

# TÜPRAŞ KÖPRÜSÜ İÇİN NEHİR YATAĞI DÜZENLEMESİ

Prof. Dr. Ali GÜNYAKTI – DAÜ, İnşaat Müh. Bölümü, Gazimağusa, KKTC  
[ali.gunyakti@emu.edu.tr](mailto:ali.gunyakti@emu.edu.tr)

## ÖZET

Kırıkkale TÜPRAŞ Rafinerisi'nin ana ulaşım yapısı olan Kızılırmak üzerindeki köprü, 1977 yılında inşa edilmiştir. Yeterince granüler zemine gömülen dairesel kesitli köprü ayakları, sürtünme ve uç reaksiyonu ile gelen yükü dengeliyecek biçimde projelendirilmiştir. Köprü menbaanda daha yukardaki kesimlerde inşa edilen barajlara ek olarak 1987 de tamamlanan Kapulukaya barajı, havzadan gelen sedimanı tamamen kesmiştir. Diğer taraftan, köprü mansabında kalan nehir yatağından çıkarılan kum – çakıl, köprü yakın alanındaki nehir rejimini olumsuz etkilemiştir. Sediman bütçesi oldukça değişen kesimdeki ayakların etrafında genel oyulma yanında yerel oyulma gözlenmiş ve 1994 de ayakların civarında taban kotu ortalama 3.65 m alçalmıştır. Bu köprü için teorik analizler ve fiziksel deneylerle desteklenen bir nehir yatağı düzenleme ve köprü rehabilitasyon çalışması tavsiye edilmiştir. Geliştirilen projeye göre, 50 metre köprü mansabında yer alan bir düşüm yatağı ile köprü kesimindeki gido duvarları 1995 de inşa edildikten sonra köprü ayakları etrafı orijinal seviyeye kadar yerel sedimanla doldurulup üzeri de daha iri malzemeyle kaplanmıştır. Bu düşüm yatağı, oluşan sel rejiminden nehirdeki doğal sakin rejim şartlarına sorunsuz geçişi sağlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Genel oyulma, yerel oyulma, düşüm yatağı, nehir düzenlemesi

## ABSRTACT

The bridge on the Kizilirmak River being the main connection structure to Kirikkale TUBRAS Refinery, has been constructed in 1977. The circular bridge piers that have been embeded enough in a granular bed, were designed to support the load by end bearing and surface friction. In addition to previously constructed dams on far upstream of the site, the Kapulukaya dam constructed in 1987 has completely cut the sediment load generated from the catchment area. On the other hand, sand and gravel extraction from the downstream river bed of this bridge disturbed the sediment budget of the river, especially nearby the bridge. Around the bridge piers where the sediment regime has been disturbed very much, a general erosion has started besides the erosion due to contraction and local scour just around the bridge piers, and it was observed that the lowering of the bottom elevation at the bridge section exceeded 3.65 m in 1994. After conducting theoretical and experimantal studies, it was proposed a river training and rehabilitation work for this bridge. According to the developed project, a stilling basin 50 m downstream area and guide walls around the bridge were constructed in 1995, then the upstream bottom elevation was increased to the original level by filling with local sediment and by covering areas around the piers by courser materials. This stilling basin provides a smooth passage from supercritical flow conditions to the natural subcritical ones at the downstream section.

**Key words:** General erosion, local scour, stilling basin, river training

## 1. GİRİŞ

Kırıkkale TÜPRAŞ Rafinerisi'nin ana ulaşım yapısı olan Kızılırmak üzerindeki köprü, 1977 yılında ayırık taneli genç alüvyon sedimandan oluşan bir yatak içinde inşa edilmiştir. İlk 4 metrelik zeminde sediman dane iriliği 3 ile 30 mm arasında değişmektedir. Ana tablayı taşıyan altı eksen üzerinde sıralanmış 4 + 4 sayıda gruplardan oluşan dairesel kesitli ayaklar, yeterince zemine gömülerek sürtünme ve uç reaksiyon ile gelen yükü dengeliyecek biçimde projelendirilmiştir.

Kızılırmak üzerinde ve köprü yukarısında yer alan Hirfanlı, Kesikköprü ve Kapulukaya Barajları havzadan gelebilecek sedimanı kesmiştir. Bilhassa köprü inşaatından 10 yıl sonra işletmeye alınan ve sadece 5.5 km menbaadaki Kapulukaya barajının etkisi yanında köprü mansabında işletilen kum – çakıl ocakları ile nehir sediman rejiminin bozulması sonucu tabanda genel oyulma meydana gelmiştir. Ayrıca, Kızılırmak nehri, köprünün 1 km yukarısında 90 derecelik bir dönüş yapmakta ve ikincil akımlarla nehir rejimi köprü civarında bile düzensizlik sergilemektedir. Bu tür olumsuzluklara ek olarak köprü kesitinde nehir daralması nedeniyle bir taban erozyonu söz konusudur. Köprü ayaklarının akımı engellemesi sonucu oluşan çevrıntiler ile meydana gelen yerel oyulma, gözlemlenen genel oyulmaya eklenmiştir. Bu üç tür oyulma etkisi sonucu ayaklar etrafında bazı yerlerde ölçülemeyen derin çukurlar yanında taban kotunun ortalama 3.65 m lik alçalması ayakların yüzeyindeki sürtünme kuvvetini önemli düzeyde azaltmıştır. Stratejik önemdeki bu köprünün ayaklarının zeminle olan sürtünmesi azalırken burkulma boyunun uzaması sonucu yıkılma riski artmıştır.

Dolu tankerler bu köprüden geçerken yapıdaki sarsıntılar ürkütücü boyutlara çıktığından TÜPRAŞ yetkilileri, acil önlemler almaya karar vermişlerdir. Köprünün güçlendirilmesi ve nehir yatağının düzenlenmesi için hızla bir proje geliştirilmiştir. Teorik ve deneysel çalışmalar için yeterli veri sağlanamadığından bazı kabuller yapılmıştır. Örneğin, yukarı havzada bulunan 3 baraj nedeniyle 1000 yıllık debi yerine, 100 yılda bir olasılıklı değer olarak deneylerde proje debisi için  $572 \text{ m}^3/\text{s}$  benimsenmiştir [4]. Teorik ve deneysel çalışmalar sonunda, yapılan öneriler doğrultusunda 1995 yazında proje uygulaması yapılmıştır. Kurumun İnşaat Dairesi kontrolünde, su seviyesini artırıp hızı veya tabandaki kayma gerilmesini azaltacak bir önlem olarak, önce köprüden 50 m mansabda düşü yatağı oluşumu iki etapta tamamlanmıştır. Daha sonra köprü ayakları etrafı yerel malzeme ile 1977 deki proje nehir taban kotuna yükseltilmiştir. Proje raporunda belirtilen ve yerel oyulmaların oluşabileceği kesimler ise daha iri malzemelerle kaplanmıştır. Köprü ayakları oyulmaya karşı etkili biçimde korunurken sağ ve sol sahili hem membaada hem de mansabda koruyacak şev koruma yapıları inşaa edilmiştir. Köprü etrafında uygulanan ilgili koruma ve nehir düzenleme yapıları ile bu köprü görevini sorunsuzca yerine getirmektedir.

## 2. OYULMANIN TEORİK İNCELENMESİ

Yatağı ayırık daneli (kohezyonsuz) sedimandan oluşan nehirlerde, akım ve sediman özelliklerine bağlı olarak, “oyulma – yığılma – denge hali” üçlüsünden biri gözlenir [3, 11]. Başka bir deyişle, bu üç rejim halinden birinin geçerli olduğu nehir yatağındaki durumu akım hızı, su derinliği, sediman yükü, taban eğimi, taban ve şev malzemesinin fiziksel özellikleri, akıma karşı gelen yapay ve doğal engeller belirler. Akımın erozyon gücü, genelde akım hızı (veya taban kayma gerilmesi) ile orantılı olarak artarak tabanda aşınmaya neden olur ve bir denge durumu oluşuncaya kadar erozyon devam eder. Diğer taraftan, akım hızının (veya

kayma gerilmesinin) kritik değerlerin altına düştüğü yerlerde ise yığılma gözlenir. Hidrolik şartların yerel şartlarla dengelendiği kararlı durumda, gelen sediman miktarı ile giden sediman miktarı eşitlendiğinden taban kotunda değişim olmaz. Ancak, TÜPRAŞ Köprüsü'nde olduğu gibi, nehirde denge hali hüküm sürerken; mansabda bir baraj inşaatı, nehir yatağını daraltarak yapılan bir köprü inşaatı, hemen mansabda veya menbaada nehirde kum çıkarma şeklinde sonradan yapılan müdehaleler akarsu rejimini bozmaktadır. Bu tür etkinliklerden kaynaklanacak olası değişimler doğru tasarlanmış akarsu düzenlemeleri ile azaltılabilir.

## 2.1. Nehir Tabanında Genel Oyulma

Ayrık daneli bir nehir yatağı, taşkınlar esnasında aynı anda hem oyulma hem de yığılma sergileyebilir. Taşkın debisi artarken akımın erozyon gücü de artarak, menbaadan yeterli malzeme gelmiyorsa taban oyulur. Taşkın debisinin azalma safhasında ise genelde yığılma söz konusudur. Buradan anlaşılacağı gibi nehir debisindeki değişimlere bağlı olarak nehrin belirli kesiminde üç tip akım rejimi de gözlenebilir.

Nehir tabanındaki malzemenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak bir "aşınabilirlik indeksi" vardır. Silt ve çakıl arasındaki taban malzemesinin oyulmaya karşı direncini temsil eden bu indeks için Annandale (1995) [1]

$$K = M_s * K_b * K_d * J_s \quad (1)$$

bağintısını vermiştir. Burada

- $K$  = aşınabilirlik indeksi,
- $M_s$  = taban malzemesinin içsel sürtünme parametresi,
- $K_b$  = malzeme dane iriliği parametresi,
- $K_d$  = kayma gerilmesi parametresi, ve
- $J_s$  = görelî pozisyon parametresi.

$M_s$  için "Mega Pascal" (MPa) olarak ayrık malzemenin 10 MPa dan büyük olan basınç dayanım değeri alınır.  $K_b$  ise ayrık daneli malzemenin ortalama dane büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak belirlenir.  $K_d$  için içsel sürtünme açısının tanjantı kullanılır. Taş ve iri malzeme için önemli olan  $J_s$  her bir parçanın akım yönüne karşı konumu ile alakalıdır. Bu parametreler arazi ve laboratuvar deneyleri ile bulunur.

Aynı araştırmacı akarsuyun erozyon gücü için de

$$P = \gamma * q * \Delta E \quad (2)$$

bağintısını teklif etmiştir. Burada

- $P$  = akarsuyun erozyon gücü ( $\text{kW/m}^2$ ),
- $\gamma$  = suyun özgül ağırlığı ( $9.81 \text{ kN/m}^3$ ),
- $q$  = birim debi ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ), ve
- $\Delta E$  = akımın birim uzunluğu içinde enerjî yükselti kaybı (m/m).

Buradan anlaşılacağı gibi, taşkın esnasında birim debinin artması ile taban malzemesinin erozyon direncini aşan akarsu erozyon gücü, tabanda oyulmaya neden olur. Akarsu erozyon gücünün de

$$P_c = (K)^{3/4} \quad (3)$$

ifadesi ile verilen bir kritik değeri vardır. Eğer akım şartları bu kritik değerden büyükse, tabanda kesin oyulma var demektir. Ancak, aynı akım şartlarında, oyulma sonucu erozyon gücü tedricen azalacağından giderek denge durumuna yaklaşılr. Ayrıca, üniform dane iriliği olmayan bir ortamda, ince malzemenin erozyonla mansaba taşınması sonucu geriye kalan iri sedimanın aşınması da giderek zorlaşabilir. Önlem olarak, tabana doğal malzemedan daha iri sediman serilirse, K değeri artacağından daha büyük erozyon gücü gerekir.

Akım türbülanslı olduğu zaman, kritik dane iriliği için Shields parametresi de kullanılabilir [9].  $\gamma_s$  sedimanın ve  $\gamma$  suyun özgül ağırlığını temsil ederse ilgili bağıntı

$$\tau_c / [(\gamma_s - \gamma) D_c] = 0,06 \quad (4)$$

şeklindedir. “ $\tau = \gamma Y S_0$ ” yazılıp “ $\gamma_s = 2,650 \text{ t/m}^3$ ” ve “ $\gamma = 1 \text{ t/m}^3$ ” olarak alınarak  $D_c$  değerleri bulunur. Örneğin, Kırıkkale TÜPRAŞ Köprüsü etrafında  $n = 0.04$  ve  $S_0 = 0.004$  değerleri söz konusu olduğundan; Kapulukaya barajından bırakılan (çalışan türbin sayısına bağlı olarak) 60 – 120 – 180  $\text{m}^3/\text{s}$  değerlerindeki debiler için sırasıyla, su derinlikleri 0,70 – 1,06 – 1,35 m, akım hızları 1,32 – 1,74 – 2,05 m/s, ve kritik dane çapları 0,03 – 0,05 – 0,06 m olarak hesaplanmıştır [4]. Bu değerler tabana kaplanacak koruyucu örtü tabakasının seçimi için önemlidir.

Dane iriliği 0,03 ve 0,05 m olan tabandaki malzeme için kritik hızlar sırayla 1,10 ve 1,50 m/s olur. Köprü kesitindeki genişlik 103 m ve 1,94 m lik proje su derinliğine karşı gelen akım hızı 2,193 m/s ve su derinliği 2,616 m değerleriyle genel oyulma olacağını gösterir. İlgili oyulmanın değeri için Maza Alvarez (1989) [7] da verilen ve  $0,0026 \text{ m} \leq D_{84} \leq 0,182 \text{ m}$  için geçerli olan

$$Y_3 = [(a * Y_2^{5/3}) / (4,7 * b * D_{84}^{0,28})] [D_{84}^{0,092} / (0,223 + D_{84}^{0,092})] \quad (5)$$

bağıntısında “ $a = Q / (Y_2^{5/3} * B) = 1,118$ ” ve “ $b = 0,8416$ ” değerleri kullanılırsa  $Y_3 = 2,4858 \text{ m}$  bulunur. Bu durumda, genel oyulma derinliği,  $Y_3 - Y_2 = 0,54 \text{ m}$  hesaplanır.

## 2.2. Nehir Daralması Sonucu Taban Erozyonu

Bir akarsu üzerinde tasarlanan köprü inşaatı esnasında nehir genişliği kontrollü biçimde daraltılır. Aynı debiyi daha dar kesitten geçirerek q değerinin artması ile P değeri büyür. Neticede, daralma nedeniyle  $P_c$  aşılnca da tabanda fazladan bir oyulma gözlenir.

Baraj inşaatı öncesi nehir yatağı;  $Q_0$  debisinde  $B_0$  yatak genişliği,  $Y_0$  su derinliği ve  $S_0$  taban eğimi ile bir denge durumu sergilediğini düşünelim. Baraj işletmeye alındıktan sonra (feyazan dışında) debi, 60 - 120 - 180  $\text{m}^3/\text{s}$  değerlerini almaktadır. Nehir yatak eğimi aynı kalırsa, yeni debi  $Q_1$  için denge durumundaki yeni yatak genişliği  $B_1$  ve su derinliği  $Y_1$  [7] aşağıdaki bağıntılarla verilen değerleri alması beklenir

$$B_1 = B_0 (Q_1 / Q_0)^{0,466} \quad (6)$$

ve

$$Y_1 = Y_0 (Q_1 / Q_0)^{0,327} \quad (7)$$

Rejimdeki (denge durumundaki) akarsular için Lacey bağıntıları [7] tavsiye edilmektedir. İlgili bağıntılar kullanılarak TÜPRAŞ Köprüsü için ( $Q = 572 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $D_m = 0,030 \text{ m}$  alınarak) aşağıdaki değerler bulunmuştur:

$$\begin{aligned} n &= D_m^{1/8} / 16,27 = 0,04 \\ f &= 55,66 D_m^{1/2} = 9,64 \\ S_0 &= 302 * 10^{-6} * f^{5/3} / Q^{1/6} = 0,004576 \\ Y_0 &= 0,4725 (Q / f)^{1/3} = 1,843 \text{ m} \\ U &= 2 Q^{5/36} D_m^{13/72} = 2,56 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Rejimdeki akarsuların yatak genişliği için Simons ve Albertson [7]

$$B = 0,90 K_1 * Q^{0,512} \quad (8)$$

bağıntısını önermişler. Denge yatak genişliği katsayısı olan  $K_1$  çarpanı için kumlu zeminlerde 6,30 ve çakıllı zeminler için bu değer yarısı önerilmektedir. Proje debisi için Kızılırmak yatak genişliği 146,34 m veya 73,40 m olarak hesaplanır. Bu değerler tam dikdörtgen kesitler için geçerlidir. Ancak, nehir yatağı ilgili kesitte hemen hemen üçgene yakın durumdadır ve bu değerlerin geçerliliği tartışılır. Bu bağıntıdan da anlaşılacağı gibi taban malzemesinin iriliği artarken kesit yarım elipse ve hatta yarım daireye dönüşmeye meyleder.

Kızılırmak doğal yatak genişliği ( $B_1$ ) 146 metre iken [ $n = 0,04$  ve  $S_0 = 0,004$  ve  $Q = 572 \text{ m}^3/\text{s}$  için  $Y_1 = 1,943 \text{ m}$  ve  $U_1 = 2,016 \text{ m/s}$ ,  $H_1 = Y_1 + U_1^2/2g = 2,150 \text{ m}$ ] köprü kesitinde ( $B_2$ ) 103 m ye daraltılmıştır [ $Y_2 = Y_1 (B_1 / B_2)^{0,857} = 2,620 \text{ m}$ ,  $U_2 = 2,120 \text{ m/s}$ ,  $H_2 = Y_2 + U_2^2/2g = 2,849 \text{ m}$ ]. Bu durumda köprü civarında daralmadan kaynaklanan beklenen oyulma ( $2,849 - 2,150 = 0,70 \text{ m}$ ) kadardır.

### 2.3. Köprü Ayakları Etrafında Yerel Oyulma

Akarsu içinde sonradan yer alan köprü ayağı ve diğer yapılar etrafında oldukça şiddetli ikincil (vortex) akımlar oluşarak ilgili yapının yakınında fazladan bir yerel oyulma gözlenir. Köprü ayaklarının şekli, akıma göre aksel konumu, bireysel kazıklar arasındaki mesafe, akım hızı, su derinliği, taban malzemesinin dane iriliği ve granülometresi, sediman özgül ağırlığı ve menbaadan sediman yükü gelip gelmemesi gibi çok sayıda etmene bağlı olan yerel oyulma köprü ayaklarının tasarımında önemlidir. Yani, tasarımcı yerel oyulma değerini doğru tahmin etmek zorundadır. Ancak, birbirinden oldukça farklı değerler veren ve genelde laboratuvar şartlarında geliştirilen literatürdeki ampirik bağıntılarla tahmin yapmak her zaman risk içermektedir [5, 6, 10].

DeneySEL çalışmalar, temiz su yerel oyulmasında en büyük değer kritik hıza karşı geldiğini göstermiştir. Ortalama dane çapı  $D_m$  olan sedimanın hareket başlangıcını temsil eden kritik hız için Maza Alvarez (1989) [7] aşağıdaki bağıntıları önermiştir:

$$U_k = 1 / [1,321 - 12,5 * D_m] \quad \text{eğer } 0,00263 \text{ m} \leq D_m \leq 0,0303 \text{ m} \text{ ise} \quad (9)$$

$$U_k = 2,248 - 0,0366 / D_m \quad \text{eğer } 0,0303 \text{ m} \leq D_m \leq 0,0865 \text{ m} \text{ ise} \quad (10)$$

$$U_k = D_m / [0,259 * D_m + 0,0247] \quad \text{eğer } D_m > 0,0865 \text{ m} \text{ ise} \quad (11)$$

Bu bağıntılar ve Manning denklemi kullanılarak herhangi bir debide nehir akımının ortalama hızı ve buna karşı gelen kritik dane çapı hesaplanabilir.

Colorado Devlet Üniversitesi, temiz su oyulması halinde görelî yerel oyulma derinliği ( $d_s / Y$ ) için

$$d_s / Y = 2 * k_1 * k_2 * k_3 * (b / Y)^{0.65} * F_r^{0.43} * L \quad (12)$$

bağıntısını önermiştir [8]. Burada

$d_s$  = yerel oyulma derinliği,

$Y$  = ayak menbaasındaki nehir su derinliği,

$k_1$  = ayak burun şekline bağlı düzeltme katsayısı (Tablo 1),

$k_2$  = akımın yaklaşım açısına bağlı düzeltme katsayısı (Tablo 2),

$k_3$  = taban şartlarına bağlı düzeltme katsayısı (Tablo 3),

$b$  = ayak genişliği,

$F_r$  = gelen akımın Froude sayısı ( $U_0 / \sqrt{g Y}$ ), ve

$L$  = ayak uzunluğu.

Tablo 1 . Ayak burun şekline bağlı düzeltme katsayısı,  $k_1$  [8]

Ayak burun şekli	$k_1$
Köşeli uçlu dikdörtgen ayak	1.1
Yuvarlak uçlu dikdörtgen ayak	1.0
Dairesel kesitli silindirik ayak	1.0
üçgen uçlu dikdörtgen ayak	0.9
Silindirik ayak grubu	1.0

Tablo 2 . Akımın yaklaşım açısına bağlı düzeltme katsayısı,  $k_2$  [8]

Yaklaşım açısı (derece)	$L/b = 4$	$L/b = 8$	$L/b = 12$
0	1.0	1.0	1.0
15	1.5	2.0	2.5
30	2.0	2.75	3.5
45	2.3	3.3	4.3
90	2.5	3.9	5.0

Tablo 3 . Taban şartlarına bağlı düzeltme katsayısı,  $k_3$  [8]

Taban şartları	Eksibe yüksekliği, $H$ (m)	$k_3$
Temiz su oyulması	0	1.1
Düz yatak veya ters eksibe	0	1.1
Küçük eksibeler	$3 > H > 0.6$	1.1
Orta yükseklikte eksibe	$9 > H > 3$	1.2
Büyük eksibeler	$H > 9$	1.3

TÜPRAŞ Köprüsü için çapı 90 cm olan silindirik 4 lü ayak grupları kullanılmıştır. Nehir akımı aksenal doğrultuda gelirse (yaklaşım açısı,  $\alpha = 0$ ),  $Y_0 = 1.94$  m alınarak ve Günyaktı (1988) [5] deki zarf eğrisi kullanılarak  $d_s = 2,07$  m hesaplanır. Ancak, yaklaşım açısı 15 derece bile olsa etkin ayak genişliği “ $b_t = L \cdot \sin \alpha + b \cdot \cos \alpha = 9 \cdot 0,2588 + 0,90 \cdot 0,969 = 3,20$  m” ve “ $Y_0 / b_t = 1,94 / 3,20 = 0,606$ ” için ilgili zarf eğrisinden “ $d_s / b_t = 1,50$ ” elde edildiğinden yerel oyulma değeri 4,80 m ye yükselir. İlk sıradaki ayak grubu önünde yukardaki değer hesaplanırken müteakip gruplar için sırayla 1,63 m (veya  $\alpha = 15$  derece için 3,80 m), 1,30 m (veya 3,02 m) ve 1,10 m (veya 2,60 m) bulunur. Arka sıradaki ayaklar için yerel oyulmalar hesaplanırken Başak ve arkadaşları (1977) [2] de verilen oranlar kullanılmıştır. Buradan anlaşıldığı gibi, yerel oyulmayı azaltmak için yapısal önlemlerle (gido duvarları gibi) akımı hep aksenal doğrultuda yaklaşıp biçimde yönlendirmek esastır.

Genel oyulma, daralma etkisinde oyulma ve yerel oyulma birlikte hesaba katılırsa TÜPRAŞ Köprüsü için toplam oyulma değeri 3,31 m ve 6,05 m arasında bulunur. Ancak, yerel ölçümlerin hiç olmadığı ilgili köprü için yapılan bu hesaplamalarda yaklaşık değerler kullanıldığından bazı sapmalar beklenebilir. Ancak, köprüyü riskten kurtarmak için önerilen nehir düzenlemeleri bu olumsuzlukları geçersiz kılmaktadır.

### 3. KORUYUCU TABAKA TASARIMI

Su derinliğinin 4 m den az olduğu durumlarda tabana dönecek koruyucu taş tabakası için ( $\gamma_s$  kg/m<sup>3</sup> olması halinde) Maza Alvarez (1989) [7]

$$D_m = [135 \cdot U_2] / [(\gamma_s^{1,03}) (Y_2^{0,25} - 0,15 U_2)] \quad (13)$$

bağıntısını önermektedir. Proje debisi için kaplama tabakası taş iriliği ve ağırlığı için sırayla

$$D_m = [135 \cdot 2,123] / [(2650^{1,03}) (2,616^{0,25} - 0,15 \cdot 2,123)] = 0,081 \text{ m} \quad (14)$$

ve

$$W = [(4/3) \pi R^3] \gamma_s = 0,75 \text{ kg} \quad (15)$$

bulunur. Yakın alandan kolayca sağlanabilecek bu malzeme, en az 3 taş sırasında ve köprü izdüşümü altında kalan tabana serilmesi halinde genel oyulmaya da engel olabilir.

### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5,5 km menbaada bir baraj inşaatı ve köprü çevresinden nehir yatağı sedimanının alınması ile nehir yatak dengesi bozulmuştur. Zaten köprü inşaatı ile nehir yatağı daraltıldığından bir genel oyulma ve ayaklar etrafında yerel oyulma varken, barajın sediman tutma etkisi ve yataktan kum-çakıl çıkarılması taban kotunun projedeki değerinin çok altına inmesine neden olmuştur. Havza sedimanı baraj gölünde tutulduğu için temiz su olarak köprüye gelen nehir suyunun aşındırma gücü artmakta iken debinin de sıkça en az 3 değer arasında değişmesi yanında hemen menbaadaki 90 derecelik kıvrımdan kaynaklanan ikincil akımlar yatağın dengeye ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Herşeyden önce, inşaat sektörü için kum-çakıl çıkarılması durdurulmalıdır. Köprü yatağında olası akımları köprüye dik gelecek biçimde düzenliyecek her iki sahilde gido duvarlarının ve köprünün 50 m mansabında oluşturulan

düşüm havuzunun bakım-onarım işlemleriyle fonksiyonlarının devamı sağlanmalıdır. Tabanın doldurularak ulaşılan projedeki kotu (678.00 m) ve ayaklar etrafına koruyucu malzeme sergisi sürekli gözlenmelidir. Proje önerileri doğrultusunda 1995 yazında uygulanan yapısal düzenlemeler ile köprü son 12 yılda sorunsuz olarak hizmet vermektedir. Ayaklar etrafındaki yerel oyulma sorunu da sona ermiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] G. W. Annandale, 1995, "Erodibility", *Journal of Hydraulic Research*, 33, 4, 471 – 494.
- [2] V. Başak ve arkadaşları, 1977, Doğrusal eksenli ve dairesel kesitli kazık grubu etrafındaki yerel oyulma derinlikleri. DSİ Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi, Ankara.
- [3] M. Bayazıt, 1971, Hareketli Tabanlı Akımlar Hidroliği. T. C. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı 835.
- [4] M. Göğüş ve A. Günyaktı, 1994, Kırıkkale Rafinerisi Kızılırmak Köprüsü nehir yatağının düzenlenmesi. Final Rapor, ODTÜ, Ankara.
- [5] A. Günyaktı, 1988, "Köprü ayakları etrafında oyulma derinliğinin grafik yöntemle tahmini", DOĞA, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 12, 1, 69 – 109, Ankara.
- [6] A. Günyaktı, 1989, "Köprü ayakları için yerel oyulma bağlantılarının mukayesesi", Akdeniz Üniversitesi, Isparta Müh. Fakültesi Dergisi, İnşaat Müh. Seksiyonu, 4, 63 – 75.
- [7] J. A. Maza Alvarez, 1989, Introduction to River Engineering. Advanced Course on Water Resources Management, Perugia, İtalya.
- [8] U.S. Federal Highway Administration, 1995, Evaluating scour at bridges. Hydraulic Engineering Circular No. 18, USA.
- [9] V. A. Vanoni, 1975, Sediment Engineering. ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice – No. 54, New York, USA.
- [10] A. M. Yanmaz, 2001, "Uncertainty of local scouring parameters around bridge piers", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 25 (2), 127 -137.
- [11] A. M. Yanmaz ve H. D. Altınbilek, 1991, "Study of time dependent local scour around bridge piers", Journal of Hydraulic Engineering Division, ASCE, 117, 10, 1247 – 1268.