışması										10		
	Donatı Açığa Çıkması										10		
	Boşluk ve oyuklar								8				

Çizelge 6.6. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Köprü orta ayakları		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor			
	Deformasyon												12	
	Çatlaklar			3										
	Beton ayrışması												12	
	Donatı açığa çıkması		2											
	Boşluk ve oyuklar										10			
	Su ve sediment aşındırması							7						
	Temelde oyulma												12	
YÜZEY KORUMA BİLEŞENLERİ														
Kenar Ayaklar	Deformasyon												12	
	Çatlaklar		2											
	Beton ayrışması	1												
	Donatı açığa çıkması	1												
	Boşluk ve oyuklar	1												
	Su ve sediment aşındırması	1												
	Temelde oyulma	1												
Yaklaşım Dolgusu	Oturma ve yığılma					5								
	Yol platformunda erozyon			3										
	Dolguda erozyon	1												
Stabilizasyon	Oturma ve yığılma											11		
	Erozyon											11		
	Yatak seviyesinde oyulma											11		

Çizelge 6.6. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

SERVİS ELEMANLARI													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kaplama		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
	Dalgalanma						6						
	Tekerlek izi								8				
	Çatlaklar					5							
	Oyuk ve çukurlar			3									
Bordür	Betonda çatlaklar						6						
	Kabarma ve dökülme					5							
	Donatının açığa çıkması				4								
Korkuluk	Korkulukta deformasyon						6						
	Korkulukta paslanma							7					
	Korkulukta eleman eksikliği		2										
Genleşme Derzi	Gürültü									9			
	Su sızıntısı									9			
	Deformasyon												
	Boşluk ve oyuklar												12
	Eleman eksikliği												12
	Fonksiyon kaybı												12
Drenaj Tertibatı	Boru hasarı										10		
	Tıkanmalar												12
	Giriş ağzı hasarları												12

6.2. Bartın III Köprüsü

Bartın III Köprüsü'ne ait hidrolik ve yapısal etkenlerin sınıflandırıldığı güvenlik-değerlendirme algoritması Çizelge 6.7. – Çizelge 6.12. arasında verilmiştir.

Çizelge 6.7. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

HAVZA HİDROLOJİSİ ve TAŞKIN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Morfometrik İndeks (Mİ)	0 < Mİ ≤ 3			3 < Mİ ≤ 6			6 < Mİ ≤ 9			9 < Mİ ≤ 12		
								8				
Havza arazi kullanımı	İnsan müdahalesi neredeyse yok veya çok az			Sınırlı orman kaybı, az tarımsal arazi, hayvancılık ve insan müdahalesiyle değişim			Farkedilir derecede kentleşme, hayvancılık ve tarımsal faaliyet, orman kaybı, çayır, mera alanlarında artış			Yoğun kentleşme veya endüstriyelleşme, ciddi ormöan kaybı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri		
								8				
Havza bitki örtüsü, fiziksel yapısı	Doğal, çok az veya hiç değişmeyen bitki örtüsü, çoğunlukla düzlükler veya az eğimli araziler			Havzanın doğal bitki örtüsünde nadiren bozulma, ağırlıklı orta eğimli, hafif dalgalı arazi yapısı			Orman yapısı sık sık bozulmuş, mera, bayır ve çayırlıkta artış, platolar, tepeler, dik eğimli araziler			Havzada düzenli bitki örtüsü yok veya sürekli bozulmuş bitki örtüsü mevcut, dağlık, sarp havza		
											11	
Havzada yağış miktarı ve şekli ile havzanın taşkın ve heyelan geçmişi	Yılın büyük bölümü kurak, uzun süreli, şiddeti zayıf yağışlar görülüyor, taşkın tekerrür sıklığı ≥ 50 yıl			Yılın ilkbahar ve sonbahar aylarında kısa süreli şiddetli yağışlar, az miktarda kar yağışı, 25 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 50 yıl			Yılın büyük bölümünde kısa süreli şiddetli yağış ve kar yağışı, toprak kayması, 10 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 25 yıl			Yılın her mevsiminde kısa süreli şiddetli yağış, önemli miktarda kar yağışı, ciddi toprak kayması, taşkın tekerrür sıklığı < 10 yıl		
												12
Havzada su tutma yapıları	HES, baraj yok, küçük kapasiteli, köprüye uzak konumda gölet veya sel kapanı			HES, gölet veya sel kapanı, köprüye uzak konumda su yüzeyi alanlarının havza alanına oranı < %0,5			Ardışık HES'ler, köprüye yakın konumda, köprü altı akımı etkileniyor, %0,5<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı< %1			Baraj ve ardışık HES'ler, köprüye çok yakın konumda, köprü altı akım ve akarsu yatağı etkileniyor, %1<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı		
										10		

Çizelge 6.8. Akarsu yatak özellikleri

AKARSU YATAK ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ana Yatak Özellikleri													
Akarsu davranışı (Johnson, 2005)		Yıl boyunca akım mevcut, ani debi değişimi yok			Yıl boyunca veya bazı yağış dönemlerinde akım mevcut, çok az debi değişimi var			Yıl boyunca veya yağış dönemlerinde akım mevcut, ani debi değişimi var			Son derece coşkulu akım mevcut, yağış dönemlerinde büyük debi değişimleri var		
							6						
Akarsu boyuna profil durumu		Geniş akarsu ve haliçler, yatak eğimi < 0,0001			Ova akarsuları 0,001< eğim < 0,0001			Plato (yayla) akarsuları, 0,001<eğim<0,01			Dağ akarsuları, eğim > 0,01		
								7					
Akarsu plan durumu (Johnson, 2005)		Doğrusal veya çok az menderesli yatak, eğrilik yarıçapı küçük, başlıca askıda katı madde taşınımı			Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı, askıda ve taban yükü karışık; iyi ıslah edilmiş akarsu yatağı			Menderesli, kısmen örgülü yatak, kıvrımlı mendereslilik çoğunluğu taban yükü taşınımı, zayıf şekilde ıslah edilmiş akarsu yatağı			Örgülü akarsu yatağı, başlıca taban yükü taşınımı, ıslah edilmemiş akarsu yatağı		
							6						
Taban malzemesi Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı (Johnson, 2005)		Çeşitli boyutlarda, birbirine sıkıca tutunmuş, yüksek sıkılıkta malzeme, çoğu>4 mm; Fs < %20			Orta sıkılıkta, bir araya gelmiş, bir miktar tutunmuş, çok küçük miktarlardaki malzeme < 4 mm; %20 < Fs < %50			Görünürde birbirine tutunmamış, gevşek malzeme karışımlı, az-orta miktarlardaki malzeme < 4 mm; %50 < Fs < %70			Çok gevşek, birbirine tutunmamış, büyük miktarlardaki malzeme <4 mm; Fs > %70		
						5							
Taban koruma, eğim kontrol yapıları, zırhlanma (Johnson, 2005)		Mevcut değil veya çok nadir, taban sıkı zırhlı			Ara sıra konumlanmış çapraz dalgalara ve küçük kıyı ve taban erozyonuna neden olan yapılar, yeterli sıkılıkta zırhlı taban			Orta sıklıkta konumlanmış, bazen düzensiz engeller oluşturarak akarsuda fark edilir erozyona neden olan yapılar, arkalarında önemli derecede sediment birikimi, gevşek zırhlı taban			Sık sık ve genellikle düzensiz konumlanmış, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olan yapılar var, kapanlar kolayca dolarak akarsuyun yer değiştirmesine ve / veya genişlemesine neden olur, çok gevşek zırhlı taban		
	Memba	1											
	Mansap	1											
Kum veya çakıl set oluşumu (Lagasse ve diğerleri, 1995)		Set oluşumu yok veya tamamlanmış, düşük akım derinliğinde akarsu genişliğine göre nispeten dar, kaba malzemeli ve bitki örtüsü içeriyor			Setin kenarlarında yeni oluşumlar söz konusu, bu bölgelerdeki oluşum bitki örtüsüz yapıdan anlaşılabilir			Geniş ve genişlemeye devam eden set oluşumu mevcut			Genişliği akarsu genişliğinin yarısından fazla, çok miktarda inceden kalına değişen malzeme var, bitki örtüsü yok veya çok az		
	Memba	1											
	Mansap	1											

Çizelge 6.8. (devam) Akarsu yatak özellikleri – taşkın yatağı

TAŞKIN YATAĞI ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taşkın yatağı oluşumu (Johnson, 2005)		Aktif taşkın yatağı mevcut, doğal sedde yok			Aktif taşkın yatağı bozulmuş, yeni taşkın yatağı oluşum aşamasında, alçak sedde mevcut			Aktif taşkın yatağı yok, teraslanma söz konusu, seddeler orta yükseklikte			Aktif taşkın yatağı ve teraslanma yok, akarsu yatağı boyunca seddeler yüksek, insan kullanımı mevcut		
	Memba						6						
	Mansap												12
Taşkın yatağı genişliği		Üniform veya üniforma yakın, her iki sahilde toplam genişliği < 1 akarsu genişliği olan taşkın yatağı mevcut			Üniform olmayan, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 1 - 5 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 5 - 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği > 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut		
	Memba					5							
	Mansap	1											

Çizelge 6.9. Akarsu şev özellikleri

AKARSU ŞEV ÖZELLİKLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Şev yüksekliği		Köprü boyuna kirişi altında			Köprü boyuna kiriş alt kotu ile tabliye seviyesinde			Köprü tabliye seviyesinde			Köprü korkuluklarının çok üzerinde			
	Memba					5								
	Mansap			3										
Şev eğimi (Johnson, 2005)		Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 3Y:1D; killi malzeme için < 1:1 (her iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 2Y:1D; killi malzeme için < 0,8:1 (tek veya iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 1,7Y:1D; killi malzeme için < 0,6:1 (tek veya iki şevde			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için > 45°; killi malzeme için > 60° (tek veya iki şevde)			
	Memba								8					
	Mansap						6							
Şev koruması ve bitki örtüsü (Pfankuch, 1979)		Yoğun, odunsu ağaçlar, sık makilik yapı; her iki şev kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı			Orta yoğunlukta yapraklı, odunsu ağaçlar, orta sıklıkta makilik yapı; kısmi kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama			Az yoğunlukta bitki örtüsü, düşük sıklıkta makilik yapı; şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir, problemli şev koruması uygulaması var			Çoğunluğu yumuşak odunsu, yapraklı ağaç, bitki örtüsü yoğunluğu < %50; şevlerde kaplama veya zırhlama yok, kaplama varsa temelinde veya yapısında ciddi problemler var			
	Memba						6							
	Mansap						6							
Şev malzemesi (Pfankuch, 1979)		Kil ve siltli kil, kohezyonlu malzeme; kaplamalı şev			Killi tın - kumlu killi tın malzeme, çoğunluğu kohezif malzeme			Kumlu kil - kumlu tın malzeme, az miktarda kohezif olmayan malzeme			Kumlu tın - kum, çoğunluğu kohezif olmayan malzeme,			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev kayması (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya çok az, üniform yatak genişliği			Az miktarda sık olmayan kütle kayması, nispeten üniform yatak genişliği			Sık veya önemli miktarda kütle kayması, kanal genişliği oldukça düzensiz			Sık ve çok önemli miktarda kütle kayması, kesme çatlakları,muhtemel şev göçmesi, kanal genişliği çok düzensiz			
	Memba						6							
	Mansap						6							
Şev kesilmesi (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya az (şev yüksekliği < 15 cm)			Akarsu kıvrımlarında bir miktar mevcut (şev yüksekliği < 30 cm)			Sık ve fazla miktarda, ağaç kökleri askıda (şev yüksekliği 30 – 60 cm)			Sürekli şev kesilmesi mevcut, ağaç kökleri açıkta (şev yüksekliği > 60 cm)			
	Memba		2											
	Mansap		2											

Çizelge 6.10. Diğer önemli etkiler

DİĞER ETKİLER													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Akarsu yatağından kum - çakıl çekilmesi		Çekilmiyor veya köprüden mesafesi > 5 km			Köprüye 5 – 2 km mesafede, kurulu tesis yok, sürekli ve çok malzeme çekilmiyor			Köprüye 2 - 1 km mesafede, kurulu tesis var, sürekli malzeme çekiliyor			Köprüye mesafesi < 1 km, kurulu tesis var, sürekli ve çok miktarda malzeme çekiliyor		
	Memba	1											
	Mansap	1											
Akarsu kol birleşimi		Köprüye yakın noktalarda ana kanala birleşen kol yok, aşırı yağışlar sırasında ana yatağa yakın geçici dereler oluşmuyor			Köprüden çok uzak noktalardan ana kanala ihmal edilebilecek büyüklükte debiye sahip geçici dereler bağlanıyor			Ana kanalın mertebesinden 3-4 mertebeye kadar küçük, akarsuyun yan kol ile birleşim mesafesi LB<4 km, yandan bağlanan kol için 0,05 < R ≤ 0,15			Ana kanalınkinden 1-2 mertebe daha küçük, LB < 2,5 km, yandan bağlanan kol için R > 0,15		
	Memba										10		
	Mansap												12
Atık birikmesi (Pfankuch, 1979)		Atık yok veya akıma engel teşkil eden veya türbülansı artıran potansiyel birikim ihmal edilebilir			Küçük miktarlarda atık birikmesi mevcut, küçük ama önemsiz daralmalar oluşabilir			Farklı boyutlarda birikmiş malzeme, önemli birikme sonucunda daralma olabilir			Köprü ayaklarında büyük kütükler sıkışmış, kuvvetli çevrinti söz konusu olabilir, mevcut köprü açıklıkları daralmış		
											10		
Islah çalışması		Köprüyü etkileyecek akım değişikliği yok			Akımda değişiklik var ama köprüde olumsuz etkisi gözlenmiyor			Akım şiddeti ve yönünde değişim var, ayaklarda oyulma başlamış, çevrinti söz konusu			Köprü ayaklarında ciddi oyulma ve kuvvetli çevrintiler oluşuyor		
				3									
En kesit daralması (Simon ve Downs, 1995)		0 - %5			%6 - %25			%26 - %50			> %50		
			2										
Memba veya mansabında yeni köprü yapılması		Yeni köprü akım yapısını değiştirmiyor veya ihmal edilebilir değişiklik var			Yeni köprü akım yapısını etkiliyor ama eski köprüde ihmal edilebilir etkisi var			Yeni köprü akım yapısını değiştiriyor ama ciddi oyulmaya neden olmuyor			Yeni köprü ciddi çevrintiler, ikincil akım ve oyulmaya neden oluyor		
									8				

Çizelge 6.11. Köprü özellikleri ve sınıflandırma

KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü konumu	Deniz veya göl kenarında			Yumuşak eğimli akarsu üzerinde			Vadi akarsuyu üzerinde			Dağ eteğinde veya sert eğimli akarsu üzerinde		
				4								
Köprünün memba kurp etki noktasından uzaklığı ve akım yönünü etkilemesi (Dm) (Johnson, 2005)	Dm > 35m			20 < Dm ≤ 35m			10 < Dm ≤ 20m			0 < Dm ≤ 10 m		
						6						
Köprü verevliği (Simon ve Downs, 1995)	0 ≤ α ≤ 5°			5 < α ≤ 10°			10 < α ≤ 30°			α > 30°		
	1											
Köprü açıklığındaki akım durumu	Açıklık yeterli, kabarma yok, serbest akım var			Açıklık yeterli, su seviyesinde artış var ama önemli miktarda değil, serbest akım var			Su seviyesi köprü başlık kirişine yakın ama halen serbest akım söz konusu			Su seviyesi köprü başlık kirişini aştı, basınçlı veya savak tipi akım söz konusu		
									9			
Orta Ayak Özellikleri												
Ayak tipi, tekil veya grup olma durumu ile verevlik	Tekil ayak, yuvarlak veya yarım daire uçlu, akımda ayrılmalar az veya ihmal edilebilir boyutta			Tekil ayak, dairesel olmayan memba veya mansap yüzeyi, akımda ayrılmalar var ama güçlü çevrinti yok			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayak eksenleriyle akım arasında açı yok, çevrintili akım oluşumu söz konusu			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayaklar arası kuvvetli çevrintili akım, ayakların aksıyla akım arasında açı var		
							7					
Ayak uzunluğunun genişliğine oranı (Yanmaz, 2002b)	< 2			2 - 3			3 - 5			> 5		
		2										
Gözlemlenebilirlik	Her dönem gözlemlenebiliyor			Sığ su olması nedeniyle gözlemlenebiliyor			Kurak dönemlerde gözlemlenebiliyor			Her zaman su altında gözlem yapılamıyor		
												12
Oyulma	Oyulma yok veya ihmal edilebilir büyüklükte, temel pabuçları görünmüyor			Oyulma az, temel pabuçları çok az görünüyor			Oyulma var, temel pabuçları görünüyor			Oyulma derinliği ciddi boyutta		
					5							
Oyulmaya karşı alınan önlem	Herhangi bir önleme gerek yok			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış, yeterli ve uygun bir uygulama			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış ancak taşlar yer değiştirmiş, uygulama başarısız			Oyulmaya karşı hiçbir önlem alınmamış		
							7					
Kenar Ayak Özellikleri												
Korunma şekli ve durumu	Betonarme perde hasarsız, deformasyon yok			Betonarme perdede küçük hasar ve çatlak var, deformasyon yok			Betonarme perdede çatlak ve tahribat var, deformasyon yok			Betonarme perdede ciddi hasar ve deformasyon var		
											11	
Oturma ve dolgu durumu	Gözle görünür oturma yok, dolgu hasarsız			Gözle görünür oturma yok, dolguda çok az miktarda kayma mevcut			Dolguda önemli kayma veya deformasyon mevcut			Dolgu topuğunda hasar, dolguda ciddi kayma ve oturma var		
											11	
Kenar ayağı etkileyecek çevresel veya fiziksel değişiklik	Herhangi bir değişiklik yok			Yol genişletme vb. nedenle dolguda veya perdede az hasar			Su drenaj vb. problemle oluşan oturma, ıslah çalışmalarında hasar			Akarsu şev stabilitesi veya taşkın yatağında meydana gelen kararsızlıklar nedeniyle hasar		
	1											

Çizelge 6.12. Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Tabliye	Çatlaklar												12
	Beton Ayrışması												12
	Donatı Açığa Çıkması												12
	Boşluk ve Oyuklar												12
	Su sızması												12
Mesnetler	Ana hasar												12
	Mesnet Yatağı												12
	Metalik mesnet ise												
	Eleman Kaybı												12
	Sabitleme												12
	Elastomerik mesnet ise												
	Yüzey Düzenlemesi												
	Deformasyon												
Kirişler	Deformasyon												12
	Çatlaklar							7					
	Çelik ise												
	Paslanma												
	Bulon ve Perçin												
	Betonarme ise												
	Beton Ayrışması												12
	Donatı Açığa Çıkması												12
	Boşluk ve oyuklar												12

Çizelge 6.12. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü orta ayakları		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
	Deformasyon												12
	Çatlaklar		2										
	Beton ayrışması												12
	Donatı açığa çıkması												12
	Boşluk ve oyuklar												12
	Su ve sediment aşındırması											11	
	Temelde oyulma												12
YÜZEY KORUMA BİLEŞENLERİ													
Kenar Ayaklar	Deformasyon												12
	Çatlaklar	1											
	Beton ayrışması	1											
	Donatı açığa çıkması	1											
	Boşluk ve oyuklar	1											
	Su ve sediment aşındırması	1											
	Temelde oyulma	1											
Yaklaşım Dolgusu	Oturma ve yığılma									9			
	Yol platformunda erozyon								8				
	Dolguda erozyon						6						
Stabilizasyon	Oturma ve yığılma											11	
	Erozyon											11	
	Yatak seviyesinde oyulma											11	

Çizelge 6.12. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

SERVİS ELEMANLARI													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kaplama		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
	Dalgalanma							7					
	Tekerlek izi								8				
	Çatlaklar							7					
	Oyuk ve çukurlar					5							
Bordür	Betonda çatlaklar							7					
	Kabarma ve dökülme												12
	Donatının açığa çıkması												12
Korkuluk	Korkulukta deformasyon					5							
	Korkulukta paslanma							7					
	Korkulukta eleman eksikliği						6						
Genleşme Derzi	Gürültü												12
	Su sızıntısı												12
	Deformasyon												12
	Boşluk ve oyuklar												12
	Eleman eksikliği												12
	Fonksiyon kaybı												12
Drenaj Tertibatı	Boru hasarı											11	
	Tıkanmalar												12
	Giriş ağzı hasarları												12

6.3. Filyos V Köprüsü

Filyos V Köprüsü'ne ait hidrolik ve yapısal etkenlerin sınıflandırıldığı güvenlik-değerlendirme algoritması Çizelge 6.13. – Çizelge 6.18. arasında verilmiştir.

Çizelge 6.13. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

HAVZA HİDROLOJİSİ ve TAŞKIN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Morfometrik İndeks (Mİ)	0 < Mİ ≤ 3			3 < Mİ ≤ 6			6 < Mİ ≤ 9			9 < Mİ ≤ 12		
Havza arazi kullanımı	İnsan müdahalesi neredeyse yok veya çok az			Sınırlı orman kaybı, az tarımsal arazi, hayvancılık ve insan müdahalesiyle değişim			Farkedilir derecede kentleşme, hayvancılık ve tarımsal faaliyet, orman kaybı, çayır, mera alanlarında artış			Yoğun kentleşme veya endüstriyelleşme, ciddi ormöan kaybı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri		
										10		
Havza bitki örtüsü, fiziksel yapısı	Doğal, çok az veya hiç değişmeyen bitki örtüsü, çoğunlukla düzlükler veya az eğimli araziler			Havzanın doğal bitki örtüsünde nadiren bozulma, ağırlıklı orta eğimli, hafif dalgalı arazi yapısı			Orman yapısı sık sık bozulmuş, mera, bayır ve çayırlıkta artış, platolar, tepeler, dik eğimli araziler			Havzada düzenli bitki örtüsü yok veya sürekli bozulmuş bitki örtüsü mevcut, dağlık, sarp havza		
										10		
Havzada yağış miktarı ve şekli ile havzanın taşkın ve heyelan geçmişi	Yılın büyük bölümü kurak, uzun süreli, şiddeti zayıf yağışlar görülüyor, taşkın tekerrür sıklığı ≥ 50 yıl			Yılın ilkbahar ve sonbahar aylarında kısa süreli şiddetli yağışlar, az miktarda kar yağışı, 25 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 50 yıl			Yılın büyük bölümünde kısa süreli şiddetli yağış ve kar yağışı, toprak kayması, 10 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 25 yıl			Yılın her mevsiminde kısa süreli şiddetli yağış, önemli miktarda kar yağışı, ciddi toprak kayması, taşkın tekerrür sıklığı < 10 yıl		
									9			
Havzada su tutma yapıları	HES, baraj yok, küçük kapasiteli, köprüye uzak konumda gölet veya sel kapanı			HES, gölet veya sel kapanı, köprüye uzak konumda su yüzeyi alanlarının havza alanına oranı < %0,5			Ardışık HES'ler, köprüye yakın konumda, köprü altı akımı etkileniyor, %0,5<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı< %1			Baraj ve ardışık HES'ler, köprüye çok yakın konumda, köprü altı akım ve akarsu yatağı etkileniyor, %1<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı		
										10		

Çizelge 6.14. Akarsu yatak özellikleri

AKARSU YATAK ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ana Yatak Özellikleri													
Akarsu davranışı (Johnson, 2005)		Yıl boyunca akım mevcut, ani debi değişimi yok			Yıl boyunca veya bazı yağış dönemlerinde akım mevcut, çok az debi değişimi var			Yıl boyunca veya yağış dönemlerinde akım mevcut, ani debi değişimi var			Son derece coşkulu akım mevcut, yağış dönemlerinde büyük debi değişimleri var		
										9			
Akarsu boyuna profil durumu		Geniş akarsu ve haliçler, yatak eğimi < 0,0001			Ova akarsuları 0,001< eğim < 0,0001			Plato (yayla) akarsuları, 0,001<eğim<0,01			Dağ akarsuları, eğim > 0,01		
										9			
Akarsu plan durumu (Johnson, 2005)		Doğrusal veya çok az menderesli yatak, eğrilik yarıçapı küçük, başlıca askıda katı madde taşınımı			Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı, askıda ve taban yükü karışık; iyi ıslah edilmiş akarsu yatağı			Menderesli, kısmen örgülü yatak, kıvrımlı mendereslilik çoğunluğu taban yükü taşınımı, zayıf şekilde ıslah edilmiş akarsu yatağı			Örgülü akarsu yatağı, başlıca taban yükü taşınımı, ıslah edilmemiş akarsu yatağı		
												11	
Taban malzemesi Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı (Johnson, 2005)		Çeşitli boyutlarda, birbirine sıkıca tutunmuş, yüksek sıkılıkta malzeme, çoğu>4 mm; Fs < %20			Orta sıkılıkta, bir araya gelmiş, bir miktar tutunmuş, çok küçük miktarlardaki malzeme < 4 mm; %20 < Fs < %50			Görünürde birbirine tutunmamış, gevşek malzeme karışımlı, az-orta miktarlardaki malzeme < 4 mm; %50 < Fs < %70			Çok gevşek, birbirine tutunmamış, büyük miktarlardaki malzeme <4 mm; Fs > %70		
						5							
Taban koruma, eğim kontrol yapıları, zırhlanma (Johnson, 2005)		Mevcut değil veya çok nadir, taban sıkı zırhlı			Ara sıra konumlanmış çapraz dalgalara ve küçük kıyı ve taban erozyonuna neden olan yapılar, yeterli sıkılıkta zırhlı taban			Orta sıklıkta konumlanmış, bazen düzensiz engeller oluşturarak akarsuda fark edilir erozyona neden olan yapılar, arkalarında önemli derecede sediment birikimi, gevşek zırhlı taban			Sık sık ve genellikle düzensiz konumlanmış, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olan yapılar var, kapanlar kolayca dolarak akarsuyun yer değiştirmesine ve / veya genişlemesine neden olur, çok gevşek zırhlı taban		
	Memba					5							
	Mansap					5							
Kum veya çakıl set oluşumu (Lagasse ve diğerleri, 1995)		Set oluşumu yok veya tamamlanmış, düşük akım derinliğinde akarsu genişliğine göre nispeten dar, kaba malzemeli ve bitki örtüsü içeriyor			Setin kenarlarında yeni oluşumlar söz konusu, bu bölgelerdeki oluşum bitki örtüsüz yapıdan anlaşılabilir			Geniş ve genişlemeye devam eden set oluşumu mevcut			Genişliği akarsu genişliğinin yarısından fazla, çok miktarda inceden kalına değişen malzeme var, bitki örtüsü yok veya çok az		
	Memba			3									
	Mansap												12

Çizelge 6.14. (devam) Ana yatak özellikleri – taşkın yatağı

TAŞKIN YATAĞI ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taşkın yatağı oluşumu (Johnson, 2005)		Aktif taşkın yatağı mevcut, doğal sedde yok			Aktif taşkın yatağı bozulmuş, yeni taşkın yatağı oluşum aşamasında, alçak sedde mevcut			Aktif taşkın yatağı yok, teraslanma söz konusu, seddeler orta yükseklikte			Aktif taşkın yatağı ve teraslanma yok, akarsu yatağı boyunca seddeler yüksek, insan kullanımı mevcut		
	Memba												12
	Mansap						6						
Taşkın yatağı genişliği		Üniform veya üniforma yakın, her iki sahilde toplam genişliği < 1 akarsu genişliği olan taşkın yatağı mevcut			Üniform olmayan, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 1 - 5 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 5 - 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği > 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut		
	Memba	1											
	Mansap							7					

Çizelge 6.15. Akarsu şev özellikleri

AKARSU ŞEV ÖZELLİKLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Şev yüksekliği		Köprü boyuna kirişi altında			Köprü boyuna kiriş alt kotu ile tabliye seviyesinde			Köprü tabliye seviyesinde			Köprü korkuluklarının çok üzerinde			
	Memba												12	
	Mansap						6							
Şev eğimi (Johnson, 2005)		Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 3Y:1D; killi malzeme için < 1:1 (her iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 2Y:1D; killi malzeme için < 0,8:1 (tek veya iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 1,7Y:1D; killi malzeme için < 0,6:1 (tek veya iki şevde			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için > 45°; killi malzeme için > 60° (tek veya iki şevde)			
	Memba											11		
	Mansap					5								
Şev koruması ve bitki örtüsü (Pfankuch, 1979)		Yoğun, odunsu ağaçlar, sık makilik yapı; her iki şev kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı			Orta yoğunlukta yapraklı, odunsu ağaçlar, orta sıklıkta makilik yapı; kısmi kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama			Az yoğunlukta bitki örtüsü, düşük sıklıkta makilik yapı; şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir, problemli şev koruması uygulaması var			Çoğunluğu yumuşak odunsu, yapraklı ağaç, bitki örtüsü yoğunluğu < %50; şevlerde kaplama veya zırhlama yok, kaplama varsa temelinde veya yapısında ciddi problemler var			
	Memba						6							
	Mansap								8					
Şev malzemesi (Pfankuch, 1979)		Kil ve siltli kil, kohezyonlu malzeme; kaplamalı şev			Killi tın - kumlu killi tın malzeme, çoğunluğu kohezif malzeme			Kumlu kil - kumlu tın malzeme, az miktarda kohezif olmayan malzeme			Kumlu tın - kum, çoğunluğu kohezif olmayan malzeme,			
	Memba												12	
	Mansap												12	
Şev kayması (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya çok az, üniform yatak genişliği			Az miktarda sık olmayan kütle kayması, nispeten üniform yatak genişliği			Sık veya önemli miktarda kütle kayması, kanal genişliği oldukça düzensiz			Sık ve çok önemli miktarda kütle kayması, kesme çatlakları,muhtemel şev göçmesi, kanal genişliği çok düzensiz			
	Memba				4									
	Mansap				4									
Şev kesilmesi (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya az (şev yüksekliği < 15 cm)			Akarsu kıvrımlarında bir miktar mevcut (şev yüksekliği < 30 cm)			Sık ve fazla miktarda, ağaç kökleri askıda (şev yüksekliği 30 – 60 cm)			Sürekli şev kesilmesi mevcut, ağaç kökleri açıkta (şev yüksekliği > 60 cm)			
	Memba			3										
	Mansap			3										

Çizelge 6.16. Diğer önemli etkiler

DİĞER ETKİLER													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Akarsu yatağından kum - çakıl çekilmesi		Çekilmiyor veya köprüden mesafesi > 5 km			Köprüye 5 – 2 km mesafede, kurulu tesis yok, sürekli ve çok malzeme çekilmiyor			Köprüye 2 - 1 km mesafede, kurulu tesis var, sürekli malzeme çekiliyor			Köprüye mesafesi < 1 km, kurulu tesis var, sürekli ve çok miktarda malzeme çekiliyor		
	Memba	1											
	Mansap	1											
Akarsu kol birleşimi		Köprüye yakın noktalarda ana kanala birleşen kol yok, aşırı yağışlar sırasında ana yatağa yakın geçici dereler oluşmuyor			Köprüden çok uzak noktalardan ana kanala ihmal edilebilecek büyüklükte debiye sahip geçici dereler bağlanıyor			Ana kanalın mertebesinden 3-4 mertebeye kadar küçük, akarsuyun yan kol ile birleşim mesafesi LB<4 km, yandan bağlanan kol için 0,05 < R ≤ 0,15			Ana kanalınkinden 1-2 mertebe daha küçük, LB < 2,5 km, yandan bağlanan kol için R > 0,15		
	Memba					5							
	Mansap							7					
Atık birikmesi (Pfankuch, 1979)		Atık yok veya akıma engel teşkil eden veya türbülansı artıran potansiyel birikim ihmal edilebilir			Küçük miktarlarda atık birikmesi mevcut, küçük ama önemsiz daralmalar oluşabilir			Farklı boyutlarda birikmiş malzeme, önemli birikme sonucunda daralma olabilir			Köprü ayaklarında büyük kütükler sıkışmış, kuvvetli çevrinti söz konusu olabilir, mevcut köprü açıklıkları daralmış		
													12
Islah çalışması		Köprüyü etkileyecek akım değişikliği yok			Akımda değişiklik var ama köprüde olumsuz etkisi gözlenmiyor			Akım şiddeti ve yönünde değişim var, ayaklarda oyulma başlamış, çevrinti söz konusu			Köprü ayaklarında ciddi oyulma ve kuvvetli çevrintiler oluşuyor		
						5							
En kesit daralması (Simon ve Downs, 1995)		0 - %5			%6 - %25			%26 - %50			> %50		
			2										
Memba veya mansabında yeni köprü yapılması		Yeni köprü akım yapısını değiştirmiyor veya ihmal edilebilir değişiklik var			Yeni köprü akım yapısını etkiliyor ama eski köprüde ihmal edilebilir etkisi var			Yeni köprü akım yapısını değiştiriyor ama ciddi oyulmaya neden olmuyor			Yeni köprü ciddi çevrintiler, ikincil akım ve oyulmaya neden oluyor		
		1											

Çizelge 6.17. Köprü özellikleri ve sınıflandırma

KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü konumu	Deniz veya göl kenarında			Yumuşak eğimli akarsu üzerinde			Vadi akarsuyu üzerinde			Dağ eteğinde veya sert eğimli akarsu üzerinde		
								8				
Köprünün memba kurp etki noktasından uzaklığı ve akım yönünü etkilemesi (Dm) (Johnson, 2005)	Dm > 35m			20 < Dm ≤ 35m			10 < Dm ≤ 20m			0 < Dm ≤ 10 m		
		2										
Köprü verevliği (Simon ve Downs, 1995)	0 ≤ α ≤ 5°			5 < α ≤ 10°			10 < α ≤ 30°			α > 30°		
												12
Köprü açıklığındaki akım durumu	Açıklık yeterli, kabarma yok, serbest akım var			Açıklık yeterli, su seviyesinde artış var ama önemli miktarda değil, serbest akım var			Su seviyesi köprü başlık kirişine yakın ama halen serbest akım söz konusu			Su seviyesi köprü başlık kirişini aştı, basınçlı veya savak tipi akım söz konusu		
				4								
Orta Ayak Özellikleri												
Ayak tipi, tekil veya grup olma durumu ile verevlik	Tekil ayak, yuvarlak veya yarım daire uçlu, akımda ayrılmalar az veya ihmal edilebilir boyutta			Tekil ayak, dairesel olmayan memba veya mansap yüzeyi, akımda ayrılmalar var ama güçlü çevrinti yok			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayak eksenleriyle akım arasında açı yok, çevrintili akım oluşumu söz konusu			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayaklar arası kuvvetli çevrintili akım, ayakların aksıyla akım arasında açı var		
										10		
Ayak uzunluğunun genişliğine oranı (Yanmaz, 2002b)	< 2			2 - 3			3 - 5			> 5		
		2										
Gözlemlenebilirlik	Her dönem gözlemlenebiliyor			Sığ su olması nedeniyle gözlemlenebiliyor			Kurak dönemlerde gözlemlenebiliyor			Her zaman su altında gözlem yapılamıyor		
												12
Oyulma	Oyulma yok veya ihmal edilebilir büyüklükte, temel pabuçları görünmüyor			Oyulma az, temel pabuçları çok az görünüyor			Oyulma var, temel pabuçları görünüyor			Oyulma derinliği ciddi boyutta		
								8				
Oyulmaya karşı alınan önlem	Herhangi bir önleme gerek yok			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış, yeterli ve uygun bir uygulama			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış ancak taşlar yer değiştirmiş, uygulama başarısız			Oyulmaya karşı hiçbir önlem alınmamış		
									9			
Kenar Ayak Özellikleri												
Korunma şekli ve durumu	Betonarme perde hasarsız, deformasyon yok			Betonarme perdede küçük hasar ve çatlak var, deformasyon yok			Betonarme perdede çatlak ve tahribat var, deformasyon yok			Betonarme perdede ciddi hasar ve deformasyon var		
												12
Oturma ve dolgu durumu	Gözle görünür oturma yok, dolgu hasarsız			Gözle görünür oturma yok, dolguda çok az miktarda kayma mevcut			Dolguda önemli kayma veya deformasyon mevcut			Dolgu topuğunda hasar, dolguda ciddi kayma ve oturma var		
												12
Kenar ayağı etkileyecek çevresel veya fiziksel değişiklik	Herhangi bir değişiklik yok			Yol genişletme vb. nedenle dolguda veya perdede az hasar			Su drenaj vb. problemle oluşan oturma, ıslah çalışmalarında hasar			Akarsu şev stabilitesi veya taşkın yatağında meydana gelen kararsızlıklar nedeniyle hasar		
							7					

Çizelge 6.18. Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Tabliye	Çatlaklar		2										
	Beton Ayrışması							7					
	Donatı Açığa Çıkması							7					
	Boşluk ve Oyuklar					5							
	Su sızması											11	
Mesnetler	Ana hasar												12
	Mesnet Yatağı												12
	Metalik mesnet ise												
	Eleman Kaybı												12
	Sabitleme												12
	Elastomerik mesnet ise												
	Yüzey Düzenlemesi												
	Deformasyon												
Kirişler	Deformasyon												12
	Çatlaklar		2										
	Çelik ise												
	Paslanma												
	Bulon ve Perçin												
	Betonarme ise												
	Beton Ayrışması							7					
	Donatı Açığa Çıkması							7					
	Boşluk ve oyuklar		2										

Çizelge 6.18. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Köprü orta ayakları		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor			
	Deformasyon												12	
	Çatlaklar		2											
	Beton ayrışması				4									
	Donatı açığa çıkması		2											
	Boşluk ve oyuklar		2											
	Su ve sediment aşındırması												12	
	Temelde oyulma												12	
YÜZEY KORUMA BİLEŞENLERİ														
Kenar Ayaklar	Deformasyon												12	
	Çatlaklar			3										
	Beton ayrışması			3										
	Donatı açığa çıkması	1												
	Boşluk ve oyuklar	1												
	Su ve sediment aşındırması	1												
	Temelde oyulma	1												
Yaklaşım Dolgusu	Oturma ve yığılma										10			
	Yol platformunda erozyon							7						
	Dolguda erozyon												12	
Stabilizasyon	Oturma ve yığılma											11		
	Erozyon											11		
	Yatak seviyesinde oyulma											11		

Çizelge 6.18. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

SERVİS ELEMANLARI													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Kaplama	Dalgalanma										10		
	Tekerlek izi									9			
	Çatlaklar									9			
	Oyuk ve çukurlar								8				
Bordür	Betonda çatlaklar						6						
	Kabarma ve dökülme										10		
	Donatının açığa çıkması								8				
Korkuluk	Korkulukta deformasyon										10		
	Korkulukta paslanma								8				
	Korkulukta eleman eksikliği						6						
Genleşme Derzi	Gürültü												12
	Su sızıntısı												12
	Deformasyon												12
	Boşluk ve oyuklar												12
	Eleman eksikliği												12
	Fonksiyon kaybı												12
Drenaj Tertibatı	Boru hasarı										10		
	Tıkanmalar											11	
	Giriş ağzı hasarları											11	

6.4. Gökçebey Köprüsü

Gökçebey Köprüsü'ne ait hidrolik ve yapısal etkenlerin sınıflandırıldığı güvenlik-değerlendirme algoritması Çizelge 6.19. – Çizelge 6.24. arasında verilmiştir.

Çizelge 6.19. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

HAVZA HİDROLOJİSİ ve TAŞKIN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ													
Gösterge	Sınıflandırma												
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Morfometrik İndeks (Mİ)	0 < Mİ ≤ 3			3 < Mİ ≤ 6			6 < Mİ ≤ 9			9 < Mİ ≤ 12			
Havza arazi kullanımı	İnsan müdahalesi neredeyse yok veya çok az			Sınırlı orman kaybı, az tarımsal arazi, hayvancılık ve insan müdahalesiyle değişim			Farkedilir derecede kentleşme, hayvancılık ve tarımsal faaliyet, orman kaybı, çayır, mera alanlarında artış			Yoğun kentleşme veya endüstriyelleşme, ciddi ormöan kaybı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri			
										10			
Havza bitki örtüsü, fiziksel yapısı	Doğal, çok az veya hiç değişmeyen bitki örtüsü, çoğunlukla düzlükler veya az eğimli araziler			Havzanın doğal bitki örtüsünde nadiren bozulma, ağırlıklı orta eğimli, hafif dalgalı arazi yapısı			Orman yapısı sık sık bozulmuş, mera, bayır ve çayırlıkta artış, platolar, tepeler, dik eğimli araziler			Havzada düzenli bitki örtüsü yok veya sürekli bozulmuş bitki örtüsü mevcut, dağlık, sarp havza			
										10			
Havzada yağış miktarı ve şekli ile havzanın taşkın ve heyelan geçmişi	Yılın büyük bölümü kurak, uzun süreli, şiddeti zayıf yağışlar görülüyor, taşkın tekerrür sıklığı ≥ 50 yıl			Yılın ilkbahar ve sonbahar aylarında kısa süreli şiddetli yağışlar, az miktarda kar yağışı, 25 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 50 yıl			Yılın büyük bölümünde kısa süreli şiddetli yağış ve kar yağışı, toprak kayması, 10 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 25 yıl			Yılın her mevsiminde kısa süreli şiddetli yağış, önemli miktarda kar yağışı, ciddi toprak kayması, taşkın tekerrür sıklığı < 10 yıl			
									9				
Havzada su tutma yapıları	HES, baraj yok, küçük kapasiteli, köprüye uzak konumda gölet veya sel kapanı			HES, gölet veya sel kapanı, köprüye uzak konumda su yüzeyi alanlarının havza alanına oranı < %0,5			Ardışık HES'ler, köprüye yakın konumda, köprü altı akımı etkileniyor, %0,5<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı< %1			Baraj ve ardışık HES'ler, köprüye çok yakın konumda, köprü altı akım ve akarsu yatağı etkileniyor, %1<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı			
											11		

Çizelge 6.20. Akarsu yatak özellikleri

AKARSU YATAK ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ana Yatak Özellikleri													
Akarsu davranışı (Johnson, 2005)		Yıl boyunca akım mevcut, ani debi değişimi yok			Yıl boyunca veya bazı yağış dönemlerinde akım mevcut, çok az debi değişimi var			Yıl boyunca veya yağış dönemlerinde akım mevcut, ani debi değişimi var			Son derece coşkulu akım mevcut, yağış dönemlerinde büyük debi değişimleri var		
										9			
Akarsu boyuna profil durumu		Geniş akarsu ve haliçler, yatak eğimi < 0,0001			Ova akarsuları 0,001< eğim < 0,0001			Plato (yayla) akarsuları, 0,001<eğim<0,01			Dağ akarsuları, eğim > 0,01		
								7					
Akarsu plan durumu (Johnson, 2005)		Doğrusal veya çok az menderesli yatak, eğrilik yarıçapı küçük, başlıca askıda katı madde taşınımı			Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı, askıda ve taban yükü karışık; iyi ıslah edilmiş akarsu yatağı			Menderesli, kısmen örgülü yatak, kıvrımlı mendereslilik çoğunluğu taban yükü taşınımı, zayıf şekilde ıslah edilmiş akarsu yatağı			Örgülü akarsu yatağı, başlıca taban yükü taşınımı, ıslah edilmemiş akarsu yatağı		
										9			
Taban malzemesi Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı (Johnson, 2005)		Çeşitli boyutlarda, birbirine sıkıca tutunmuş, yüksek sıkılıkta malzeme, çoğu>4 mm; Fs < %20			Orta sıkılıkta, bir araya gelmiş, bir miktar tutunmuş, çok küçük miktarlardaki malzeme < 4 mm; %20 < Fs < %50			Görünürde birbirine tutunmamış, gevşek malzeme karışımlı, az-orta miktarlardaki malzeme < 4 mm; %50 < Fs < %70			Çok gevşek, birbirine tutunmamış, büyük miktarlardaki malzeme <4 mm; Fs > %70		
							6						
Taban koruma, eğim kontrol yapıları, zırhlanma (Johnson, 2005)		Mevcut değil veya çok nadir, taban sıkı zırhlı			Ara sıra konumlanmış çapraz dalgalara ve küçük kıyı ve taban erozyonuna neden olan yapılar, yeterli sıkılıkta zırhlı taban			Orta sıklıkta konumlanmış, bazen düzensiz engeller oluşturarak akarsuda fark edilir erozyona neden olan yapılar, arkalarında önemli derecede sediment birikimi, gevşek zırhlı taban			Sık sık ve genellikle düzensiz konumlanmış, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olan yapılar var, kapanlar kolayca dolarak akarsuyun yer değiştirmesine ve / veya genişlemesine neden olur, çok gevşek zırhlı taban		
	Memba							7					
	Mansap					5							
Kum veya çakıl set oluşumu (Lagasse ve diğerleri, 1995)		Set oluşumu yok veya tamamlanmış, düşük akım derinliğinde akarsu genişliğine göre nispeten dar, kaba malzemeli ve bitki örtüsü içeriyor			Setin kenarlarında yeni oluşumlar söz konusu, bu bölgelerdeki oluşum bitki örtüsüz yapıdan anlaşılabilir			Geniş ve genişlemeye devam eden set oluşumu mevcut			Genişliği akarsu genişliğinin yarısından fazla, çok miktarda inceden kalına değişen malzeme var, bitki örtüsü yok veya çok az		
	Memba								8				
	Mansap								8				

Çizelge 6.20. (devam) Akarsu yatak özellikleri - taşkın yatağı

TAŞKIN YATAĞI ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taşkın yatağı oluşumu (Johnson, 2005)		Aktif taşkın yatağı mevcut, doğal sedde yok			Aktif taşkın yatağı bozulmuş, yeni taşkın yatağı oluşum aşamasında, alçak sedde mevcut			Aktif taşkın yatağı yok, teraslanma söz konusu, seddeler orta yükseklikte			Aktif taşkın yatağı ve teraslanma yok, akarsu yatağı boyunca seddeler yüksek, insan kullanımı mevcut		
	Memba												12
	Mansap												12
Taşkın yatağı genişliği		Üniform veya üniforma yakın, her iki sahilde toplam genişliği < 1 akarsu genişliği olan taşkın yatağı mevcut			Üniform olmayan, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 1 - 5 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 5 - 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği > 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut		
	Memba	1											
	Mansap	1											

Çizelge 6.21. Akarsu şev özellikleri

AKARSU ŞEV ÖZELLİKLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Şev yüksekliği		Köprü boyuna kirişi altında			Köprü boyuna kiriş alt kotu ile tabliye seviyesinde			Köprü tabliye seviyesinde			Köprü korkuluklarının çok üzerinde			
	Memba			3										
	Mansap			3										
Şev eğimi (Johnson, 2005)		Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 3Y:1D; killi malzeme için < 1:1 (her iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 2Y:1D; killi malzeme için < 0,8:1 (tek veya iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 1,7Y:1D; killi malzeme için < 0,6:1 (tek veya iki şevde			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için > 45°; killi malzeme için > 60° (tek veya iki şevde)			
	Memba									9				
	Mansap									9				
Şev koruması ve bitki örtüsü (Pfankuch, 1979)		Yoğun, odunsu ağaçlar, sık makilik yapı; her iki şev kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı			Orta yoğunlukta yapraklı, odunsu ağaçlar, orta sıklıkta makilik yapı; kısmi kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama			Az yoğunlukta bitki örtüsü, düşük sıklıkta makilik yapı; şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir, problemli şev koruması uygulaması var			Çoğunluğu yumuşak odunsu, yapraklı ağaç, bitki örtüsü yoğunluğu < %50; şevlerde kaplama veya zırhlama yok, kaplama varsa temelinde veya yapısında ciddi problemler var			
	Memba			3										
	Mansap			3										
Şev malzemesi (Pfankuch, 1979)		Kil ve siltli kil, kohezyonlu malzeme; kaplamalı şev			Killi tın - kumlu killi tın malzeme, çoğunluğu kohezif malzeme			Kumlu kil - kumlu tın malzeme, az miktarda kohezif olmayan malzeme			Kumlu tın - kum, çoğunluğu kohezif olmayan malzeme,			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev kayması (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya çok az, üniform yatak genişliği			Az miktarda sık olmayan kütle kayması, nispeten üniform yatak genişliği			Sık veya önemli miktarda kütle kayması, kanal genişliği oldukça düzensiz			Sık ve çok önemli miktarda kütle kayması, kesme çatlakları,muhtemel şev göçmesi, kanal genişliği çok düzensiz			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev kesilmesi (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya az (şev yüksekliği < 15 cm)			Akarsu kıvrımlarında bir miktar mevcut (şev yüksekliği < 30 cm)			Sık ve fazla miktarda, ağaç kökleri askıda (şev yüksekliği 30 – 60 cm)			Sürekli şev kesilmesi mevcut, ağaç kökleri açıkta (şev yüksekliği > 60 cm)			
	Memba	1												
	Mansap	1												

Çizelge 6.22. Diğer önemli etkiler

DİĞER ETKİLER													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Akarsu yatağından kum - çakıl çekilmesi		Çekilmiyor veya köprüden mesafesi > 5 km			Köprüye 5 – 2 km mesafede, kurulu tesis yok, sürekli ve çok malzeme çekilmiyor			Köprüye 2 - 1 km mesafede, kurulu tesis var, sürekli malzeme çekiliyor			Köprüye mesafesi < 1 km, kurulu tesis var, sürekli ve çok miktarda malzeme çekiliyor		
	Memba	1											
	Mansap								8				
Akarsu kol birleşimi		Köprüye yakın noktalarda ana kanala birleşen kol yok, aşırı yağışlar sırasında ana yatağa yakın geçici dereler oluşmuyor			Köprüden çok uzak noktalardan ana kanala ihmal edilebilecek büyüklükte debiye sahip geçici dereler bağlanıyor			Ana kanalın mertebesinden 3-4 mertebeye kadar küçük, akarsuyun yan kol ile birleşim mesafesi LB<4 km, yandan bağlanan kol için 0,05 < R ≤ 0,15			Ana kanalınkinden 1-2 mertebe daha küçük, LB < 2,5 km, yandan bağlanan kol için R > 0,15		
	Memba					5							
	Mansap										10		
Atık birikmesi (Pfankuch, 1979)		Atık yok veya akıma engel teşkil eden veya türbülansı artıran potansiyel birikim ihmal edilebilir			Küçük miktarlarda atık birikmesi mevcut, küçük ama önemsiz daralmalar oluşabilir			Farklı boyutlarda birikmiş malzeme, önemli birikme sonucunda daralma olabilir			Köprü ayaklarında büyük kütükler sıkışmış, kuvvetli çevrinti söz konusu olabilir, mevcut köprü açıklıkları daralmış		
										9			
Islah çalışması		Köprüyü etkileyecek akım değişikliği yok			Akımda değişiklik var ama köprüde olumsuz etkisi gözlenmiyor			Akım şiddeti ve yönünde değişim var, ayaklarda oyulma başlamış, çevrinti söz konusu			Köprü ayaklarında ciddi oyulma ve kuvvetli çevrintiler oluşuyor		
										9			
En kesit daralması (Simon ve Downs, 1995)		0 - %5			%6 - %25			%26 - %50			> %50		
		1											
Memba veya mansabında yeni köprü yapılması		Yeni köprü akım yapısını değiştirmiyor veya ihmal edilebilir değişiklik var			Yeni köprü akım yapısını etkiliyor ama eski köprüde ihmal edilebilir etkisi var			Yeni köprü akım yapısını değiştiriyor ama ciddi oyulmaya neden olmuyor			Yeni köprü ciddi çevrintiler, ikincil akım ve oyulmaya neden oluyor		
		1											

Çizelge 6.23. Köprü özellikleri ve sınıflandırma

KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü konumu	Deniz veya göl kenarında			Yumuşak eğimli akarsu üzerinde			Vadi akarsuyu üzerinde			Dağ eteğinde veya sert eğimli akarsu üzerinde		
				4								
Köprünün memba kurp etki noktasından uzaklığı ve akım yönünü etkilemesi (Dm) (Johnson, 2005)	Dm > 35m			20 < Dm ≤ 35m			10 < Dm ≤ 20m			0 < Dm ≤ 10 m		
									9			
Köprü verevliği (Simon ve Downs, 1995)	0 ≤ α ≤ 5°			5 < α ≤ 10°			10 < α ≤ 30°			α > 30°		
	1											
Köprü açıklığındaki akım durumu	Açıklık yeterli, kabarma yok, serbest akım var			Açıklık yeterli, su seviyesinde artış var ama önemli miktarda değil, serbest akım var			Su seviyesi köprü başlık kirişine yakın ama halen serbest akım söz konusu			Su seviyesi köprü başlık kirişini aştı, basınçlı veya savak tipi akım söz konusu		
			3									
Orta Ayak Özellikleri												
Ayak tipi, tekil veya grup olma durumu ile verevlik	Tekil ayak, yuvarlak veya yarım daire uçlu, akımda ayrılmalar az veya ihmal edilebilir boyutta			Tekil ayak, dairesel olmayan memba veya mansap yüzeyi, akımda ayrılmalar var ama güçlü çevrinti yok			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayak eksenleriyle akım arasında açı yok, çevrintili akım oluşumu söz konusu			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayaklar arası kuvvetli çevrintili akım, ayakların aksıyla akım arasında açı var		
		2										
Ayak uzunluğunun genişliğine oranı (Yanmaz, 2002b)	< 2			2 - 3			3 - 5			> 5		
												12
Gözlemlenebilirlik	Her dönem gözlemlenebiliyor			Sığ su olması nedeniyle gözlemlenebiliyor			Kurak dönemlerde gözlemlenebiliyor			Her zaman su altında gözlem yapılamıyor		
										10		
Oyulma	Oyulma yok veya ihmal edilebilir büyüklükte, temel pabuçları görünmüyor			Oyulma az, temel pabuçları çok az görünüyor			Oyulma var, temel pabuçları görünüyor			Oyulma derinliği ciddi boyutta		
									9			
Oyulmaya karşı alınan önlem	Herhangi bir önleme gerek yok			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış, yeterli ve uygun bir uygulama			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış ancak taşlar yer değiştirmiş, uygulama başarısız			Oyulmaya karşı hiçbir önlem alınmamış		
											11	
Kenar Ayak Özellikleri												
Korunma şekli ve durumu	Betonarme perde hasarsız, deformasyon yok			Betonarme perdede küçük hasar ve çatlak var, deformasyon yok			Betonarme perdede çatlak ve tahribat var, deformasyon yok			Betonarme perdede ciddi hasar ve deformasyon var		
			3									
Oturma ve dolgu durumu	Gözle görünür oturma yok, dolgu hasarsız			Gözle görünür oturma yok, dolguda çok az miktarda kayma mevcut			Dolguda önemli kayma veya deformasyon mevcut			Dolgu topuğunda hasar, dolguda ciddi kayma ve oturma var		
			3									
Kenar ayağı etkileyecek çevresel veya fiziksel değişiklik	Herhangi bir değişiklik yok			Yol genişletme vb. nedenle dolguda veya perdede az hasar			Su drenaj vb. problemle oluşan oturma, ıslah çalışmalarında hasar			Akarsu şev stabilitesi veya taşkın yatağında meydana gelen kararsızlıklar nedeniyle hasar		
							7					

Çizelge 6.24. Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Tabliye	Çatlaklar			3									
	Beton Ayrışması						6						
	Donatı Açığa Çıkması							7					
	Boşluk ve Oyuklar			3									
	Su sızması					5							
Mesnetler	Ana hasar												12
	Mesnet Yatağı												12
	Metalik mesnet ise												
	Eleman Kaybı												12
	Sabitleme												12
	Elastomerik mesnet ise												
	Yüzey Düzenlemesi												
	Deformasyon												
Kirişler	Deformasyon												12
	Çatlaklar						6						
	Çelik ise												
	Paslanma												
	Bulon ve Perçin												
	Betonarme ise												
	Beton Ayrışması							7					
	Donatı Açığa Çıkması							7					
	Boşluk ve oyuklar				4								

Çizelge 6.24. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Köprü orta ayakları		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor			
	Deformasyon												12	
	Çatlaklar		2											
	Beton ayrışması							7						
	Donatı açığa çıkması								8					
	Boşluk ve oyuklar						6							
	Su ve sediment aşındırması									9				
	Temelde oyulma												12	
YÜZEY KORUMA BİLEŞENLERİ														
Kenar Ayaklar	Deformasyon												12	
	Çatlaklar	1												
	Beton ayrışması	1												
	Donatı açığa çıkması	1												
	Boşluk ve oyuklar	1												
	Su ve sediment aşındırması	1												
	Temelde oyulma	1												
Yaklaşım Dolgusu	Oturma ve yığılma		2											
	Yol platformunda erozyon	1												
	Dolguda erozyon		2											
Stabilizasyon	Oturma ve yığılma	1												
	Erozyon	1												
	Yatak seviyesinde oyulma	1												

Çizelge 6.24. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

SERVİS ELEMANLARI													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kaplama		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
	Dalgalanma								8				
	Tekerlek izi							7					
	Çatlaklar						6						
	Oyuk ve çukurlar				4								
Bordür	Betonda çatlaklar		2										
	Kabarma ve dökülme				4								
	Donatının açığa çıkması		2										
Korkuluk	Korkulukta deformasyon		2										
	Korkulukta paslanma					5							
	Korkulukta eleman eksikliği		2										
Genleşme Derzi	Gürültü										10		
	Su sızıntısı												12
	Deformasyon												12
	Boşluk ve oyuklar												12
	Eleman eksikliği												12
	Fonksiyon kaybı												12
Drenaj Tertibatı	Boru hasarı								8				
	Tıkanmalar								8				
	Giriş ağzı hasarları											11	

6.5. Çatalzeytin Köprüsü

Çatalzeytin Köprüsü'ne ait hidrolik ve yapısal etkenlerin sınıflandırıldığı güvenlik-değerlendirme algoritması Çizelge 6.25. – Çizelge 6.30. arasında verilmiştir.

Çizelge 6.25. Havza hidrolojisi ve taşkın potansiyelinin değerlendirilmesi

HAVZA HİDROLOJİSİ ve TAŞKIN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Morfometrik İndeks (Mİ)	0 < Mİ ≤ 3			3 < Mİ ≤ 6			6 < Mİ ≤ 9			9 < Mİ ≤ 12		
										10		
Havza arazi kullanımı	İnsan müdahalesi neredeyse yok veya çok az			Sınırlı orman kaybı, az tarımsal arazi, hayvancılık ve insan müdahalesiyle değişim			Farkedilir derecede kentleşme, hayvancılık ve tarımsal faaliyet, orman kaybı, çayır, mera alanlarında artış			Yoğun kentleşme veya endüstriyelleşme, ciddi ormöan kaybı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri		
									9			
Havza bitki örtüsü, fiziksel yapısı	Doğal, çok az veya hiç değişmeyen bitki örtüsü, çoğunlukla düzlükler veya az eğimli araziler			Havzanın doğal bitki örtüsünde nadiren bozulma, ağırlıklı orta eğimli, hafif dalgalı arazi yapısı			Orman yapısı sık sık bozulmuş, mera, bayır ve çayırlıkta artış, platolar, tepeler, dik eğimli araziler			Havzada düzenli bitki örtüsü yok veya sürekli bozulmuş bitki örtüsü mevcut, dağlık, sarp havza		
												12
Havzada yağış miktarı ve şekli ile havzanın taşkın ve heyelan geçmişi	Yılın büyük bölümü kurak, uzun süreli, şiddeti zayıf yağışlar görülüyor, taşkın tekerrür sıklığı ≥ 50 yıl			Yılın ilkbahar ve sonbahar aylarında kısa süreli şiddetli yağışlar, az miktarda kar yağışı, 25 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 50 yıl			Yılın büyük bölümünde kısa süreli şiddetli yağış ve kar yağışı, toprak kayması, 10 yıl ≤ taşkın tekerrür sıklığı < 25 yıl			Yılın her mevsiminde kısa süreli şiddetli yağış, önemli miktarda kar yağışı, ciddi toprak kayması, taşkın tekerrür sıklığı < 10 yıl		
												12
Havzada su tutma yapıları	HES, baraj yok, küçük kapasiteli, köprüye uzak konumda gölet veya sel kapanı			HES, gölet veya sel kapanı, köprüye uzak konumda su yüzeyi alanlarının havza alanına oranı < %0,5			Ardışık HES'ler, köprüye yakın konumda, köprü altı akımı etkileniyor, %0,5<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı< %1			Baraj ve ardışık HES'ler, köprüye çok yakın konumda, köprü altı akım ve akarsu yatağı etkileniyor, %1<yüzey alanlarının/ havza alanına oranı		
									9			

Çizelge 6.26. Akarsu yatak özellikleri

AKARSU YATAK ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ana Yatak Özellikleri													
Akarsu davranışı (Johnson, 2005)		Yıl boyunca akım mevcut, ani debi değişimi yok			Yıl boyunca veya bazı yağış dönemlerinde akım mevcut, çok az debi değişimi var			Yıl boyunca veya yağış dönemlerinde akım mevcut, ani debi değişimi var			Son derece coşkulu akım mevcut, yağış dönemlerinde büyük debi değişimleri var		
								7					
Akarsu boyuna profil durumu		Geniş akarsu ve haliçler, yatak eğimi < 0,0001			Ova akarsuları 0,001< eğim < 0,0001			Plato (yayla) akarsuları, 0,001<eğim<0,01			Dağ akarsuları, eğim > 0,01		
												11	
Akarsu plan durumu (Johnson, 2005)		Doğrusal veya çok az menderesli yatak, eğrilik yarıçapı küçük, başlıca askıda katı madde taşınımı			Menderesli, orta derecede eğrilik yarıçapı, askıda ve taban yükü karışık; iyi ıslah edilmiş akarsu yatağı			Menderesli, kısmen örgülü yatak, kıvrımlı mendereslilik çoğunluğu taban yükü taşınımı, zayıf şekilde ıslah edilmiş akarsu yatağı			Örgülü akarsu yatağı, başlıca taban yükü taşınımı, ıslah edilmemiş akarsu yatağı		
										9			
Taban malzemesi Fs=tabandaki kumun yaklaşık oranı (Johnson, 2005)		Çeşitli boyutlarda, birbirine sıkıca tutunmuş, yüksek sıkılıkta malzeme, çoğu>4 mm; Fs < %20			Orta sıkılıkta, bir araya gelmiş, bir miktar tutunmuş, çok küçük miktarlardaki malzeme < 4 mm; %20 < Fs < %50			Görünürde birbirine tutunmamış, gevşek malzeme karışımlı, az-orta miktarlardaki malzeme < 4 mm; %50 < Fs < %70			Çok gevşek, birbirine tutunmamış, büyük miktarlardaki malzeme <4 mm; Fs > %70		
				3									
Taban koruma, eğim kontrol yapıları, zırhlanma (Johnson, 2005)		Mevcut değil veya çok nadir, taban sıkı zırhlı			Ara sıra konumlanmış çapraz dalgalara ve küçük kıyı ve taban erozyonuna neden olan yapılar, yeterli sıkılıkta zırhlı taban			Orta sıklıkta konumlanmış, bazen düzensiz engeller oluşturarak akarsuda fark edilir erozyona neden olan yapılar, arkalarında önemli derecede sediment birikimi, gevşek zırhlı taban			Sık sık ve genellikle düzensiz konumlanmış, sürekli sediment ve akımın yer değiştirmesine neden olan yapılar var, kapanlar kolayca dolarak akarsuyun yer değiştirmesine ve / veya genişlemesine neden olur, çok gevşek zırhlı taban		
	Memba									9			
	Mansap									9			
Kum veya çakıl set oluşumu (Lagasse ve diğerleri, 1995)		Set oluşumu yok veya tamamlanmış, düşük akım derinliğinde akarsu genişliğine göre nispeten dar, kaba malzemeli ve bitki örtüsü içeriyor			Setin kenarlarında yeni oluşumlar söz konusu, bu bölgelerdeki oluşum bitki örtüsüz yapıdan anlaşılabilir			Geniş ve genişlemeye devam eden set oluşumu mevcut			Genişliği akarsu genişliğinin yarısından fazla, çok miktarda inceden kalına değişen malzeme var, bitki örtüsü yok veya çok az		
	Memba										10		
	Mansap										10		

Çizelge 6.26. (devam) Akarsu yatak özellikleri – taşkın yatağı

TAŞKIN YATAĞI ÖZELLİKLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taşkın yatağı oluşumu (Johnson, 2005)		Aktif taşkın yatağı mevcut, doğal sedde yok			Aktif taşkın yatağı bozulmuş, yeni taşkın yatağı oluşum aşamasında, alçak sedde mevcut			Aktif taşkın yatağı yok, teraslanma söz konusu, seddeler orta yükseklikte			Aktif taşkın yatağı ve teraslanma yok, akarsu yatağı boyunca seddeler yüksek, insan kullanımı mevcut		
	Memba												12
	Mansap												12
Taşkın yatağı genişliği		Üniform veya üniforma yakın, her iki sahilde toplam genişliği < 1 akarsu genişliği olan taşkın yatağı mevcut			Üniform olmayan, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 1 - 5 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği 5 - 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut			Düzensiz, bir veya her iki sahilde toplam genişliği > 10 akarsu genişliğinde taşkın yatağı mevcut		
	Memba	1											
	Mansap	1											

Çizelge 6.27. Akarsu şev özellikleri

AKARSU ŞEV ÖZELLİKLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Şev yüksekliği		Köprü boyuna kirişi altında			Köprü boyuna kiriş alt kotu ile tabliye seviyesinde			Köprü tabliye seviyesinde			Köprü korkuluklarının çok üzerinde			
	Memba					5								
	Mansap					5								
Şev eğimi (Johnson, 2005)		Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 3Y:1D; killi malzeme için < 1:1 (her iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 2Y:1D; killi malzeme için < 0,8:1 (tek veya iki şevde)			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için < 1,7Y:1D; killi malzeme için < 0,6:1 (tek veya iki şevde			Kohezyonsuz veya konsolidasyonsuz malzeme için > 45°; killi malzeme için > 60° (tek veya iki şevde)			
	Memba												12	
	Mansap												12	
Şev koruması ve bitki örtüsü (Pfankuch, 1979)		Yoğun, odunsu ağaçlar, sık makilik yapı; her iki şev kaplamalı veya ağır şekilde zırhlı			Orta yoğunlukta yapraklı, odunsu ağaçlar, orta sıklıkta makilik yapı; kısmi kaplama veya bir veya her iki şevde zırhlama			Az yoğunlukta bitki örtüsü, düşük sıklıkta makilik yapı; şevlerde kaplama yok ama bir şevde bir miktar zırhlama olabilir, problemli şev koruması uygulaması var			Çoğunluğu yumuşak odunsu, yapraklı ağaç, bitki örtüsü yoğunluğu < %50; şevlerde kaplama veya zırhlama yok, kaplama varsa temelinde veya yapısında ciddi problemler var			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev malzemesi (Pfankuch, 1979)		Kil ve siltli kil, kohezyonlu malzeme; kaplamalı şev			Killi tın - kumlu killi tın malzeme, çoğunluğu kohezif malzeme			Kumlu kil - kumlu tın malzeme, az miktarda kohezif olmayan malzeme			Kumlu tın - kum, çoğunluğu kohezif olmayan malzeme,			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev kayması (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya çok az, üniform yatak genişliği			Az miktarda sık olmayan kütle kayması, nispeten üniform yatak genişliği			Sık veya önemli miktarda kütle kayması, kanal genişliği oldukça düzensiz			Sık ve çok önemli miktarda kütle kayması, kesme çatlakları,muhtemel şev göçmesi, kanal genişliği çok düzensiz			
	Memba	1												
	Mansap	1												
Şev kesilmesi (Pfankuch, 1979)		Hiç yok veya az (şev yüksekliği < 15 cm)			Akarsu kıvrımlarında bir miktar mevcut (şev yüksekliği < 30 cm)			Sık ve fazla miktarda, ağaç kökleri askıda (şev yüksekliği 30 – 60 cm)			Sürekli şev kesilmesi mevcut, ağaç kökleri açıkta (şev yüksekliği > 60 cm)			
	Memba	1												
	Mansap	1												

Çizelge 6.28. Diğer önemli etkiler

DİĞER ETKİLER													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Akarsu yatağından kum - çakıl çekilmesi		Çekilmiyor veya köprüden mesafesi > 5 km			Köprüye 5 – 2 km mesafede, kurulu tesis yok, sürekli ve çok malzeme çekilmiyor			Köprüye 2 - 1 km mesafede, kurulu tesis var, sürekli malzeme çekiliyor			Köprüye mesafesi < 1 km, kurulu tesis var, sürekli ve çok miktarda malzeme çekiliyor		
	Memba	1											
	Mansap	1											
Akarsu kol birleşimi		Köprüye yakın noktalarda ana kanala birleşen kol yok, aşırı yağışlar sırasında ana yatağa yakın geçici dereler oluşmuyor			Köprüden çok uzak noktalardan ana kanala ihmal edilebilecek büyüklükte debiye sahip geçici dereler bağlanıyor			Ana kanalın mertebesinden 3-4 mertebeye kadar küçük, akarsuyun yan kol ile birleşim mesafesi LB<4 km, yandan bağlanan kol için 0,05 < R ≤ 0,15			Ana kanalınkinden 1-2 mertebe daha küçük, LB < 2,5 km, yandan bağlanan kol için R > 0,15		
	Memba												12
	Mansap												
Atık birikmesi (Pfankuch, 1979)		Atık yok veya akıma engel teşkil eden veya türbülansı artıran potansiyel birikim ihmal edilebilir			Küçük miktarlarda atık birikmesi mevcut, küçük ama önemsiz daralmalar oluşabilir			Farklı boyutlarda birikmiş malzeme, önemli birikme sonucunda daralma olabilir			Köprü ayaklarında büyük kütükler sıkışmış, kuvvetli çevrinti söz konusu olabilir, mevcut köprü açıklıkları daralmış		
				3									
Islah çalışması		Köprüyü etkileyecek akım değişikliği yok			Akımda değişiklik var ama köprüde olumsuz etkisi gözlenmiyor			Akım şiddeti ve yönünde değişim var, ayaklarda oyulma başlamış, çevrinti söz konusu			Köprü ayaklarında ciddi oyulma ve kuvvetli çevrintiler oluşuyor		
								7					
En kesit daralması (Simon ve Downs, 1995)		0 - %5			%6 - %25			%26 - %50			> %50		
		1											
Memba veya mansabında yeni köprü yapılması		Yeni köprü akım yapısını değiştirmiyor veya ihmal edilebilir değişiklik var			Yeni köprü akım yapısını etkiliyor ama eski köprüde ihmal edilebilir etkisi var			Yeni köprü akım yapısını değiştiriyor ama ciddi oyulmaya neden olmuyor			Yeni köprü ciddi çevrintiler, ikincil akım ve oyulmaya neden oluyor		
		1											

Çizelge 6.29. Köprü özellikleri ve sınıflandırma

KÖPRÜ ÖZELLİKLERİ												
Gösterge	Sınıflandırma											
	Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Köprü konumu	Deniz veya göl kenarında			Yumuşak eğimli akarsu üzerinde			Vadi akarsuyu üzerinde			Dağ eteğinde veya sert eğimli akarsu üzerinde		
			3									
Köprünün memba kurp etki noktasından uzaklığı ve akım yönünü etkilemesi (Dm) (Johnson, 2005)	Dm > 35m			20 < Dm ≤ 35m			10 < Dm ≤ 20m			0 < Dm ≤ 10 m		
	1											
Köprü verevliği (Simon ve Downs, 1995)	0 ≤ α ≤ 5°			5 < α ≤ 10°			10 < α ≤ 30°			α > 30°		
	1											
Köprü açıklığındaki akım durumu	Açıklık yeterli, kabarma yok, serbest akım var			Açıklık yeterli, su seviyesinde artış var ama önemli miktarda değil, serbest akım var			Su seviyesi köprü başlık kirişine yakın ama halen serbest akım söz konusu			Su seviyesi köprü başlık kirişini aştı, basınçlı veya savak tipi akım söz konusu		
			3									
Orta Ayak Özellikleri												
Ayak tipi, tekil veya grup olma durumu ile verevlik	Tekil ayak, yuvarlak veya yarım daire uçlu, akımda ayrılmalar az veya ihmal edilebilir boyutta			Tekil ayak, dairesel olmayan memba veya mansap yüzeyi, akımda ayrılmalar var ama güçlü çevrinti yok			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayak eksenleriyle akım arasında açı yok, çevrintili akım oluşumu söz konusu			Birden fazla tekil ayak grup olarak çalışıyor, ayaklar arası kuvvetli çevrintili akım, ayakların aksıyla akım arasında açı var		
					5							
Ayak uzunluğunun genişliğine oranı (Yanmaz, 2002b)	< 2			2 - 3			3 - 5			> 5		
											11	
Gözlemlenebilirlik	Her dönem gözlemlenebiliyor			Sığ su olması nedeniyle gözlemlenebiliyor			Kurak dönemlerde gözlemlenebiliyor			Her zaman su altında gözlem yapılamıyor		
									9			
Oyulma	Oyulma yok veya ihmal edilebilir büyüklükte, temel pabuçları görünmüyor			Oyulma az, temel pabuçları çok az görünüyor			Oyulma var, temel pabuçları görünüyor			Oyulma derinliği ciddi boyutta		
							7					
Oyulmaya karşı alınan önlem	Herhangi bir önleme gerek yok			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış, yeterli ve uygun bir uygulama			Oyulmaya karşı büyük taşlar kullanılmış ancak taşlar yer değiştirmiş, uygulama başarısız			Oyulmaya karşı hiçbir önlem alınmamış		
											11	
Kenar Ayak Özellikleri												
Korunma şekli ve durumu	Betonarme perde hasarsız, deformasyon yok			Betonarme perdede küçük hasar ve çatlak var, deformasyon yok			Betonarme perdede çatlak ve tahribat var, deformasyon yok			Betonarme perdede ciddi hasar ve deformasyon var		
									9			
Oturma ve dolgu durumu	Gözle görünür oturma yok, dolgu hasarsız			Gözle görünür oturma yok, dolguda çok az miktarda kayma mevcut			Dolguda önemli kayma veya deformasyon mevcut			Dolgu topuğunda hasar, dolguda ciddi kayma ve oturma var		
						6						
Kenar ayağı etkileyecek çevresel veya fiziksel değişiklik	Herhangi bir değişiklik yok			Yol genişletme vb. nedenle dolguda veya perdede az hasar			Su drenaj vb. problemle oluşan oturma, ıslah çalışmalarında hasar			Akarsu şev stabilitesi veya taşkın yatağında meydana gelen kararsızlıklar nedeniyle hasar		
	1											

Çizelge 6.30. Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Tabliye	Çatlaklar		2										
	Beton Ayrışması							7					
	Donatı Açığa Çıkması							7					
	Boşluk ve Oyuklar							7					
	Su sızması								8				
Mesnetler	Ana hasar												12
	Mesnet Yatağı												12
	Metalik mesnet ise												
	Eleman Kaybı												12
	Sabitleme												12
	Elastomerik mesnet ise												
	Yüzey Düzenle-mesi												
	Deformasyon												
Kirişler	Deformasyon												12
	Çatlaklar		2										
	Çelik ise												
	Paslanma												
	Bulon ve Perçin												
	Betonarme ise												
	Beton Ayrışması							7					
	Donatı Açığa Çıkması								8				
	Boşluk ve oyuklar						6						

Çizelge 6.30. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

ANA GÖVDE BİLEŞENLERİ														
Gösterge		Sınıflandırma												
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Köprü orta ayakları		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor			
	Deformasyon												12	
	Çatlaklar		2											
	Beton ayrışması							7						
	Donatı açığa çıkması							7						
	Boşluk ve oyuklar						6							
	Su ve sediment aşındırması											11		
	Temelde oyulma								8					
YÜZEY KORUMA BİLEŞENLERİ														
Kenar Ayaklar	Deformasyon												12	
	Çatlaklar	1												
	Beton ayrışması	1												
	Donatı açığa çıkması	1												
	Boşluk ve oyuklar	1												
	Su ve sediment aşındırması	1												
	Temelde oyulma	1												
Yaklaşım Dolgusu	Oturma ve yığılma											11		
	Yol platformunda erozyon											11		
	Dolguda erozyon											11		
Stabilizasyon	Oturma ve yığılma	1												
	Erozyon	1												
	Yatak seviyesinde oyulma	1												

Çizelge 6.30. (devam) Gözle muayene – yapısal değerlendirme

SERVİS ELEMANLARI													
Gösterge		Sınıflandırma											
		Mükemmel			İyi			Vasat			Zayıf		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Yeni veya hasarsız, hasar veya bozulma henüz başlangıç aşamasında			Az hasarlı, problemsiz, güvenlik sorunu oluşmamış ama kusur fark edilir boyutta			Hasarlı ama işlevini görüyor, güvenlik problemi oluşmaya başlamış			İleri derecede hasarlı, güvenlik problemi var, acil çözüm yapılmalı, eleman yok veya değerlendirilemiyor		
Kaplama	Dalgalanma												12
	Tekerlek izi												12
	Çatlaklar								8				
	Oyuk ve çukurlar							7					
Bordür	Betonda çatlaklar				4								
	Kabarma ve dökülme								8				
	Donatının açığa çıkması						6						
Korkuluk	Korkulukta deformasyon											11	
	Korkulukta paslanma										10		
	Korkulukta eleman eksikliği										10		
Genleşme Derzi	Gürültü												12
	Su sızıntısı												12
	Deformasyon												12
	Boşluk ve oyuklar												12
	Eleman eksikliği												12
	Fonksiyon kaybı												12
Drenaj Tertibatı	Boru hasarı											11	
	Tıkanmalar												12
	Giriş ağzı hasarları												12

6.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Geliştirilmiş güvenlik-değerlendirme algoritmasına göre çalışma kapsamındaki köprülerin değerlendirilmesi sonucunda her bir köprüye ait Çizelge 6.31.'de verilen değerler elde edilmiştir. Bu değerlere göre köprülerin en kritik köprüden başlamak üzere sıralaması hidrolik yönden Çizelge 6.32.'de, yapısal yönden ise Çizelge 6.33.'te verilmiştir.

Çizelge 6.31. Akarsu köprülerinin güvenlik-değerlendirme notları

Köprü Adı	Morfometrik İndeks (MI)	Havza hidrolojisi taşkın potansiyeli	Risk Parametresi (RP)	Yapısal Değerlendirme (YP)
Bartın I	7	48	24	382
Bartın III	8	49	20	493
Filyos V	*	39	35	428
Çatalzeytin	10	52	23	416
Gökçebey	*	40	24	331

*Bu değerler hesaplanmadığından diğer hidrolojik parametrelerle değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 6.32. Akarsu köprülerinin güvenlik-değerlendirme sonuçlarına göre hidrolik yönden en kritikten iyiye doğru sıralaması

Sıra değeri	Hidrolik yönden değerlendirme	Hidrolik yönden durumu
1	Filyos V	Vasat
2	Gökçebey	Vasat
3	Bartın I	Vasat
4	Çatalzeytin	Vasat
5	Bartın III	İyi

Çizelge 6. 33. Akarsu köprülerinin güvenlik-değerlendirme sonuçlarına göre yapısal yönden en kritikten iyiye doğru sıralaması

Sıra değeri	Yapısal olarak değerlendirme	Yapısal açıdan durumu
1	Bartın III	Zayıf
2	Filyos V	Vasat
3	Çatalzeytin	Vasat
4	Bartın I	Vasat
5	Gökçebey	İyi

Çizelge 6.31.'den de görüldüğü üzere hidrolik yönden en kritik bulunan köprü Filyos V Köprüsü'dür. Filyos V Köprüsü 1998 taşkınından sonra orta ayaklarından birinde meydana gelen oturma nedeniyle ciddi bir tamirat görmüştür. KGM 15. Bölge Müdürlüğü oturmanın halen devam ettiği ve köprünün yıkılması gerektiği görüşünü bildirmiştir. Hidrolik yönden sonraki riskli köprü Gökçebey Köprüsü olarak tespit edilmiştir. 1968 yılında Gökçebey Köprüsü'nde yapılan muayenelerde kenar ayakta çatlama olduğu ve onarıma ihtiyaç duyduğu saptanmıştır. Ayrıca kenar ayakta 1975'te 7 cm, 1980'de 14 cm, 1990'da 22 cm, 1994'te 32 cm ve 1999'da 35 cm'lik oturma olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle köprüde 1999 yılında tadilat yapılmıştır. Görüldüğü üzere hidrolik etkiler nedeniyle problem yaşanan köprüler yapılan değerlendirmeler sonucunda başarılı bir şekilde değerlendirilip tespit edilebilmiştir. Öncelikle Filyos V Köprüsü'ndeki orta ayaklardaki oyulmaların detaylı incelenerek önlem alınması tavsiye edilmektedir.

Yapısal olarak değerlendirmede ise en kritik köprü Bartın III Köprüsü olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.33.). Gözlemsel muayenelerde de köprüde ciddi derecede beton ayrışması ve benzeri yapısal sorunların olduğu görülmüştür. Köprü yapısal açıdan zayıf olarak sınıflandırılmıştır. Bu nedenle Bartın III Köprüsü'nün en kısa sürede detaylı olarak ekipmanlı muayeneye tabi tutulması ve gerekli tamiratın yapılması tavsiye edilmektedir.
Ayrıca, köprülere hızlı oyulma tahkiki uygulandığında Filyos V Köprüsü için Seviye 2 değerlendirilmesi yapılması önerilirken diğer köprülerde oyulma riski ihmal edilebilir olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 6.34.). Önerilen algoritma sonuçlarıyla oyulma tahkiki sonuçları arasında uyum olduğu görülmektedir.

Hidrolik yönden durumu diğer köprülere göre en kötü ve vasat olarak sınıflandırılmış olan Filyos V Köprüsü'nün tamamlayıcı elemanlarında ve üzerinde bulunduğu akarsuda yapılabilecek basit veya kapsamlı bir takım düzenlemelerle köprünün mevcut durumunda bir miktar iyileşme sağlanabilir; fakat yapılacak bu düzenlemeler sonrasında da köprünün durumunun takip edilmesi gerekmektedir. Öncelikle köprü orta ayaklarında takılmış olan ağaç dalı, gövdesi gibi atık malzemelerin ivedilikle temizlenmesi gerekmektedir. Köprü orta ayaklarına yerleştirilecek basit ölçekli ve oyulmayla birlikte hareket edebilen çubuklar sayesinde ayaklar etrafında meydana gelecek oyulmalar takip edilebilecek ve böylece ayaklar için gözlemlenebilirlik göstergesi de iyileştirilmiş olacaktır. Oyulmanın gözlemlendiği ayaklarda oyulmayı engellemek için riprap benzeri bir uygulama yapılmalıdır. Köprü kenar ayak perdesinde ve yaklaşım dolgusunda meydana gelen hasarlar

tamir edilmeli, drenaj problemleri çözülerek eksiklikler giderilmelidir. Bu şekilde basit, etkili ve daha ucuz olabilecek yöntemlerle köprünün RP değerinde 11 puan azalma meydana gelebilecektir. Böylelikle köprünün yıkılıp yenisinin inşa edilmesi gibi pahalı çözüm yöntemi yerine bu çalışmada kullanılan göstergelerin iyileştirilerek köprünün güvenli bir şekilde hizmetine devam etmesi sağlanabilecektir.

Çizelge 6. 34. Köprülerde hızlı oyulma tahkiki sonuçları

Gösterge	Bartın I	Bartın III	Çatalzeytin	Filyos V	Gökçebey
Temel sağlam zemin üzerinde mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Oyulmaya karşı yeterli ve uygun önlem alındı mı?	Hayır	Evet	Evet	Hayır	Evet
Akarsu debisi güçlü, akım hızlı ve kararsız mı?	Hayır			Evet	
Akarsu yatağında kararsızlık veya problem var mı?				Evet	
Akarsu hemen kurp mansabında mı veya verevlik açısı>10° mi?				Evet	
Sonuç	Oyulma riski ihmal edilebilir	Oyulma riski ihmal edilebilir	Oyulma riski ihmal edilebilir	Seviye 2 değerlendirmesi yapılmalı	Oyulma riski ihmal edilebilir

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de köprülerle ilgili meydana gelmiş felaketler incelendiğinde bunların tümünün akarsu köprülerinde olduğu ve taşkın sırasında veya hemen sonrasında olayın meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla akarsu köprülerinde yaşanan facialarının mümkün olduğunca engellenmesi sorunların tespit edilip çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi zorunludur. Bu çalışma kapsamında akarsu köprülerinde yaşanan problemler incelenmiş, etkili olan hidrolik faktörler belirlenmiş, eksiklikler, yapılması ve yapılmaması gerekenler tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında başlıca hidrolojik, hidrolik ve saha çalışmaları yapılarak akarsu köprülerindeki sorunlar belirlenmiş ve çözüm önerileri getirilmiştir. Bu doğrultuda akarsu köprüleri için bir envanter önerilmiş ve KGM tarafından uygulanabilecek bir güvenlik-değerlendirme algoritması ve entegre edilebileceği bir sistem geliştirilmiştir. Yapılmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve gözlemler aşağıda özet olarak verilmiştir:

- Çalışma kapsamında akarsu köprüleri için bir güvenlik-değerlendirme algoritması geliştirilmiştir. Algoritmada, akarsu köprülerinin güvenliğini etkileyen hidrolik etkenler dikkate alınmıştır. Bunlar arasında havzanın özellikleri sonucunda köprünün maruz kalabileceği taşkın potansiyeli, akarsu stabilitesi ve köprü özellikleri yer almaktadır.
- KGM tarafından 2017 yılı içerisinde Köprü Yönetim Sistemi devreye girmiştir. Bu sistemde karayolları ağı üzerinde bulunan tüm köprülerin eleman boyutları, konumları vb. detaylar yerinde ölçülmüş ve sisteme girilmiştir. Bazı köprülerde ekipmanlı muayene yapılmıştır. Ancak sistemde akarsu köprüleri ile ilgili olabilecek "temelde oyulma" dışında herhangi bir değerlendirme yapılmamaktadır. Dolayısıyla akarsu köprülerinin maruz kaldığı etkenler ve bunların doğurabileceği sonuçlar gözlemlenememektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında hem mevcut köprü hem de aynı akarsu üzerinde ve havzada yapılması muhtemel köprüler için önemli hidrolojik bilgilerin belirlenebilmesi amaçlanmıştır.
- Taşkınlar akarsu köprülerini ciddi şekilde etkileyebileceklerinden çalışmada özellikle taşkın potansiyeli güvenlik-değerlendirmede dikkate alınmıştır. Bunun için morfometrik parametrelerden ve havza özelliklerinden yararlanılmıştır. Morfometrik sınıflandırma sayesinde Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan farklı alt havzaların taşkın potansiyeli önerilen yöntem kullanılarak tahmin edilebilir. Ayrıca, tüm SI değerleri kullanıldığında tek alt havza sayısıyla hidroljik model yapmanın daha uygun olduğu görülmüştür.

- Geliştirilmiş olan algoritmanın KGM tarafından nasıl uygulanacağı ile ilgili bir sistem önerilmiştir.

Saha çalışmaları sırasında akarsu köprülerinde gözlemsel muayenelerin yanı sıra köprülerde yapılan uygulamalar da tespit edilmiştir. Bu tespitlerin yaşanan problemlerde çok önemli olduğu düşünülmektedir. Saha çalışmaları sırasında yapılan gözlemler ve öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Köprüler periyodik olarak muayene edilmemektedir. Köprülerle ilgili envanter tutulmamaktadır. Bu nedenlerle köprünün durumu ile ilgili bilgi idarede bulunmamakta, köprülerde yaşanan problemler ve yapılan bakım-onarımlar hakkında düzenli ve tam bir kayıt tutulmamaktadır. Zaruri durum olmadıkça köprülerde muayene, bakım veya onarım yapılmamaktadır. Birçok durumda çözüm köprünün yıkılıp yeniden yapılması olduğundan ekonomik kayıp mevcuttur. Bu nedenle geliştirilmiş olan güvenlik-değerlendirme yönteminin uygulanması çok önemlidir.
- Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde akarsu yataklarından hemen köprü yakınlarındaki bölgelerden kum-çakıl çekilmekte, akarsu tabanı alçalmakta ve böylece köprü ayakları ortaya çıkmaktadır. Konu ile ilgili genelge olmasına rağmen yerel yönetimler olayın varabileceği boyutları bilememektedir. Bu nedenle bu durum ile ilgili çok acil yeni bir düzenleme yapılması gerekmektedir.
- Havzada taşkın potansiyelini etkileyen önemli faktörlerin başında iklim ve havzanın kullanımı, bitki örtüsü, toprak ve coğrafik yapısı gibi özellikleri gelmektedir. Normal koşullar altında havzalarda ancak çok uzun dönemlerde fark edilir değişiklikler meydana gelebilmektedir. Ancak Türkiye'de gerek ekonomik gelişme gerekse bilinçsizlik nedeniyle havzalarda kısa sayılabilecek 10 -15 yıl gibi dönemlerde ciddi değişiklikler söz konusu olabilmektedir. Örneğin arazi kullanımı ve bitki örtüsü artan kentleşme ve endüstriyelleşmeyle çok ciddi anlamda değişebilmekte, orman vasfını kaybetmiş araziler yerleşime açılabilmektedir. Saha çalışmalarının yapıldığı üç yıllık kısa sürede köprü etrafındaki yerleşim yerlerindeki değişimler dikkat çekmektedir. Özellikle şehirleşmeye yakın köprüler bundan ciddi şekilde etkilenebilmektedir.
- Akarsu köprü etraflarının çoğunlukla muayeneye izin vermeyecek kadar çalı-çırpıyla kaplı olduğu ve çevre halkı tarafından neredeyse çöp alanı olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle yerel yönetimlerin özellikle akarsu köprülerinin temizliğini düzenli yapmaları ve muayeneye olanak verecek fiziksel ortamın sağlanması gerekmektedir.

- Akarsu köprülerinin membaına yapılan HES'ler ile barajlar da akımla gelen sedimenti biriktirmekte böylece mansaba sedimentten arınmış su bırakmaktadırlar. Bu durumda doğal akarsu taban dengesi değişebilmekte, akarsu tabanında meydana gelen alçalma, membadan gelen akımda sediment bulunmaması nedeniyle gittikçe artmakta, bu da köprü ayaklarında daha fazla ve ciddi oyulma anlamına gelmektedir. Ayrıca suyun bu yapılarda tutulması ve bırakılması da akarsuların rejimini ve davranışını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla söz konusu yapıların sık ve ardışık olarak bulunduğu akarsularda taban değişimlerinin gözlemlenmesi tavsiye edilmektedir.
- Çalışma kapsamındaki tüm akarsu köprülerinde köprü orta ayaklarında büyük ağaç gövdesi, dalı, çalı-çırpı gibi atıkların takıldığı, bu bölgelerde zamanla zeminde oyulmaları ciddi şekilde etkileyebildiği ancak bu malzemelerin hiç temizlenmediği görülmüştür. Bu ağaç gövdelerinin tespit edilerek ivedilikle temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizliğin de her yıl kontrollü bir şekilde yapılması çok önemlidir. Çünkü doğrudan ayaklara takılan bu malzemeler ayaklar etrafındaki oyulmayı önemli şekilde etkileyebilmekte ve oyulmanın derinleşmesine neden olabilmektedir.
- Türkiye'de akarsu köprü ayaklarında oyulma olması durumunda büyük kaya parçalarının bu bölgelere yerleştirilerek oyulmaya karşı önlem alınmaya çalışıldığı tespit edilmiştir. Ancak bu şekilde büyük kaya parçalarının yerleştirildiği ayaklarda kayalar arasındaki boşluklarda türbülanslı akım meydana geleceğinden bu bölgelerdeki oyulmanın daha da artabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca tamamen rastgele yerleştirilen bu kaya parçaları kuvvetli akımla birlikte yer değiştirebilmekte ve sorunu daha da artırabilmektedir. Bu nedenle oyulma için yapılan uygulamalar için de bir yol haritası belirlenmesi ve uygulama yerinin özelliklerine ve akım şartlarına göre uygun olan yöntemin seçilmesi yararlı olacaktır.
- Birçok akarsuda taşkınların verdiği zararların önüne geçmek için ıslah çalışmaları yapılmaktadır. Akarsu yatağı ve şevlerinde yapılan değişiklikler nedeniyle akım yapısında ve şiddetinde de değişim olması kaçınılmazdır. Ayrıca ıslah çalışmaları sırasında akarsu köprüleri de zarar görebilmektedir. Dolayısıyla yapılan çalışmaların proje aşamasında köprüler açısından da değerlendirilmesi ve gerekli kontrollerin yapılması tavsiye edilmektedir.
- Ayaklarında oyulma tespit edilen köprülerde oyulma derinliğinin basit ve ekonomik olarak takip edilebilmesi için söz konusu ayaklara oyulma ile birlikte aşağıya doğru hareket edebilecek, ölçeklendirilmiş ölçüm çubukları yerleştirilmesi ve muayene

sırasında bu değerin de kaydedilerek oyulma gelişiminin gözlemlenmesi tavsiye edilmektedir.

- Çalışma süresince KGM'de görevli personelle konu ile ilgili yapılan çalışma ve görüşmelerde akarsu köprülerinin maruz kaldığı hidrolik etkenlerin önemi ve köprüler üzerindeki etkileri hakkında bilinçlendirilmeleri ve bilgilendirilmeleri gerektiği görülmüştür. Bu nedenle akarsu köprüleri ile ilgili kapsamlı eğitim programları tavsiye edilmektedir.

Önerilen güvenlik-değerlendirme algoritmasının akarsu köprülerine başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için konuyla ilgili yeterli bilgi ve donanıma sahip, göstergeleri değerlendirip yorumlayabilen ve sınıflandırabilen uzman mühendislerin yetiştirilmesi kaçınılmazdır. Ofis çalışmaları kapsamında yapılan havza hidrolojisi ve taşkın potansiyeli üst göstergelerinin mevcut KYS'ye eklenmesi gerekmektedir. Özellikle Mİ değerlerinin sayısal harita yardımıyla hesaplanabilmesi için bir bilgisayar programı kullanılması ve böylece ilgili parametrelerin hesaplanarak değerlendirilmesi daha pratik olacaktır. Böylelikle Mİ değerlerinin tüm havzalara göre hesaplanmasıyla sınıf aralıkları yeniden belirlenebilecek ve ülkemiz havzalarının tümü dikkate alınarak taşkın potansiyelleri daha gerçekçi bir şekilde tahmin edilebilecektir. Ayrıca, havza hidrolojisi kapsamında yer almayan fakat yağış-akış ilişkisi bakımından önemli olan arazi kullanım ve toprak tipi haritaları da ilgili kurumlardan temin edilerek bu göstergeye dahil edilmesi yapılacak tahmini daha da güçlendirecektir. Bu çalışmada yer alan akarsu ve köprü özellikleri Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan köprüler ve daha önce yapılmış literatür çalışmaları incelenerek oluşturulmuş olup bazı göstergeler bu havzaya özgü olabilir. Ülkemiz akarsu köprülerine önerilen yöntemi uygulayabilmek için faklı havzalarda yer alan akarsu köprülerinin de incelenerek ilgili bölümlerin geliştirilmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Abdul Rahaman, S., Abdul Ajeez, S., Aruchamy, S., and Jegankumar, D. (2015). Prioritization of sub watershed based on morphometric characteristics using fuzzy analytical hierarchy process and geographical information system-a study of Kallar Watershed, Tamil Nadu. *Aquatic Procedia*, 4(2015), 1322–1330.

Abudayyeh, O., Bataineh, M. A., and Abdel-Qader, I. (2004). An imaging data model for concrete bridge inspection. *Journal of Advances in Engineering Software*, 35(8-9), 473-480.

Aher, P. D., Adinarayana, J., and Gorantiwar, S. D. (2014). Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511(2014), 850–860.

Al-Saif, H. (2010). Assessing flood vulnerability of Wadi Hanifa Basin and surrounding area, Central Saudi Arabia. *Journal of Environmental Hydrology*, 18(14), 1–12.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1992). *Standard Specifications for Highway Bridges.* Washington: AASHTO, 3-5.

Annandale, G. W. (1994). *Guidelines for the Hydraulic Design and Maintenance of River Crossings Volume VI: Risk Analysis of River Crossing Failure. Rep. No. TRH 25*, South Africa:Department of Transport, Pretoria, 125.

Annandale, G. W. (1999). *Risk analysis of river bridge failure*. Stream Stability and Scour at Highway Bridges, Reston, USA.

Ao, T. Q., Yoshitani, J., Takeuchi, K., Fukami, K., Mutsuura, T., and Ishidaira, H. (2003). *Effects of sub-basin scale on runoff simulation in distributed hydrological model: BTOPMC.* Symposium of HS03, Sapparo.

Arabi, M., Govindaraju, R. S., Hantush, M.M., and Engel, B.A. (2006). Role of watershed subdivision on modeling the effectiveness of best management practices with SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(2), 513-528.

Ashraf, F. U., and Johnson, P. A. (2016). Assessing relatice risk for the failure modes of a bridge scour countermeasure. *Journal of Bridge Engineering*, 21(5), 04016010.

Asode, A. N., Sreenivasa, A., and Lakkundi, T. K. (2016). Quantitative morphometric analysis in the hard rock Hirehalla sub-basin, Bellary and Davanagere Districts, Karnataka, India using RS and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(5), 381.

Begou, J. C., Jomaa, S., Benabdallah, S., Bazie, P., Afouda, A., and Rode, M. (2016). Multi-site validation of the SWAT model on the Bani Catchment: Model performance and predictive uncertainty. *Water*, 8, 1-23.

Berk, A. (2006). *Development of a Safety-İnspection Methodology For River Bridges*.

Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bjerrum, J., and Jensen, F. (2006). *Internet-based management of major bridges and tunnels using the Danbro system*. 3rd international conference on bridge maintenance, safety, management, life-cycle performance and cost, Porto, Portugal.

Bones, E. J., Garrow, L. A., and Sturm, T. W. (2017). Incorporating soil erodibility properties into scour risk-assessment tools using HYRISK. *Journal of Infrastucture Systems*, 23(3), 04016040.

Bovis, M. J., and Jakob, M. (1999). The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(11), 1039–1054.

Briaud, J. L. (2006). Bridge Scour. *Geotechnical News*, 24(3), 9–14.

Brice, J. C., and Blodgett, J. C. (1978*). Countermeasures for Hydraulic Problems at Bridges. Vol. 1 and 2. FHWA/RD-78-162&163*, Washington, D.C.: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Casey, M. J., Stagge, J. H., Moglen, G. E., and McCuen, R. H. (2015). Effects of Watershed Subdivision on Peak Discharge in Rainfall-Runoff Modeling in the WinTR-20 Model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20 (10), 1-9.

Caner, A., Yanmaz, A. M., and Berk, A. (2006). *Remarks on development of a safety inspection algorithm for river bridges*. International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul.

Casas, J. R. (2010). *Assessment and monitoring for existing bridges to avoid unneccessary strengthening or replacement*. 5th international conference on bridge maintenance, safety, management and life-cycle optimization, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Chang, C. L. (2009). The impact of watershed delineation on hydrology and water quality simulation. *Environmental Monitoring Assessment*, 148(1-4), 159-165.

Chang, C. L., and Chao, Y.C. (2014). Effects of spatial data resolution on runoff predictions by the BASINS model. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(6), 1563-1570.

Chang, F. F. M. (1973). *A Statistical Summary of the Cause and Cost of Bridge Failures*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Chen, F., Xie, J., and Chen, X. (2011). *Effects of spatial scale on distributed flood simulation based on HEC-HMS Model: A Case of Jinjiang Watershed, Fujian, China*. Geoinformatics, 19th International Conference, IEEE, Şangay, Çin.

Chen, W., and Duan, L. (2003). *Bridge Engineering: Construction and Maintenance*. Boca Raton: CRC Press.

Chiang, Y. C., and Yuan, Y. (2015). The NHDPlus dataset, watershed subdivision and

SWAT model performance. *Hydrological Sciences Journal*, 60(10), 1690-1708.

Cho, J., Lowrance, R. R., Bosch, D. D., Strickland, T. C., Her, Y., and Vellidis, G. (2010). Effect of watershed subdivision and filter width on SWAT simulation of a coastal plain watershed. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(3), 586-602.

Cleveland, T. G., Luong, T., and Thompson, D. B. (2009). *Watershed subdivision for modelling*. World Environmental and Water Resources Congress, Great Rivers, Missouri, USA.

Davis, S. R. (1984). *Case Histories of Scour Problems at Bridges*. 2nd Bridge Engineering Conference, Washington, USA.

Deepika, B., Avinah, K., and Jayappa, K. S. (2013). Integration of hydrological factors and demarcation of groundwater prospect zones: insights from remote sensing and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, 70(3), 1319–1338.

Elliott, A.H., Trowsdale, S.A., and Wadhwa, S. (2009). Effect of Aggregation of On-Site Storm-Water Control Devices in an Urban Catchment Model. *Journal of Hydrological Engineering*,14(9), 975–983.

El-Shamy, I. Z. (1992). *New approach for hydrological assessment of hydrographic basins of recent recharge and flooding possibilities*. 10th Symposium Quaternary and Development, Mansoura Univ., Egypt.

Furuta, H., and Watanabe, E. (2010). *Bridge maintenance and practical bridge management systems in Japan*. 5th international conference on bridge maintenance, safety, management and life-cycle optimization, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Gabr, S., and El Bastawesy, M., (2015). Estimating the flash flood quantitative parameters affecting the oil-fields infrastructures in Ras Sudr, Sinai, Egypt, during the January 2010 event. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 18 (2), 137–149.

Ghosh, I., and Hellweger, F. L. (2012). Effects of spatial resolution in Urban hydrologic simulations. *Journal of Hydrological Engineering*, 17(1),129-137

Gong, Y., Shen, Z., Liu, R., Wang, X., and Chen, T. (2010). Effect of watershed subdivision on SWAT modeling with consideration of parameter uncertainty. *Journal of Hydraulic Engineering*, 15(12), 1070-1074.

Gupta, H.V., Sorooshian, S., and Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydraulic Engineering*, 4(2),135-143.

Gustard, A., Bullock, A., and Dixon, J. M. (1992). *Low flow estimation in the United Kingdom Report No.108*, U.K.:Institute of Hydrology, Oxfordshire.

Han, J. C, Huang, G. H, Zhang, H., Li, Z., and Li, Y. P. (2014a). Effects of watershed subdivision level on semi-distributed hydrological simulations: case study of the

SLURP model applied to the Xiangxi River watershed, China. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 108-125.

Han, J. C., Huang, G. H., Zhang, H., Li, Z., and Li, Y. P. (2014b). Bayesian uncertainty analysis in hydrological modeling associated with watershed subdivision level: A case study of SLURP model applied to the Xiangxi River watershed, China. *Stochastic Environmental Research Risk Assessment*, 28(4), 973-989

Horn, D. R. (1987). Graphic Estimation of Peak Flow Reduction in Reservoirs. *Journal of the Hydraulic Division*, 113(11), 1441-1450.

Horton, R. E. (1932). Drainage Basin Characteristics. *Transactions of American Geophysical Union*, 13, 350-361.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56, 275–370.

Hudson, P. F., Colditz, R. R. (2003). Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Panuco basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 280 (1-4), 229–245.

İnternet: Akgül, F. (2012). Development of the Bridge Management System (BMS) for Turkey. URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F212.175.108.27&date=2018-02-07, Son Erişim Tarihi: 07.02.2018.

İnternet: Devlet Su İşleri (DSİ). (2017). İnşa Halindeki Tesisler. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbolge23.dsi.gov.tr%2Fislet medekitesisler&date=2018-02-07, Son Erişim Tarihi: 07.02.2018.

İnternet: Google Maps. (2017). URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.google.com.tr%2Fmaps%2F%4039.9343818%2C32.8419174%2C7062m%2Fdata%3D%213m1%211e3&date=2018-02-07, Son Erişim Tarihi: 07.02.2018.

İnternet: Karayolları Genel Müdürlüğü. (2017b). KYS. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kgm.gov.tr%2FSiteCollectionDocuments%2FKGMdocuments%2FBaskanliklar%2FBaskanliklarTeknikArastirma%2FYeni%2520Klas%25C3%25B6r%2FTamamlanan%2520ve%2520Devam%2520Eden%2520Ar-Ge%2520Projeleri%2F4-TUBITAK-108G018.pdf&date=2018-02-07, Son Erişim Tarihi: 07.02.2018.

İnternet: Resmi Gazete. (2006). Genelge 2006/27. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Feskiler%2F+2006%2F09%2F20060909-3.htm&date=2018-02-07, Son Erişim Tarihi: 26 Mart 2014.

Jackson, L. E., Kostaschuk, R. A., and MacDonald, G. M. (1987). *Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains*, USA:Geological Society of America, 115–124.

Javed, A., Khanday, M. Y., and Ahmed, R. (2009). Prioritization of sub-watersheds based on morphometric and land use analysis using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 261-274.

Jha, M., Gassman, P. W., Secchi, S., Gu, R., and Arnold, J. (2004). Effect of watershed subdivision on SWAT flow, sediment, and nutrient predictions. *Journal of the American Water Resources Association*, 40(3), 811–825.

Jiao, P., Xu, D., Wang, S., Yu, Y., Han, S. (2015). Improved SCS-CN method based on storage and depletion of antecedent daily precipitation. *Water Resources Management*, 29(13), 4753-4765.

Johnson, P. A., Gleason, G., and Hey, R. D. (1999). Rapid assessment of channel stability in vicinity of road crossing. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(6), 645–651.

Johnson, P. A., and Niezgoda, S. L. (2004). Risk-based method for selecting bridge scour countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(2), 121-128.

Johnson, P. A. (2005). Preliminary assessment and rating of stream channel stability. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(10), 845–852.

Johnson, P. A, and Whittington, R. M. (2011). Vulnerability-based risk assessment for stream instability at bridges. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(10), 1248-1256.

Johnson, P. A., Clopper, P. E., Zevenbergen L. W., and Lagasse, P. F. (2015). Quantifying uncertainty and reliability in bridge scour estimations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(7), 04015013-1.

Jolly, J. P. (1982). *A proposed method for accurately calculating sediment yields from reservoir deposition volumes*. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield, Exeter, UK.

Jones, J. S., Morris, J., Pagán-Ortiz, J., and Parola, A. (1995). *Personal Communication*. Federal Highway Administration, Washington.

Joo, J., Kjeldsen, T., Kim, H. J., and Lee, H. (2014). A comparison of two event-based flood models (REFH-rainfall runoff model and HEC-HMS) at two Korean catchments, Bukil and Jeungpyeong. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 330 – 343.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2016). *Köprülerle ilgili görüşme*. Tesisler ve Bakım Dairesi Başkanlığı Sanat Yapıları Bakım Onarım İşletme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2017a). *Ekipmanlı ve Gözlemsel Muayene Analizleri*. Ankara: Tesisler ve Bakım Dairesi Başkanlığı Sanat Yapıları Bakım Onarım İşletme Şubesi Müdürlüğü.

Kawamura, R., Miyamoto, A., and Ishida, J. (2008). *J-BMS database system 2007 for management of existing bridges in Yamaguchi prefecture*. 4th international conference on bridge maintenance, safety, management, health monitoring and informatics, Seul, Kore.

Knox, J. C. (1976). *Concept of the graded stream*. 6th Annual Geomorphology Symposium Series, State University of New York, Binghamton.

Köksal, B. A. (2003). *İstatistik Analiz Metodları* (Altıncı Baskı). Türkiye: Çağlayan Basımevi, 400-401.

Kumar, S., and Merwade, V. (2009). Impact of watershed subdivision and soil data resolution on model calibration and parameter uncertainty. *Journal of the American Water Resources Association*, 45(5), 1179–1195.

Kuntiyawichai, K., Sri-Amporn, W., and Pruthong, C. (2014). Quantifying consequences of land use and rainfall changes on maximum flood peak in the lower Nam Pong River basin. *Advances Material Research*, 931-932, 791-796.

Lagasse, P. F., Schall, J. D., Johnson, F., Richardson, E. V., Richardson, J. R., and Chang, F. (1995). *Stream stability at highway structures, HEC-20-ED-2, Rep. No. FHWA – IP-90-014*, Washington: Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Lagasse, P. F., Schall, J. D., and Richardson, E. V. (2001). *Stream Stability at Highway Structures, Hydraulic Engineering Circular No. 20*, Washington:FHWA NHI 01-002, Federal Highway Administration.

Lagasse, P. F., Clopper, P. E., Zevenbergen, L. W., and Girard, L. G., (2007). *Countermeasures to protect bridge piers from scour, National Cooperative Highway Research Programme (NCHRP) Report 593*, Washington:Ayres Associates Inc., Fort Collins, CO, Transportation Research Board.

Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Spitz, W. J., and Arneson, L. A. (2012). *Stream Stability at Highway Structures, Report No. FHWA-HIF-12-004 HEC-20*, Washington:FHWA, Federal Highway Administration.

Leopold, L. B., and Miller, J. P. (1956). *Ephemeral streams: hydraulic factors and their relation to the drainage net*. Washington:U.S. Geological Survey, prof. pa 282-A, US Government Printing Office.

Liao, H. K., Yen, C. I., and Yau, N. J., (2008). *Development of a bridge maintenance decision support module for Taiwan Bridge Management System*. 4th international conference on bridge maintenance, safety, management, health monitoring and informatics, Seul, Kore.

Macka, Z. (2001). Determination of texture of topography from large scale contour maps. *Geografski Vestnik*, 73 (2), 53–62.

Magesh, N. S., Chandrasekar, N., and Soundranayagam, J. P. (2011). Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 64 (2), 373–381.

Maidment, D. R. (2002). *ArcHydro GIS for water resources*, California: Esri Press.

Markose, V. J., Dinesh, A. C., and Jayappa, K. S. (2014). Quantitative analysis of morphometric parameters of Kali River basin, southern India, using bearing azimuth and drainage (bAd) calculator and GIS, *Environmental Earth Sciences*, 72(8), 2887-2903.

Millard, T. H., Wilford, D. J., and Oden, M. (2006). *Coastal fan destabilization and forest management*. Nanaimo: B.C. Min. For. Range, Coast Forest Region.

Montgomery, D. R., and MacDonald, L. H. (2002). Diagnostic approach to stream channel assessment and monitoring. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(1), 1-16.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885−900.

O'Callaghan, J., and Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28 (3), 323–344.

Ogunkoya, O. O., Adejuwon, J. O., and Jeje, L. K. (1984). Runoff response to basin parameters in south-western Nigeria. *Journal of Hydrology*, 72(1-2), 67–84.

Özdemir, H., and Bird, D. (2009). Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental Geology*, 56(7), 1405–1415.

Patel, D. P., Gajjar, C. A., and Srivastava, P. K. (2013). Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. *Environmental Earth Sciences*, 69(8), 2643–2656.

Pfankuch, D. J. (1979). *Stream Reach Inventory and Channel Stability Evaluation*. Missoula: Forest Service, Northern Region, Rep., U.S. Dept. of Agriculture.

Phares, B. M., Rolander, D. D., Graybeal B. A. and Washer, G. A. (2000). Studying the Reliability of Bridge Inspection, National Bridge Inpection Standards. Washinghton:FHWA.

Piman, T., and Babel, M. S. (2013). Prediction of rainfall-runoff in an ungauged basin: Case study in the mountainous region of Northern Thailand. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(2), 285 – 296.

Pitlick, J. (1994). Relation between peak flows, precipitation, and physiography of five mountainous regions in the Western USA. *Journal of Hydrology*, 158 (3-4), 219–240.

Richardson, E. V., Davis, S.R. (2001). *Evaluating Scour at Bridges. Hydraulic Engineering Circular No. 18, Report No. FHWA NHI 01-001 HEC-18*. Washington: Federal Highway Administration.

Rouhani, H., Willems, P., and Feyen, J. (2009). Effect of watershed delineation and areal

mean rainfall distribution on runoff prediction using the SWAT model. *Hydrology Research*, 40(6), 505-519.

Rosgen, D. L., (2001). *A practical method of computing streambank erosion rate*. 7th Federal Interagency Sedimentation Conference, Nevada.

Ruiz, M., Castelli, E., and Prato, T. (2008). *A new bridge management system for the National Department of Transportation of Argentina.* 4th International Conference on Bridge Maintenance, Safety, Management, Health Monitoring and Informatics, Seul, Kore.

Santhi, C,. Arnold, J.G., Williams, J.R., Dugas, W.A., Srinivasan, R., and Hauck, L. M. (2013). Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1169-1188.

Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Anboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646.

Shi, Z. H., Huang, X. D., Ai, L., Fang, N. F., and Wu, G. L. (2014). Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds. *Geomorphology*, 226, 193–201.

Shirole, A. M., and Holt, R. C. (1991). Planning for a Comprehensive Bridge Safety Assurance Program. *Transportation Research Record*, 1290, 137–142.

Simon, A., and Downs, P. W. (1995). An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channels. *Geomorphology*, 12, 215–232.

Sivapalan, M., Takeuchi, S., Franks, S. W., Gupta, V. K., Karambiri, H., Lakshmi, V., Liang, X., McDonell, J. J., Mendiondo, E. M., O'Connel, P. E., Oki, T., Pomeroy, J. W., Schertzer, D., Uhlenbrook, S., and Zehe, E. (2003). IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, 48(6), 857–880.

Soderqvist, M. (2004). *Experience in the Finnish bridge management system development*. 2nd International Conference on Bridge Maintenance, Safety, Management and Cost, Kyoto, Japonya.

Sreedevi, P. D., Subrahmanyam, K., and Ahmed, S. (2005). The significance morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, 47(3), 412–420.

Srivastava, P. K., Mukherjee, S., and Gupta, M. (2008). *Groundwater quality assessment and its relation to land use/land cover using remote sensing and GIS*. International Groundwater Conference on Groundwater Dynamics and Global Change, Jaipur, Hindistan.

Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38, 913–920.

Strahler, A. N. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*, New York: McGraw Hill.

Susilo, G. E. (2002). *Effects of aggregated simulation area scale in watershed simulation using the SLURP model*. 30th CSCE Annual Conference 2002: 2002 Challenges Ahead, Montreal, Kanada.

Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T., and İnce, H. H. (2010). Hafif beton basınç dayanımının yapay sinir ağlarıyla tahmini. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 19-29.

Tripathi, M. P., Raghuwanshi, N. S., and Rao, G. P. (2006). Effect of watershed subdivision on simulation of water balance components. *Hydrological Processes*, 20(5), 1137–1156.

Van Liew, M. W., Arnold, J. G., and Garbrecht, J. D. (2003). Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 46(6), 1539-1551.

Wan, Y. A., Yin, F., Liu, Z. Z., Cui, W. C., and Ao, T. Q. (2008). *Hydrological modelling and integrated water resources management in ungauged mountainous watersheds*. Wallingford: IAHS Press, 130-136.

Wardhana, K., and Hadipriono, F. C. (2003). Analysis of Recent Bridge Failures in the United States. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 17(3), 144-150.

Wenzel, H., and Allmer, H. (2010). *European approach on integrated infrastructure risk management*. 5th International Conference on Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Wilford, D. J., Sakals, M. E., Innes, J. L., Sidle, R. C., and Bergerud, W. A. (2004). Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*, 1(1), 61–66.

Woodward, R. J., Cullington., D. W., Daly, A., and Cremona, C. (2001). *Bridge management in Europe (BRIME)*. Brüksel: European Commission Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme PL97-2220.

Yadav, S. K., Singh, S. K., Gupta, M., and Srivastava, P. K. (2014). Morphometric analysis of Upper Tons basin from Northern Foreland of Peninsular India using CARTOSAT satellite and GIS. *Geocarto International*, 29 (8), 895–914.

Yanmaz, A. M. (2002a). Yıkılan Akarsu Köprüleri Üzerine Görüşler. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 420-421-422, 137-141.

Yanmaz, A. M. (2002b). *Köprü Hidroliği*. Ankara: ODTÜ Yayıncılık.

Yanmaz, A. M. (2006). *Applied Water Resources Engineering*. Ankara: Metu Press, 8.

Yanmaz, A. M., Caner, A., and Berk, A. (2007). Renovation of a safety-inspection methodology for river bridges. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 21(5), 382-389.

Yanmaz, A. M., and Apaydın, M. (2012). Bridge Scour Risk Assessment and Countermeasure Design. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 26(4), 499-506.

Yılmaz, A. G., Imteaz, M. A., and Ogwuda, O. (2012). Accuracy of HEC-HMS and LBRM models in smulating snow runoffs in Upper Euphrates Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 342 – 347.

Yılmaz, T., Banerjee, S., and Johnson, P. A. (2016). Performance of two real-life California Bridges under regional natural hazards. *Journal of Bridge Engineering*, 3(19), 04015063.

Youssef, A. M., Pradhan, B., and Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, Southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611–623.

Zhang, H. L., Wang, Y. J., Wang, Y. Q., Li, D. X., and Wang, X. K. (2013). The effect of watershed scale on HEC-HMS calibrated parameters: a case study in the Clear Creek watershed in Iowa, US. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2735 – 2745.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : AKAY, Hüseyin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.04.1984, Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 582 32 40
Faks : 0 (312) 230 84 34
e-mail : hakay@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2008
Lise	Gazi Çiftliği Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009 - Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Yıldırım, N., Akay, H., and Taştan, K. (2011). Critical submergence for multiple pipe intakes by the potential flow solution. *Journal of Hydraulic Research*, 49 (1), 117-121.

Akay, H., Baduna Koçyiğit, M. (2015, Kasım). Akarsu Köprülerinde Gözle Muayene ve Güvenlik Değerlendirme Çalışmaları. 4. Su Yapıları Sempozyumu, Antalya.

Baduna Koçyiğit, M., Akay, H., and Yanmaz, A. M. (2016, Mart). Taşkınlar ve Akarsu Köprülerine Etkileri. Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu, Karabük.

Baduna Koçyiğit, M., Akay, H., and Yanmaz, A. M. (2016). Flooding and Its Effects on River Bridges in Western Black Sea Region. *Disaster Science and Engineering*, 2 (1), 29-35.

Akay, H., Baduna Koçyiğit, M., and Yanmaz, A. M. (2016, July). Estimation of rainfall runoff relation using HEC HMS for a basin in Turkey. 4th IAHR Europe Congress, Liege, Belgium.

Akay, H., Baduna Koçyiğit, M., and Yanmaz, A. M. (2016, September). A Case Study For Determination of Hydrological Parameters In HEC-HMS In Computing Direct Runoff. 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul.

Baduna Koçyiğit, M., Akay, H., and Yanmaz, A. M. (2017). Effect of watershed partitioning on hydrologic parameters and estimation of hydrograph of an ungauged basin: a case study in Gokirmak and Kocanaz, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 10 (15), 1-13.

Baduna Koçyiğit, M., Akay, H., and Yanmaz, A. M. (2017). Estimation of Hydrologic Parameters of Kocanaz Watershed by a Hydrologic Model. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 9 (4), 42-50.

DİZİN

A

Alt havza · 99, 101, 102, 109
Akarsu dengesi · 9, 17
Akarsu ıslahı · 127, 136
Akarsu sıklığı · 83, 88
Akarsu stabilitesi · 127, 128, 137
Akım gözlem istasyonu · 75, 89
Arazi kullanımı · 78, 96, 115

B

Bakım-onarım · 9, 113
Biçim faktörü · 85, 87
Bitki örtüsü · 17, 26, 29, 82, 96
Basınçlı akım · 6, 132
Başlık kirişi · 35, 50, 136

C

Coğrafi Bilgi Sistemi · 115

D

Dairesellik oranı · 85, 87
Dallanma oranı · 83, 85, 116
Daralma oyulması · 6, 15
Derz · 12, 31, 141
Drenaj yoğunluğu · 83, 85, 104
Drenaj alanı · 83, 88, 101, 132

E

Ekipmanlı muayene · 137

F

Fisher testi · 106
Frekans analizi · 93

G

Genişlik uzunluk oranı · 85
Giriş hidrografi · 93
Gözlemsel muayene · 113, 137
Güvenlik-değerlendirme · 14, 137

H

Havza hidrolojisi · 116, 137
Hidroelektrik santrali · 32, 117
Hidrolik sıçrama · 6

K

Kalibrasyon · 96, 99, 102, 109
Karayolları Genel Müdürlüğü · 1, 11, 29, 113
Katı madde taşınımı · 7, 129
Kenar ayak · 7, 22, 120, 140
Köprü Yönetim Sistemi · 3, 9, 143

M

Menderesli akarsu · 20
Morfometrik parametre · 82, 87, 116
Muayene · 12, 17, 29, 113

N

Nash-Sutcliffe katsayısı· 99

O

Orta ayak· 5, 9, 26, 135
Oyulma · 5, 9, 15, 18, 113, 127, 132

Ö

Önceliklendirme · 84

P

Pik debi · 87, 96, 102

R

Regresyon analizi · 101, 106
Riprap · 20, 26, 32
Risk · 10, 18, 82, 93, 113

S

Savak tipi akım · 1, 128
Segregasyon · 35, 62
Sıklık katsayısı · 85
Sınıflandırma · 18, 95, 117, 133
Su tutma yapıları · 117, 126

Ş

Şekil faktörü · 85
Şev göçmesi · 7, 21

T

Tahkimat · 13, 50, 134
Taşkın öteleme · 96, 98
Taşkın potansiyeli · 3, 82, 116
Tekstür oranı · 85, 88
Trafik yükü · 33, 134

U

Uzunluk oranı · 85

V

Verevlik açısı · 3, 30, 132

Y

Yağış – akış ilişkisi · 76
Yaklaşım dolgusu · 140
Yapısal değerlendirme · 9, 113
Yerel oyulma · 6, 135
Yüzey akış uzunluğu · 83, 85



GAZİ GELECEKTİR,,