



Eşik yapısı mansabında oluşan yerel oyulmaların hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi

M. Cihan AYDIN*

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
mcaydin@gmail.com ORCID: 0000-0002-5477-1033, Tel: (532) 676 86 78

M. Emin EMİROĞLU

Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ
memin.emiroglu@gmail.com ORCID: 0000-0002-3603-0274

Ali Emre ULU

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis
aliemreulu@gmail.com ORCID: 0000-0001-7499-3891

Erdinç İKİNCİOĞULLARI

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
eikinciogullari@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0003-2518-980X

Geliş: 13.02.2018, Kabul Tarihi: 21.03.2018

Öz

Hidrolik yapıların mansabındaki yerel oyulma, su mühendisliğinin önemli problemlerindendir. Bu konuda geçmişten bugüne kadar birçok deneysel ve arazi çalışmaları yapılmış ve birçok ampirik eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerin çoğu belirli koşullar altında farklı sonuçlar verebilmektedir. Bazı eşitlikler boyutlu büyüklükler cinsinden verilmekte olup bazılarında ise değişkenler ihmal edilebilmektedir. Eğimi yüksek akarsularda eğimi düşürmek ve akımları düzenlemek amacıyla akarsu tabanında yapay düşümler kullanılabilir. Bu gibi düşümler üzerindeki akım durumu, çoğu zaman serbest düşümlü savak akımı şeklinde olmaktadır. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojileri ve hesaplama yöntemleri sayesinde çok fazlı (sıvı-katı parçacık) gibi akışkan problemlerin sayısal olarak modellenmesi mümkün olabilmektedir. Akarsulardaki bir eşik yapısı mansabındaki su jetinin altında kohezyonsuz üniform kum yataкта meydana gelen yerel oyulmalar geçmişte yapılan deneysel bir çalışma ile incelenmiştir. Bu çalışmada ise bu deney dataları kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metoduyla sayısal analizler yapılmıştır. Çalışmada eşik yapısı altındaki oyulmaları tespit etmek için, Flow 3D yazılımıyla birlikte Sediment Oyulma Modeli (Sediment Scour Model) yöntem olarak kullanılmıştır. Elde edilen sayısal model sonuçların literatürdeki deneysel verilerle yeterince uyumlu olduğu görülmüştür. Oyulmanın zamana göre değişimi üstel olduğu gözlemlenmiş ve zamanla maksimum oyulma derinliğindeki değişim azalmış ve sonunda kararlı oyulma durumu gerçekleşmiştir. Kohezyonsuz taban malzemesinde oyulmanın büyük çoğunluğunun (yaklaşık %90'ı) ilk yarım saat içerisinde gerçekleştiği izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eşik yapısı; Oyulma; Hareketli taban; HAD, Hidrolik yapılar;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Eğimi yüksek akarsularda eğimi düşürmek ve akımları düzenlemek amacıyla akarsu tabanında yapay düşüler kullanılabilir. Bu gibi düşüler üzerindeki akım durumu, çoğu zaman serbest düşülü savak akımı şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte kanal tabanının veya kontrol yapısının oluşturduğu düşüler, mansap kısmındaki taban zemininde yerel oyulmalara neden olmaktadır. Akarsuyun enerjisinin önemli bir kısmı bu düşünün mansabındaki oyulma havuzdaki türbülanslı karışım sayesinde sönmelenmektedir. Böylece düşünün mansabındaki yatak malzemesi jet düşünün difüzyonu ile yatak malzemesindeki kararsızlık yüzünden önemli ölçüde oyulmaya maruz kalmaktadır (Dey ve Raikar, 2007). Serbest düşülü jetlerin mansabındaki yerel oyulma derinliklerini tahmin etmek için ilk ampirik eşitlik Schoklitsch (1932) tarafından verilmiştir. Daha sonra birçok araştırmacı düşü altındaki oyulma derinliğini tahmin etmek için farklı ampirik eşitlikler önermiştir (Mason ve Arumugam 1985; Bormann ve Julien, 1991). Yapılan çalışmaların çoğu küçük düşülü yapılar için yürütülmüştür. Genel olarak bir düşü, eğer rölatif düşü yüksekliği, yani düşü yüksekliği/kritik derinlik, $(H/y_c) \leq 1$ ise, bu durum küçük düşü, değilse yüksek düşü olarak nitelendirilmektedir (Little ve Murphey, 1982). Chamani ve Beirami (2002), şev rejimi akımlar için düşülerde rölatif enerji kayıplarını tahmin etmek için ampirik bir eşitlik bulmuşlardır. Bormann ve Julien (1991), düzenlenen kontrol yapılarının mansabında meydana gelen oyulmaların da partikül stabilitesi ve jet difüzyonuna dayalı kontrol yapılarının eğimleri için maksimum denge oyulma derinliğinin bir eşitliğini önermiştir. Stein vd. (1993), mansap oyulma derinliğinin zamanla değişimini tahmin etmek için analitik bir metot geliştirmişlerdir. Denge oyulma derinliğinin %95'in altındaki oyulma derinlikleri için oyulma derinliği oranının, çok hızlı bir şekilde yükseldiğini rapor etmişlerdir. Yatak tabanının daldırma havuzu içerisinde oyulma işlevi Jia vd. (2001)

tarafından sayısal olarak modellenmiştir. Dey ve Raikar (2007) yüksek bir serbest jet düşüsü ($(H/y_c) > 1$) altında üniform kum ve çakıl tabanlı yatak malzemesindeki oyulmaları deneysel olarak çalışmışlar ve çalışmalarının sonucunda; oyulma derinliği sediment boyutu ve kuyruk su derinliğindeki artışla azalırken, maksimum denge oyulma derinliğinin dane yoğunluğuna bağlı densimetrik Froude sayısıyla arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca yerel oyulmanın zamana bağlı değişimini de incelenmiş ve boyutsuz zaman ölçeğinin dane yoğunluğuna bağlı densimetrik Froude sayısındaki artışla azaldığını ifade edilmiştir.

Ghodsian vd. (2006) serbest su jeti düşüsü altındaki kuyruk suyu derinliğinin oyulma üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, düşük su seviyelerinde kuyruk suyu seviyesinin artışıyla oyulma çukurunun boyutları da artarken, yüksek su seviyelerinde bu durumun tersi gözlemlenmiştir. Ayrıca oyulma derinliği için ampirik bir bağıntı sunmuşlardır. Ghodsian vd. (2012), yürüttükleri 80 adet deneysel çalışmaya dayalı olarak, serbest düşü jeti altındaki oyulma çukuru karakteristiklerinin densimetrik Froude sayısına, düşü yüksekliğinin kuyruk suyu derinliğine oranına, düşü yüksekliğinin jetin hidrolik yarıçapına oranına, sediment sayısına ve boyutsuz gelişme zamanına bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Aydın ve Işık (2015) deneysel çalışmaların önemine atıf yaparak gelişmiş HAD yazılımlarının güncelliği, avantaj ve dezavantajlarını örnekler üzerinden açıklamıştır.

Bu çalışmada; Dey ve Raikar (2007) tarafından yapılan deneysel çalışma model alınarak bir eşik yapısı mansabında farklı dane çapındaki kohezyonsuz üniform kum tabanda meydana gelen oyulmalar, iki boyutlu (2B) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla elde edilmiştir. Sonuçlar Dey ve Raikar (2007) tarafından yapılan deneylerle karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Serbest Su Jetinin Hidrolik Karakteristikleri

Şekil 1’de görülen serbest düşülü bir su jeti üzerinde akışkanların temel eşitlikleri yazılarak akımın hidroliği belirlenebilir. Şekildeki “0” ve “C” kesitleri arasında süreklilik denklemi yazılırsa;

$$U_0 y_0 = U_c y_c \quad (1)$$

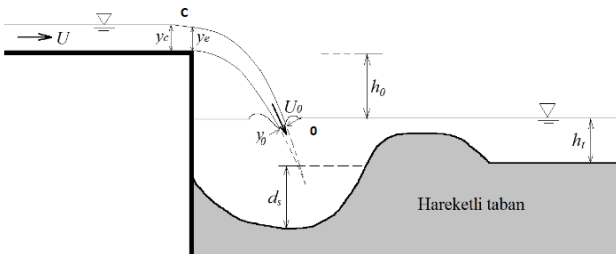
burada, U_c ve y_c sırasıyla su jetinin membasındaki kritik hız ve kritik derinlik, U_0 ve y_0 ise sırasıyla jetin kuyruk suyuna daldığı kesitteki giriş hızı ve jet kalınlığıdır. Kritik yükseklikte akım minimum enerjisini kullanacağından dikdörtgen kesitler için aşağıdaki Eşitlik (2) kullanılabilir:

$$H_{min} = y_c + \frac{U_c^2}{2g} = 1.5y_c \quad (2)$$

Bu eşitlik “0” ve “1” kesitleri arasında yazılan Enerji Denkleminde yerine yazılırsa ve C_0 gibi deneysel bir katsayısı ile çarpılırsa aşağıdaki jetin dalma hızı bağıntısı elde edilir.

$$U_0 = C_0 \sqrt{2g(h_0 + 1.5y_c)} \quad (3)$$

buradaki h_0 serbest düşü yüksekliğini ifade etmektedir. Dey ve Raikar (2007), C_0 katsayısını 0.672 olarak vermişler ve ayrıca kritik derinlik ile eşik üzerindeki su derinliği arasında $y_e=0.715y_c$ bağıntısını önermişlerdir.



Şekil 1. Eşik yapısı altındaki oyulmanın şematik gösterimi

Boyut Analizi

Literatürde serbest düşüler altındaki oyulma derinliğiyle ilgili birçok ampirik bağıntı sunulmuştur. Fakat bu bağıntıların çoğu belirli koşullar altında sunulmuş ve farklı sonuçlar verebilmektedir. Bazı bağıntıların boyutlu büyüklükler cinsinden verilmekte bazıları ise bazı değişkenler ihmal edilmektedir. Bu çalışmada Şekil 1’de verilen iki boyutlu bir serbest jet düşüsü altındaki yerel oyulmayı belirleyen en etkin parametreler literatürdeki bazı çalışmalara dayalı olarak boyut analizi sonucu elde edilmiştir.

Kuyruk suyunun üstündeki serbest jet düşüsü ile ilgili düşü yüksekliği (h_0), su derinliği (h_c) ve dolayısıyla özgül enerji (H_c) gibi parametreler yukarıda verilen eşitliklerden U_0 ve y_0 ile ifade edilebileceğinden, Şekil 1’deki gibi hareketli taban oyulmasına etki eden parametreler aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$f(h_t, \rho, \rho_s, g, d_{50}, U_0, y_0) = 0 \quad (4)$$

Buckingham π teoremi uygulanarak yapılan boyut analizi sonucu elde edilen boyutsuz büyüklükler cinsinden oyulma derinliğine etki eden parametreler Dey ve Raikar (2007) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{d_s}{y_0} = f(Fr_d, \frac{h_t}{y_0}, \frac{d_s}{y_0}) \quad (5)$$

Eşitlik (5)’te verilen parametrelere ek olarak buradaki, d_s oyulma derinliği, h_t kuyruk suyu derinliği, boyutsuz Fr_d ise densimetrik Froude sayısı olup bazı yazarlar tarafından Eşitlik (6) ile tanımlanmıştır (Dey ve Raikar, 2005 ve 2007; Ghodsian vd., 2012):

$$Fr_d = \frac{U_0}{\sqrt{g d_{50}(s-1)}} \quad (6)$$

burada, g =yerçekimi ivmesi (m/s^2), d_{50} =sedimentin medyan dane çapı (m), s sedimentin bağıl yoğunluğunu (-) ifade etmektedir.

Kullanılan Yöntem

Çalışmada eşik yapısı altındaki oyulmalar, *Flow 3D* yazılımıyla birlikte Sediment Oyulma Modeli (*Sediment Scour Model*) kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu model ile dane boyutları, yoğunluğu, kritik kayma gerilmesi, şev açısı ve taşınım ve giriş parametreleri gibi farklı özellikler içeren çoklu kohezyonsuz sediment yığınlarının hareketi tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu model yardımıyla, sedimentin aşınma, adveksiyon ve yığılma olaylarını hesaplayarak sediment hareketi tahmin edilebilmektedir. Bu kestirim yapılırken askı maddesi taşınımı, yerçekimi dolayısıyla sediment çökmesini, türbülans ve yatak kaymalarından dolayı sediment girişlerini hesaplar. Sediment taşınımı askı ve taban sürüntü malzemesi şeklinde iki türlü gerçekleşmektedir. Sürüntü malzemesi belirlenen kritik sürüklenme gerilmesiyle (bu değer *Flow 3D*'de varsayılan olarak 0.64'tür) ayırt edilir (*Flow-3D*, 2014).

Her bir sediment danesinin akım dinamiğini hesaplamak mümkün olmadığından, sayısal hesaplamalarda ampirik bağıntılar kullanılmak zorunludur. Burada kullanılan model Mastbergen ve Van den Berg (2003) tarafından sunulan yöntemeye dayalıdır. Aynı zamanda kritik Shields sayısını belirlemek için Soulsby-Whitehouse (2007) denklemi kullanılabilir. Kritik Shields parametresini belirlemek için ilk adım aşağıdaki boyutsuz d_{*i} parametresini hesaplamaktır.

$$d_{*,i} = d_i \left[\frac{\rho(\rho_s - \rho) \|g\|}{\mu^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

burada; d_i inci sedimentin çapını (m), μ akışkanın dinamik viskozitesini (kg/m.s) ifade etmektedir. Bu değere bağlı olarak, boyutsuz kritik Shields parametresi Soulsby-Whitehouse (2007) denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\theta_i = \frac{0.3}{1 + 1.2d_{*,i}} + 0.055(1 - e^{-0.02d_{*,i}}) \quad (8)$$

Kritik Shields parametresi şev açısının eklenmesiyle aşağıdaki gibi revize edilebilir:

$$\theta'_i = \theta_i \frac{\cos\alpha \times \sin\beta + \sqrt{\cos^2\beta \times \tan^2\varphi - \sin^2\alpha \times \sin^2\beta}}{\tan\varphi} \quad (9)$$

burada α akım ile yukarı eğim doğrultusu arasındaki açı ($^\circ$), β yatak eğim açısı ($^\circ$), φ sediment şev açısıdır (varsayılan olarak 32°). Lokal Shields parametresi yerel yatak kayma gerilmesine (τ'_{ya}) bağlı olarak Eşitlik (10)'daki gibi verilmektedir:

$$\theta_i = \frac{\tau}{\|g\| d_i (\rho_s - \rho)} \quad (10)$$

Taban sürüntü maddesi taşınımı için Meyer, Peter ve Müller (1948) formülasyonu kullanılmıştır. Bu model taban malzemesi yüzeyindeki sedimentin birim debisini tahmin eder.

$$\Phi_i = \beta(\theta_i - \theta'_i)^{1.5} c_{b,i} \quad (11)$$

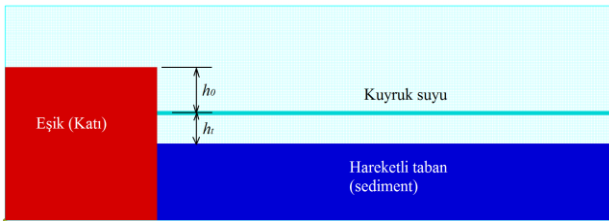
Φ_i boyutsuz sürüntü maddesi taşınım oranı, $c_{b,i}$ sürüntü malzemesindeki i türün hacim oranıdır, $\beta_i = 10.236$ (Van Rijn, 1984). Sediment taşınımının birim debisi ise Φ_i parametresine bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$q_{b,i} = \sqrt{\Phi_i \left[\|g\| \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) d_i^3 \right]} \quad (12)$$

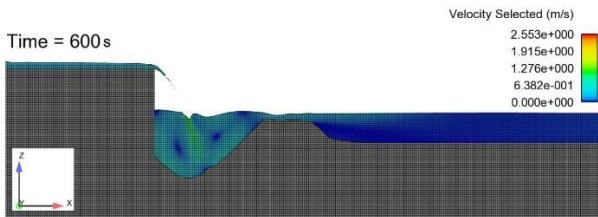
Sayısal Model

Sayısal model *Flow 3D* ile hazırlanmış olup modelin geometrisi Şekil 2'de ve sonlu eleman ağı yapısı ve analiz sonucu örnek bir oyulma ve akım durumu Şekil 3'te verilmiştir. İki boyutlu yürütülen analizlerde 42000 adet yapılandırılmış hücre kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak RNG (Renormalized Group) model kullanılmıştır. Bu model türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans yayılma oranı (ε) gibi türbülans parametreleri için ortalamalı denklemlerin türetiminde istatistiksel yöntemler kullanır. RNG model k - ε modelinkine benzer denklemler

kullanmakla birlikte, $k-\varepsilon$ modelde ampirik olarak elde edilen katsayılar RNG model de açık şekilde bulunur. Sınır şartları olarak eşik üzerinde ve sediment taban sonundaki akım giriş ve çıkışı sabit serbest yüzeyler olarak tanımlanmıştır. Şekil 2 ve 3'te görüldüğü üzere h_0 yüksekliğindeki katı bir eşikten düşen serbest su jeti üzerinde h_t derinliğindeki kuyruksuyu bulunan kohezyonsuz ve sabit dane çaplı kabul edilen kum tabanı oymaktadır. Şekil 3'te 10 dakika sonunda meydana gelen oyulma miktarı akım hızlarıyla birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2. Sayısal modelin teşkili

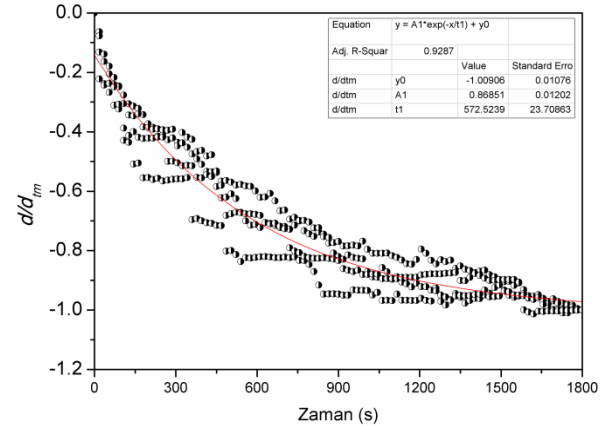
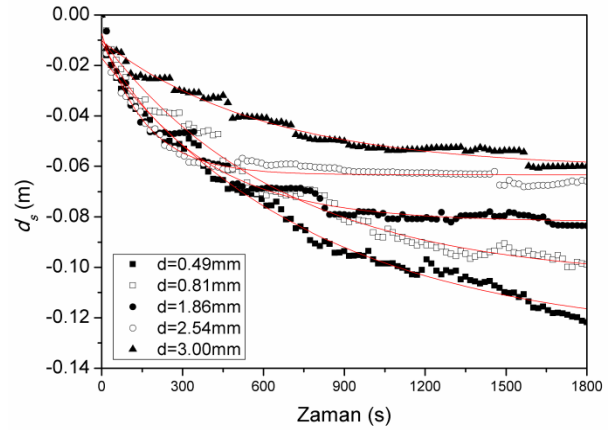


Şekil 3. Sayısal modelin meş yapısı ve örnek bir analiz ($y_c=1.2$ cm, $h_t=10$ cm)

Bulgular ve Tartışma

Fiziksel deneylerde oyulmaların kararlı hale gelebilmesi için yaklaşık 9-12 saat gibi süreler ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süreler sayısal modeller için çok daha uzun çözüm zamanı demektir. Genel olarak literatür incelendiğinde, kohezyonsuz zeminlerde meydana gelen oyulmaların büyük çoğunluğunun (%80-90 gibi) ilk yarım saat içerisinde meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle sayısal modeller belirli süreler için yürütülmüş ve kararlı oyulmalar için ileriye doğru tahminler yapılmıştır. Oyulma derinliğinin zamana göre değişiminin üstel olduğunu bilinmektedir. Şekil 4(a)'da görüleceği gibi tüm dane çapları için maksimum oyulma derinliğinin zamana göre değişimleri üstel olmakla beraber, dane çapı da büyüdükçe

oyulma derinliği azalmaktadır. Dane çapı 4 mm'den daha büyük çaplar için sayısal analizlerde oyulma çok az gözlemlenmiştir. Şekil 4(a)'da elde edilen eğriler Eşitlik (13) ile ifade edilmiş olup katsayıları ise Tablo 1'de verilmiştir. Uydurulan eğriler $R^2=\%95-99$ belirginlik katsayısı ile elde edilmiştir. Şekil 4 (b)'de ise boyutsuz oyulma miktarının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere boyutsuz oyulma derinliği dikkate alındığında tüm dane çapları için hemen hemen tek bir üstel eğri elde edilebilir (Şekil 4b). Uydurulan bu eğrinin denklemi $R^2=0.92$ belirginlik katsayısı ile Eşitlik (14)'te sunulmuştur.



Şekil 4. (a) Farklı dane çapları için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi, (b) Boyutsuz oyulma derinliğinin zamanla değişimi

$$d_s = A_0 + A_1 \exp\left(-\frac{t}{t_1}\right) \quad (13)$$

$$\frac{d_s}{d_{tm}} = -1.00 + 0.83 \exp\left(-\frac{t}{558}\right) \quad (14)$$

Şekil 4a'daki farklı dane çapındaki yatak oyulmalarının üstel değişimlerini ayrı ayrı ifade etmek için Eşitlik (13)'teki denklemin katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şekil 4(a)'daki üstel eğrilerin katsayıları

d_{50}	A_0	A_1	t_1	R^2
0.49	-0.128	0.111	798	0.99
0.81	-0.105	0.095	669	0.98
1.86	-0.082	0.071	352	0.97
2.54	-0.063	0.056	161	0.95
3.00	-0.061	0.051	607	0.97

Dey ve Raikar (2007) tarafından yürütülen deneysel model çalışmalarına uygun olarak seçilen bazı fiziksel malzeme özelliklerine göre çalışılan sayısal simülasyon sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Söz konusu tabloda 30 dakikalık simülasyon sonuçları ve üstel eşitliklerle tahmin edilen 9 saatlik sonuçlar Dey ve Raikar (2007) tarafından verilen deneysel ölçümlerle birlikte verilmiştir. Deneysel ölçümlerde 9 saat sonunda $d_{50}=0.81$ mm çaplı danelerin kararlı oyulma derinliğine ulaştığı

belirtilmiştir. $d_{50}=0.81$ mm'den daha büyük danelerin belirtilen 9 saatlik periyottan daha önce kararlı hale geldiği de Dey ve Raikar (2007) tarafından izlenmiştir. Makale ayrıca, farklı dane büyüklüğü kullanılarak gerçekleştirilen 12 saatlik deneylerden de elde edilen maksimum oyulma derinliğinin 9 saatlik süre sonunda elde edilen veri ile aynı olduğunu gözlemlemiştir.

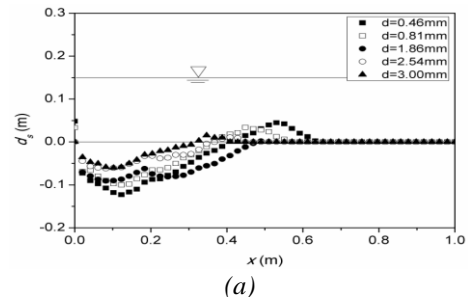
Simülasyon ve hesap sonuçlardan anlaşılacağı gibi oyulma miktarının büyük çoğunluğu ilk 30 dakika gerçekleşmiş olup, 9 saatlik kararlı oyulma derinliği bu değerlerden çok da farklı değildir. 9 saatlik simülasyon çözümlerinin günler alacağı düşünüldüğünde 30 dakikalık çözümün yeterli bir tahmin sunacağını söyleyebiliriz. Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında düşük dane çapları dışında yaklaşık %10 gibi bir rölatif hata tespit edilmiştir. Küçük dane çaplarında, seçilen matematiksel model, sonlu eleman ağı yapısı, sürüntü ve askı maddelerinin taşınımı ve deneysel çalışmalarda hatalar gibi nedenlerle sonuçların etkilenmiş olabileceği tahmin edilmektedir.

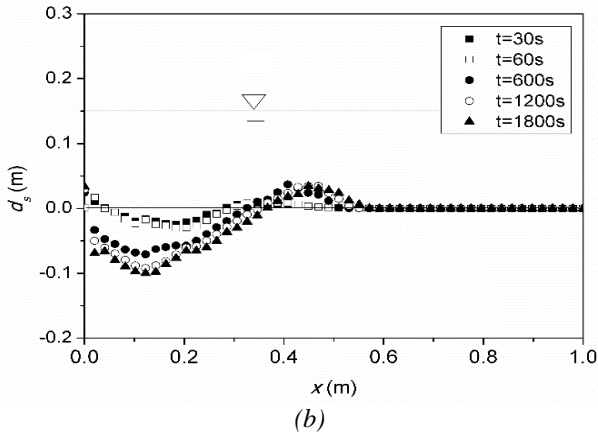
Tablo 2. Model boyutları ve sedimentin fiziksel özellikleri

h_0	h_t	d_{50}	Kritik Shield Sayısı θ_c	y_e	ρ_s	Maksimum oyulma derinliği (d_s)		
						Dey ve Raikar (2007)	HAD (30 dak.)	HAD (9 sa)
(cm)	(cm)	(mm)	--	(cm)	kg/m ³	(m)	(m)	(m)
10	15	0.49	0.031	1.2	2600	0.172	0.123	0.128
10	15	0.81	0.031	1.2	2600	0.095	0.100	0.105
10	15	1.86	0.040	1.2	2600	0.075	0.084	0.082
10	15	2.54	0.044	1.2	2600	0.056	0.061	0.063
10	15	3.00	0.046	1.2	2600	0.054	0.060	0.061

Farklı dane çapları için oyulma profilleri Şekil 5(a)'da, $d_{50}=0.81$ mm için farklı zamanlardaki oyulma profilleri ise Şekil 5(b)'de verilmiştir. Dane çapı büyüdükçe oyulma boyu ve derinliğinin azaldığı görülmektedir. Zamana göre değişim profillerinde ilk dakikalarda oyulma profillerinin hızlı değiştiği ancak zaman geçtikçe bu değişimin azaldığı görülmektedir. Örneğin $t=1200$ s ile 1800 s zamanlardaki oyulma profilleri arasında önemli bir fark

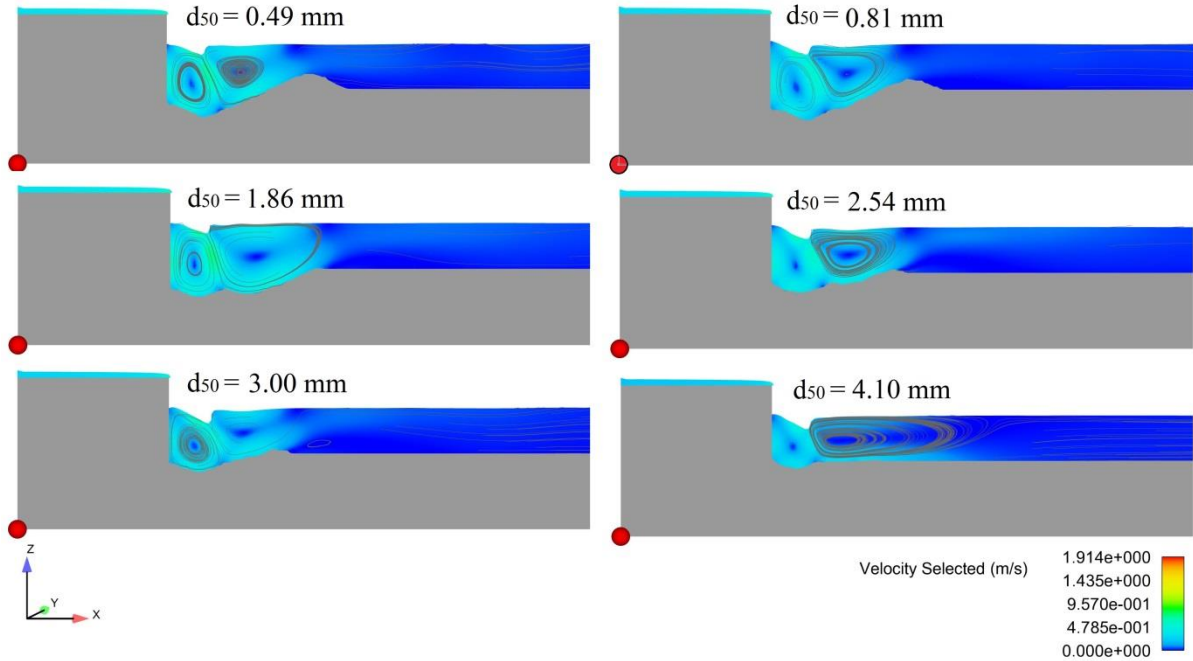
yoktur. Bu durum yukarıdaki üstel değişimle de uyumludur.





Şekil 5. (a) Farklı dane çapları için oyulma profilleri (b) Oyulma profillerinin zamana göre değişimi ($d=0.81\text{mm}$)

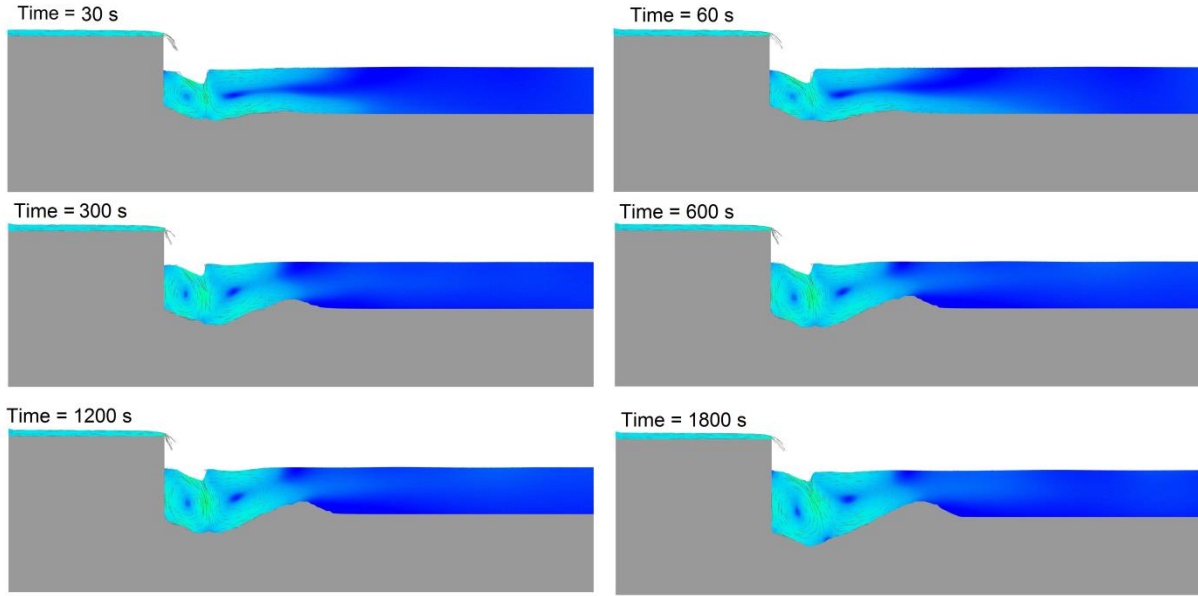
Şekil 6'da farklı dane çapları için oyulma durumları, akım çizgileri ve hız kontrolleriyle birlikte verilmiştir. Burada da çap büyüdükçe oyulma ve yığılma miktarlarının azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Akım çizgileri incelendiğinde su jetinin kuyruk suyuna daldığı kesimin memba ve mansabında iki farklı akım döngüsü meydana geldiği görülmektedir. Akım çizgilerinin ayrıldığı noktada hız teorik olarak sıfır olup durma noktası meydana gelmektedir. Bu nedenle beklenenin aksine bu noktada oyulma daha az meydana gelmiştir.



Şekil 6. Farklı dane çapları için akım çizgileri ve oyulma profilleri

Şekil 7'de $d_{50}=0.49\text{ mm}$ için farklı zaman anlarındaki oyulma profilleri hız vektörleriyle birlikte verilmiştir. Oyulmanın zamanla arttığı gözlenirken oluşan döngüler zamanla daha belirgin hale gelmektedir. Her iki döngü farklı

yönlerde gerçekleşerek akım jetinin memba ve mansabının farklı yönlerde oyulmasına neden olmaktadır.



Şekil 7. $d_{50}=0.49\text{mm}$ dane çapı için hız vektörleriyle birlikte oyulma profilleri

Sonuçlar

Bu çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak bir eşik üzerinden serbest düşen su jetinin mansabındaki kohezyonsuz kum zeminlerde meydana gelen oyulmalar incelenmiştir. Sayısal sonuçlar Dey ve Raikar (2007) tarafından sunulan bazı deneysel verilerle kıyaslanmış ve oyulma derinlikleriyle ilgili olarak yaklaşık olarak %10 fark tespit edilmiştir. Oyulma problemindeki belirsizlikler deneysel ve sayısal zorluklar ve farklı yaklaşımlar dikkate alındığında Meyer, Peter ve Müller (1948) tarafında sunulan bağıntıların kullanıldığı sayısal simülasyon sonuçları iyi bir yaklaşım sunmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçlarından aşağıdaki bazı sonuçlara dikkat çekilmiştir:

- Oyulmanın zamana göre değişimi exponansiyel olup zamanla maksimum oyulma derinliğindeki değişim azalmakta sonunda kararlı oyulma durumu gerçekleşmektedir. Kohezyonsuz taban malzemesinde oyulmanın büyük çoğunluğu (yaklaşık %90'ı) ilk yarım saat içerisinde gerçekleşmektedir.
- Su jetinin kuyruk suyuna daldığı noktanın memba ve mansabında ters yönlü akım

döngüleri meydana gelmekte ve bu döngüler nedeniyle iki farklı oyulma bölgesi oluşmaktadır. Beklenenin aksine su jetinin etki noktasında durma noktası meydana geldiğinden göreceli olarak bu noktadaki oyulma derinliği daha azdır.

- Elde edilen sayısal model sonuçların literatürdeki deneysel verilerle yeterince uyumlu olduğu görülmüştür.
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümleri oyulma problemlerinde oldukça etkili olduğunu görülmüştür. Fakat yine de belirtmek gerekir ki, yapılan analizlerden güvenilir sonuçlar alabilmek için deneysel verilerle kalibre edilmesinde fayda vardır.

Kaynaklar

- Aydın, M.C., Işık E., (2015). Using CFD in Hydraulic Structures. *International Journal of Scientific and Technological Research*. 1(5):7-13.
- Bormann, N.E., Julien, P.Y., (1991). Scour downstream of grade control structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(5):579–594.
- Chamani, M.R., Beirami, M.K., (2002). Flow characteristics at drops. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(8):778–791.
- Dey, S., Raikar, R.V., (2007). Scour below a High Vertical Drop. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(5): 564-568.
- Dick, R., Mastbergen, Jan, H., Berg., V.D., (2003). Breaching in fine sands and the generation of sustained turbidity currents in submarine canyons. *Sedimentology*, 50(4):625–637, doi:10.1046/j.1365-3091.2003.00554.x.
- Flow 3D, (2014). Manual, Sediment Scour Model. Flow-3D User Manual, v11.0.3. *Flow Science, Inc.*
- Ghodsian, M., Mehraein, M., Ranjbar H.R., (2012). Local scour due to free fall jets in non-uniform sediment. *Sharif University of Technology, Scientia Iranica*, 19(6):1437-1444.
- Ghodsian, M., Melville, B., Coleman, S., (2012). Local scour due to sediment carrying free-overfall water jet. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 165(WM1):21-29.
- Ghodsian, M., Melville, B., Tajkarimi, D., (2006). Local scour due to free overfall jet, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159(4):253-260.
- Jia, Y., Kitamura, T., Wang, S.S.Y., (2001). Simulation of scour process in plunging pool of loose bed-material. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(3):219–229.
- Little, W.C., Murphey, J.B., (1982). Model study of low drop grade control structures. *Journal of Hydraulic Division*, 108(10):1132–1146.
- Mason, P.J., Arumugam, K., (1985). Free jet scour below dams and flip buckets. *J. Hydraul. Eng.*, 111(2):220–235.
- Meyer-Peter, E., Müller, R., (1948). Formulas for bed-load transport. *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research*, pages 39–64.
- Schoklitsch, A., (1932). Kolkbildung unter überfallstrahlen. *Wasserwirtschaft*, 24, 341–343.
- Soulsby, R., (1997). *Ch. 9: bedload transport*. In *Dynamics of Marine Sand*. Thomas Telford Publications, London.
- Stein, O.R., Julien, P.Y., Alonso, C.V., (1993). Mechanics of jet scour downstream of a headcut. *Journal of Hydraulic Research*, 31(6):723–738.
- Van, R. L., (1984). Sediment transport, Part I: bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10):1431–1456. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:10(1431)

Investigation of Local Scours under Vertical Drop Using CFD

Extended abstract

Artificial drops at the bottom of the stream can be used in high elevation streams to reduce the slope and regulate the flows. The flow state on such a drop is often in the form of a free-falling sluice stream. Nevertheless, the channel base or the head created by the control structure causes the bottom floor of the downstream section to be carved. A considerable part of the energy of the river is absorbed by the turbulent mixture in the carving pool located downstream of this head. Thus, the bed material in downstream is subject to scour due to jet-induced diffusion and instability in the base sediment. Details of previous works on the subject have been noted in this article.

In the study scours from cohesionless uniform sand bed granules of different grain sizes under free drop water jet were obtained with the help of Computational Fluid Dynamics (CFD). The results are compared with the experiments made by Dey and Raikar (2007) and the results are interpreted. Hydraulic characteristics of free water jet are presented with schematic and equations.

In the dimension analysis section, many empirical correlations are presented in the literature regarding the depth of scouring under free hypothesis. But most of these correlations are presented under certain conditions and can give different results. Some relativities are given in terms of dimensional quantities, while some have been neglected. In this study, the most effective parameters determining the scour under a 2D free jet drop given shape are obtained from the dimensional analysis based on some studies in the literature

In the study, the scour under free fall were tried to be estimated by using Sediment Scour Model together with Flow 3D software. This model attempts to predict the motion of multiple cohesionless sediment piles with different properties such as grain size, density, critical shear stress, slope angle, and convection and input parameters. The model estimates the sediment motion by calculating sediment wearing, advection and accumulation events.

The numerical model was prepared with Flow 3D, and the geometry of the model, the mesh structure and the analysis result are shown in the article. 42000 structured cells were used in two-dimensional analyzes. RNG (Renormalized Group) model was used as the turbulence model. This model uses statistical methods in the generation of the averaged equations for turbulence parameters such as turbulence, kinetic energy (k) and turbulence expansion rate (ϵ).

In physical experiments, a period of about 9-12 hours is required for the scour to become stable. These times are longer for numerical models. It is known that the great majority of scouring (such as 80-90%), especially in cohesionless soils, have come to fruition within the first half hour. For this reason, numerical models have been carried out for a certain period of time and forward estimates have been made for stable scour. Many researchers have shown that the time-varying change in depth of deformation is exponential.

The study investigates the downstream scour of the free fall water jet over a sill on cohesionless sandy floors by using calculated fluid. The results were compared with experimental data and a difference of approximately 10% was determined with respect to the depth of the scouring.

Some of the results of the obtained analyze are as follows: The variation of the time of the oscillation is exponential, and the change in the maximum depth of penetration decreases with time, finally resulting in a stable scour. The majority (about 90%) of cohesionless base material is scoured within the first half hour. This may be valid for standard diameters and standard conditions. There are two different flow curves in opposite direction at upstream and downstream of the point where the water jet falls into the tail water, and due to these cycles two different scour regions are formed. Contrary to what is expected, the scour depth at this point is relatively small, since the point of stopping at the point of impact of the water jet is relatively small. Computational fluid dynamics can be a good tool for such problems. Different approaches and parameters can be tried for better results.

Keywords: Sill structure, Scour, Sediment bed, CFD, Hydraulic structures.