

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

BİR KÖPRÜ AYAĞI ETRAFINDAKİ SU YÜZÜ PROFİLİNİN MODELLENMESİ

Galip SEÇKİN¹, Neslihan (Onal) SEÇKİN, Mehmet ARDIÇLIOĞLU, Zeliha SELEK

ÖZ

Doğal Akarsular üzerindeki köprü yapıları, sahip oldukları ayaklar ve yaklaşım seddelerinden dolayı, taşkın anında suyun geçişine engel teşkil etmekte ve bundan dolayı köprünün memba tarafında su derinliği artmaktadır. Taşkından korunma planlarının yapılmasında bu konuya ilgi giderek artmaktadır. Bu çalışmada prototip bir köprü yapısı etrafında 10 farklı debi için 15 farklı kesitte su yüzü profilleri ölçülmüştür. Daha sonra dünyada yaygın şekilde kullanılan HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center, River Analysis System) paket programı yardımıyla, ölçülen su yüzü profilleri modellenmiştir. Modellemede kullanılan yöntemler sırasıyla Enerji, Momentum, Yarnell ve WSPRO yöntemleridir.

Anahtar Kelimeler: Köprü ayağı, Açık kanal, Kabarma miktarı, HEC-RAS.

MODELLING OF WATER SURFACE PROFILE THROUGHOUT A BRIDGE PIER

ABSTRACT

Because of having piers and abutments, bridge structures on rivers work as an obstacle to passing of flow in flood conditions. Thus, they cause increasing of flow depth at the upstream side of them. In preparing flood defence programming, interest over this problem is getting more popular. In current study, water surface profiles at 15 different cross-sections around a prototype bridge structure were measured for 10 different discharge values. HEC-RAS package program (Hydraulic Engineering Center, River Analysis System) commonly well-known in the world was then used in modelling of measured water surface profiles. The methods used in modelling are the Energy, Momentum, Yarnell, and WSPRO, respectively.

Key Words: Bridge pier, Open channel, Backwater, HEC-RAS.

1. GİRİŞ

Doğal akarsular üzerindeki yapılar taşkın anında suyun kabarmasına, bunun sonucunda da akımın doğal yatağından taşarak çevredeki park, tarım arazisi, bazı konutlar vb. yerlerde maddi hasarlara, ayrıca insan ölümlerine sebep olabilmektedir. Örneğin D.S.İ. Genel Müdürlüğüne hazırlanan taşkın envanterinde (DSİ 1977, 1981) çeşitli tarihlerde (5 Aralık 1937, 9 Kasım 1947, 8-28 Şubat 1948, 12-17 Mayıs 1950, 25 Aralık 1968, 2 Ocak 1969, 27 Mart-6 Nisan 1980, 17 Haziran 1990 vb.) olan taşkınlarda binlerce dönüm tarım arazisi

sular altında kalmış ve onlarca insan hayatını kaybetmiştir. Kaya vd. (2001), Yurtal vd. (2003) Seyhan nehri taşkınlarıyla ilgili yaptıkları çalışmada, köprü ve regülatör yapılarının akım derinliğinin köprü ve regülatörün mansap tarafında 1 m ye kadar yükselebileceğini göstermişlerdir. Bye ve Horner (1998) EASTER taşkınında akarsular üzerindeki su yapılarının akıma etkilerinin önemini detaylı bir şekilde izah etmişlerdir.

HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center, River Analysis System, 1998) paket programı kullanılarak bir akarsu veya açık kanaldaki su yapılarını ve etrafında

¹ Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01330 Balcalı/ADANA.

² Tel: 0.322.338 60 84; Faks: 0.322. 338 67 79; E-posta: gseckin@mail.cu.edu.tr.

Geliş: 17 Şubat 2003; Düzeltme: 23 Eylül 2003; Kabul: 01 Ekim 2003.

oluşacak akım profili modellenilebilmektedir. HEC-RAS (1998) paket programı, DOS ortamında kullanılan HEC-2 (1991) paket programının Windows altında çalışan versiyonudur. HEC-2 bir köprü yapısı etrafındaki akımı iki farklı yöntem (Normal Bridge Method, Special Bridge Method) kullanarak modellemektedir. HEC-RAS (1998) versiyonu ise bir köprü yapısı etrafındaki akımı dört farklı yöntemle (Energy Method, Momentum Method, Yarnell Method, ve WSPRO Method) modellemektedir. HEC-2 ve HEC-RAS'ın uygulamasına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları; Kaatz ve James (1997), Seckin vd. (1998, 2000), Hunt vd. (1999), Seckin (2001) tarafından yapılmıştır.

Seyhan Nehri'nden çıkışı olan TS - 4 sulama kanalı üzerinde bir çek yapısının kapakları çıkartılmış olup, çek yapısı bir köprü yapısı gibi çalışmaktadır. Bu çalışmada, bu yapının etrafındaki 15 farklı kesitte değişik tarihlerde ölçülen 10 farklı debi için su yüzü profil ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra HEC-RAS paket programı ile, ölçülen su yüzü profilleri modellenerek bir analiz yapılmıştır.

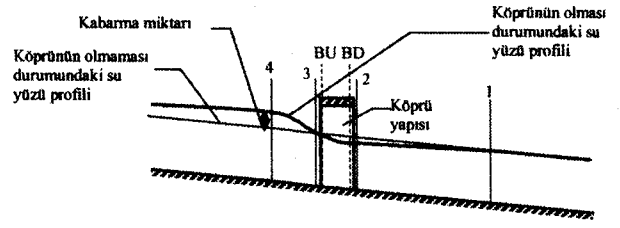
2. HEC-RAS'TAKİ TEORİK YÖNTEMLER

2.1. ENERJİ Yöntemi

HEC-RAS tarafından hem köprü yapısı mevcutken, hem de köprü yapısının bulunmaması durumunda, zamanla değişmeyen akım su yüzü profil hesaplarında kullanılan Standard Adım Yöntemi (Enerji denklemi) şu şekildedir:

$$WS_u + \alpha_u \frac{V_u^2}{2g} = WS_d + \alpha_d \frac{V_d^2}{2g} + L\bar{S}_f + C \left| \alpha_u \frac{V_u^2}{2g} - \alpha_d \frac{V_d^2}{2g} \right| \quad (1)$$

Burada: u, memba kesiti, d, mansap kesiti, WS, kıyaslama düzleminde su yüzü kotuna kadar dikey mesafe, α , kinetik enerji düzeltme katsayısı, V, ortalama hız, g, yerçekimi kuvveti, L, memba ve mansap kesitleri arasındaki uzaklık, \bar{S}_f , enerji çizgisinin ortalama eğimi, C, daralma veya açılma kayıp katsayısıdır. Bütün HEC yayınlarında, köprü yapısının bulunmaması durumunda, daralma ve açılma kayıp katsayılarının sırasıyla 0.1 ve 0.3 alınması, köprü geçişlerinde ise, bu katsayıların sırasıyla 0.3 ve 0.5 alınması tavsiye edilmektedir (HEC-2 1991; HEC-RAS 1995; HEC-RAS 1998). Eğer memba ve mansap kesitlerinde herhangi bir daralma ve açılma söz konusu değilse bu katsayılar sıfır alınmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bir köprü yapısı etrafındaki su yüzü profilinin belirlenmesi için, standard adım hesapları kesit 1'den başlar sırasıyla, kesit 2, BD, BU ve 3'de devam eder ve kesit 4'te sona erer.



Şekil 1. Bir Köprü Yapısı Etrafındaki Su Yüzü Profili.

2.2. MOMENTUM Yöntemi

Bu yöntem 2 ve 3 kesitleri arasındaki momentum korunumu ilkesine dayanmaktadır. Momentum dengesi 3 adımda gerçekleştirilmektedir. Birinci adım kesit 2 ve BD kesitleri arasında momentum ilkesinin uygulanmasıdır. Momentum dengesi için denklem aşağıdaki gibidir:

$$A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 \bar{Y}_2 - A_{p2} \bar{Y}_{p2} + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + F_f - W_x \quad (2)$$

Burada: A_2 , A_{BD} , sırasıyla kesit 2 ve BD'deki aktif akım alanı, A_{p2} , mansap tarafında köprü ayağının suyu engellediği alan, \bar{Y}_2 , \bar{Y}_{BD} , su yüzünden A_2 ve A_{BD} alanlarının ağırlık merkezine dikey mesafesi, \bar{Y}_{p2} , mansap tarafındaki su yüzeyinden köprü ayağının suya temas ettiği alanın ağırlık merkezine dikey mesafe, β_2 , β_{BD} , momentum için hız düzeltme katsayıları, Q_2 , Q_{BD} , kesit 2 ve kesit BD'deki debiler, g, yerçekimi ivmesi, F_f , sürtünme kuvveti, W_x , Akım yönünde su ağırlığının oluşturduğu kuvvettir.

İkinci adım BD ve BU arasında momentum ilkesini uygulamaktır:

$$A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} = A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} + F_f - W_x \quad (3)$$

Son adım BU ve kesit 3 arasında momentum ilkesini uygulamaktır:

$$A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{p3} \bar{Y}_{p3} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{p3} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_x \quad (4)$$

Burada: C_D , köprü ayakları etrafındaki akım için itki katsayısıdır. Çeşitli ayak tiplerine ait itki katsayıları HEC-RAS (1995) kaynaklarında verilmektedir.

2.3. YARNELL Yöntemi

Yarnell denklemi köprü'nün mansap ve memba kesitleri arasındaki su yüzeyindeki değişimi bulmaya yönelik kesit 2 ve 3 arasında (Şekil 1) ampirik bir denk-

lemdir. Denklem çeşitli köprü ayak şekilleri, genişlik, uzunluk, açı ve farklı akım büyüklüklerine sahip 2600 adet deneye dayanmaktadır. Yarnell denklemi aşağıdaki gibidir (Yarnell, 1934):

$$H_{3-2} = 2K(K+10w-0.6)(\alpha+15\alpha^4)V_2^2/2g \quad (5)$$

Burada: H_{3-2} , kesit 3'ten 2'ye su seviyesindeki düşme, K, Yarnell'in köprü ayak şekli katsayısı, w, kesit 2'deki hız yükünün derinliğe oranı, α , köprü ayaklarının suyla temas ettiği kesit alanı / toplam engellenmemiş su kesit alanı, V_2 , kesit 2'deki su hızı. Mamba su yüzü yüksekliği mansap su yüzü yüksekliğine H_{3-2} 'nin ilave edilmesiyle bulunmaktadır. Yarnell denklemi kullanıldığı zaman hidrolik bilgiye sadece 2 ve 3 kesitleri için ihtiyaç duyulur. Çeşitli köprü ayak şekilleri için Yarnell'in köprü ayak katsayısı K değerleri yine HEC-RAS (1995) kaynaklarında verilmektedir.

2.4. WSPRO Yöntemi

Federal Highway Administration tarafından geliştirilen WSPRO Yöntemi (Sherman, 1990) HEC-RAS içerisine bir köprü yapısı etrafındaki su profilini hesaplamak amacıyla bir seçenek olarak adapte edilmiştir. WSPRO Yöntemi HEC-RAS tarafından tanımlanan köprü yapısı etrafındaki kesit yerleriyle uyum sağlaması amacıyla modifiye edilmiştir.

WSPRO Yöntemi bir köprü yapısı boyunca oluşan su yüzü profilini enerji denklemini kullanarak hesaplamaktadır. Yöntem kesit 1'den kesit 4'e kadar su yüzü profilini iterasyon yöntemiyle hesaplamaktadır. Hesaplar kesit 1'den başlamakta ve sırasıyla kesit 2, kesit BD, kesit BU ve kesit 3'te devam etmekte ve kesit 4'te son bulmaktadır. Kesit 1 ve 4 arasındaki enerji denklemi şu şekilde yazılmaktadır:

$$h_4 + \alpha_4 \frac{V_4^2}{2g} = h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_{L(4-1)} \quad (6)$$

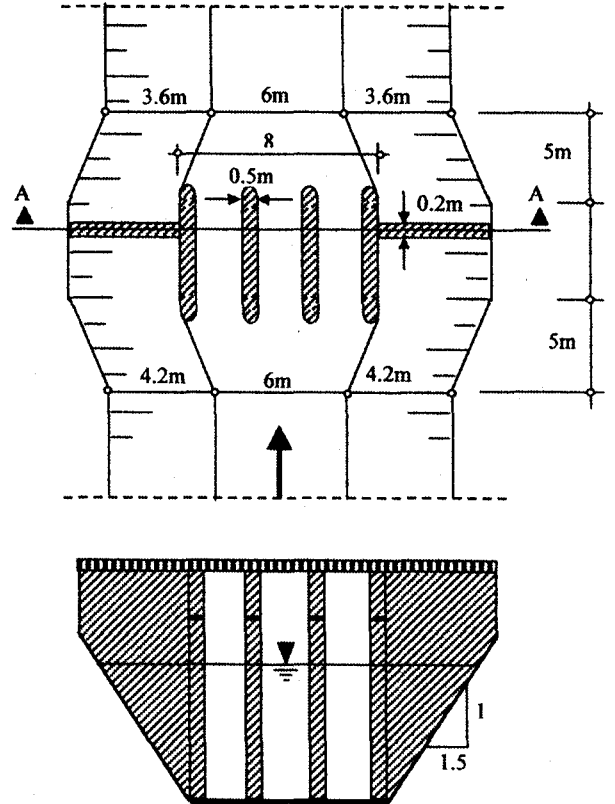
Burada: h_1 , kesit 1'deki su derinliği; V_1 , kesit 1'deki ortalama hız, h_4 , kesit 4'teki su derinliği; V_4 , kesit 4'deki ortalama hız ve $h_{L(4-1)}$, kesit 4 ve 1 arasındaki enerji kaybıdır.

3. VERİ TEMİNİ

Seyhan Barajının çeşitli yerlerinde sulama amacıyla sulama kanalları inşa edilmiştir. Bu kanalların farklı mesafelerinde suyu biriktirmek amacıyla çek yapıları mevcuttur, ve bu yapılar çek yapısının kapaklarının kaldırılması durumunda yaklaşım seddeleriyle bir köprü yapısı gibi çalışmaktadır. Şekil 2'de görülen çek yapısı

TS - 4 sulama kanalı üzerinde olup, Seyhan barajına 4 + 250 km mesafededir. TS - 4 sulama kanalının yatak eğimi $S_0 = 0.0001$ 'dir. TS-4 sulama kanalı trapez kesite sahip olup yan duvar eğimi 1/1.5'tir. Şekil 2'de bu çek yapısının planı ve enkesiti görülmektedir (Proje üzerindeki değerler ve çizgiler tam net olmadığı için Şekil 2. ölçeksiz olarak bilgi verilmesi amacıyla yeniden çizilmiştir).

Sulama mevsiminin olduğu Ağustos ve Eylül aylarının çeşitli günlerinde, su derinliğinin arttığı ve eksildiği durumlarda, köprü yapısı civarında 15 farklı kesit tesbit edilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin alındığı kesit yerlerine işaretler konmuştur. Köprü'nün hemen mansap ve membassındaki su yüzü seviyeleri köprü'nün ikinci ayağına konulan mira yardımıyla ölçülmüştür. Köprü ayaklarına uzak, değişik mesafelerde belirlenen kesitlerde ise su yüzü seviyeleri, trapez kesitin yan duvarının üst noktasından çelik şerit metre yardımıyla su yüzüne kadar ölçülmüştür. Bu ölçümler 10 farklı su derinliğinde çeşitli tarihlerde gerçekleştirilmiştir. Sulama mevsimi bittiğinde yani kış aylarında kanala su verilmemekte olup kanal tamamen boştur. Bir teodolit ve mira yardımıyla daha önce ölçüm alınan kesitlerde yatak tabanı ve kanal duvarı başlangıç ve bitiş kotları öl-



Şekil 2. Bir Köprü Yapısı Gibi Çalışan Çek Yapısının a) Planı b) A-A kesiti (Proje: DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, ADANA. Proje adı: TS1- 4 Kanalı, Km: 4+250, 8+920 Çekleri Projesi. Kod No: 1801-02).

çülmüştür. Yatak yan duvarlarının eğimi bilindiğinden her kesitte su derinlikleri kolayca hesaplanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli şey yatak yan eğimlerinin proje değerlerine uygunluğunu tesbit etmektir. Yatak yan duvar eğimleri ölçüm alınan kesitlerde bir şakül, bir su terazisi ve düzgün yüzeyli 5 x 5 cm kesitli 1 m uzunluğunda bir ahşap kereste yardımıyla kontrol edilmiştir. Kanal yan duvar eğimleri projeden %3'ün altında sapmalar göstermiştir. Hesaplarda yerinde ölçülen değerler kullanılmıştır. Yatak tabanındaki mesafeler yine her kesitte çelik şerit metre kullanılarak ölçülmüştür.

4. UYGULAMA

HEC-RAS su yüzü profillerinin hesaplarında "Standart Adım Yöntemi" ni kullanmaktadır. Bu hesapların yapılabilmesi için debinin (Q), mansaptaki başlangıç üniform su derinliğinin (y), kanal enkesit değerlerinin (kotlar), enkesitler arası mesafeler ve Manning pürüzlülük katsayısı n'in bilinmesi gerekmektedir. Başlangıç üniform su derinliği köprü yapısının mansap tarafındaki ölçümlerden elde edilmiştir. Manning (n) değeri Chow (1959) un kitabından alınmıştır. Debi değerleri ise bilinen üniform su derinliği, bilinen "n" değeri ve kanal enkesitinin bilinen geometrisiyle aşağıdaki

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (7)$$

eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

Burada: Q, debiyi, A, kesit alanını, R, hidrolik yarıçapı ve S_0 yatak taban eğimini temsil etmektedir.

TS - 4 sulama kanalı uygulama alanına ait verilerin derlenmesinden sonra, çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

TS - 4 sulama kanalı üzerindeki köprü yapısı civarında ölçülen 15 farklı kesite ait enkesit değerleri kullanılarak, nehir tabii halde iken (üzerinde köprü yapısı yokken), su yüzü profilleri HEC-RAS paket programı yardımıyla modellenmiştir. Su yüzü profil hesapları yapıldıktan sonra köprü kesitleri programa girilmiştir. HEC-RAS köprü su kabarması hesapları için sayılan özelliklerin bilinmesini gerektirmektedir: Köprü yaklaşım seddesi tipi ve boyutları, köprü ayağı sayısı ve mesafeleri, köprü ayağı tipi katsayısı, köprü üst genişliği ve kot değeri, etkisiz akım alanlarının tanımlanması, köprü enkesiti zemin kot değerleri, köprü kesitine diğer kesitlerin mesafeleri, daralma ve genişleme kayıp katsayısı değerleri ve Manning pürüzlülük katsayısı, n, değerleri. Köprü yaklaşım seddesi tipi ve köprü ayağı tipi katsayısı HEC-RAS kullanım kılavuzunda verilmektedir. Daralma kayıp katsayısı 0.3, genişleme katsayısı ise 0.5 olarak alınmıştır.

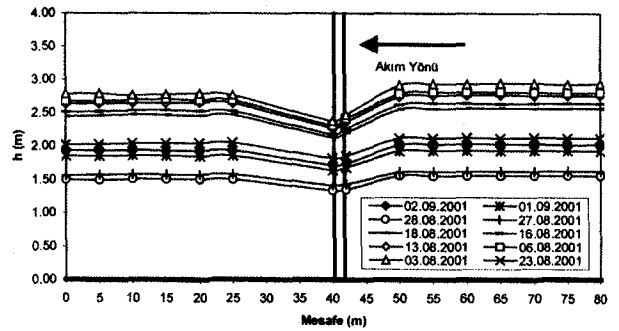
Bütün bu veriler HEC-RAS'a girildikten sonra HEC-RAS ta bulunan dört farklı köprü su kabarması hesap yöntemi için program çalıştırılmıştır. Bu yöntem-

ler sırasıyla Enerji, Momentum (HEC 1998), Yarnell (1934) ve WSPRO (Shermann, 1990) Yöntemidir. Sonuçlar bulunduktan sonra köprü yapısı civarında ölçülen su yüzü profilleriyle karşılaştırılmıştır.

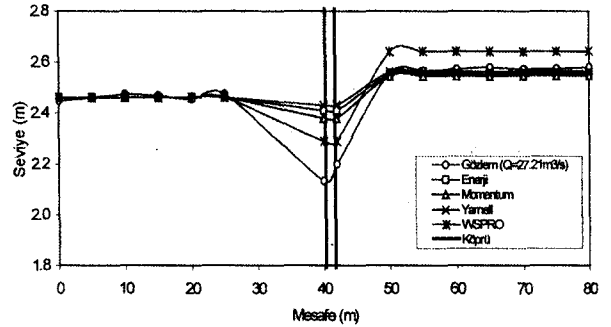
5. BULGULAR ve TARTIŞMA

10 farklı debi değeri için, köprü yapısının mansap ve memba tarafında 15 kesit için farklı tarihlerde ölçülen su yüzü profilleri Şekil 3'de verilmektedir.

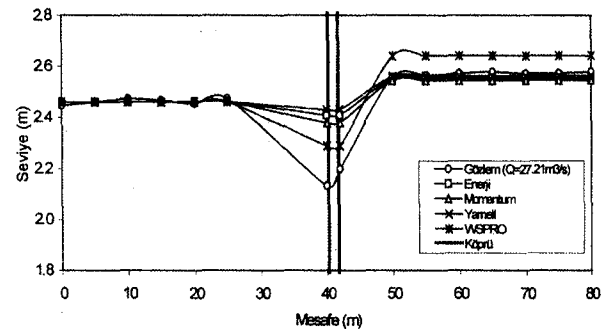
Herbir debi değeri için ölçülen su yüzü profilleri HEC-RAS paket programı yardımıyla 4 farklı yöntem kullanılarak modellenmiştir. Q=34.4, 27.21 ve 10.89 m³/s'lik debi değerleri için ölçülen ve modellenen su yüzü profilleri Şekil 4a, 4b, ve 4c'de görülmektedir.



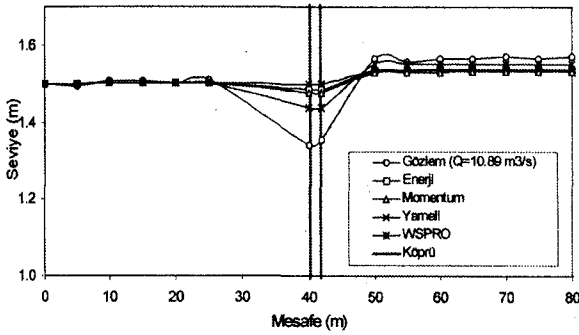
Şekil 3. Farklı Tarihlerde Ölçülen Su Yüzü Profilleri.



Şekil 4a. Q=34.4 m³/s lik Debi Değerinde Ölçülen ve Modellenen Su Yüzü Profilleri.



Şekil 4b. Q=27.21 m³/s lik Debi Değerinde Ölçülen ve Modellenen Su Yüzü Profilleri.



Şekil 4c. Q=10.89 m³/s lik Debi Değerinde Ölçülen ve Modellenen Su Yüzü Profilleri.

Şekil 4'den de anlaşılacağı üzere Q=34.4, 27.21 m³/s'lik debi değerleri için, köprü'nün hemen mansap ve memba kesitleri hariç, Enerji, Momentum ve Yarnell Yöntemi ölçülen değerlerle uyum içerisindedir. Ancak Q=10.89 m³/s'lik debi değer için WSPRO yöntemi ölçülen değerlere diğer üç yöntemden daha yaklaşık sonuçlar vermiştir.

Örnek olarak, Q=34.4 m³/s lik debi değeri için 15 kesitte ölçülen ve 4 farklı yöntemle hesaplanan su yüzü seviyeleri Çizelge 1'de verilmektedir. Kullanılan yöntemlere ait hata yüzdeleri ise Çizelge 2'de verilmektedir. Çizelge 2'de görülen hata değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$[\%]\text{Hata} = \frac{WS_0 - WS_h}{WS_0} \times 100 \quad (8)$$

Burada: WS, su yüzü seviyesini, ö, ölçümü, ve h ise hesabı temsil etmektedir.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi bütün yöntemler köprü'nün hemen mansap (kesit 7) ve memba (kesit 8) kesitleri hariç, bütün kesitleri %4'ten küçük hata yüzdeleleriyle hesaplamıştır.

Bütün debilere ait, 15 kesit için 4 farklı yöntemle ait ortalama hata yüzdeleri ise Çizelge 3'de verilmektedir. Çizelge 3'de de görüleceği üzere ortalama yüzde hata değerleri; Enerji yöntemi için -1.14 ile -0.09 arasında; Momentum yöntemi için -0.79 ile 0.2 arasında; Yarnell yöntemi için -1.4 ile -0.26 arasında; ve WSPRO yöntemi için -2.26 ile -0.40 arasında değişmiştir.

Çizelge 1. Q=34.4 m³/s için, Ölçülen ve Hesaplanan Su Yüzü Seviyeleri.

Kesit No. [1]	Ölçülen Su Yüzü Seviyesi (m)		Hesaplanan Su Yüzü Seviyesi (m)			
	Gözlem (h _n =2.78) [2]	Enerji Yöntemi [3]	Momentum Yöntemi [4]	Yarnell Yöntemi [5]	WSPRO Yöntemi [6]	
1	2.79	2.780	2.780	2.780	2.780	
2	2.79	2.780	2.780	2.780	2.780	
3	2.77	2.781	2.781	2.781	2.781	
4	2.77	2.781	2.781	2.781	2.781	
5	2.79	2.782	2.782	2.782	2.782	
6	2.77	2.782	2.782	2.782	2.782	
7	2.29	2.610	2.610	2.740	2.560	
8	2.48	2.610	2.610	2.740	2.560	
9	2.92	2.902	2.891	2.915	3.033	
10	2.94	2.903	2.891	2.916	3.034	
11	2.94	2.903	2.892	2.916	3.034	
12	2.95	2.903	2.892	2.917	3.034	
13	2.95	2.904	2.893	2.917	3.035	
14	2.93	2.904	2.893	2.918	3.035	
15	2.95	2.905	2.894	2.918	3.036	

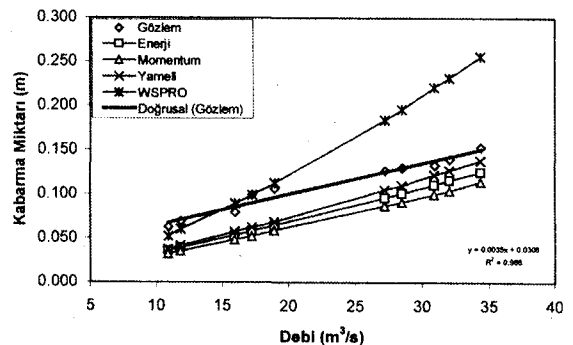
Çizelge 2. Q=34.4 m³/s için, Ölçülen ve Hesaplanan Su Yüzü Seviyeleri Hata Miktarı.

Kesit No. [1]	Ölçülen Su Yüzü Seviyesi (m)		Hata Miktarı (%)			
	Gözlem (h _n =2.78) [2]	Enerji Yöntemi [3]	Momentum Yöntemi [4]	Yarnell Yöntemi [5]	WSPRO Yöntemi [6]	
1	2.79	0.24	0.24	0.24	0.24	
2	2.79	0.26	0.26	0.26	0.26	
3	2.77	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	
4	2.77	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	
5	2.79	0.24	0.24	0.24	0.24	
6	2.77	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	
7	2.29	-13.78	-13.78	-19.44	-11.60	
8	2.48	-5.28	-5.28	-10.52	-3.26	
9	2.92	0.56	0.94	0.11	-3.93	
10	2.94	1.22	1.63	0.78	-3.24	
11	2.94	1.24	1.61	0.79	-3.22	
12	2.95	1.48	1.85	1.00	-2.97	
13	2.95	1.46	1.83	1.02	-2.99	
14	2.93	1.03	1.40	0.55	-3.44	
15	2.95	1.46	1.83	1.02	-2.99	

10 farklı debi değeri için ölçülen ve hesaplanan kabarma miktarı değerleri Şekil 5'de verilmektedir. 4 farklı yöntemle ait hata miktarları ise Çizelge 4. te görülmektedir. Herbir debi değeri için kabarma miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$h^* = WS_0 - h_n \quad (9)$$

Burada: WS₀, maksimum kabarmanın olduğu 9. kesitteki su yüzü seviyesini, h_n ise üniform akım derinliğini temsil etmektedir.



Şekil 5. 10 Farklı Debi Değeri İçin Ölçülen ve Hesaplanan Kabarma Miktarı Değerleri.

Çizelge 3. 10 Farklı Ölçüm için, Ölçülen ve Hesaplanan Su Yüzü Seviyeleri Ortalama Hata Miktarları.

Debi (m ³ /s) [1]	15 kesit için Ortalama Hata Miktarı (%)			
	Enerji Yöntemi [3]	Momentum Yöntemi [4]	Yarnell Yöntemi [5]	WSPRO Yöntemi [6]
10.89	-0.38	-0.18	-0.56	-0.40
11.82	-0.47	-0.26	-0.62	-0.99
15.96	-0.38	-0.09	-0.55	-0.60
17.26	-0.09	0.20	-0.26	-0.49
18.95	-0.27	0.00	-0.45	-0.67
27.21	-1.14	-0.79	-1.42	-2.00
28.49	-0.57	-0.59	-1.22	-1.83
30.92	-0.80	-0.43	-1.10	-1.85
32.06	-0.97	-0.61	-1.34	-2.17
34.40	-0.45	-0.27	-1.37	-2.26

Çizelge 4. 10 Farklı Ölçüm için, Ölçülen ve Hesaplanan Kabarma Miktarı Hata Değerleri.

Debi (m ³ /s) [1]	Ölçülen Kabarma Miktarı (m) [2]	Hata Miktarı (%)			
		Enerji Yöntemi [3]	Momentum Yöntemi [4]	Yarnell Yöntemi [5]	WSPRO Yöntemi [6]
10.89	0.063	41.55	47.87	39.97	16.27
11.82	0.070	42.86	48.57	40.00	12.86
15.96	0.080	32.50	38.75	27.50	-12.50
17.26	0.100	41.00	47.00	37.00	0.00
18.95	0.107	39.06	44.89	35.31	-5.94
27.21	0.127	24.21	31.32	17.11	-45.26
28.49	0.130	22.31	30.00	15.38	-50.77
30.92	0.133	16.54	24.81	8.27	-66.17
32.06	0.140	17.14	25.71	9.29	-65.71
34.40	0.153	18.46	25.64	9.98	-66.99

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada prototip bir köprü yapısı etrafındaki su yüzü profil ölçümleri yapılmış ve dünyada yaygın bir şekilde kullanılan HEC-RAS paket programı yardımıyla modellenmiştir. Modellemede kullanılan yöntemler sırasıyla Enerji, Momentum, Yarnell ve WSPRO yöntemleridir.

Adı geçen bütün yöntemler, 10 farklı gözlem değeri için, 15 farklı kesitte ölçülen su yüzü profil değerlerine uygulandığında oldukça yaklaşık sonuçlar vermiştir. 150 farklı ölçüm değeri için ortalama hata değerleri: Enerji Yöntemi için %0.55; Momentum Yöntemi için %0.30%; Yarnell Yöntemi için %0.89; ve WSPRO Yöntemi için %1.33 olarak bulunmuştur.

Ancak köprü yapısından dolayı oluşan kabarma miktarını ise bütün yöntemler %20 nin üzerinde hata miktarıyla hesaplamışlardır. 10 farklı ölçüm için ortalama hata değerleri: Enerji Yöntemi için %29.56; Momentum Yöntemi için %36.44; Yarnell Yöntemi için %23.98; ve WSPRO Yöntemi için %28.42 olarak hesaplanmıştır.

Bilindiği üzere HEC-RAS paket programı bir köprü ayağı etrafındaki su yüzü profilinin tesbitinde iki farklı enerji kayıp katsayısı kullanılmaktadır, daralma kayıp katsayısı (C_d) ve açılma kayıp katsayısı (C_e). HEC-RAS'ın kullanma kılavuzunda bu katsayılar sırasıyla 0.3 ve 0.5 olarak tavsiye edilmektedir. Ancak Seckin vd. (1998) ve Hunt vd. (1999) daralma kayıp katsayısını sırasıyla 0.05 ve 0.10 olarak önermişlerdir. Yine

Seckin vd. (1998) ve Hunt vd. (1999) açılma kayıp katsayısının sabit olmadığını iddia etmişler ve bu katsayının tesbiti için birbirinden farklı basit bir regresyon denklemi önermişlerdir. Köprü ayağı membasında oluşan kabarma miktarının tesbitinde bu iki katsayının seçimi oldukça önemlidir. Ancak bu çalışmada yapılan ölçümler bu katsayıların tesbitinde genel bir analiz yapmak için oldukça sınırlıdır. Çünkü bu çalışma sadece 10 farklı debi değeri, sabit yatak eğimi, sabit köprü yapısı, ve sabit yatak pürüzlülüğü ile sınırlıdır. Bununla birlikte bu çalışmada elde edilen bulguların ilerdeki çalışmalara küçük te olsa bir katkı yapacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Bye, P. ve Horner, M. (1998). *Easter 1998 floods*. Report by the independent review team to the board of the Environment Agency, Vols. I & II.
- Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- DSİ (1977). *Türkiye Akarsu Havzaları Taşkın Yıllığı*. Devlet Su İşleri, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı. Ankara.
- DSİ (1981). *Seyhan Taşkın Raporu*. Devlet Su İşleri, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı. Ankara.
- HEC-2 (1991). *Water surface profiles user's manuel*. Hydrologic Engineering Center, United States Army Corps of Engineers, Davis, California.
- HEC-RAS (1995). *Flow transitions in bridge backwater analysis*. Res. Document No. 42, Hydrologic Engineering Center, United States Army Corps of Engineers, Davis, California.
- HEC-RAS (1998). *River analysis sistem hydraulic reference manual*. Version 2.2. Hydrologic Engineering Center, United States Army Corps of Engineers, Davis, Calif.
- Hunt, J., Brunner, G.W. ve Larock, B.E. (1999). Flow transitions in bridge backwater analysis. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 125(9), 981-983.
- Kaatz, K.J. ve James, W.P. (1997). Analysis of alternatives for computing backwater at bridges. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 123(9), 784-792.
- Kaya, İ., Yurtal, R. ve Seçkin, G. (2001). Seyhan Nehri üzerindeki su yapılarından kaynaklanan su yüzü profillerinin modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 16(1-2), 67-75.
- Seckin, G., Yurtal, R. ve Haktanir, T. (1998). Contraction and Expansion Losses through

bridge constrictions. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 124(5), 546-549.

Seçkin, G., Atabay, S., Erduran, K.S. ve Yurtal, R. (2000). Akarsular Üzerindeki Köprülerin Sebep Olduğu Kabarmaların Tayini. *İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi* 11(4), 2231-2240.

Seçkin, G. (2001). *Akarsular Üzerindeki Köprülerin Sebep Olduğu Kabarmaların Teorik ve Deneysel Analizi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Sherman, J.O. (1990). *User's manual for WSPRO, a computer model for water surface profile computation*. Report No: FHWA-IP-89-027. United States Geological Survey, Reston, America.

Yarnell, D.L. (1934). *Bridge piers as channel obstructions*. Technical Bulletin 442, United States Department of Agriculture, Washington, America.

Yurtal, R., Seçkin, G., Kaya, İ. ve Atabay, S. (2003). *Seyhan Nehri Su Yüzü Profillerinde Köprülerden Kaynaklanan Kabarmaların HEC-RAS Paket Programı Kullanılarak Modellenmesi*. İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi 14(2), 1114-1122.