YIKILAN AKARSU KÖPRÜLERİ ÜZERİNE GÖRÜŞLER

A. Melih YANMAZ (*)

ÖZET

Akarsu köprüleri büyük taşkınlar esnasında genellikle hasar görmekte veya yıkılmaktadır. Bu durumda zaman zaman can kaybı da olmak üzere büyük miktarda maddi hasar oluşmakta ve köprü tekrar onarılana kadar trafik uzun süre aksamaktadır. Bu olumsuzlukların önlenmesi veya en aza indirilmesi için hem tasarım hem de işletim esnasında olası tüm faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Akarsu köprülerinin alt yapı elemanlarının tasarımında hidrolik etkenler detaylı olarak gözden geçirilmeli ve yapı-su-zemin etkileşimi değerlendirilmelidir. Tasarım sonrası kullanım safhasında mevcut köprülerin temel durumları sürekli olarak incelenmeli ve olası taşkınlardan önce yapı direncinin arttırılması yoluna gidilmelidir. Bu makalede köprü yıkılmalarında rol oynayan hidrolik etkenler gözden geçirilmiş, hidrolik tasarım ve yapının işletimi safhalarında göz önüne alınacak faktörler tartışılmıştır.

GİRİŞ

Akarsu köprülerinde alt yapı elemanlarının akım alanı içinde konuşlanması nedeniyle yapı-su-zemin etkileşimi artmaktadır. Bu nedenle geniş akarsuları geçmesi planlanan köprülerin tasarımı, bu etkileşimin derecesine göre karmaşık olmaktadır. Klasik köprü tasarımı anlayışında öncelikle yapısal etkenler düşünülmüş, hidrolik detaylar üzerinde fazla durulmamıştır. Halbuki son yıllarda yürütülen istatistiksel araştırmalarda büyük taşkınlar esnasında köprü yıkılmalarının ana nedenlerinin hidrolik etkenlere bağlı olduğu gözlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Karayolları Birliğince bu ülkede her yıl ortalama 50 köprünün hidrolik etkenlerle yıkıldığı belirtilmektedir. Shirhole ve Holt (1991) tarafından yürütülmüş bir çalışmada 1950 yılından itibaren A.B.D'de yıkılan 823 köprüden %60'ının hidrolik etkenlerle yıkıldığı belirtilmiştir. Bu etkenlerin başında ayaklar etrafındaki aşırı taban oyulmaları, ayaklar arasındaki açıklığın akımla taşınan malzemeyle birikmesi sonucunda membada ve köprü açıklığında su seviyesinin artması, akımla taşınan kaba malzemenin köprü alt yapı elemanlarına uyguladığı dinamik itki, köprü açıklığının yeterli genişlikte olmaması nedeniyle açıklıkta oluşabilecek hidrolik sıçrama, basınçlı ve savak tipi akımların oluşması, insan kaynaklı problemler, vb. gelmektedir (Yanmaz, 2002).

Yapı-su-zemin etkileşiminin yeterince değerlendirilmemesi sonucunda yapısal açıdan çok sağlam olan bir köprü, şiddetli taşkınlarda yıkılabilmektedir. Bilhassa kentsel yerleşim yerlerindeki geniş akarsuları geçen ve üzerinde yoğun trafik bulunan köprülerde bu etkileşim, her türlü yükleme ve hidrolik koşulların olası tüm kombinasyonlarında değerlendirilmelidir.

HİDROLİK ETKENLERDEN KAYNAKLANAN KÖPRÜ YIKILMALARI

Büyük taşkınlar esnasında her yıl çok sayıda köprü yıkılmaktadır. Köprü yıkılmalarının ardından olayın nedenleri araştırılmalı ve tasarım detayları tekrar kontrol edilmelidir. Yaşanan deneyimlerin literatür ortamında veya kongrelerde sunulması ve tartışılması, tüm dünyadaki tasarımcıların bilgi alış verişine olanak sağlayacaktır. Bu bağlamda sunulmuş bazı çalışmaların tasarımcılara ışık tutacağı açıktır.

Brice ve Blodgett'in (1978) ABD ve Kanada'da, Melville ve Coleman'ın (2000) Yeni Zelanda'da hidrolik nedenlerle hasara uğrayan köprülerdeki problemler ve çözüm yöntemleriyle ilgili çalışmaları bu konuya örnek olarak gösterilebilir. Ülkemizde son yıllarda pek çok köprünün yıkılmasına veya ağır hasar görmesine neden olan taşkın olayları yaşanmıştır. Bunlardan bazıları, 1990 Haziran ayında Trabzon, 1991 Mayıs ayında Malatya, 1998 Mayıs ayında Bartın, 1998 Ağustos ayında Doğu Karadeniz ve 2001 Mayıs ayında Hatay civarlarında yaşanmıştır. Şekil 1'de 1998 yılı Mayıs ayında Devrek ilçe merkezinde ağır hasar gören bir köprü sunulmaktadır.

Ülkemizde genellikle aşırı taşkınlar sonrasında yıkılmaları veya ağır hasara uğramalarıyla gündeme gelen akarsu köprülerine karşın, bu konu gelişmiş ülkelerde sürekli araştırma konusu halinde olup, uluslararası su mühendisliği kongrelerinin önemli oturumlarını teşkil etmektedir. A.B.D.'de 1991 yılından

(*) Prof. Dr., ODTÜ, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara



Şekil 1. Mayıs 1998 taşkınında Devrek'te ağır hasar gören bir köprü (Yanmaz, 2002)

itibaren akarsu köprülerinin durumları incelenmektedir. Şubat 1998 itibariyle 66000 akarsu köprüsünün orta ve kenar ayaklar etrafındaki oyulma problemine karşı hassas olduğu, 17000 kadarının ise oyulma problemine karşı kritik durumda olduğu tespit edilmiştir. Hasara duyarlı köprülerin temelleri sürekli gözlem altında tutulmakta, köprü ve çevresinde gerekli onarım çalışmaları sürdürülmektedir (Lagasse ve diğerleri, 1998). Bu gözlemler zaman zaman dalgıçların da katıldığı görsel tespitlerle veya oyulma ölçerlerle sürdürülmektedir.

Köprü emniyetini azaltan başlıca hidrolik etkenlerin nedenleri ve sonuçları Tablo 1'de kısaca özetlenmiş ve detaylar üzerinde durulmamıştır. Herhangi bir köprüde bu etkenlerin bazıları veya hepsi birden önemli olabilir. Bu nedenle mevcut köprülerde veya yeni tasarlanacak köprülerde Tablo 1'de sunulan etkenlerden hangilerinin oluşabileceği değerlendirilmeli ve bu etkenleri ortadan kaldırmak veya etkilerini azaltmak yönünde bir dizi koruyucu önlem alınması yoluna gidilmelidir.

KÖPRÜLERDE YAPI-SU-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Üzerinde taşıt veya yaya trafiği taşıyan ve diğer yapılara oranla rüzgar ve taşkın gibi bazı dinamik yüklemelere daha savunmasız bir şekilde maruz kalan köprülerin tasarımı hidrolik, yapısal ve geoteknik faktörlerin etkileşimi nedeniyle oldukça karmaşıktır

Köprü tasarımında ilk adım, uygun bir yapım yeri tespit edilmesidir. Bu amaçla akarsuyun planda nispeten düz ve açıklığın az olduğu bir aks seçilmelidir. Yapısal açıdan mümkünse orta ayakların akım alanı içine konuşlandırılmaması uygun olacaktır. Ancak bazı durumlarda karayolu veya demiryolunun zorunlu güzergahı nedeniyle akarsu daha geniş açıklıktan veya kurptan geçilmek durumunda kalabilir. Bu durumda olası tüm hidrolik etkenler değerlendirilmelidir. Bilindiği gibi köprü yapısal tasarımı, üst yapı ve alt yapı elemanlarının tasarımından oluşmaktadır. Üst yapı elemanlarının tasarımı, yapının konumuna ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak seçilen ölü ve hareketli yüklemeler altında köprü döşeme ve taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılması ve gerekli ayak sayısının ve boyutlarının saptanmasını kapsamaktadır.

Alt yapı elemanları, akarsu akımına sürekli maruz kalan elemanlardır. Bu elemanların tasarımı, yapısal tasarımda bulunan boyutların hidrolik yeterlik açısından denenmesi, gerekirse düzeltilmesi ve sömel derinliklerinin saptanması aşamalarını kapsar. Geoteknik tasarım ise köprü temelinin boyutlandırılmasını kapsamaktadır. Alt yapı elemanları olan orta ve kenar ayaklar tabliyenin taşıdığı yükü emniyetli olarak temele aktarmakla yükümlüdür. Amerikan Karayoları ve Ulaştırma Birliği (AASHTO), köprülere etkiyen yükleri genel olarak şöyle sınıflandırmıştır: Ölü yükler, hareketli yükler ve bunların çarpma etkisi, rüzgar yükleri, boyuna yükler, merkezkaç kuvveti, sıcaklık gerilmeleri, toprak basıncı, alttan kaldırma, buz yükleri, akım kuvvetleri, rötre kısalması, inşaat sırasında elemanların tasarlandığı yükler dışında maruz kaldığı ilave yükler ve deprem yüklerinden oluşmaktadır. Hareketli yükler, yapıda titreşim yaratarak gerilmelerin artmasına neden olurlar. Köprü alt yapı elemanlarından olan orta ve kenar ayaklar, akımın yarattığı statik ve dinamik kuvvetlerle, akarsuda yüzen nesnelerin çarpma etkilerine karşı dayanacak mukavemette tasarlanmalıdır. Kenar ayakların tasarımında arkadaki toprak basıncı ve su tablası seviyesinin değişimi de ayrıca göz önüne alınmalıdır. Köprünün yerine bağlı olarak deprem kuvvetleri de tasarıma dahil edilmelidir. Etkiyen kuvvetlerin büyüklükleri düşünüldüğünde yapısal kuvvetlerin hidrolik kuvvetlerden çok daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ancak hidrolik etkenlerin yaratacağı olumsuz koşullar yapısal açıdan sağlam bir köprüde bile hasar yaratabilir. Köprü ekonomik ömrü boyunca maruz kalabileceği tüm yüklemelere karşı emniyetli olarak tasarlanmalıdır. Bu tasarımın yeterliliği, köprü civarındaki debinin süreklilik eğrisinden bulunan tüm akım koşullarında da denenmelidir (Yanmaz ve Kürkçüoğlu, 2000; Yanmaz ve Bulut, 2001). Tüm kuvvetlerin en kritik değerlerinin aynı anda oluşması olasılığının çok düşük olması nedeniyle tasarım yüklemesinin kuvvetlerin bir kombinasyonu olarak alınması gerekmektedir. Bu kombinasyonlar ve yük faktörleri AASHTO (1998)



Şekil 2. Ağustos 1998 Doğu Karadeniz taşkınında akımla sürüklenen kayalar (Yanmaz, 2002)

Tablo 1. Köprü yıkılmalarındaki başlıca hidrolik etkenlerin neden ve sonuçları

ETKEN	NEDEN	SONUÇ
Doğal nedenlerle uzun dönemde taban seviyesi değişimleri	Akarsu doğal rejimine ve havza hidrometeorolojik 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 veya bağlama yapılması, arazi kullanımındaki olumsuzluklarla havza sediman veriminin artması	Akarsuda genişletme, derinleştirme, yargın inşası, baraj ve bağlama yapıları gibi etkenlerle taban rejiminin bozulması, taban malzmesi 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 arttırması
Ayaklar arasındaki açıklığın malzeme ile dolması	Altyapı 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 (Bkz.Şekil 2) 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 akımlar köprü trafiğinin maruz kaldığı tehlike, bu tip akımlarda düşey daralma etkisiyle tabanda oyulma eğiliminin artması
Köprü yeri seçimindeki hata	Depolama tesislerin yakın mansabı Çevirme tesislerinin yakın 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
Temel durumu	Sömel seviyesinin yeterince derinde olmaması	Tabanda oyulma potansiyeli yüksek köprülerde sığ sömel seviyesine kadar oyulma devam ederse büyüyen sömel genişliği nedeniyle oyulma daha da artar köprü yıkılabilir.

şartnamesinde detaylı olarak verilmektedir. Yük kombinasyonu köprünün yersel koşullarına, tipine ve trafik yoğunluğuna göre seçilebilir.

Köprülere etkiyen ve rastgele değişim gösteren yüklerin yeterince hassas modellenememesi nedeniyle tasarımda mertebesi hassas olarak tespit edilemeyen bir belirsizlik mevcuttur. Bu durum kaçınılmaz bir risk oluşturmaktadır (Yanmaz ve Çelebi, 2002). Ancak bu riskin mertebesini azaltmak için yapı-su-zemin etkileşiminin sağlıklı değerlendirilmesi gerekir. Yapısal, hidrolik ve temel tasarımlarından herhangi birinin diğer tasarımı olumsuz etkilememesi gerekir. Köprü ayakları nedeniyle oluşan daralmanın yarattığı hidrolik ve yapısal etkileşim, daralmanın mertebesine ve köprü açıklığındaki alt yapı elemanlarının geometrik özelliklerine bağlıdır. Olumsuz hidrolik koşullar köprü temel seviyesinde oyulma problemi oluşturabilir. Örneğin, emniyet faktörü çok yüksek alınmış bir yapısal tasarım sonucunda köprü açıklığının çok daralması nedeniyle açıklıkta oluşabilecek hidrolik sıçrama, orta ve kenar ayaklar etrafında oluşacak aşırı yerel oyulmalar ve kesit daralması nedeniyle açıklık zemini boyunca oluşacak taban seviyesi alçalmaları köprü temellerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu etkenlere ek olarak, taşkınlar esnasında taşınan ağaç parçalarının ve kaba taban malzemesinin ayaklar arasındaki açıklığı tıkaması sonucunda membada yükselen su seviyesi, köprüde basınçlı veya savak tipi akımların oluşmasına neden olabilir. 5-7 Ağustos 1998 Doğu Karadeniz taşkınında Sürmene çayı vadisinin aşırı yağış alması sonucunda oluşan toprak kaymasıyla büyük kaya parçaları akarsu tabanına inmiş ve akımla sürüklenerek çok büyük bir dinamik itkiyle taşkın yatağındaki yapılara büyük zararlar vermiştir (Bkz. Şekil 2). 20-21 Mayıs 1998 İç Batı Karadeniz taşkınında da benzer hasarlar oluşmuştur. Mengen'in güneybatısındaki Gökçesu beldesi yakınlarından geçen Büyüksu deresinin şevlerinden sökülen ağaçların civardaki köprü ayakları etrafındaki açıklığı tıkamalarıyla tabanda oyulma potansiyeli artmıştır. Normal iklim koşullarında işlevlerini sorunsuz olarak yerine getiren köprülerin ani taşkınlar esnasında fazla hasar görmelerinin veya tamamen yıkılmalarının ana nedenleri yukarıda sıralanan etkenlerdir.

HİDROLİK TASARIMDA İZLENECEK YOL

Su kaynakları problemlerinin niteliklerinden birisi, problemin kendine özgü olmasıdır. Bu özelliğe göre problem, projenin uygulanacağı yerlere göre farklılık gösterir. Dolayısıyla, havza, akarsu, hatta aynı akarsu üzerindeki değişik kesitler bazında yersel koşullar ve proje gereksinimleri farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle yapı-su-zemin etkileşimine dayalı detaylı bir tasarımda standart bir tip proje uygulamak doğru değildir. Bu bölümde sadece hidrolik tasarıma ışık tutacak adımlar maddeler halinde tartışılacaktır.

a) Eğitim aşaması:

Tasarım mühendisleri temel kavramlara hakim olmalı ve mesleki gelişmeleri takip etmelidir. Kamu ve özel kuruluşların bu gelişmeleri takip etmeye olanak sağlayacak düzeyde araştırma bütçeleri olmalıdır. Bu bütçe kapsamında tasarım mühendisi, ulusal veya uluslararası kongre ve seminer etkinliklerini takip etmelidir. Böylece konunun uzmanlarıyla tanışma ve bilgi alış verişi olanağı doğmaktadır. Ülkemiz mühendislik hizmetlerindeki problemler arasında eğitimin mesleğin icrası boyunca sürdürülmemesi önemli yer tutmaktadır. Bu nedenle düzenlenen mesleki etkinliklere katılımın sağlanması çok önemlidir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi bünyesinde görev yapan Sürekli Eğitim Merkezi (SEM), kısa süreli mesleki seminerler vermektedir. Örneğin, bu merkezde "Köprülerin Hidrolik Tasarımı" konulu bir seminerin açılması, yaklaşık 10 yıl boyunca yazar tarafından önerilmiştir. Ancak bu seminerin notlarının hazırlanmış ve duyurularının üniversite kanalıyla kamu ve özel kurumlara yapılmış olmasına karşın, hiç bir başvuru olmadığı için seminer bugüne kadar maalesef gerçekleştirilememiştir. Çağdaş tasarım ve çözümleme yöntemlerinin öğrenilmesi için ilgili literatürün yakından takip edilmesi, kurumlarca gerekli mühendislik dergilerinin alınması ve bu kaynakların tasarımcılar tarafından mutlaka takip edilmesi çok önemlidir. İlgili kurumlar, üniversitelerde konuyla ilgili akademisyenlerle diyalog içinde olmalı ve onları kurumlarına davet ederek seminerler verdirmeli ve ortaklaşa projeler yapma yollarını açık tutmalıdır. Ayrıca akademik çalışmaların rahat ve sağlıklı yürüyebilmesi için kamu kuruluşlarının ellerinde mevcut olan doneleri akademisyenlere ücretsiz olarak vermeleri gerekir. Done alınmadan yürütülen çalışmalar pratik anlamlarını yitirmekte ve fantezi çalışmalar halini almaktadır. Bu durumda akademisyenler geliştirdikleri modelleri, hayali doneyle veya gelişmiş ülkelerin yayınladıkları donelerle çalıştırmaktadır.

Köprülerin hidrolik tasarımı konusundaki zorlukların başında bu konuyu inceleyen eser sayısının çok kısıtlı olması gelmektedir. Dünya literatüründe ayaklar etrafındaki oyulmalarla ilgili fazla makale olmasına karşın, köprü hidroliğini bir bütün olarak inceleyen eser yok denecek kadar azdır. Bu konudaki açığı kısmen de olsa doldurmak için yazar, ekte sunulan Köprü Hidroliği adlı kitabı yayınlamştır (Bkz. Yanmaz, 2002).

b) Hidrolojik tasarım aşaması:

Sadece köprü yapılacak kesitin yakın civarının değil, tüm havzanın hidrolojik rejiminin irdelenmesi çok önemlidir. Havzanın yağış-akış ilişkilerinin saptanmasında ilgili hidrometeorolojik doneye ek olarak havza kullanımı, toprak yapısı, bitki örtüsü, havza eğimi vb. parametreler hassas olarak bulunmalıdır. Bu parametrelerin belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılmalıdır. Havza yağış-akış bağıntılarının bulunmasında klasik yöntemler uzun ve zahmetli olduğundan gelişmiş yazılımlar, örneğin HEC-HMS (USACE, 2001) kullanılabilir. Hidrolojik tasarımda köprü ve civardaki düzenleme yapılarının toplam maliyetini en aza indiren dönüş aralığı, hidro-ekonomik çözümlemeyle bulunmalıdır (Yanmaz ve Coşkun, 1995). Bu dönüş aralığına karşı gelen debi havzaya uygun bir frekans çözümlemesinden bulunabilir. Burada toplam maliyet, inşaat maliyeti ile taşkın risk maliyetinin toplamı olarak alınmalıdır. Frekans çözümlemesinde çok sayıda olasılık dağılım fonksiyonu denenmeli ve bu fonksiyonların parametreleri yeni yöntemlerle, örneğin L-momentleri yöntemiyle bulunmalıdır. Ayrıca tek istasyon bazındaki noktasal çözümleme yerine tüm havza özelliklerini yansıtacak şekilde bölgesel frekans çözümlemesi yapılmalıdır.

c) Hidrolik tasarım aşaması:

Yapısal tasarım sonucunda belli olan köprü açıklığı tipi, ayak sayısı ve boyutları kullanılarak köprü açıklığındaki akım koşulları incelenmelidir. Ayrıca köprünün membada yaratacağı kabarmayla, köprü tabliyesi alt kotunun yeterli olup olmadığı kontrol edilmeli ve membadaki sedde veya kıyı koruma duvarlarının kret yükseklikleri belirlenmelidir. Köprü açıklığını da içeren ve akarsu profili boyunca hesaplanan su yüzü profili olası tüm akım koşullarında bulunmalıdır. Zira düşük akımlardaki taban seviyesi yükselme eğilimi ile yüksek akımlardaki taban seviyesi alçalma potansiyeli hem köprü, hem de civardaki yapıların temel dengelerinin araştırılması için gereklidir. Bu amaçla çeşitli yazılımlar, örneğin, HEC-RAS programı (USACE, 1998) kullanılabilir. Bu program, zamanla değişen veya değişmeyen, tabanı hareketli veya hareketsiz bir boyutlu akımlarda su yüzü profili ve köprülerdeki taban oyulmaları hesaplarını yapabilmektedir. Ayak sömellerinin derinliğinin saptanmasında uygun bir oyulma bağıntısı kullanılmalıdır (Bkz. Yanmaz, 2002). Ancak oyulma bağıntıları, genellikle laboratuvar verisine dayanan ampirik ilişkiler olduğundan herhangi bir uygulamada birbirlerinden oldukça farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, köprü tasarımı yapılacak bölgedeki tasarım şartlarına uygun koşullarda geliştirilmiş bir yöntem seçilmelidir. Bu yöntemlerle ve geçerlilik şartlarıyla ilgili detaylı bilgi Yanmaz (2002)'den alınabilir.

Ayrıca akarsu en-kesiti boyunca oyulma rejimi araştırılmalıdır. Taşkın yataklı akarsularda kaba taban malzemeli ve sığ derinlikteki taşkın yataklarında temiz su oyulması koşulları mevcut iken, ana yatakta bilhassa taşkınlar esnasında hareketli taban oyulmaları söz konusu olmaktadır. Seçilen sömel derinliğinin emniyet seviyesini kontrol etmek için bir güvenilirlik yöntemi kullanılmalıdır. Yanmaz (2002) tarafından orta ve kenar ayaklar etrafındaki oyulmalar için geliştirilmiş güvenilirlik yöntemleri, Köprü Hidroliği adlı eserde (Yanmaz, 2002) mevcuttur.

d) Köprünün işletimi aşaması:
Bilhassa taşkınlardan sonra köprü temel seviyesinde gözlemler yapılmalı ve oyulma çukurunun durumu incelenmelidir. En basit koruyucu önlem olarak oyulma çukurunun makul büyüklükte riprapla doldurulması düşünülebilir. Böylece ileride oluşabilecek olası taşkınlar öncesinde yapı emniyeti arttırılarak olası oturma problemleri kontrol edilebilir. Köprü ayakları etrafında oyulmaya karşı alınacak pek çok düzenleme önlemi vardır. Ancak bu düzenlemeler, bu makalenin kapsamı dışında bırakılmıştır. İlgili okuyucuların Yanmaz (2002) kaynağına başvurması önerilmektedir. Halen A.B.D.'de yürütülen çalışmalara benzer şekilde mevcut akarsu köprülerinin künyesi çıkarılarak periyodik olarak gözlem altına alınmalıdır. Büyük akarsuları geçen geniş köprülerde ayaklar etrafındaki taban seviyesi oyulma ölçerlerle belirlenebilir. Bu aygıtlar, genellikle gönderilen ses dalgasının yansıma süresinden oyulma derinliğinin bulunmasına olanak sağlamaktadır. Portatif aygıt bir bot üzerinden kullanılabilir. Sabit aygıt ise köprü ayağı üzerine monte edilebilir. Ancak sabit aygıtlarda maksimum oyulma derinliğinin aygıttan uzakta oluşması durumunda, örneğin kenar ayak etrafında, gerekli bilgi alınamamış olur. Ayrıca sabit aygıtlar aşırı taşkınlarda akımla sürüklenebilir.

SONUÇLAR

Bu makalede hidrolik etkenlerle yıkılan köprülerdeki problemler tartışılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur. Konunun eğitim boyutu kapsamında tasarım mühendislerinin akarsu mühendisliği konularındaki gelişmeleri takip etmeleri, meslek içi eğitim programlarına katılmaları, yurt içi ve dışındaki kongreleri izlemeleri sayılabilir. Hidrolojik tasarım havza bazındaki bilgiler kullanılarak gerçekleştirilmeli ve hidro-ekonomik çözümlemeyle köprü tasarım dönüş aralığı bulunmalıdır. Hidrolik tasarım, köprü açıklığındaki ve akarsu boyunca akımın modellenmesi, değişik akım koşullarında akarsu katı madde taşıma kapasitesinin ve su yüzü profillerinin belirlenmesi ve ayaklar etrafındaki maksimum oyulma derinliklerinin bulunmasını kapsamaktadır. Dolayısıyla hidrolik tasarım, emniyetli bir temel tasarımına destek olmaktadır. Tüm tasarım aşamasında yapı-su-zemin etkileşimi incelenmeli ve tasarım adımları arasındaki uyum gözetilmelidir. İşletime açılan köprülerin temel durumları sürekli olarak izlenmeli ve gerekli onarım işleri acilen yapılmalıdır. Köprülerin durumlarının izlenmesi ve gerekli onarımlar için ayrılan ödeneklere ve mevcut yapısal güvenliğe paralel olarak alınması gereken önlemler kısa, orta ve uzun vadede tanımlanmalı ve yürürlüğe konulmalıdır.

KAYNAKLAR

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Standard Specifications for Highway Bridges, Washington, D.C., 1998.

Brice, J.C., ve Blodgett, J.C. "Countermeasures for Hydraulic Problems at Bridges", Cilt 1-2, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., ABD, 1978.

Lagasse, P.F., Byars, M.S., ve Zevenbergen, L. W. "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures", Proceedings International Water Resources Engineering Conference, ASCE, 1:5-14, Memphis, ABD, 1998.

Melville, B.W., ve Coleman, S.E. Bridge Scour, Water Resources Publications, LLC, Colorado, ABD, 2000.

Shirhole, A.M., ve Holt, R.C. Planning for a Comprehensive Bridge Safety Program, Transportation Research Record 1290, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., ABD, 1, 39-50, 1991.

USACE (United States Army Corps of Engineers) "HEC-HMS: Hydrologic Modelling System2, User's Manual, Version 2.1, Davis, California, ABD, 2001.

USACE (United States Army Corps of Engineers) "HEC-RAS Users Manual Version 2.2." Davis, CA, ABD, 1998.

Yanmaz, A.M. Köprü Hidroliği, ODTÜ Yayıncılık A.Ş., ISBN: 975-7064-55-6, Ankara, 2002.

Yanmaz, A.M. ve Çelebi, T. "Assessment of Uncertainties for Local Scouring Parameters Around Bridge Abutments", CD-ROM Proceedings of 2002 Conference on Water Resources Planning and Management, ASCE, Roanoke, ABD, 2002.

Yanmaz, A. M., ve Bulut, F. "Computer Aided Analysis of Flow Through River Bridges", CD-ROM Proceedings of World Water and Environmental Sciences Congress, ASCE, ISBN: 07844-0569-7, Orlando, ABD, 2001.

Yanmaz, A.M., ve Kürkçüoğlu, S. "Assessment of Hydraulic and Structural Interactions for Bridges", CD-ROM Proc. 4th International Conference on Hydroscience and Engineering, Seul, Kore, 2000.

Yanmaz, A.M., ve Coşkun, F. "Hydrological Aspects of Bridge Design: Case Study", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 121(6), 411-418, 1995.