



Kutu ve dairesel kesitli menfez akımlarının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi

Experimental and numerical investigation of flow through culverts in box and circular shapes

Kutsi S. Erduran¹ , Uğur Ünal^{2,*} , Ahmet Ş. Dokuz³ , Büşra Nas⁴ 

^{1,2} Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye

³ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

⁴ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye

Öz

Bu çalışmada menfezlerin detaylı hidrolik tasarım hesaplarında dikkate alınan altı farklı akım durumunda kutu ve dairesel enkesitli menfezler etrafında oluşan su yüzü profilleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan ve boyutları 10x0.309x0.45m olan deneysel kanal kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda su yüzü profillerine ait sayısal değerler yapılan ölçümlerin yanı sıra görüntü işleme tekniği kullanarak da elde olunmuştur. Böylece, çalışmada görüntü işleme tekniğinin burada tarif olunan akım koşullarında uygulanabilirliği de araştırılmıştır. Sayısal çalışmalar, açık kanal akımlarının bir boyutlu model çalışmalarında yaygın olarak kullanılan HEC-RAS yardımıyla yapılmıştır. Tedrici değişken akım bölgelerinde, su yüzü profilleri ayrıca direkt adım metodu ile de hesaplanmıştır. Sayısal model sonuçları, direkt adım metodu sonuçları, deneysel ölçüm ve görüntü işleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Genel olarak sayısal ve deneysel sonuçlara dayalı su yüzü profillerinin şekilsel olarak oldukça benzer olduğu görülmüştür. Ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında, HEC-RAS sayısal modelinin memba bölgelerinde genelde yüksek değerler verdiği, mansap bölgesinde su yüzü değişimlerinin ani olduğu yerlerde ise değişimleri yakalayamadığı görülmüştür. Görüntü işleme tekniğinin genel olarak ölçüm sonuçlarına benzerliği dikkat çekerken, akıma müdahale olmaksızın ve fiziksel ölçüm yapılamayan yerlerde de sonuçlar alınabilmesinin büyük bir avantaj olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere, tekniğin sonuçlarının görüntü kalitesine ve görüntülerin sayısallaştırılmasında kullanılan algoritmaya bağlı olmasından ötürü, türbülans özelliğinin fazla olduğu kompleks akım bölgelerinde istenilen düzeyde iyi sonuçlar elde edilememiştir.

Abstract

In this study, experimental and numerical investigation of water surface profiles around culverts in box and circular shapes has been carried out under six different flow conditions, which are examined in a comprehensive hydraulic design of culverts. The experimental study has been conducted in a flume with dimensions of 10x0.309x0.45m in Department of Civil Engineering Hydraulics Laboratory at Niğde Ömer Halisdemir University. The numerical values representing water surface variations have been obtained not only the measurement but also using an image processing technique. Hence, it allows to study the applicability of the image processing technique to the similar flow conditions. Numerical modeling has been performed by using HEC-RAS, which is a widely used model for 1D free surface flow simulations. In addition, a direct step method has been applied in areas where the flow is gradually varied. Overall results obtained from the numerical and the experimental studies have been compared. Generally speaking, a good agreement has been observed between the numerical and the experimental results in terms of the shapes of water surface profiles. Comparing with the measurements, HEC-RAS numerical model mostly produces a higher water surface profiles upstream of the culverts and do not capture well downstream of the culverts where there are abrupt changes in the water surface. The results indicate that the water depth values obtained from image processing technique agrees well with the experimental data in general. It has also been seen that the most important advantages of the image processing techniques is that it allows to have flow data without disturbing flows and also in the areas where the physical measurement is impossible or too difficult. As it is known, the accuracy of the data depends on the quality of the images and the digitalization algorithm. Hence, the results are found to be unsatisfactory in cases where the flow is more complex due to the intense turbulence behavior and the quality of the obtained images are not good enough.

Anahtar kelimeler: Menfez, Su yüzü profilleri, Görüntü işleme tekniği, HEC-RAS

Keywords: Culvert, Water surface profiles, Image processing technique, HEC-RAS

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: ugurunal@ohu.edu.tr (U. Ünal)

Geliş / Received: 18.08.2022 Kabul / Accepted: 04.10.2022 Yayımlanma / Published: 14.10.2022

doi: 10.28948/ngumuh.1163945

1 Giriş

Menfezler karayolu ve demiryolu gibi yapıların altına inşa edilen ve ana amaçlarından biri akarsu üzerindeki suyun bir taraftan diğer tarafa geçmesini sağlamak (drenaj amaçlı kullanım) olan sanat yapılarıdır [1]. Bunun dışında menfezler yol üst yapısı altından araç, yaya ve hayvan geçişlerinin sağlanmasına da imkân tanır. Drenaj amaçlı inşa edilen menfezlerde kesit boyutlarını öncelikle menfezin taşıma kapasitesi ve menfez membaindaki su derinliği belirlerken araç ve yaya geçidi için tasarlanan menfezlerde ise yol dolgusu kotu kesit boyutlarını belirlemektedir.

Menfezlerin hidrolik bakımdan tasarımları menfez içi akım özelliğine (basınçlı, serbest su yüzü akımı ve orifis akımı) bağlı olarak yapılır. Menfez içi akım özelliğini ise menfez önündeki kabarma derinliği, menfez giriş ve kesit geometrisi, uzunluğu, pürüzlülüğü ve menfez çıkışı kuyruk suyu seviyesi belirlemektedir. Taşıma kapasitesi üzerinde rol oynayan bu parametrelerin menfez taşıma kapasitesini yüksek ve menfez etrafında başka problemler (mansapta oyulma, memba da taşkın vb.) oluşturmayacak şekilde belirlenmesi gerekir. Örneğin, menfez verimliliği, keskin kenarlı kare bir menfez girişinden ziyade pahlı veya kanat duvarlı menfez girişi yapımıyla artacaktır. Enerji kayıplarına yol açan yersel yük kayıpları azalacağından taşıma kapasitesi artacaktır [2]. Bununla birlikte çıkış yapılarının da menfez içindeki akış hızını azaltıp doğal dere yatağındaki hıza yakınlaştırması verimlilik açısından önem arz etmektedir.

Tüm mühendislik yapılarında olduğu gibi menfezlerin de doğru bir şekilde projelendirilmesi gerek arzu edilen işlevi yerine getirmesi ve gerekse de ekonomik açıdan uygunluk için önemlidir. Bu yapıların yanlış projelendirilmesi veya uygulama hataları sonucu karayolu/demiryolu üzerinden su aşması, zemin stabilitesinin bozulması ve dolgu erozyonu gibi ciddi problemler ortaya çıkabilmektedir [3]. Yapılan çalışmalarda menfez civarı ve yol gövdesindeki kaplamalarda oluşan oturma ve deformasyon gibi bozulmaların menfez tasarımının doğru şekilde yapılmasından kaynaklı olduğu belirlenmiştir [3]. Menfezlerinin taşıma kapasitesinin çok üzerinde boyutlandırılması durumunda da yapım maliyetleri çok artacaktır.

Su yüzü profillerinin kanal/akarsu boyunca olan değişiminin bilinmesi o kanal/akarsuyun bulunduğu bölge için oldukça önemlidir [4]. Menfez verimliliğinin ve taşıma kapasitesinin belirlenmesi, menfez kapasitesinin üzerinde oluşabilecek muhtemel taşkınlara ait risk ve tehlike haritaların çıkartılması, alınacak önlemlerin ve maliyetlerinin belirlenmesi yapım öncesi atılması gereken adımlardır. Tüm bu adımlar, akım koşullarının (menfez taşıma kapasitesi, menfez girişi su derinliği ve menfez etrafı su yüzü profillerinin) doğru şekilde hesaplanması kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla bu yapıların deneysel ve sayısal model çalışmalarıyla desteklenmiş detaylı hidrolik tasarımlarının yapılması önem arz etmektedir.

Su yüzü profillerinin belirlenmesinde son zamanlarda uygulanan yöntemlerden biri de görüntü işleme tekniğidir. Bu yöntemin en önemli avantajı akıma hiçbir şekilde müdahale etmeksizin su yüzü görüntülerin elde edilmesi ve

istenilen noktadan su yüzü değişiminin görüntüsünün belirlenen zaman aralığında alınabilmesidir. Elde olunan dijital görüntüler uygulanan tekniklerle sayısal değerlere dönüştürülmekte ve su yüzü profilleri hesap alanı içerisinde elde edilmektedir.

Görüntü işleme tekniği deneysel çalışmalar yapan araştırmacılar için büyük bir kolaylık sağlamakta ve oldukça iyi sonuçlar vermektedir [5]. Ayrıca, bu teknik, sayısal modellerin güvenilirlik testlerinde kullanılan deneysel çalışmalara ait sonuçların sayısallaştırılmasında kullanılan bir tekniktir [6].

Menfezlerin hidrolik tasarımlarında önemli bir nokta akımın giriş veya çıkış kontrollü akım olmasına bağlı olarak değişen akım tipidir. Bu çalışmanın amacı, giriş ve çıkış kontrollü akımları içeren altı farklı akım koşulu dikkate alınarak kutu ve dairesel enkesitli menfezler etrafında oluşan su yüzü değişiminin deneysel ve sayısal olarak elde edilmesi, sonuçların karşılaştırılarak menfez tasarımları için burada bahsedilen yöntemlerin uygulanabilirliklerinin araştırılmasıdır.

Çalışmada Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan ve boyutları Bölüm 2'de tanımlanan deneysel kanal kullanılarak menfezlerle ilgili çeşitli fiziksel deneyler yürütülmüştür. Deneylerde enkesiti kutu ve dairesel olarak değişen ve özellikleri yine Bölüm 2'de verilen menfez tipleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ölçüm cihazı (limnometre) ve görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilmiş, sayısal modelleme çalışmalarında ise doğruluğu ispatlanmış olan Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) ticari paket programından yararlanılmıştır. Bunların yanı sıra prizmatik kanallarda su yüzü profillerinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan direkt adım metodu ile de su yüzü profilleri hesaplanmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de menfez ve menfez hidroliği hakkında bilgiler verilmiş, Bölüm 2'de ise deneysel ve sayısal modelleme çalışmalarından bahsedilmiştir. Burada deneysel çalışmalar başlığı altında deneysel kanal, menfez tipleri ve ölçüm yöntemleri hakkında bilgiler yer verilmiş, sayısal modelleme alt başlığı altında HEC-RAS yazılımı hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca yine bu bölümde direkt adım metodu ile su yüzü profillerinin elde edilmesine yönelik hesap şekilleri de anlatılmıştır. Bölüm 3'te kutu ve dairesel enkesitli menfezler için deneysel ve sayısal modelleme çalışmalarından elde edilen bulgulara verilmiş, çalışmadan elde edilen sonuçlar ise Bölüm 4'te verilmiştir.

2 Materyal ve metod

Bu bölümde laboratuvar deneylerinin yapıldığı kanaldan, kullanılan menfez tiplerinden, görüntü işleme tekniğinden ve sayısal modelleme çalışmalarından bahsedilmektedir.

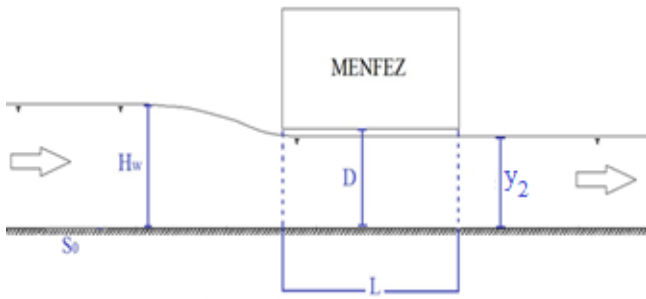
2.1 Deneysel çalışmalar

Farklı enkesitteki menfez tiplerinin akım üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada deneysel çalışmalar için Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan dikdörtgen enkesitli ve boyutları 10x0.309x0.45 m olan deneysel kanal kullanılmıştır (Şekil 1). Kanal taban eğimi, akım debisi ve mansap su derinliği gibi parametreler değiştirilerek literatürde menfezler için belirtilen hidrolik koşullar laboratuvar ortamında oluşturulmaya çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar Şekil 2’de tanımlanan ve Tablo 1’de verilen hidrolik koşullar ile bu koşulların sağlanması için Tablo 2 ve Tablo 3’te sunulan veriler dikkate alınarak yürütülmüştür. Tablo 1’de görülen H_w menfezin girişindeki su derinliğini, D menfezin yüksekliğini, y_0 kanaldaki normal derinliği, y_c kanaldaki kritik derinliği ve y_2 menfezin çıkış kesitindeki su seviyesini ifade etmektedir.



Şekil 1. Deneysel kanal



Şekil 2. Menfez hidroliği [7]

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan menfezlere ait hidrolik koşullar [7]

No	H_w/D	$y_0 < y_c < y_2 < D$	Eğim	Akım Çeşidi	Giriş Şekli	Kontrol Durumu
I	$H_w/D < 1,2$	$y_0 < y_c < y_2 < D$	Az	Nehir Rejimi		Giriş
II	$H_w/D < 1,2$	$y_0 < y_c > y_2 < D$	Dik	Sel Rejimi	Serbest	Giriş
III	$H_w/D < 1,2$	$y_0 < y_c < y_2 < D$	Dik	Sel Rejimi		Giriş
IV	$H_w/D > 1,2$	$y_2 < D$	Herhangi Bir Eğim	Orifis		Giriş
V	$H_w/D > 1,2$	$y_2 < d, y_0 > D$	Herhangi Bir Eğim	Basınçlı	Batmış	Çıkış
VI	$H_w/D > 1,2$	$y_2 > d, y_0 > D$	Herhangi Bir Eğim	Basınçlı		Çıkış

Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kutu enkesitli menfez için kullanılan veriler

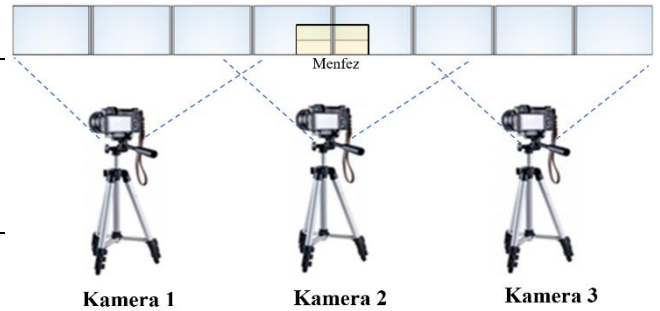
Durum No	Debi (m^3/sa)	Kanal Eğimi (%)	Mansapta Bilinen Su Derinliği (cm)
I	20	0.2	-
II	10	2.5	-
III	5	2.0	15
IV	80	0.2	-
V	70	0.02	-
VI	50	0.02	15

Tablo 3. Deneysel çalışmalarda dairesel enkesitli menfez için kullanılan veriler

Durum No	Debi (m^3/sa)	Kanal Eğimi (%)	Mansapta Bilinen Su Derinliği (cm)
I	20	0.2	-
II	10	2.5	-
III	5	2.0	15
IV	50	0.2	-
V	70	0.02	-
VI	80	0.02	20

Deneysel çalışmaların her biri deneylerin tekrarlanabilirliğini ortaya koymak adına üç defa tekrarlanmış ve her bir deneysel çalışma için üç ayrı cep telefonu kamerası ile video kayıtları alınmıştır (Şekil 3). Deneylerde görüntü işleme tekniğinin kullanımını kolaylaştırmak ve su-hava arakesitini belirginleştirmek için suya kırmızı renkli gıda boyası eklenerek renklendirilmiştir. Böylece kanalın yan tarafından alınan video kayıtları ile 1 boyutlu olarak akımın zamanla değişimini kanal boyunca izlemek daha kolay hale getirilmiştir (Şekil 4a). Ayrıca yine kırmızı renkli gıda boyası ile renklendirilmiş suyu videolarda daha kolay ayırt etmek için kanalın arka duvarı beyaz renkli kağıtlarla kaplanmıştır (Şekil 4b).

Deneysel çalışmalarda boyutları 13.3x13.3 cm ve uzunluğu 1.2 m olan kutu (kare) ve çapı 15.0 cm uzunluğu 1.2 m olan dairesel enkesitli menfez tipleri kanalın 5,65 m ile 6.85 m arasına yerleştirilerek kullanılmıştır (Şekil 5). Ayrıca deneyler esnasında menfez kenarlarından sızma olmaması için dört adet kauçuk sızdırmazlık şeridi menfez kenarlarına yerleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan kameraların konumu



Şekil 4. a) Farklı durumlar için deneysel çalışmalara ait görüntüler b) kanal arka duvarının beyaz kağıtla kaplanması



Şekil 5. Deneysel çalışmalarda kullanılan menfez tipleri ve sızdırmazlık şeritleri

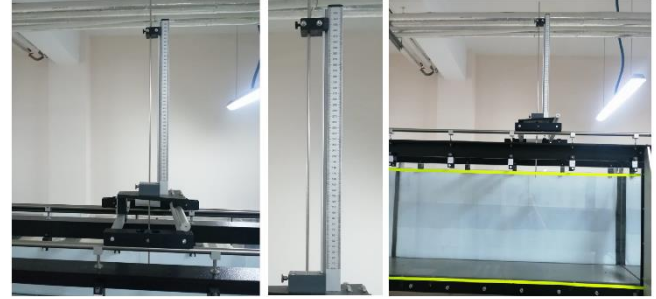
2.1.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan ölçüm yöntemleri

Bu bölümde kanal boyunca elde edilen akım derinliklerinin hangi ölçüm yöntemleri kullanılarak elde edildiği açıklanmaktadır.

2.1.1.1 Limnimetre ile ölçüm

Deneysel çalışmalarda su yüzü profillerine ait akım derinliklerinin ölçülmesi için öncelikle hidrolik laboratuvarında bulunan limnimetre cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ucunda iğne bulunan üzerinde mm cinsinden şerit metre yer alan ve kanal üzerinde herhangi bir noktaya kolaylıkla hareket ettirilebilen bir ölçüm cihazıdır (Şekil 6).

Cihaz ölçülmesi istenen su derinliğinin bulunduğu noktaya getirilerek su yüzeyine değdirilir ve bu noktadaki akım derinliği şerit metre üzerinden okunur. Deneysel çalışmalarda menfeze yakın bölgelerde her 5 cm'de bir diğer bölgelerde ise 10 cm bir bahsedilen şekilde ölçümler alınmıştır.



Şekil 6. Limnimetre ölçüm cihazı

2.1.1.2 Görüntü işleme tekniği

Bu çalışmada deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin sayısallaştırılmasında görüntü işleme tekniğinden yararlanılmıştır.

Bu teknik kanal içinde belli noktalara yerleştirilen metal çubuklarla elektrik iletkenliğine bağlı olarak ölçülen tekniğe nazaran üstünlüğe sahiptir. Görüntü işleme tekniği ile zamanla değişen akıma ait görüntünün bir defa alınması ile deneylerin tekrarlanması ortadan kalkmakta ve sadece noktasal ölçümlerin değil aynı zamanda su yüzünün kanal boyunca anlık değişimi izlenebilmektedir [5]. Diğer yöntemlerde ise kısıtlı sayıda noktadan ölçüm alınmakta farklı noktalarda ölçüm alınmak istendiğinde ise deneyin tekrarlanması gerekmektedir. Ayrıca metal çubuklarla yapılan bu yöntemler yüksek maliyete sahiptir ve akımı etkilemektedir. Görüntü işleme tekniğinde ise kanal genişliğinin her noktasındaki su seviyesi değişimi akıma müdahale edilmeden elde edilebilmektedir [5].

Deneysel çalışmalarda görüntü işleme tekniği ile suyun kanal içerisinde oluşturacağı su yüzü profili, kanalın yan tarafına yerleştirilen üç adet telefon kamerası ile bir boyutlu olarak izlenmiştir. Bunun için öncelikle kanalın yan duvarları üzerinde herhangi bir noktadaki su yüksekliklerinin ölçülebilmesi amacıyla kanalın 0. ve 42. cm'lerine yeşil renkte işaretleyici şeritler yerleştirilmiştir (Şekil 7). Birinci şerit kanal duvarının en altına, ikinci şerit ise ilk şeritten itibaren 42 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Bu iki yeşil şerit aracılığıyla suyun kanal içerisindeki farklı noktadaki su yüzü profiline ait yüksekliklerin olabildiğince doğru bir şekilde sayısallaştırılması sağlanmıştır. Yeşil şeritlerin kullanılması, renk filtresi kullanarak ilgili noktaların doğru bir şekilde tespit edilmesi amacıyla seçilmiştir (Şekil 8). Benzer şekilde suyun daha net tanımlanabilmesi için de su kırmızı gıda boyasıyla renklendirilmiş ve kırmızı renk filtresi kullanılarak suyun kanal içerisindeki ilerleyişi takip edilebilmiştir (Şekil 9). Şekil 9'da kırmızı renk üzerinde görülen kesiklikler kanalı yan taraftan destekleyen dikmelerden ve menfezi sınırlandıran kenarlardan dolayı oluşmuştur.



Şekil 7. Deneysel kanalda yeşil şeritlerin kullanımı

Bu teknikte kullanılan adımlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

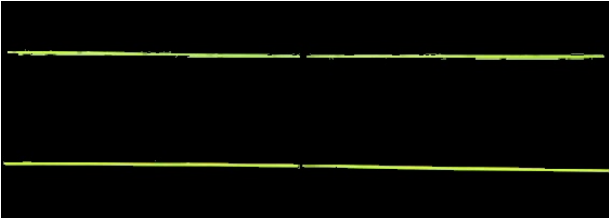
Adım 1: Kutu/dairesel menfez deneyinin video görüntüsü çerçevelere ayrılarak her bir çerçeve için Adım 2-Adım 5 işlemleri.

Adım 2: Kanal içerisinde 0. ve 42. cm yüksekliklere yerleştirilen yeşil şeritler yeşil renk filtresi aracılığıyla tespit edilir ve her sütun için bir pikselin cm türünden karşılığı hesaplanır.

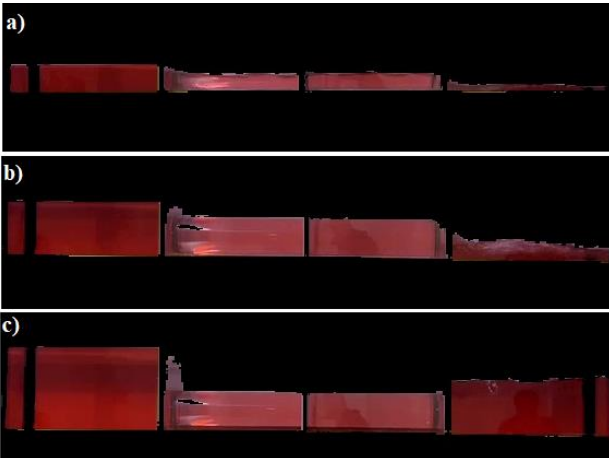
Adım 3: Kırmızı gıda boyasıyla renklendirilmiş olan su kırmızı renk filtresi aracılığıyla tespit edilir ve ilgili çerçevede suyun bulunduğu tüm sütunlardaki en yüksek değerleri belirlenir.

Adım 4: Belirlenen su yüksekliğinin cm türünden karşılığı hesaplanır.

Adım 5: İlgili çerçeveye ait sonuçlar bir metin dosyasına kaydedilir.



Şekil 8. Yeşil şeritlerin filtrelenmesi



Şekil 9. Farklı durumlar için kırmızı renkli suyun filtrelenmesi a) Durum I b) Durum V c) Durum VI

2.2 Sayısal modelleme çalışmaları

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemlerinin açık kanal problemlerindeki kullanım alanlarının yaygınlaşması serbest yüzeyli akım problemlerinin daha hızlı, kolay ve maliyet açısından daha ekonomik bir şekilde çözülmesine imkân sağlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayarların hesaplama güçlerinin ve hızlarının artması bu tür problemlerin çözüm süresini oldukça kısaltmış ve problemlerin iki hatta üç boyutlu çözümleri olanaklı hale gelmiştir. Analiz süresi ve probleme ait tasarımın hızlı bir şekilde elde edilmesi, değişen hidrolik akım koşulları altında analizlerin tekrarlanması kolaylaştırmış ve en doğru çözüme ulaşılması noktasında imkân sağlamıştır.

Çalışmanın sayısal modelleme kısmında HEC-RAS ticari paket programından yararlanılmıştır. Program, prizmatik kanallar ile doğal akarsuların hidrolik hesaplamalarını gerçekleştirmek üzere Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği Hidroloji Mühendisliği Merkezi tarafından tasarlanmış grafik tabanlı bir yazılımdır [8, 9]. HEC-RAS programı ile üniform ve üniform olmayan akımlarda su yüzü profili, sediment ve çeşitli hidrolik yapıların hesaplamaları ile su kalitesi analizleri yapılabilmektedir [10, 11]. Elde edilen veriler ise tablo, grafik ve animasyonlar şeklinde sunulabilmektedir. Dolayısıyla, program açık kanal akımlarının analizlerinde mühendisler ve araştırmacılar tarafından sıklıkla başvurulan kullanışlı bir yazılımdır [12].

HEC-RAS yazılımında farklı problemlere özgü analizlerin yapılabilmesi için öncelikle programa birtakım verilerin işlenmesi gerekmektedir. Bu veriler, incelenecek her bir durum/problem için farklı olmakla birlikte genellikle geometrik (kanal enkesitleri, hidrolik yapılar), akım ve sınır şartları verilerinden oluşmaktadır.

Program su yüzü profillerine ait hesaplamalarda farklı çözüm yöntemlerini kullanmaktadır. Enerji denklemi (standart adım), momentum prensibi, Yarnell ve WSPRO gibi yöntemler bunlardan bazılarıdır [13, 14]. Bu çalışmada menfezlerin hidrolik hesabı için **Denklem (1)** de verilen enerji denklemi yöntemi kullanılmıştır.

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

Burada; alt indisler u memba ve d mansap kesitlerini, WS kıyas düzleminde itibaren su yüzü kotuna kadar olan düşey mesafeyi, α kinetik enerji düzeltme katsayısını, V ortalama hızı, g yerçekimi ivmesini, L memba ve mansap kesitleri arasındaki uzaklığı, S_f ortalama enerji çizgisi eğimini ve C daralma veya genişleme katsayısını ifade etmektedir.

2.3 Direkt adım metodu

Direkt adım metodu tedrici değişen akımlarda su yüzü profillerini hesaplamak amacıyla kullanılan ve prizmatik kesitlere uygulanan bir yöntemdir [15]. Hesaplama açısından kolay ve pratik bir yöntem olması sebebiyle su yüzü profillerinin belirlenmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Metot, bilinen su derinliklerine karşılık gelen enkesitler arası mesafelerin adım adım hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Direkt adım metoduna göre belirlenen su derinliklerin bulunduğu ardışık enkesitler

arasındaki ara mesafe **Denklem (2)**'de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_0 - \bar{S}_f} \quad (2)$$

Burada; S_0 taban eğimini, \bar{S}_f iki ardışık kesit arasındaki ortalama enerji çizgisi eğimini, ΔE iki ardışık kesit arasındaki enerji seviyesi farkını ve Δx iki ardışık kesit arasındaki mesafeyi göstermektedir. \bar{S}_f ve E sırasıyla **Denklem (3)** ve **Denklem (4)** ile hesaplanmaktadır.

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (3)$$

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (4)$$

Burada; Q kesitten geçen debiyi, n Manning sürtünme katsayısını, A kesit alanını, R hidrolik yarıçapı, y su derinliğini ve g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

3 Bulgular ve tartışma

Bu bölümde kutu ve dairesel enkesitli menfezlerin her biri için 6 tane olmak üzere toplam 12 durum için deneysel ve sayısal modelleme çalışmaları sonucu elde edilen su yüzü profillerine ait bulgular karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır (**Şekil 10 - Şekil 21**).

3.1 Kutu enkesitli menfeze ait bulgular

Kutu enkesitli menfez için deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen 6 farklı akım durumuna ait su yüzü profillerinin kanal boyunca değişimi **Şekil 10 - Şekil 15**'te verilmektedir. Kutu enkesitli menfez ve dairesel enkesitli menfez için elde edilen ve **Şekil 10 - Şekil 21** arasında verilen sonuçlarda "deneysel ölçüm" şeklinde ifade edilen su yüzü profilleri, her bir akım durumu için üçer kez tekrarlanan laboratuvar deneyleri sırasında limnometre ile ölçülerek elde edilen sayısal değerlerin aritmetik ortalaması alınarak elde olunmuştur. Memba bölgesi için deneysel ölçüm ile tekrarlanan deney sonuçları arasındaki % mutlak maksimum bağıl hata deneysel ölçüm sonuçları baz alınarak kutu enkesitli menfez için %3.98 dairesel enkesitli menfez için %5.36 olarak hesaplanmıştır. Mansap bölgesi için ise bağıl hatalar kutu enkesitli menfezde %8.40 dairesel enkesitli menfezde %7.84 olarak elde edilmiştir.

Şekiller incelendiğinde kanal boyunca HEC-RAS programının ürettiği su yüzü profillerinin genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Menfez membanda su yüzü profillerine ait deneysel ölçüm sonuçları (limnometre ölçümleri) baz alınarak hesaplanan bağıl hatalar **Tablo 4**'te verilmiştir. **Tablo 4** incelendiğinde HEC-RAS model sonuçlarında maksimum bağıl hata %40.94 ile Durum III'te ve ikinci olarak %15.95 ile Durum V'te hesaplanmıştır. Diğer durumlarda bağıl hatanın %10'unun altında olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere, menfez girişlerinde akım oldukça kompleks yapıdadır ve menfez şekli, menfez giriş açıklığının alanı ve giriş yapısının şekli buradaki su derinliği

H_w 'yi etkileyen en önemli faktörlerdir. Menfez girişinde özellikle giriş kontrollü akımlarda çok daha kompleks akımlar oluşmaktadır. Bu akımlar, vorteksler içeren yoğun üç boyutlu akım özelliği gösterir. Bu akımların HEC-RAS gibi bir boyutlu modeller ile hesaplamalarında elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları doğal olarak farklılıklar gösterebilir. Tasarım açısından HEC-RAS'dan elde edilen menfez önü su derinliğinin büyük olması güvenilir tarafta olurken, ekonomik açıdan maliyetleri artırabilir.

Menfezin mansap bölgesinde ise, özellikle Durumlar I, IV ve V'de su yüzünde gözlenen ani değişimleri (dalgalanmaları) HEC-RAS yazılımının yakalayamadığı görülmektedir.

Şekil 10 - Şekil 15 incelendiğinde direkt adım metodu ile elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, direkt adım metodu tedrici değişken akım özelliği taşıyan bölgelere uygulanırken profillerin kontrol noktalarındaki bilinen su derinlikleri (hesap başlangıcındaki su derinlikleri) olarak deneyler sırasında o noktalarda ölçülen su derinliklerinin alınmasıdır. Direkt adım metodunun sonuçlarında görülen maksimum bağıl hatanın %12.94 ile menfez içi akımın hesaplandığı Durum II'de meydana geldiği bunun dışındaki tüm durumlarda %10'unun altında olduğu tespit edilmiştir (**Tablo 4**). Direkt adım metodu tedrici değişken akımların analizinde kullanıldığından kanalın mansap kısmında yer alan ve ani olarak değişen su yüzü profillerinin hesaplanmasında bu yöntemle yer verilmemiştir.

Son olarak görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen sonuçların genel eğilim olarak deneysel ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında en büyük bağıl hatanın %51.15 ile Durum III'te ve sonrasında %17.05 ile Durum II'de olduğu gözlemlenmiştir (**Tablo 4**). Bu farkların ortamdaki yansıma ve görüntü işleme tekniğinin algoritmik olarak maksimum kırmızı rengi takip etmesi nedeniyle kanal duvarına yapışan kırmızı renkli akışkan parçacıklarını yakalamasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Diğer tüm durumlar için bağıl farkların %10'unun altında olduğu belirlenmiştir. Görüntü işleme tekniği ile menfez içi su yüzü profilleri de elde edilmiş ancak deneyler sırasında menfez içerisinde ölçümler yapılamadığından karşılaştırma yapılamamıştır.

Tablo 4. Kutu enkesitli menfez memba bölgesi için hesaplanan maksimum bağıl hatalar

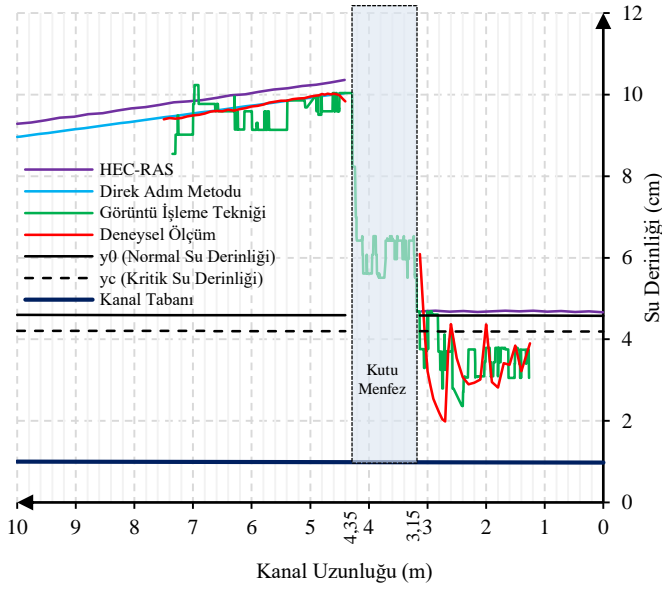
Kutu Menfez	HEC-RAS	Gör. İşl. Tekn.	Direkt Adım Metodu
Durum-I	4.53	8.06	0.95
Durum-II	6.62	51.15	12.94
Durum-III	40.94	17.05	6.17
Durum-IV	6.31	10.68	0.87
Durum-V	15.95	3.64	1.33
Durum-VI	7.39	6.02	0.63

Memba bölgesinin dışında mansap bölgesi için de deneysel ölçüm sonuçları baz alınarak bağıl hata değerleri hesaplanmıştır. **Tablo 5**'te görüleceği üzere tedrici değişken akımın görüldüğü Durum III ve Durum VI hariç, diğer durumlarda mansap bölgesinde HEC-RAS ve görüntü işleme tekniğinden elde edilen sonuçlara göre hesaplanan bağıl

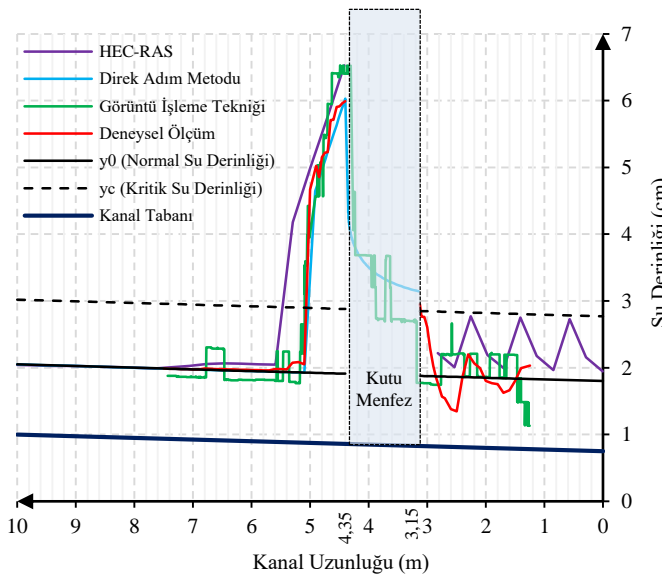
hata değerleri memba bölgesine göre oldukça fazladır. Bu farklılıkların, daha öncede belirtildiği üzere HEC-RAS tarafından iyi bir şekilde tarif olunamayan ani değişken ve süresiz akım yapısından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Süresiz yapı sadece renk filtrelemesi uygulanan görüntü işleme tekniği açısından problem oluşturmuştur.

Tablo 5. Kutu enkesitli menfez mansap bölgesi için hesaplanan maksimum bağıl hatalar

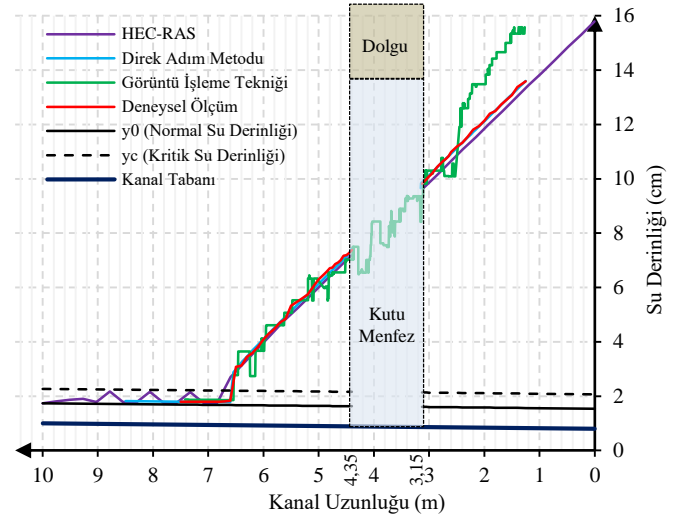
Kutu Menfez	HEC-RAS	Gör. İşl. Tekn.	Direkt Adım Metodu
Durum-I	249.48	196.68	-
Durum-II	124.39	160.09	-
Durum-III	3.25	19.39	0.69
Durum-IV	239.00	234.13	-
Durum-V	218.80	151.92	-
Durum-VI	11.04	11.62	11.11



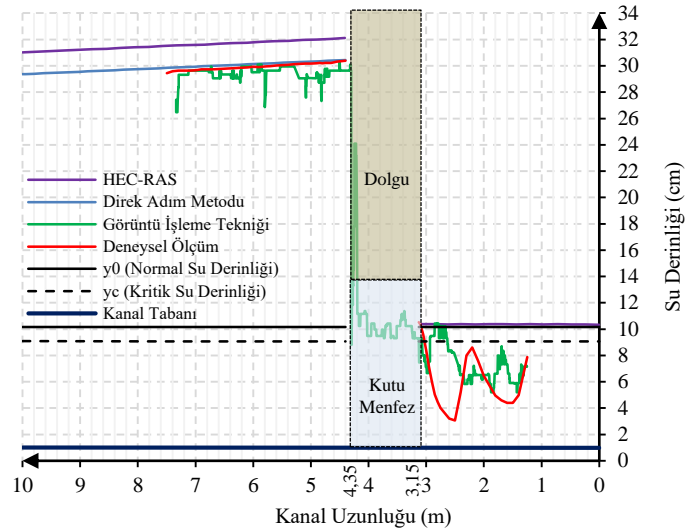
Şekil 10. Kutu menfez durum-I için su yüzü profilleri



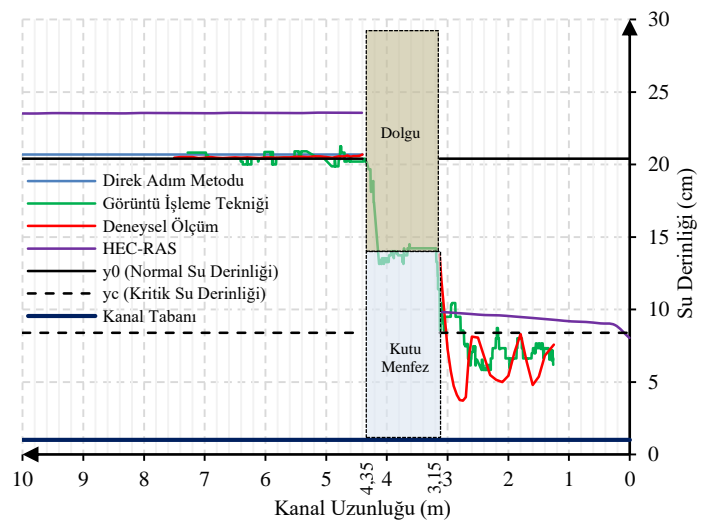
Şekil 11. Kutu menfez durum-II için su yüzü profilleri



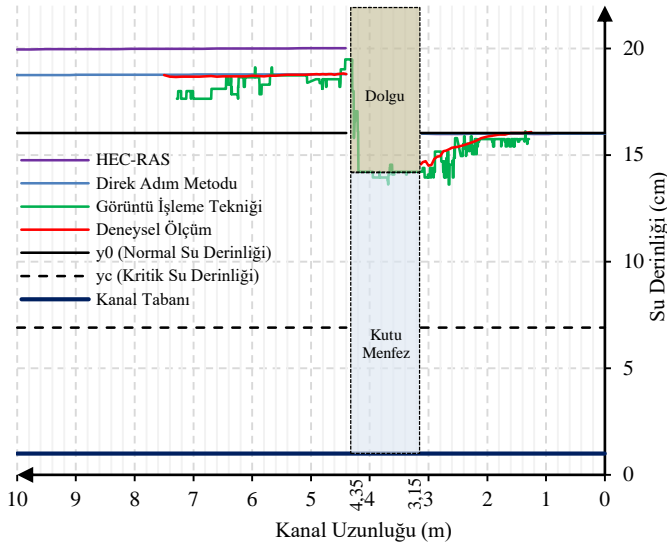
Şekil 12. Kutu menfez durum-III için su yüzü profilleri



Şekil 13. Kutu menfez durum-IV için su yüzü profilleri



Şekil 14. Kutu menfez durum-V için su yüzü profilleri



Şekil 15. Kutu menfez durum-VI için su yüzü profilleri

3.2 Dairesel enkesitli menfeze ait bulgular

Dairesel enkesitli menfez için toplam 6 hidrolik durumdan elden edilen su yüzü profillerinin kanal boyunca değişimi Şekil 16 - Şekil 21 arasında verilmektedir.

Şekil 16 - Şekil 21 incelendiğinde HEC-RAS programı aracılığıyla elde edilen su yüzü profilleri ile deneysel ölçümler yardımıyla elde edilen su yüzü profilleri arasında memba bölgesi için en büyük bağıl hatanın %40.94 ile Durum III'te ve ikinci sırada %17.83 ile Durum V'te olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 6). Bunun dışında diğer durumlar için HEC-RAS sonuçlarının deneysel ölçüm sonuçlarıyla arasındaki bağıl hataların %15'in altında olduğu görülmektedir. HEC-RAS sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki farkların kutu enkesitli menfezde açıklanan nedenlerden kaynaklı olduğu ve dairesele enkesitli menfez girişinde kayıpların daha az oluşu nedeniyle burada sonuçların ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir. Menfez mansabında kutu enkesitli menfezde olduğu gibi su yüzünün ani değişim gösterdiği durumlarda HEC-RAS'm bu değişimleri yakalayamadığı görülmektedir.

Kutu enkesitli menfezde olduğu gibi direkt adım metodu tedrici değişen akım bölgelerine uygulanmış ve Tablo 6'da verilen bağıl hata sonuçlarından da görüldüğü üzere maksimum mutlak bağıl hata %5.01 olarak hesaplanmıştır.

Görüntü işleme tekniği ile elde edilen sonuçların Bölüm 3.1'de kutu enkesitli menfez için açıklanan sebeplerden dolayı deneysel ölçüm sonuçlarıyla arasında en fazla Durum II'de gözlenen %66.98'lik bir bağıl hata hesaplanmıştır. Durum III'te %19.53'lük bir maksimum bağıl hata olduğu diğer durumlarda ise bağıl hatanın %10.14 ve altında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6).

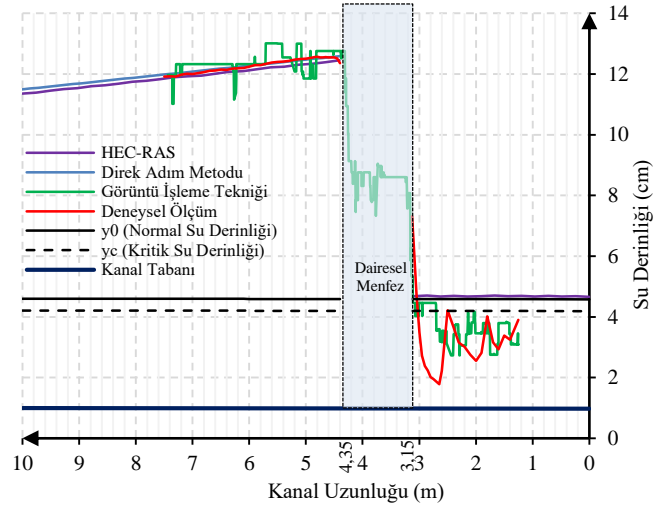
Dairesel enkesitli menfezin mansap bölgesi için de bağıl hata değerleri hesaplanmış ve Tablo 7'de verilmiştir. Memba bölgesi ile karşılaştırıldığında Durum III ve Durum VI dışındaki durumlarda gözlenen bağıl hataların fazlalığının daha önce belirtildiği şekilde ani değişken ve süreksiz akım yapısından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6. Dairesel enkesitli menfez memba bölgesi için hesaplanan maksimum bağıl hatalar

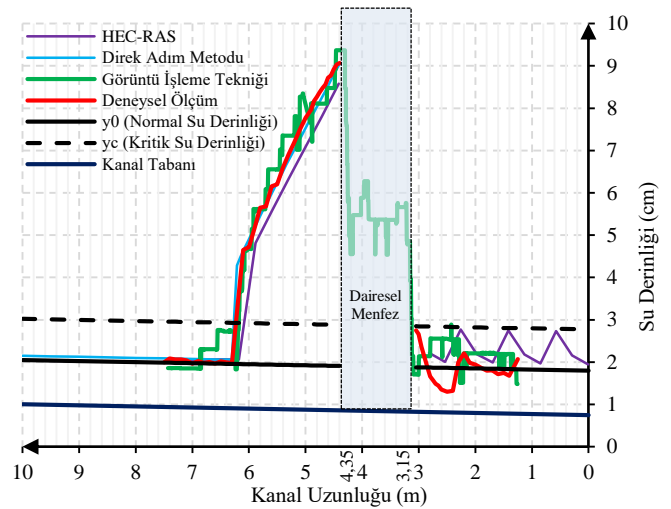
Dairesel Menfez	HEC-RAS	Gör. İşl. Tekn.	Direkt Adım Metodu
Durum-I	1.29	10.14	0.97
Durum-II	15.00	66.98	4.38
Durum-III	40.94	19.53	5.01
Durum-IV	3.05	7.00	0.39
Durum-V	17.83	8.29	0.83
Durum-VI	8.96	8.30	0.72

Tablo 7. Dairesel enkesitli menfez mansap bölgesi için hesaplanan maksimum bağıl hatalar

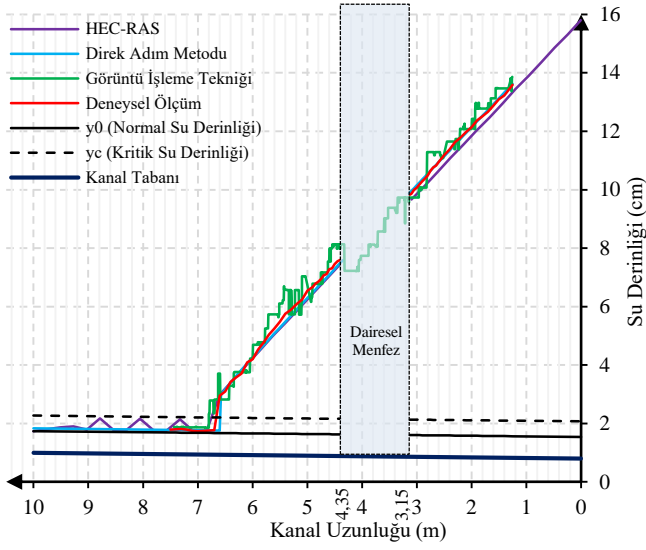
Dairesel Menfez	HEC-RAS	Gör. İşl. Tekn.	Direkt Adım Metodu
Durum-I	371.21	293.71	-
Durum-II	284.31	329.39	-
Durum-III	5.08	6.53	5.01
Durum-IV	280.26	135.73	-
Durum-V	252.64	172.96	-
Durum-VI	14.20	6.07	14.24



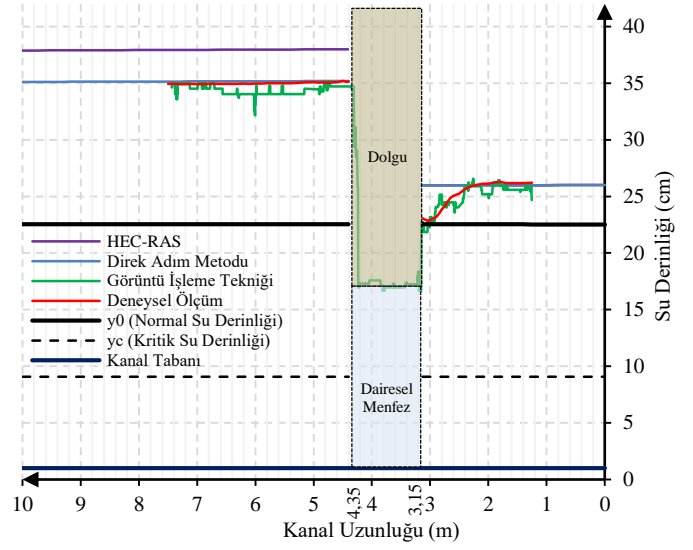
Şekil 16. Dairesel menfez durum-I için su yüzü profilleri



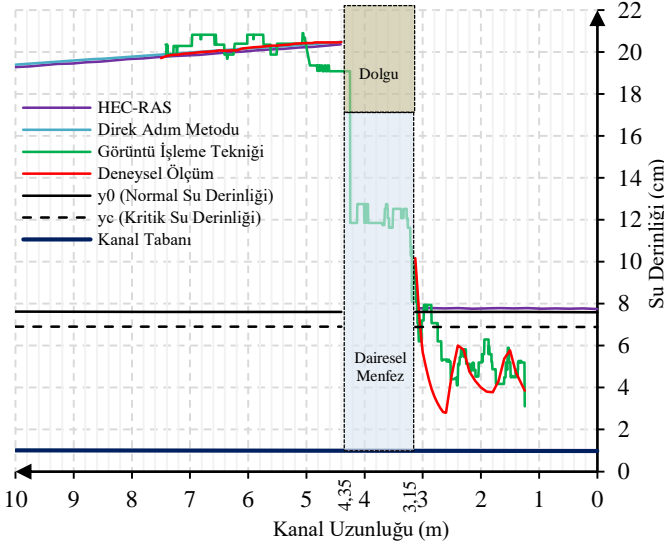
Şekil 17. Dairesel menfez durum-II için su yüzü profilleri



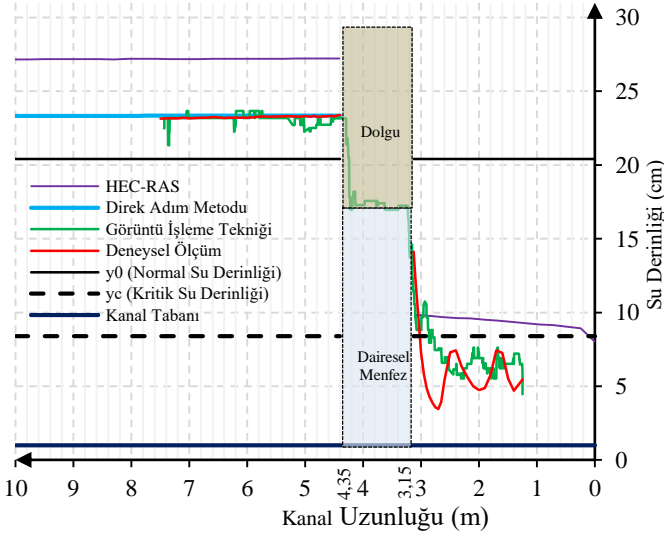
Şekil 18. Dairesel menfez durum-III için su yüzü profilleri



Şekil 21. Dairesel menfez durum-VI için su yüzü profilleri



Şekil 19. Dairesel menfez durum-IV için su yüzü profilleri



Şekil 20. Dairesel menfez durum-V için su yüzü profilleri

4 Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada kutu ve dairesel enkesitli menfezler etrafında oluşan su yüzü profilleri menfezlerin detaylı hidrolik tasarımında göz önüne alınan akım koşulları altında deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Su yüzü profillerinin şekilleri dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılacak olunursa, sayısal ve deneysel sonuçların benzerlik gösterdiği söylenebilir.

HEC-RAS sayısal modelinin sonuçlarına dayalı çizilen su yüzü profillerinin memba bölgesinde kutu enkesitli menfeze ait Durum III hariç hepsinde ve dairesel enkesitli menfeze ait Durum V ve VI'da daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde HEC-RAS sonuçlarından elde olunan ve menfez tasarımlarda önemli bir parametre olan menfez memba su derinliği değerleri de deney sonuçlarından yüksek bulunmuştur. Mansap bölgesinde ani su yüzü değişimleri HEC-RAS tarafından genel olarak yakalanamamıştır.

Direkt adım metodu, profil hesaplarında kullanılan kontrol noktalarındaki başlangıç su derinliği değerleri, ölçümlerden ve/veya deneylerin başlangıcında oluşturulan su derinlikleri alınarak tedrici değişken akım bölgelerine uygulanmış ve doğal olarak uygulandığı akım bölgelerinde ölçüm sonuçlarına çok yakın sonuçlar vermiştir.

Görüntü işleme tekniğinin akıma müdahale olmaksızın daha doğru sonuçlar üretmesi ve fiziki olarak ölçümlerin yapılmadığı menfez iç bölgesi gibi yerlerde de sonuçların alınabilmesi büyük bir avantaj oluşturmaktadır. Görüntü işleme tekniğinin görüntü kalitesi ve sayısallaştırma algoritmalarının iyileştirilmesi (özellikle su yüzü değişimlerinin yoğun olduğu kompleks akım bölgelerinde) ile burada tarif olunan her durum için çok daha iyi sonuç vereceği açıktır. Bu çalışmada da menfez giriş ve çıkış bölgelerinde (menfez içi ölçüm yapılamadığından karşılaştırma yapılamamıştır) görüntü işleme tekniği kullanılarak elde olunan su yüzü profillerinin deneysel ölçüm sonuçlarına oldukça yakın olduğu düşünülmektedir. Deneysel çalışmalarda karşılaşılan ölçüm hatalarının

görüntü işleme tekniğinde olmaması ve tekniğin fiziksel deneylerde sıklıkla uygulanan deney tekrarlarına çok ihtiyaç duymaması, benzeri çalışmalar açısından görüntü işleme tekniğinin kullanılmasının önemli bir avantaj oluşturacağı kanaatini oluşturmuştur.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] A. Gandhi and S. Bhadke, Analysis and design of R.C.C. footbridge construction considering cushion arrangements. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 4(5), 5162-5172, 2022. [https://doi: 10.21275/SR22513223453](https://doi.org/10.21275/SR22513223453).
- [2] FHWA, Hydraulic Design Series Number 5: Hydraulic Design of Highway Culverts. National Highway Institute, Arlington, Virginia, 2005.
- [3] KGM, Karayolu Tasarım El Kitabı, Bölüm 6: Drenaj Tasarımı. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2005.
- [4] B. Naik ve K.K. Khatua, Water surface profile computation in nonprismatic compound channels. Aquatic Procedia, 4, 1500-1507, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.194>.
- [5] S. Kocaman, Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [6] K.S. Erduran, A.Ş. Dokuz ve U. Ünal, Görüntü işleme tekniği yardımıyla elde edilen deneysel sonuçların hibrid sayısal dalga modelinin performans analizinde kullanımı. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(3), 183-196, 2019. [https://doi: 10.28948/ngumuh.634708](https://doi:10.28948/ngumuh.634708).
- [7] R.E. Featherstone and C. Nalluri, Civil engineering hydraulic. Blackwell Science, 1995.
- [8] A.S. Subedi, S. Sharma, A. Islam and N. Lamichhane, Quantification of the effect of bridge pier encasement on headwater elevation using HEC-RAS. Hydrology, 6(1), 1-18, 2019. <https://doi.org/10.3390/hydrology6010025>.
- [9] K. Cebe, ve Ö. Bilhan, HEC-RAS hidrodinamik model kullanılarak kararlı akım analizi: Nevşehir, Türkiye örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 32, 135-141, 2021. [https://doi: 10.31590/ejosat.1039311](https://doi:10.31590/ejosat.1039311).
- [10] G. W. Brunner, River Analysis System User's Manual, Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2010.
- [11] J.M. Qasim, Laboratory and HEC-RAS simulations of a single-step weir. Journal of Engineering and Applied Sciences, 8(12), 1005-1011, 2013.
- [12] D. Kumar, H.L. Yadav ve S.K. Himanshu, Estimation of scour depth around bridge piers by Using HEC-RAS. Recent Advances in Civil Engineering, 421-425, 2011.
- [13] G.W. Brunner, J.H. Hunt, A comparison of the one-dimensional bridge hydraulic routines from HEC-RAS, HEC-2 and WSPRO. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 1995.
- [14] G. Eryılmaz Türkkan, Pürüzlülük katsayısının açık kanal akımına etkisinin incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(3), 61-68, 2021. [https://doi: 10.29130/dubited.800691](https://doi:10.29130/dubited.800691).
- [15] A.R. Vatankhah, Direct integration of gradually varied flow equation in parabolic channels. Flow Measurement and Instrumentation, 22(3), 235-241, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.03.003>

