



Araştırma Makalesi / Research Article

Hareketli tabana sahip T-bağlantılı kanal sisteminde akım ve taban özelliklerinin
nümerik incelenmesi*Numerical investigation of flow and bed features at a T-linked channel system with
mobile-bed*Fırat Gümgüm^{1*}¹ Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye fiat.gumgum@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2707-3122>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 28 Ağustos 2024
Revizyon 3 Ekim 2024
Kabul 4 Ekim 2024
Online 23 Aralık 2024

Anahtar Kelimeler:

Akım bölünmesi, çevirme kanalı,
hareketli taban, nümerik analiz

ÖZ

Alüvyal akarsuların kıyılarına inşa edilen çevirme kanallarında oluşan aşırı sediment birikimi nedeniyle kanalda ciddi sığlaşmalar meydana gelebilmektedir. Bu olgu akım bölünmesi ile birlikte araştırmacılar tarafından sıklıkla laboratuvar deneyleriyle araştırılmaktadır. Laboratuvar deneylerinin fiziksel ve ekonomik limitleri göz önüne alındığında nümerik çalışmaların önemi ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bir deney nümerik olarak modellenerek olarak test edilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen bulgularda her iki kanaldaki akım ve taban özelliklerinin laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu saptanmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 August 2024
Received in revised form 3 October 2024
Accepted 4 October 2024
Available online 23 December 2024

Keywords:

Division of flow, diversion channel,
mobile-bed, numerical analysis

ABSTRACT

Severe shoaling may occur in the diversion channels built on alluvial river banks due to excessive sediment deposition. The phenomenon, together with flow division, is frequently investigated by researchers with laboratory experiments. Considering the physical and economic limits of laboratory experiments, the importance of numerical studies becomes obvious. In this study, an experiment carried out in the laboratory was numerically modeled and tested. The simulation results indicate that the flow and bed features in both channels are in coherence with the results obtained from laboratory experiments.

Doi: 10.24012/dumf.1539964

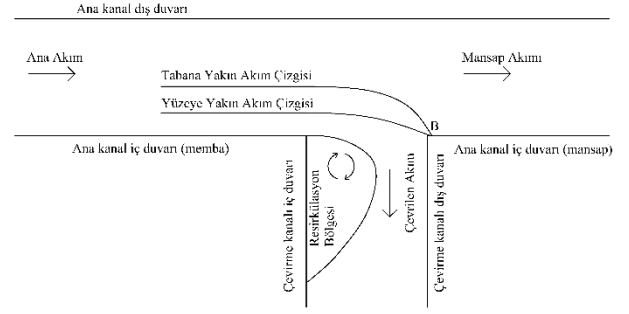
* Sorumlu Yazar

Giriş

Çevirme kanalları, akışın doğal yönünü sulama, katı atık yönetimi, taşkın kontrolü, içme suyu temini vb. amaçlarla değiştirmek için inşa edilmektedir. Bu yapıların alüvyal nehirlerin kıyılarına inşa edilmesi durumunda kanala akım ile birlikte büyük miktarda sediment girebilir. Sık karşılaşılan ve arzu edilmeyen bu durum, kanalda sığlaşmaya ve varsa mansapta bulunan teçhizatlarda arızaya neden olabilmektedir. Aynı zamanda akım bölünmesi nedeniyle çatallanma bölgesinde karmaşık ve üç boyutlu akım yapıları oluşmakta, çevirme kanalı girişinde aşağı yönlü akımlar ve ikincil çevrintiler sonucu yerel oyulmalar meydana gelebilmektedir. Bu olgu genellikle laboratuvar ortamında, akarsuyu temsilen, ana kanalı hareketli tabana sahip, çevirme kanalı ise hareketli ya da rijit tabana sahip kanal sistemlerinde deneysel olarak araştırılmaktadır.

Ana kanal membasından gelen (yaklaşan) akım, çevirme kanalı girişine ulaşırken akımın bir kısmı bölünerek çevirme kanalına doğru yönelir. Ana kanal doğrultusundaki momentum bileşeninden dolayı bölünen (çevrilen) akım, çevirme kanalı iç duvarına hemen temas edemeyerek kanalın memba köşesinden belirli bir açı ile ayrılır ve çevirme kanalı içerisinde bir süre hareket ettikten sonra iç duvarına yeniden bağlanır [1]. Bu ayrılma ve yeniden birleşme noktaları arasında akım hızlarının çok düşük olduğu ve çeşitli çevrintilerin olduğu bir resirkülasyon bölgesi oluşur. Akımın düşük hız profili göz önüne alındığında su yüzeyine yakın bölgedeki hızlar, tabana yakın bölgedeki hızlardan daha yüksektir. Dolayısıyla bölünen akımın tabana yakın çizgileri çevirme kanalına daha geniş bir açı ve yumuşak bir eğrilikle girecekken yüzeye yakın akım çizgileri ise daha dar bir açı ve keskin bir eğrilikle girecektir [1], [2]. Aynı nedenle bölünen akım tabana yakın kısımda daha geniş olacak ve yüzeye doğru daralacaktır. Bölünen akımın ana kanal yönündeki momentum bileşeninin yüzeye yakın bölgede daha büyük olması sonucunda ise resirkülasyon bölgesi su yüzeyi civarında daha geniş olacak, tabana doğru daralacak ve çevrilen akımın su yüzeyine yakın kısmı, resirkülasyon bölgesi tarafından daha çok bloke edilecektir. Tabana yakın akım çizgilerinin yukarıda belirtilen özellikleri de göz önüne alındığı zaman çevrilen suyun büyük kısmının tabana yakın bölgeden alındığı görülmektedir [1], [2]. Bu durum, literatürde Bulle Etkisi olarak bilinen, çevrilen su debisiyle orantısız miktarda büyük sediment debisinin çevirme kanalına girmesine yol açabilmektedir. Ana kanal, çevirme kanalı ve akım bölünmesi sonucu oluşan akım yapıları Şekil 1’de gösterilmiştir. Bölünen akım çizgileri tam olarak çevirme kanalı mansap köşesinde (B noktası) birleşmemekte, ana kanal mansabı yönünde küçük bir miktar uzamaktadır [3].

Çevrilen akımın B noktasına bitişik duvarlara (ana kanal iç duvar mansabı ve çevirme kanalı dış duvarı) çarpması ile birlikte duvarlarda meydana gelen aşağı yönlü akımlar neticesinde biri ana kanal iç duvarı, diğeri ise çevirme kanalı dış duvarı boyunca sekonder akımlar gelişmektedir.



Şekil 1. Kanal sisteminin temsili

Bu sekonder akımlar [4] tarafından bağımsız vorteksler olarak tanımlanmış, daha sonra [3] tarafından tıpkı at nalı vorteksinde olduğu gibi aşağı yönlü akımların kanal doğrultusundaki akımlarla etkileşerek iki kollu bir vorteks sistemi oluşturduğu ve bu sekonder akımların aynı vorteks sisteminin birer kolu olduğu ileri sürülmüştür. Bu vorteks kolları, buldukları kanal tabanında aşağı yönlü akım nedeniyle başlayan oyulmayı artırmakla birlikte çevirme kanalındaki vorteks kolu, aynı zamanda ana kanaldan taşınan sedimentin akım hızlarının küçük olduğu resirkülasyon bölgesinde depolanmasına ve bu bölgede sığlaşmaya neden olmaktadır.

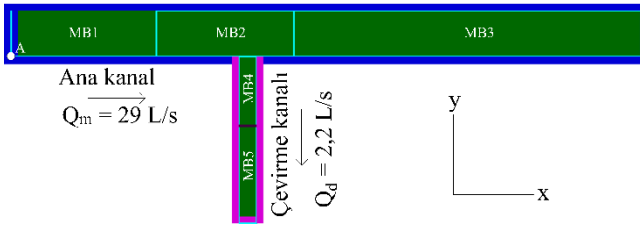
Hareketli tabana sahip açık kanal akımlarının hidromorfodinamik doğasının detaylı olarak incelenerek bu olumsuz durumların engellenmesine ya da en aza indirilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun için de akım bölünmesi nedeniyle akım yapılarında ve tabanda meydana gelebilecek değişiklikler önceden tahmin edilebilmelidir. Bu amaçla [3] tarafından gerçekleştirilen, her iki kanalın da hareketli tabana sahip olduğu bir deney Flow-3D Hydro paket programında simüle edilmiş, çatallanma bölgesindeki akım yapıları ve taban gelişimi incelenmiş ve tartışılmıştır.

Model Özellikleri

[3]’ün laboratuvar deneylerini gerçekleştirdikleri açık kanal sistemi aynı boyutlarda modellenmiştir. Ana kanal 9 m uzunluğunda ve $B = 0,67$ m genişliğinde, ana kanala memba ucundan 3,2 m uzaklıkta ve $\theta = 90^\circ$ açıyla bağlı olan çevirme kanalı ise 2,17 m uzunluğunda ve $b = 0,25$ m genişliğindedir. Test bölgesi bu ölçülerle aynı olup, 0,85 mm medyan tane çapına sahip üniform taban malzemesi ile kaplanmıştır. Taban malzemesinin kalınlığı ana kanal mansap ucunda 0,17 m’dir ve ana kanal başlangıç taban eğimi memba eşiği ile 0,001 olacak şekilde, deney düzeneğine paralel olarak, modellenmiştir.

Her biri üç doğrultuda da eşit uzunlukta hücrelere sahip olan beş adet mesh bloğu tanımlanmıştır. Ana kanalın ilk 2 ve son 5 m’si ile çevirme kanalının son 1,2 m’sinin hücre uzunluğu 0,02 m, kalan iki mesh bloğunun hücre uzunluğu akım ayrımının daha yüksek doğrulukla simüle edilebilmesi için 0,01 m olarak belirlenmiştir. Tanımlanan mesh ağı toplamda 657120 hücreye karşılık gelmektedir. Ana kanal memba sınır şartlarında başlangıç akım derinliği 0,08 m’ye tekabül eden sabit su seviyesi belirlenmiş, su ve sediment (besleme) debileri deneyle aynı olacak şekilde sırasıyla $0,029 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $12 \text{ kg}/\text{sa}$ sabit

olarak tanımlanmıştır. Ana kanal mansabındaki su derinliği 0,07 m olarak sabitlenmiştir. Mesh bloklarının ortak yüzeyleri yazılım tarafından otomatik olarak belirlenmektedir, diğer sınırlar ise duvar olarak tanımlanmıştır. Bu durumda çevirme kanalındaki çıkış debisinin sağlanması için bu kanalın mansabında bir adet “kütle momentum kaynağı” tanımlanmış ve 2,2 L/s debideki akım bu kaynaktan çekilerek sistemden çıkarılmıştır. Çevirme kanalında batık akımın mevcut olduğu deneysel koşullarda da aynı miktardaki debi pompa ile çekildiğinden seçilen yöntemin deneysel karşılığına göre uygun olduğu görülmektedir. Başlangıç şartlarına 0,07 m derinliğinde ve 0,45 m/s ortalama hıza sahip bir akım tanımlanarak başlangıç akımının tabanda yaratacağı etkiler en aza indirilmiştir. Modelin genel görüntüsü Şekil 2’de koordinat sistemi ile birlikte verilmiştir. Şekilde mesh blokları numaralandırılarak MB ile ifade edilmiştir, A noktası $(x,y) = (0,0)$ koordinatını ifade etmekte birlikte $z = 0$ koordinatı sediment tabakasının en alt seviyesine denk gelmekte ve yukarı yönde artmaktadır.



Şekil 2. Modelin genel görüntüsü

Kullanılan Denklemler

Akım Denklemleri

Flow-3D Hydro yazılımı VOF (Akışkan Hacmi) yöntemini kullanır ve üç boyutlu süreklilik (Denklem 1) ve Navier-Stokes (Denklem 2) denklemlerini aynı anda çözer. Akım ayrımı bölgesindeki üç boyutlu akım yapılarının karmaşıklığı oylmanın zamana bağlılığı göz önüne alındığında, LES türbülans modelinin kullanılması uygun görüldü. Çok sayıda çalışma [5]-[7] LES türbülans modelinin, simülasyon süresi pahasına $k-\omega$, $k-\epsilon$ veya RNG gibi RANS modellerinden daha hassas bir şekilde akışın karşılıklı ve üç boyutlu özelliklerini temsil ettiğini öne sürmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} u_i A_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial P}{\partial x_i} + G_i + f_i \quad (2)$$

Burada u_i , i yönündeki hızı; A_i , i yönündeki kısmi alanı; V_f , akıma açık kısmi hacmi; ρ_f , suyun yoğunluğunu; P , basıncı; G_i , cisim ivmelerini, f_i , viskoz ivmeleri temsil eder.

LES modeli, hesaplanmayacak kadar küçük olan türbülansın etkilerini temsil etmesi için Denklem (3) ile hesaplanan mesh ağının uzunluk ölçeğine (L) ihtiyaç duyar [8]:

$$L = (\delta_x \delta_y \delta_z)^{1/3} \quad (3)$$

Burada δ_x , δ_y , ve δ_z , x , y ve z yönlerindeki hücre boyutudur. Bu durumda LES türbülans modelindeki kinematik türbülans viskozitesi (ν_T) Denklem (4) ile hesaplanır:

$$\nu_T = c_s^2 \sqrt{2e_{ij}e_{ij}} \quad (4)$$

olarak tanımlanır. Smagorinsky katsayısı, c_s , varsayılan olarak 0,1 alınmıştır. e_{ij} kayma gerinimi hız tensörü Denklem (5)’ten bulunur:

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

Son olarak momentum denklemlerinde kullanılmak üzere ν_T dinamik viskozite (μ) denkleminde (Denklem 6) dahil edilir:

$$\mu = \rho_f (\nu + \nu_T) \quad (6)$$

Burada ν , akışkanın kinematik viskozitesidir.

Sediment Taşınımı Denklemleri

Flow-3D Hydro’nun sediment taşınımı modülü, kohezyonsuz sedimentinin toplam yükünü: i) askıdaki yükü, ii) sürüklenen yükü (tanelerin yükselmesi ve çökmesi) ve iii) taban yükünü (tanelerin yuvarlanması, sıçraması, kayması) ayrı ayrı hesaplayarak simüle eder.

Kaldırma hızı, taban malzemesinin askıdaki yüke dönüşecek miktarını belirlemek için (ω_l) [9] Denklem (7) ile hesaplanır:

$$\omega_l = \alpha n_s d_*^{0,3} (\theta - \theta_c)^{1,5} \sqrt{\frac{\|g\| d (\rho - \rho_f)}{\rho_f}} \quad (7)$$

Burada α , 0,018 olarak tavsiye edilen sürüklenme parametresi [9]; n_s , tabanın dışına doğru yönelen normal vektör; θ , yerel Shields parametresi; θ_c , tabanda sediment hareketinin başlaması için kritik Shield değeri; $\|g\|$ yerçekimsel ivmenin büyüklüğü; d , tane medyan çapıdır. d_* boyutsuz tane çapı ise Denklem (8)’den hesaplandıktan sonra:

$$d_* = d \left[\frac{\rho_f (\rho - \rho_f) \|g\|}{\mu^2} \right]^{1/3} \quad (8)$$

taban kayma gerilmesi (τ) ile birlikte yerel Shields parametresinin hesaplanmasında (Denklem 9) kullanılmaktadır:

$$\theta = \frac{\tau}{\|g\| d (\rho - \rho_f)} \quad (9)$$

Kritik Shields değeri ise Shields diyagramından $\theta_c = 0,032$ olarak bulunmuştur. Sürüklenen yükünü elde

etmede kullanılan çökeltme hızı [10]'un denkleminde (Denklem 10) hesaplanmaktadır:

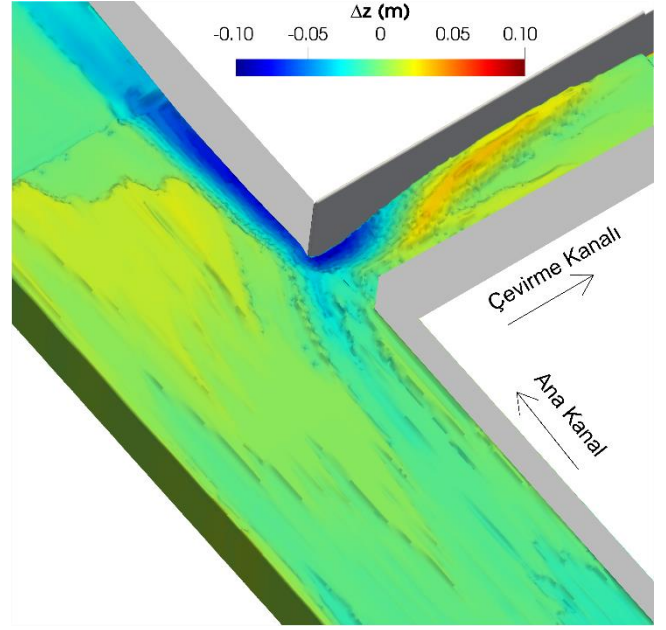
$$\omega_s = \frac{g}{\|g\|} \frac{v}{d} [(10,36^2 + 1,049 \cdot d_*^3)^{0,5} - 10,36] \quad (10)$$

Son olarak toplam hacimsel sediment yükünün (q_s) hesaplanması için [11]'in önerdiği denklem (Denklem 11) kullanılmıştır:

$$q_s = 8(\theta - \theta_{cr})^{1,5} \left[\|g\| \left(\frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \right) d^3 \right]^{0,5} \quad (11)$$

Bulgular ve Tartışma

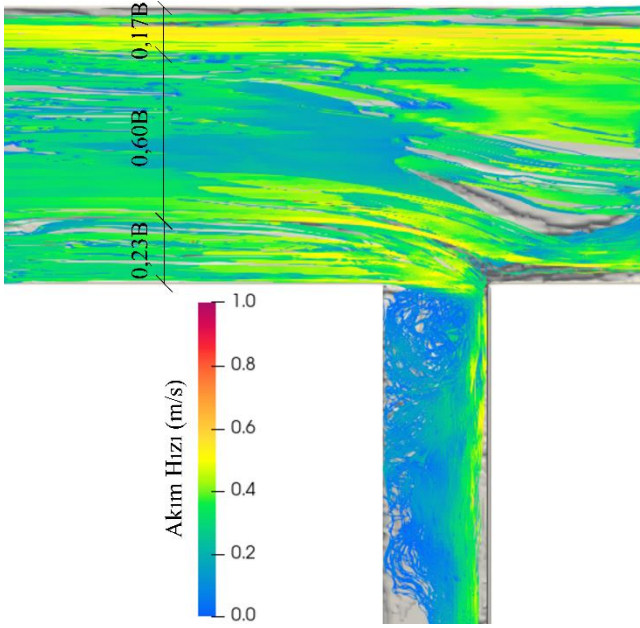
Testin ilk saniyelerinden itibaren sediment taşınımı sonucu ana kanal taban seviyesinde azalma meydana gelmiş ve ana kanal boyunca mansaba doğru hareket eden kumul oluşumları gözlenmiştir. Özellikle mesh çözünürlüğünün daha yüksek olduğu MB2 bölgesinde (Şekil 2) belirginleşen (Şekil 3) kumulların ortalama yüksekliği 2 cm, ortalama uzunluğu 1,5 m olarak kaydedilmiştir. Kumulun şekline göre ana kanal iç duvar tarafından kısmi çevirme çekilmiştir ve orta kısmı da bu doğrultuda bir eğimle ana kanalda harekete devam etmiştir. Çevirme kanalına çekilen sedimentin büyük çoğunluğu bu kumul geçişleri sırasında meydana gelmektedir [12]. Çevirme kanalının memba köşesinde bitişen iki duvarın tabanlarında başlangıç taban seviyesine göre $\Delta z = -10$ cm'e kadar derinleşen oyulma hendekleri görülebilmektedir. Oyulma hendeklerinin en büyük derinlikleri yaklaşık aynı olmakla birlikte ana kanaldaki hendek çok daha uzundur ve mansaba doğru genişliği artmaktadır. Çevirme kanalının her iki duvarı boyunca sediment yükünden dolayı taban seviyesinde bir yükselme görülmektedir. Bu yükselmenin bir sebebi, su debisi ile orantısız miktarda çekilen sediment debisi, diğer sebebi de çevirme kanalındaki akımın sahip olduğu kayma hızının sediment hareketi için yeterince büyük olmamasıdır. Bulgular önceki çalışmalar [3],[4] ile uyumlu olup, çevrilen akımın kayma hızı yeterli seviyeye gelene kadar taban seviyesinin yükselmesi beklenmektedir. Orijinal deneyde tabanın denge durumuna ulaşması yaklaşık 18 saat sürmüştür, denge durumuna ulaşıldıktan sonra zamana bağlı (kararsız) değişimlerin yorumlanabilmesi için ise deney 6 saat daha devam ettirilmiştir. Mevcut modelin 24 saatlik bir simülasyonu 360 günde tamamlayacağı öngörüldüğünden taban şekilleri ve akım yapıları yorumlanabilecek ölçüde geliştikten sonra simülasyon sonlandırılmıştır. Çalışma kapsamında nihai oyulmalar ve sediment debileri araştırılmadığı için taban denge durumuna ulaşmadan simülasyonun sonlandırılmasının mevcut bulgu ve tartışmalara önemli ölçüde etki etmeyeceği düşünülmektedir.



Şekil 3. Test sonunda çatallanma bölgesinin taban morfolojisi

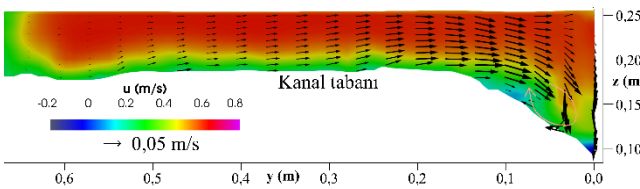
Taban yakın akım çizgileri Şekil 4'te verilmiştir. Şekilde görülebileceği üzere tabana yakın akımın ana kanal dış duvarından itibaren $0,17B$ genişliğindeki kısmı, görülebilir bir sapma yapmadan aynı doğrultuda devam etmiştir. Tabana yakın akımın ana kanal iç duvarından yine $0,23B$ genişliğindeki kısmı ise çevirme kanalına sapmıştır. Ana kanalın orta bölgesindeki kalan $0,6B$ genişliğindeki akım ise ana kanal doğrultusundan çevirme kanalına doğru sapmış, fakat çevirme kanalına girmeden ana kanalda devam etmiştir. Yüzeyle yakın akım analiz edildiğinde akım çizgilerinin ana kanal iç duvarına çok yakın ($\approx 0,1B$) kısmı çevirme kanalına girdiği ve resirkülasyon bölgesine girmeden çevirme kanalı dış duvarı boyunca devam ettiği görülmüştür. Bu durumda tabana yakın ayrılan akım sınırının su yüzeyine yakın ayrılan akım sınırına göre ana kanal iç duvarından 2,3 kat daha uzaktadır. [1] tarafından pürüzlü cidarlar için bu oran yaklaşık 2,2 olarak bulunmuştur ve elde edilen bulgularla uyumludur.

Çevrilen akımın mansapta kontrol ediliyor olması nedeniyle bu kanalda batık akım durumu mevcuttur ve dolayısıyla her iki kanalın su yüzeyi seviyelerinde önemli ölçüde bir değişim gözlenmemiştir. Yalnızca çevirme kanalı mansap köşesi etrafında ayrılan akımın duvara çarpması nedeniyle $d/4 = 2$ cm yüksekliğinde yerel bir kabarma görülmüştür.



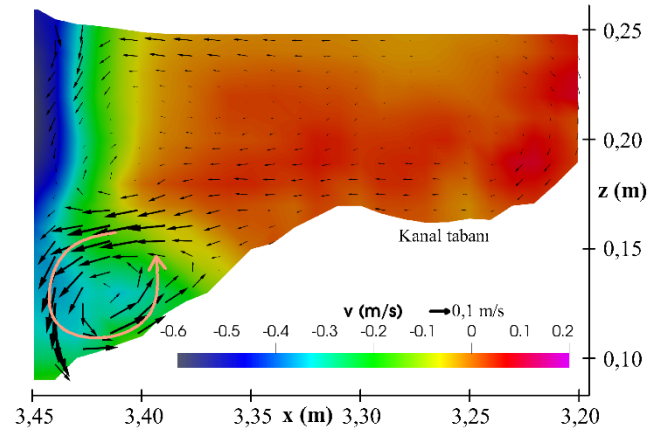
Şekil 4. Tabana yakın bölgedeki akım çizgileri

Çevirme kanalı girişi mansap köşesinden ana kanal mansabına doğru 0,2b uzaklıkta ($x = 3,5$ m) bir enkesit alınarak bu enkesitteki hız bileşenleri Şekil 5'te incelenmiştir. Bu enkesit aynı zamanda ana kanaldaki oylulma hendeğini de içermektedir. Akımın ana kanal doğrultusundaki hız bileşeni, u , beklenileceği üzere tabana doğru azalmakla birlikte akımın çevirme kanalına doğru sapmış olmasından ve enkesit genişlemesinden dolayı ana kanal dış duvarında iç duvarına oranla daha küçüktür. Benzer şekilde [12] de akım hızının ana kanal iç duvarı bölgesinde yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Oylulma hendeğinin en derin noktasında ise u bileşeninin negatif bölgeye geçtiği görülmektedir. Akımın ana kanal iç duvarına doğru saptığı, hızın yatay doğrultudaki v bileşeninden görülebilir. Ana kanal dış duvarı boyunca bu bileşen çok küçükken iç duvara doğru artmakta ve duvar ile temas ettiği noktada tamamen aşağı yönlü akım oluşmaktadır. Aşağı yönlü akım bu bölgedeki oylulmanın başlıca sebebi olmakla birlikte ana akım ile birleşmesi neticesinde oluşan vorteks (Şekilde kaba hatları ile gösterilmiştir), oylulma hendeğinin boyutlarını daha çok büyütülmektedir. Bu vorteks, giriş kısmında bahsedilen iki kollu vorteks sisteminin ana kanaldaki koludur.

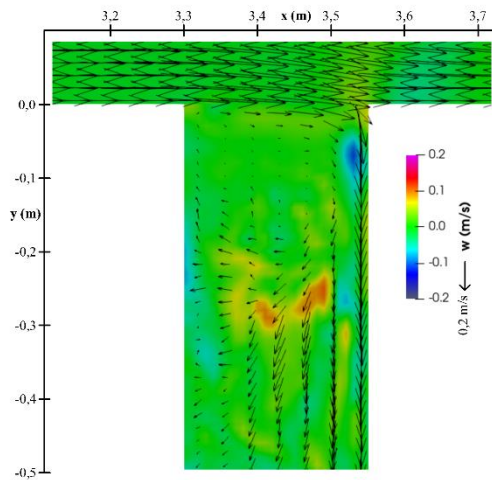
Şekil 5. $x = 3,5$ m'de ana kanal enkesiti ve hız bileşenleri

Çevirme kanalı girişinden çevirme kanalı mansabına doğru 0,2b uzaklıkta ($y = -0,05$ m) bir enkesit alınarak bu enkesitteki hız bileşenleri Şekil 6'da incelenmiştir. Akımın hız bileşeni v 'nin en yüksek değerleri çevirme kanalı dış duvarı boyunca, daralma bölgesinde kaydedilmiştir. Çevirme kanalı iç duvarına doğru bu değer azalarak sıfıra ulaşmakta ve resirkülasyon bölgesi

içinde v bileşeni yön değiştirmektedir. Resirkülasyon bölgesinin tabana doğru daralan kesiti de şekilde görülebilir. Çevirme kanalı dış duvarı civarında akımın düşey yöndeki hız bileşenine (w) göre kuvvetli bir aşağı yönlü akım mevcuttur. Aşağı yönlü akım ile çevrilen akımın birleşimi, vorteks sisteminin çevirme kanalındaki kolunu oluşturmaktadır. Aşağı yönlü akımın başlattığı oylulmayı büyüten bu vorteks, hem bu bölgeden oylulan hem de ana kanaldan çekilen sedimenti resirkülasyon bölgesi içine taşımaktadır.

Şekil 7. $y = -0,05$ m'de çevirme kanalı enkesiti ve hız bileşenleri

Şekil 7'de resirkülasyon bölgesinin su yüzeyine yakın kısmındaki hız bileşenlerine örnek olarak 0,24 cm su seviyesinde alınan kesit sunulmuştur. Akımın u ve v hız bileşenlerine dikkat edildiğinde çevrilen akımın çevirme kanalı memba köşesinden ayrılması, çevirme kanalı iç duvarında yeniden birleşmesi ve bu arada kalan resirkülasyon bölgesi görülebilir. Daha önce de belirtildiği üzere en yüksek hızlar çevirme kanalı dış duvarı civarında kaydedilmiş, mansaba doğru enkesit genişlemesi nedeniyle çevirme kanalı iç duvarına doğru görece bir artış ve sapma meydana gelmiştir.

Şekil 7. $z = 0,24$ m'de çevirme kanalı kesiti ve hız bileşenleri

Sonuçlar

Hareketli tabana sahip 90°'lik bir çevirme kanalında kararlı akım şartlarında Flow-3D Hydro paket programı ile nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çevirme kanalının mansap köşesine bağlı her iki duvar boyunca derin oyulma hendekleri oluşmuştur. Ana kanal oyulma hendeği içinden çıkan malzeme bu hendeğin mansabına, çevirme kanalı oyulma hendeğinden çıkan malzeme ise bu hendeğin mansabı ile birlikte çevirme kanalı iç duvarına yakın bölgeye taşınmıştır. Oyulma hendeklerinin oluştuğu bölgelerde aşağı yönlü akımlar ve bu akımların sonucu olarak oyulma hendekleri içinde gelişen vorteks sistemleri tespit edilmiştir. Literatür ile uyumlu olarak akımın daha büyük bir bölümünün tabana yakın bölgeden çevirme kanalına girdiği gözlenmiş, tabana yakın ayrılan akım sınırının su yüzeyine yakın ayrılan akım sınırına göre iç duvardan 2,3 kat daha uzakta olduğu tespit edilmiştir. Çevirme kanalında batık akım olması nedeniyle su yüzü seviyelerinde önemli bir değişim gözlenmemiş, yalnızca çevirme kanalı mansap köşesinde çarpma etkisi nedeniyle $d/4 = 2$ cm yüksekliğinde bir kabarma gerçekleşmiştir.

Kaynaklar

- [1] V. S. Neary, and A. J. Odgaard, "Three-dimensional flow structure at open-channel diversions," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 119, no. 11, pp. 1223-1230, Nov. 1995.
- [2] R. N. S. Lakshmana, K. Sridharan, and M. Y.A. Baig, "Experimental study of the division of flow in an open channel," in *Australasian Conf. on Hydraul. and Fluid Mech.*, Sydney, Australia, 1968, pp. 139-142.
- [3] F. Gungum, and A. H. Cardoso, "Effect of diversion angle and vanes' skew angle on the hydro-morphodynamics of mobile-bed open-channel bifurcations controlled by submerged vane-fields," *Phys. Fluids.*, vol. 36, no. 7, July. 2024. DOI: 10.1063/5.0211623
- [4] A. Herrero, A. Bateman, and V. Medina, "Water flow and sediment transport in a 90 channel diversion: an experimental study," *J. Hydraul. Res.*, vol. 53, no. 2, pp. 253-263, Jan. 2015.
- [5] W. Rodi, "Comparison of LES and RANS calculations of the flow around bluff bodies," *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, vol. 69-71, pp.55-75 July-Oct. 1997.
- [6] G. Kirkil, S.G. Constantinescu, and R. Ettema, "Coherent structures in the flow field around a circular cylinder with scour hole," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 134, no. 5, pp. 572-587, May. 2008.
- [7] H. Li, S. Balachandar, and J. Sansalone, "Large-eddy simulation of flow turbulence in clarification systems," *Acta Mech.*, vol. 232, no. 4, pp. 1389-1412, Feb. 2021.
- [8] Flow-3D Hydro 2022R1 User Manual, 2022.
- [9] D. R. Mastbergen, and J.H. Van Den Berg, "Breaching in fine sands and the generation of sustained turbidity currents in submarine canyons," *Sedimentology*, vol. 50, no. 4, pp. 625-637 July. 2003.
- [10] R. L., Soulsby, "Dynamics of Marine Sands," Thomas Telford, 1997.
- [11] E. Meyer-Peter, and R. Müller, "Formulas for bed-load transport," in *IAHSR 2nd meeting*, Stockholm, Sweden, 1948, appendix 2.
- [12] B. D. Barkdoll, R. Ettema, and A. J. Odgaard, "Sediment control at lateral diversions: limits and enhancements to vane use," *J. Hydraul. Eng.*, vol. 125, no. 8, pp. 862-870, Aug. 1999.
- [13] A. A. Shettar, and K. Keshava Murthy, "A numerical study of division of flow in open channels," *J. Hydraul. Res.*, vol. 34, no. 5, pp. 651-675 June. 1996.