

Primljen / Received: 18.3.2020.

Ispravljen / Corrected: 19.7.2020.

Prihvaćen / Accepted: 15.1.2021.

Dostupno online / Available online: 10.6.2021.

Utjecaj valjkastih i kockastih pilota na gradijentne struje

Autori:



Mohammad Reza Mansoujian, dipl.ing.građ.
Sveučilište Islamic Azad
Odjel za građevinarstvo
rezamansoujian@yahoo.com



Prof.dr.sc. **Mehdi Ghomeshi**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Shahid Chamran u Ahvazu
Fakultet vodnih znanosti
ghomeshi@scu.ac.ir
Autor za korespondenciju



Dr.sc. **Houshang Hasounizadeh**, dipl.ing.građ.
Savjetnik za upravljanje vodama u KWPA,
Ahvaz, Iran
hassoni44@hotmail.com



Doc.dr.sc. **Seyed Abbas Hosseini**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Islamic Azad
Odjel za građevinarstvo
abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

Prethodno priopćenje

Mohammad Reza Mansoujian, Mehdi Ghomeshi, Houshang Hasounizadeh, Seyed Abbas Hosseini

Utjecaj valjkastih i kockastih pilota na gradijentne struje

Gradijentno strujanje je gibanje fluida kroz neki drugi fluid drugačije gustoće, uz često negativan utjecaj na okoliš. Zbog problema taloženja uzrokovanih djelovanjem gradijentnih struja u blizini tijela brana, često se poduzimaju odgovarajuće mjere kako bi se ublažio ili eliminirao utjecaj takvih struja u srednjem dijelu akumulacija. U tom se smislu u sredini akumulacije postavljaju odgovarajuće prepreke. U ovom se radu eksperimentalno istražuje utjecaj valjkastih i kockastih prepreka na kretanje prednje fronte (glave) gradijentnih struja. Rezultati istraživanja pokazuju da je utjecaj kockastih prepreka na parametre strujanja veći od utjecaja valjkastih prepreka.

Ključne riječi:

gradijentna struja gustoće, struja zamućenja, glava gradijentne struje, valjkaste prepreke, kockaste prepreke

Research Paper

Mohammad Reza Mansoujian, Mehdi Ghomeshi, Houshang Hasounizadeh, Seyed Abbas Hosseini

Effects of cylindrical and cubic piles on motion of density currents

Density current is the motion of a fluid in another fluid of a different density, with frequent negative environmental impacts. According to the deposition problems caused by density currents in the vicinity of dam bodies, attempts are usually made to weaken or eliminate these types of currents in the middle of the reservoir. Appropriate barriers are placed in the middle of the reservoir for this purpose. The effects of cylindrical and cubic obstacles on the motion of the head of the saline density current are experimentally investigated in this study. The results show that the effect of cubic obstacles on current parameters is greater compared to cylindrical obstacles.

Key words:

saline density current, turbidity current, head of density current, cylindrical obstacles, cubic obstacles

Vorherige Mitteilung

Mohammad Reza Mansoujian, Mehdi Ghomeshi, Houshang Hasounizadeh, Seyed Abbas Hosseini

Einfluss von Walzen Pfählen auf die Gradientenströme

Die Gradientenströmung stelle die Bewegung von Flüssigkeiten durch eine andere Flüssigkeit mit der anderen Art der Dichtigkeit dar, wobei oft ein negativer Umwelteinfluss entsteht. Wegen der Probleme der Ablagerung, welche durch die Wirkung von Gradientenströmen in der Nähe von Talsperrenkörpern verursacht wurden, werden oft entsprechende Maßnahmen eingeleitet, damit die Wirkung von solchen Strömen im mittleren Teil von Akkumulationen gemildert oder beseitigt wird. In diesem Sinne werden in der Mitte der Akkumulation entsprechende Hindernisse aufgestellt. In dieser Arbeit wird experimentell der Einfluss von Walzen- und Würfelhindernissen auf die Bewegung der vorderen Front (des Kopfes) von Gradientenströmen erforscht. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass der Einfluss von Würfelhindernissen auf die Strömungsparameter höher als der Einfluss von Walzenhindernissen ist.

Schlüsselwörter:

Gradientenstrom mit der Dichtigkeit, Trübungsstrom, Kopf des Gradientenstromes, Walzenhindernisse, Würfelhindernisse

1. Uvod

Gradijentne struje ili struje gustoće nastaju kada sila teža djeluje na razliku gustoće između dva fluida; takve struje često nazivamo i gravitacijskim strujama [1]. Do razlike u gustoći dolazi uslijed djelovanja lebdećeg nanosa, temperaturnih gradijenata, otopljenih sastojaka ili zbog kombinacije spomenutih djelovanja. U ovom se procesu ulazni fluid naziva gustim fluidom, a bistri fluid okolišnim fluidom.

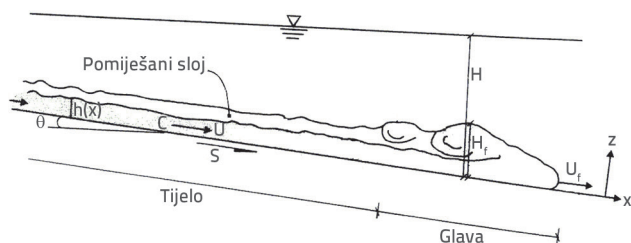
Takve su struje poznate kao struje zamućenja, a u njima je lebdeći nanos osnovni pokretački mehanizam. Najčešća vrsta gradijentne struje je podtok koji nastaje kada tok ulazi u okolni fluid manje gustoće. Ta se vrsta struje također analizira u ovom istraživanju.

Struja gustoće često se formira u vrijeme poplava u zoni u kojoj rijeka utječe u akumulaciju u točki miješanja, gdje struja gustoće odlazi na dno akumulacije [2, 3]. Ako je nagib dna velik (veći od 0,001) ili ako je dno usko, tada struja gustoće može svojim gibanjem pokrivati dosta velike udaljenosti [4].

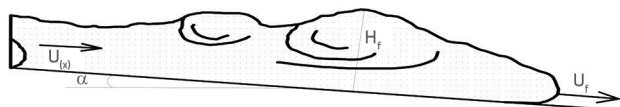
Taloženjem nanosa, struje zamućenja uzrokuju smanjenja volumena akumulacija, mogu dovesti do začepjenja ulazne građevine, olakšavaju prodor nanosa u energetska postrojenja te sprječavaju korištenje vode iz akumulacije za navodnjavanje [5].

U slučaju velikih poplava, struje zamućenja mogu sa sobom nositi znatne količine nanosa sve do mjesta taloženja blizu brane. Optimalno vrijeme otvaranja temeljnih ispusta može se odrediti kao vrijeme potrebno za pronos značajne količine nanosa pomoću struja zamućenja tijekom poplave [6].

Smanjenje obujma akumulacija zbog taloženja materijala nanosenog pomoću struja gustoće uvelike zabrinjava stručnu javnost, naročito agronome i ekološke, i o toj se temi i danas provode brojna istraživanja. U akumulacijama brana struje zamućenja uglavnom su podtokovi koji se sastoje od nekoliko dijelova (vidi sliku 1.)



Slika 1. Shematski prikaz gradijentne struje [7]



Slika 2. Prikaz glave gradijentne struje [9]

Gradijentne struje prodiru u stacionarni fluid svojom prednjom frontom (glavom). Glava gradijentne struje odlikuje se posebnim

karakteristikama po kojima se razlikuje od tijela, a to su visina (H_r) koja je veća od visine tijela, zatim brzina koja je manja (U_r), te kljun koji je smješten malo iznad dna (slika 2.) [8].

Glava struje je zona intenzivnog miješanja. Glava struje je nepravilna. Njezin tok je neustaljen, a gradijent koji proizlazi iz razlike u specifičnoj masi između glave struje i fluida pokreće glavu struje kroz fluid [10]. Istraživači su izradili brojne studije o hidrauličkim parametrima glave gradijentne struje i o njezinoj brzini. U većini dosadašnjih istraživanja, brzina glave slane struje smatra se ovisnom o visini glave struje i smanjenju gravitacije [11, 12].

Gradijentne struje su jedan od faktora koji se smatraju značajnima za pronos materijala u jezerima i umjetnim akumulacijama. Jedna od metoda za kontroliranje te struje sastoji se u postavljanju prepreka duž njezinog toka. Takvim preprekama može se kontrolirati tok struje bilo nepotpuno ili potpuno, a mogu se koristiti i za promjenu smjera toka struje [13]. U novije se vrijeme taj postupak istražuje laboratorijski u hidrauličkim kanalima. Prvo cjelovito istraživanje o ovom pitanju proveo je Oehy (prema navodima autora Asghari Parija) [14].

Kako bi kontrolirao taloženje u akumulacijama, Oehy [15] je modelirao djelovanje prepreka na struje zamućenja (gustoće) pomoću fizikalnih eksperimenata i numeričkih simulacija pa, u slučaju studije provedene na akumulaciji Grimsel, taj je autor pomoću numeričkih modela ocijenio moguće utjecaje na struje zamućenja s uronjenim nasipnim pragovima. Rezultati su pokazali da se, zbog djelovanja praga, nanos zaštićen na ulazu i izlazu može istaložiti i zadržati u lokalnoj zoni. Zaključio je da je formiranje prepreka u mirnom toku pogodno za kontroliranje takvih struja. Osim toga, eksperimentalna istraživanja utjecaja propusnih i nepropusnih prepreka pokazala su da je djelotvornost zaustavljanja protoka znatna kod nepropusnih prepreka; uz to, optimalna visina takvih prepreka osigurava maksimalni kapacitet u uzvodnom dijelu [16].

Marousi i dr. [17] istraživali su mogućnosti primjene čvrstih prepreka u kontroliranju struja zamućenja. Dobiveni rezultati pokazali su da se pronos materijala smanjuje kada se koriste nepropusne prepreke.

Sequeiros i dr. [18] proveli su eksperimentalna istraživanja slanih i sedimentarnih struja gustoće te su analizirali kombinirani utjecaj pronosa u koritu kada su prisutne različite vrste agregata. Rezultati tih eksperimenata pokazuju da oblik korita bitno utječe na profil brzine te da naglašava zonu formiranja maksimalne brzine.

Nasrollahpour i Ghomeshi [19] analizirali su utjecaj hrapavosti na karakteristike glave gradijentne struje te su zaključili da se koncentracija i brzina glave gradijentne struje smanjuju a visina struje raste s porastom visine hrapavih površina te s povećanjem površinske hrapavosti stalne visine.

U nedavnom istraživanju utjecaja koncentracije i nagiba korita definirana je brzina glave gradijentne struje za korito bez prepreka pri stalnoj koncentraciji. Rezultati su pokazali da brzina glave raste s porastom nagiba te da pri konstantnom nagibu brzina glave raste s porastom koncentracije [13, 20].

Qorban Moghadam [13] istraživao je utjecaj rasporeda valjkastih prepreka na kretanje glave slane gradijentne struje. Te prepreke promjera 1 cm i visine 30 cm bile su izrađene od PVC-a. Uzdužni i poprečni međuosni razmak između pojedinih prepreka iznosio je 8 cm. Prepreke su bile postavljene u zoni dužine 4 m i širine 35 cm. Rezultati su pokazali da brzina glave gradijentne struje u koritu s preprekama pokazuje trend smanjenja isto kao i u koritu bez prepreka, ali smanjenje u koritu s preprekama događalo se brže nego u koritu bez prepreka. Smanjenje brzine glave gradijentne struje najviše je izraženo u rasporedu 4 x 4, manje u rasporedima 8 x 4 i 4 x 8, a najmanje u rasporedu 8 x 8 zbog male gustoće prepreka.

Yaghubi i dr. [21] proveli su fizikalne eksperimente kako bi ispitali utjecaj dviju uzastopnih prepreka u obliku pravokutnih trokuta na struju zamućenja pri različitim visinama. Rezultati su pokazali da se u prisutnosti prepreke prosječna uzvodna brzina između prepreka bitno smanjuju u odnosu na situaciju u nizvodnom dijelu. Osim toga, s porastom visine prepreke smanjuje se brzina u donjoj zoni struje dok istovremeno se povećava u gornjoj zoni. Asghari Pari i dr. [22] analizirali su različite utjecaje prepreka na ponašanje struja gustoće. Dobiveni rezultati pokazuju da primjena prepreka utječe na parametre gradijentne struje, te da je za punu kontrolu gradijentne struje pri svakom nagibu potrebna odgovarajuća visina prepreke.

Huang i dr. [23] proveli su eksperimentalnu studiju o utjecaju visine i položaja prepreka na ponašanje struja gustoće. Zaključili su da prisutnost prepreka onemogućuje napredovanje struja gustoće. Osim toga, što je viša prepreka to je uočljivije smanjenje utjecaja gradijentne struje.

Analizom literature može se uočiti da se većina istraživanja o utjecaju prepreka na gradijentne struje zapravo svodi na prepreke čija je širina jednaka širini hidrauličkog kanala te da se koristi samo jedna prepreka koja pokriva čitavu širinu korita [10, 16, 21].

U istraživanjima o strujama gustoće nema ni jedne studije o utjecajima kockastih i valjkastih pilota hrapave površine, koji se postavljaju u velikom broju duž korita, pri čemu im visina prelazi visinu glave i tijela gradijentne struje. Stoga, imajući na umu važnost kontroliranja struja gustoće u akumulacijama pomoću metoda kao što je metoda postavljanja prepreka u akumulaciji, u ovom se radu istražuje utjecaj valjkastih i kockastih prepreka (pilota) na kretanje struja gustoće u akumulacijama kako bi se naglasio njihov utjecaj na hidrauličke parametre

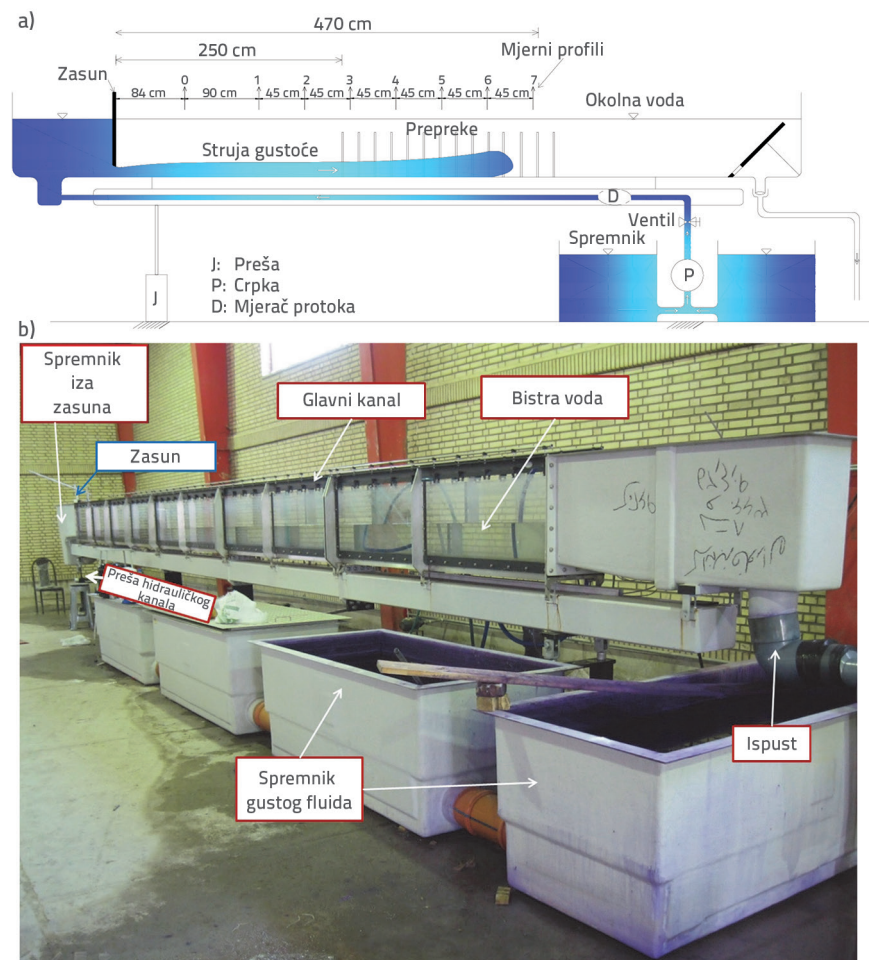
struja. Glava gradijentne struje ima tri osnovna obilježja a to su: koncentracija, brzina i visina. Osnovni cilj ovog istraživanja je analiza utjecaja prepreka izmaknutog rasporeda, čija visina prelazi visinu gradijentne struje.

2. Fizikalni model i eksperimentalni postupak

Ovi eksperimenti su provedeni u Laboratoriju za analizu nanosa Vodoprivredne organizacije pokrajine Huzestan sa sjedištem u Ahvazu.

Ispitivanja su provedena u hidrauličkom kanalu dužine 12,5 m, širine 30 cm i visine 40 cm, s dnom čiji se pad (nagib) može mijenjati. Postav eksperimenta korištenog u ovom radu shematski je prikazan na slici 3a. Pleksiglasa debljine 1 cm postavljen je na dno kanala kako bi se mogle instalirati prepreke. Za potrebe eksperimenta, od pleksiglasa je izrađen i zasun čija širina odgovara širini kanala. Kanal ima četiri spremnika, mjerac protoka i uređaj za ručno mijenjanje nagiba (slike 3.a i 3.b).

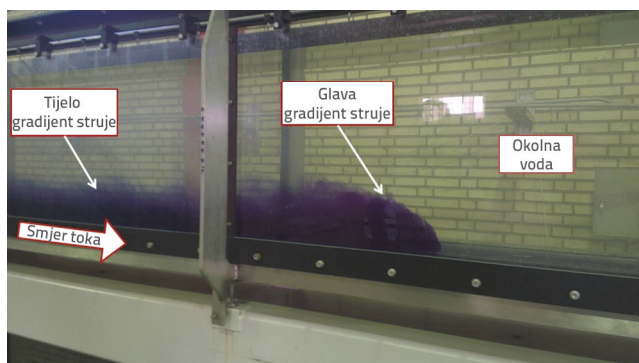
Za eksperimente je korištena voda iz gradskog vodovoda, tj. voda iz slavine u laboratoriju; kako bi se ubrzao postupak punjenja vode, u eksperimentu su korištene i dvije crpke. U svim eksperimentima, visina fluida bila je konstantna zbog



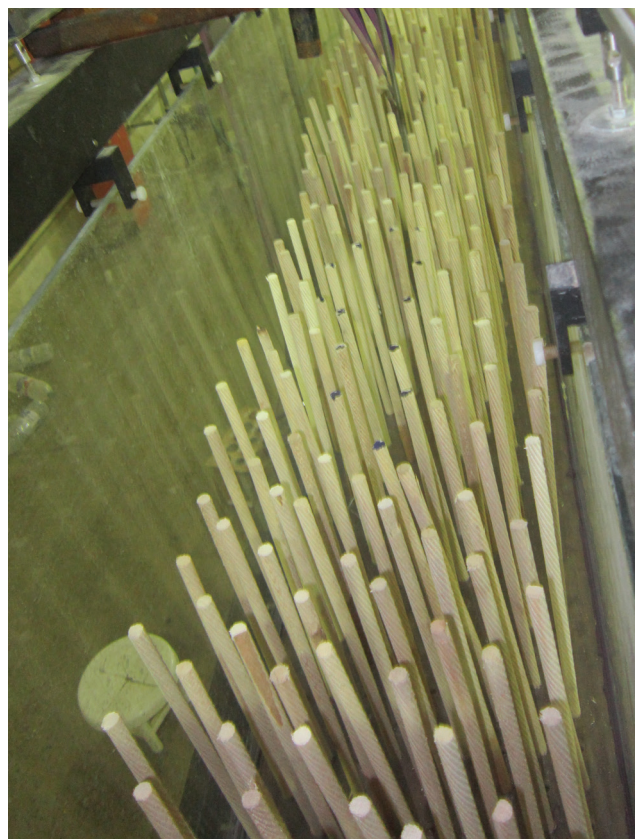
Slika 3. a) Shematski prikaz kanala i spojenih uređaja; b) Postav eksperimenta

preljeva instaliranog u nizvodnom dijelu kanala. Struja gustoće pripravljena je od vode, jestive soli i bojila (bojilo nije utjecalo na koncentraciju). Bojilo je korišteno kako bi se struja definirala i bila dovoljno uočljiva. Sol i voda miješali su se u četiri spremnika koji su bili povezani s kanalom. Struja gustoće je zatim ulijevana konstantnom brzinom pomoću glavne crpke i cijevi u spremnik koji se nalazio na stražnjem dijelu zasuna i dijelio je struju gustoće od čiste vode. Za korekciju protoka gradijentne struje koja je ulazila u kanal korišten je elektromagnetski mjerac protoka. Prije početka svakog eksperimenta, mjerena je koncentracija i temperatura vode i gradijentne struje pomoću Ec-metra. Nakon poravnavanja razine gradijentne struje iza zasuna s razinom vode u kanalu, otvarao bi se zasun i eksperiment bi počeo, a završio bi kada bi glava struje došla do nizvodnog kraja kanala. Glava gradijentne struje prikazana je na slici 4. Visina zasuna podešena je na 5 cm. Zbog naglog otvaranja zasuna, tok gradijentne struje pozicionirao bi se ispod obične vode.

formiranje gradijentne struje, prepreke su postavljene u zoni od 2,5 m do 4,7 m od zasuna, tj. dužina zone s preprekama iznosila je 2,2 m (slike 3.a i 5.).



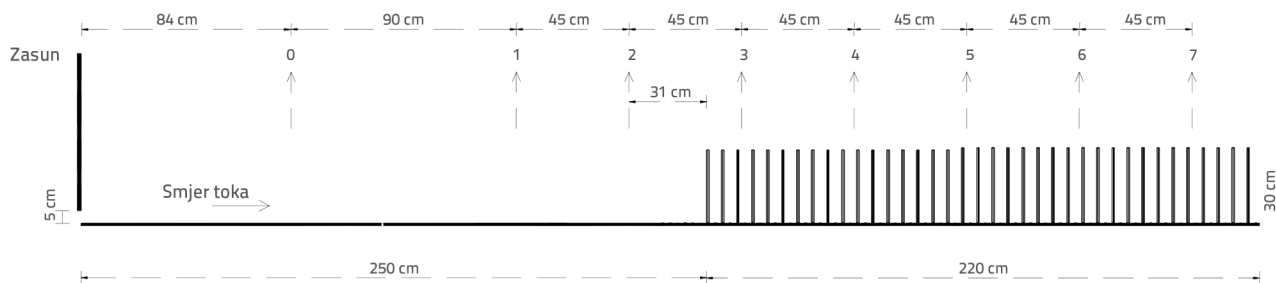
Slika 4. Glava i tijelo gradijentne struje



Slika 6. Dno s valjkastim preprekama

Provedeno je dvadesetsedam eksperimenata, s tri nagiba kanala (0,2 %, 0,5 %, 1 %), s tri različite početne koncentracije (15, 20 i 25 g/l) te s tri različite brzine istjecanja (0,27, 0,55 i 0,83 l/s). Pri određenoj koncentraciji i nagibu provedena su tri eksperimenta s različitim protocima i bez prisutnosti prepreka (to su bili kontrolni eksperimenti). Tri dodatna eksperimenta provedena su s istim karakteristikama u prisutnosti valjkastih prepreka, a dodatna tri eksperimenta provedena su s istim karakteristikama ali s kockastim preprekama. Nakon toga, promijenjen je nagib kanala pa su ispitivanja ponovljena, a konačna ispitivanja provedena su mijenjanjem koncentracije toka. Kako bi se izbjeglo vrtloženje u blizini zasuna zbog ulaznog toka te omogućilo potpuno

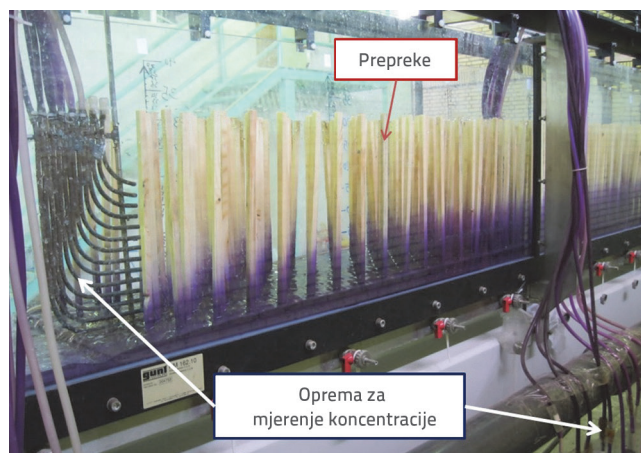
Prepreke su izrađene od grubo obrađenog drveta. Visina prepreka odabrana je tako da u svim eksperimentima visina glave gradijentne struje bude niža od visine prepreka. Uzdužna i poprečna međuosna udaljenost između pojedinih prepreka iznosila je 3 centimetra. 323 valjkaste prepreke promjera 1 cm i visine 30 cm postavljene su na dno pravokutnog kanala u izmaknutom rasporedu a, u sljedećem koraku, isti broj kockastih prepreka dimenzija 1 x 1 cm i visine 30 cm postavljen je na isti način na dno pravokutnog žlijeba. Dno kanala s valjkastim i kockastim preprekama prikazano je na slikama 6. i 7. Visina glave gradijentne struje zabilježena je očitavanjem oznaka koje



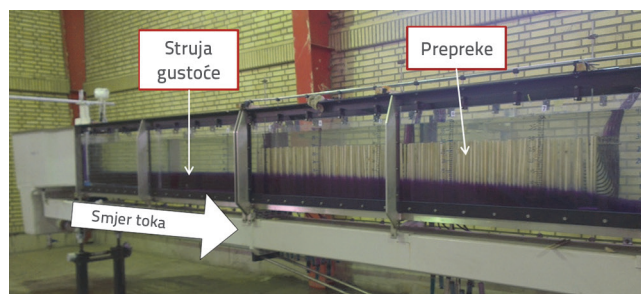
Slika 5. Zone kanala i raspored prepreka

su postavljene na tijelo kanala u sedam zona pojedinačne dužine 45 cm (slike 3.a i 5.).

Koncentracija gradijentne struje izmjerena je u tri zone duž kanala (slika 7.). Također je izmjerena i brzina glave gradijentne struje pomoću metode udaljenost-vrijeme, a za to su korištene dvije kamere i kronometar. Na kraju svakog eksperimenta zatvarao se ventil koji kontrolira ulazak gradijentne struje. Tekućina se ispuštala kroz završni zasun i svi elementi su brižljivo pregledavani, čišćeni i podešavani. Tok gradijentne struje i način strujanja kroz zonu s preprekama prikazani su na slici 8.



Slika 7. Kockaste prepreke i oprema za mjerenje koncentracije



Slika 8. Kretanje gradijentne struje i prolaz kroz prepreke

3. Rezultati i rasprava

Eksperimentalni rezultati koji prikazuju djelovanje valjkastih i kockastih prepreka na visinu i brzinu glave gradijentne struje prikazani su u tablicama 1. i 2.

3.1. Visina glave struje

Na temelju eksperimentalnih rezultata koji su prikazani u tablicama 1. i 2. i u grafičkom prikazu (slika 9.), može se zaključiti da, pri zadanom nagibu i koncentraciji, visina glave gradijentne struje ima uzlazni trend prolazeći kroz kanal bez prepreka. To se čini sasvim razumnim s obzirom na miješanje gradijentne struje i okolnog stacionarnog fluida. U ovaj proces je svakako uključena i difuzija molekula ali, kako prisutnost glave gradijentne struje u kanalu kratko traje, utjecaj ovog parametra može se slobodno zanemariti. To potvrđuju i drugi istraživači [13, 24]. Međutim, pod istim uvjetima koncentracije, nagiba i protoka u koritu s preprekama, ovaj je trend sasvim suprotan i visina glave se smanjuje po dužini kanala (smanjenje visine glave u odnosu na dno bez prepreka je oko 50 % za valjkaste uzorke i 70 % za kockaste uzorke). Tome doprinosi i prisutnost prepreka koje pospješuju miješanje okolnog fluida s gustim fluidom, i to u takvoj mjeri da se gusti fluid dijeli od prednjeg dijela glave struje i gubi se u čistom fluidu. Zbog toga se obujam glave gradijentne struje smanjuje uz istovremeno smanjenje visine. Prema ovim eksperimentima, takvo smanjenje veće je kod kockastih prepreka u odnosu na valjkaste prepreka (za otprilike 30 %). To se može objasniti razlikom u hidrodinamičkom ponašanju kockastih i valjkastih prepreka.

Prema slikama 3.a i 5., prepreke počinju na potezu između zone 2 i zone 3 (tj. počinju na udaljenosti od 250 cm od zasuna). To znači da su rezultati u početnim zonama korita s preprekama i korita bez prepreka gotovo isti. Također treba naglasiti da je nulta pozicija prikazana na osi x dijagrama u slikama 9., 10. i 11. udaljena 0,84 metra od zasuna, te da nikakva očitavanja nisu provedena u prostoru od 0,84 m od zasuna. Na dijagramima

Tablica 1. Vrijednosti izmjerene tijekom raznih eksperimenata bez prisutnosti prepreka

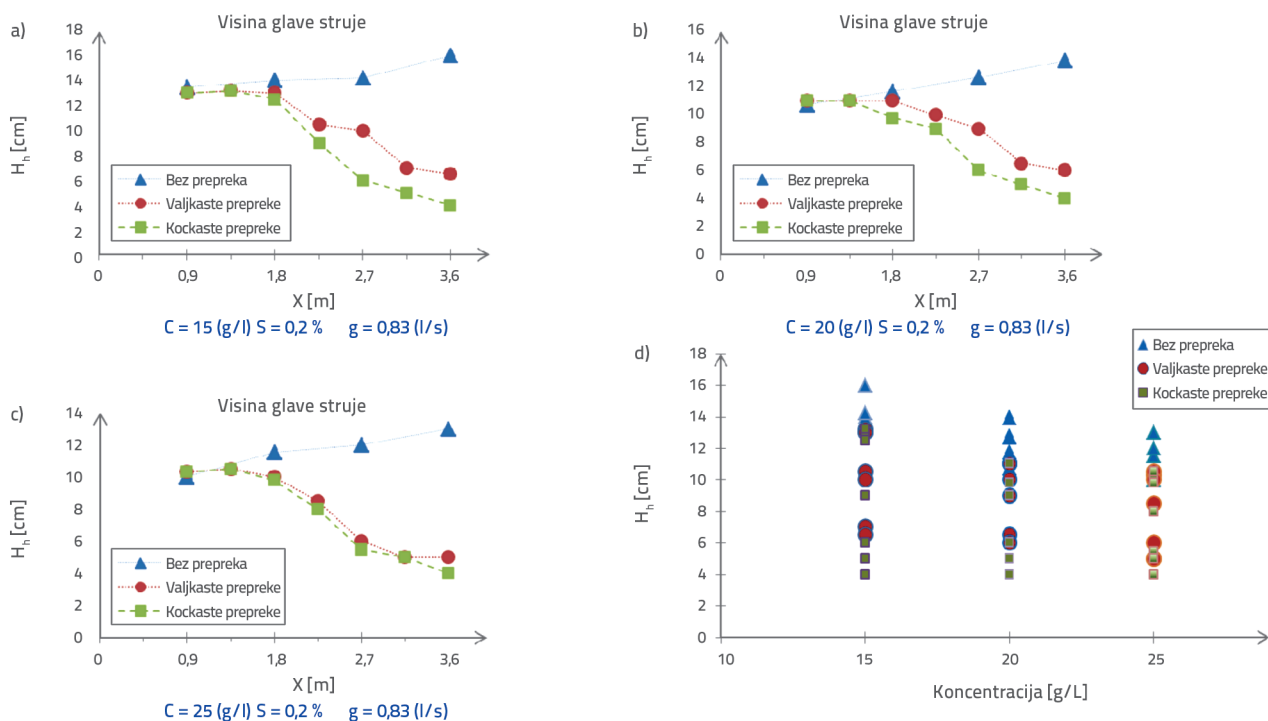
Br. eksp.	Prepreka	C (slanost) [gr/l]	Nagib [%]	Udaljenost 90 cm		Udaljenost 180 cm		Udaljenost 270 cm		Udaljenost 360 cm	
				H _n [cm]	V _n [cm/s]	H _n [cm]	V _n [cm/s]	H _n [cm]	V _n [cm/s]	H _n [cm]	V _n [cm/s]
1.	Bez prepreke	15	0,2	13,5	5,625	14	5	14,25	5	16	4,736
2.			0,5	13	6	13,5	5,625	14	5,294	15	5,294
3.,			1	12,9	6,428	13	6	13,5	5,294	14	5,294
4.		20	0,2	11	6,923	11,7	6,428	12,7	6	13,9	6
5.			0,5	11	6,923	11,5	6,923	12	6,428	13	6,428
6.			1	11	6,923	11	6,428	11,5	6,428	12,5	6,428
7.		25	0,2	10,5	7,5	11,5	7,5	12	6,923	13	6,923
8.			0,5	10,3	7,5	11,25	7,5	12	7,5	12,5	6,923
9.			1	10,3	7,5	11	7,5	11	6,923	12	6,923

Tablica 2. Vrijednosti izmjerene tijekom raznih eksperimenata uz prisutnost prepreka

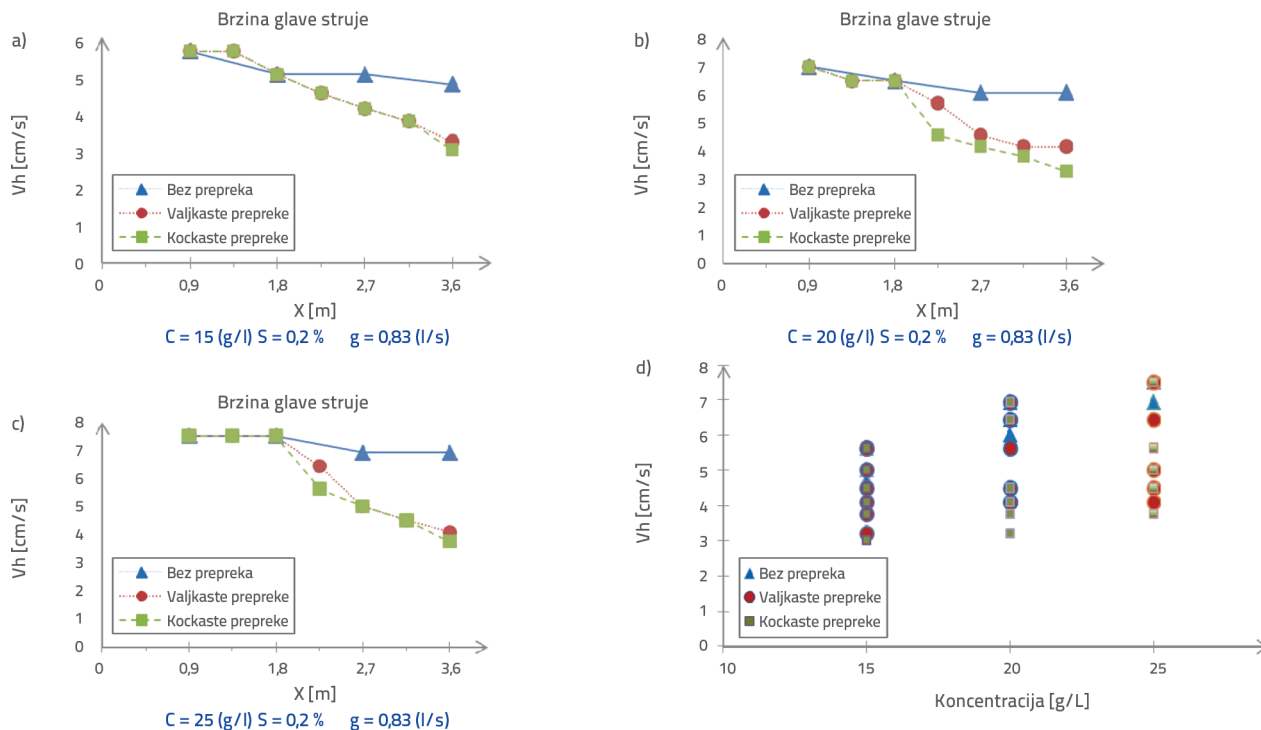
Br. eksp.	Prepreka	C [gr/l]	Nagib [%]	Udaljenost 90 cm		Udaljenost 135 cm		Udaljenost 180 cm		Udaljenost 225 cm		Udaljenost 270 cm		Udaljenost 315 cm		Udaljenost 360 cm			
				H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]	H _h [cm]	V _h [cm/s]
				10.	Valjkasta	15	0,2	13	5,625	13,2	5,625	13	5	10,5	4,5	10	4,09	7	3,75
11.	0,5	13	6	13			5,625	11,75	5,625	10	5	7	4,09	6	3,75	6	3,214		
12.	1	12,75	6,428	13			5,625	11,5	5,625	10	5	7	4,5	5,5	3,75	5,25	3,461		
13.	20	0,2	11	6,923		11	6,428	11	6,428	10	5,625	9	4,5	6,5	4,09	6	4,09		
14.		0,5	11	6,923		11	6,428	11	6,428	10	5,625	7	5	6,5	4,09	6	4,09		
15.		1	11	6,923		10,8	6,428	11	6,428	9,8	5,625	6	5	5,5	4,09	5	4,09		
16.	25	0,2	10,3	7,5		10,5	7,5	10	7,5	8,5	6,428	6	5	5	4,5	5	4,09		
17.		0,5	10	7,5		10,5	7,5	9	7,5	8	6,428	5,9	5	5	4,5	4,7	4,09		
18.		1	9,75	7,5		10	7,5	9	7,5	7,7	6,428	5,5	5,625	5	5	4,5	4,5		
19.	Kockasta	15	0,2	13	5,625	13,2	5,625	12,5	5	9	4,5	6	4,09	5	3,461	4	3		
20.			0,5	13	6	13	5,625	11,25	5,625	8,7	4,5	6	4,09	5	3,461	4	3		
21.			1	13	6,428	13	5,625	11	5,625	8,5	4,5	6	4,09	4,8	3,75	4	3,214		
22.		20	0,2	11	6,923	11	6,428	9,8	6,428	9	4,5	6	4,09	5	3,75	4	3,214		
23.			0,5	11	6,923	11	6,428	10	6,428	8,5	5,625	6	4,5	5	4,09	4	3,461		
24.			1	11	6,923	10,75	6,428	10	6,428	8,25	5,625	6	5	4,7	4,09	3,75	3,461		
25.		25	0,2	10,3	7,5	10,5	7,5	9,8	7,5	8	5,625	5,5	5	5	4,5	4	3,75		
26.			0,5	10	7,5	10,5	7,5	9	7,5	8	5,625	5,5	5	5	4,5	4	3,75		
27.			1	9,75	7,5	10	7,5	8,5	7,5	7,7	6,428	5,25	5	5	5	3,75	3,75		

koji su prikazani na slici 9. vidi se proces mijenjanja visine glave gradijentne struje za tri oblika korita bez prepreka, s kockastim

preprekama, i s valjkastim preprekama pri nagibu od 0,2 %, za protok od 0,83 l/s te za tri koncentracije: 15, 20 i 25 g/l.



Slika 9. Prikaz promjene visine glave gradijentne struje po dužini kanala



Slika 10. Prikaz promjene brzine glave gradijentne struje po dužini kanala

Kao što se može vidjeti na slici 9., visina glave gradijentne struje smanjuje se s povećanjem koncentracije gradijentne struje i to zbog djelovanja gravitacije na struju a, prema zakonu kontinuiteta, brzina se mora povećati kako bi se zadržao kontinuitet toka struje. Prema slici 9. i gornjem opisu, pri istim udaljenostima duž osi x, visina glave gradijentne struje smanjuje se s povećanjem koncentracije. Na primjer, pri najvišoj koncentraciji od 25 g/l (slika 9.c), sve visine glave struje niže su od visina glave struje pri nižoj koncentraciji od 15 g/l (slika 9.a). Isto tako, pri nekoj određenoj vrijednosti koncentracije i protoka, promjena u nagibu, npr. povećanje nagiba, baš kao i povećanje koncentracije, dovodi do smanjenja visine glave gradijentne struje.

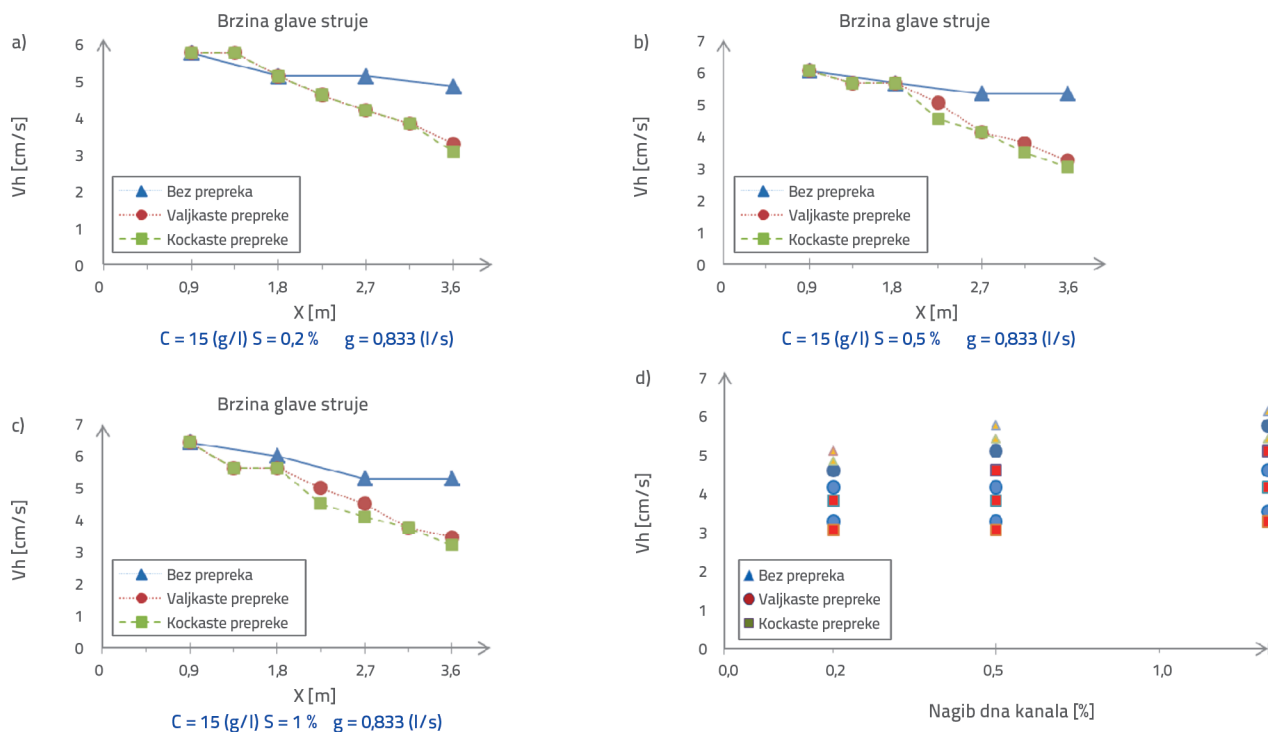
3.2. Brzina glave struje

Slika 10. prikazuje promjene brzine glave gradijentne struje za konstantni nagib od 0,2 %, za protok od 0,83 l/s te za tri koncentracije: 15, 20 i 25 g/l. Na dijagramima slike 10. vidi se trend smanjenja brzine glave gradijentne struje po dužini kanala računajući od zasuna (tj. od uzvodnog dijela prema nizvodnom) za korito s preprekama i bez njih.

Na koritu bez prepreka uočava se smanjenje brzine glave gradijentne struje. Do tog smanjenja dolazi zbog prodiranja određene količine okolnog fluida u glavu struje za vrijeme kretanja gradijentne struje. Međutim, to smanjenje brzine glave struje u smjeru toka veće je kod korita s preprekama, i to za otprilike 30 % kod korita s valjkastim preprekama, tj. za 45 % kod kockastih prepreka. Zbog svog geometrijskog oblika, kockaste prepreke ostavljaju veću brazdu od valjkastih prepreka. To

uzrokuje snažnije miješanje okolnog fluida s fluidom gustoće, te posljedično smanjenja obujma fluida gustoća na glavi struje pa struktura postaje vodenastija, zbog čega se brzina glave gradijentne struje u kockastim preprekama više smanjuje u usporedbi s valjkastim preprekama. Osim toga, zbog svog geometrijskog oblika (kompletna ploha s ortogonalnim kutovima u smjeru poprečnom na kretanje struje), kockaste prepreke uzrokuju povećanje koeficijenta trenja te stoga veće posmično naprezanje u usporedbi s valjkastim preprekama. Variranje brzine glave gradijentne struje u odnosu na ulaznu koncentraciju prikazano je grafički na slici 10. Na toj se slici vidi kako porast koncentracije dovodi do porasta brzine glave gradijentne struje. Dakle, kada koncentracija ulaznog fluida gustoće raste, raste i razlika u gustoći između glave i okolnog fluida, osnovni razlog kretanja glave gradijentne struje [26, 27], dolazi do porasta brzine glave gradijentne struje. Takav zaključak potvrđuju rezultati sličnih istraživanja [14, 20, 24]. Na slici 11. prikazani su dijagrami promjene brzine glave struje u ovisnosti o promjeni nagiba.

Na dijagramima slike 11. vidi se da brzina glave gradijentne struje raste usporedo s porastom nagiba dna kanala i to zato što povećanje nagiba dovodi do povećanja efektivne komponente sile težine. Na kanalu s preprekama, porast brzine glave gradijentne struje, uzrokovan porastom nagiba dna kanala, smanjuje se u odnosu na kanal bez prepreka. Tome bi mogao biti razlog znatno miješanje glave gradijentne struje s okolnim bistrim fluidom u kanalu s preprekama.



Slika 11. Shematski prikaz promjene brzine glave struje u odnosu na promjenu nagiba dna kanala

4. Zaključak

U ovom su radu eksperimentalno analizirani utjecaji valjkastih i kockastih prepreka na gibanje glave slanih struja gustoće. Eksperimenti su provedeni za tri slučaja: (1) kanal bez prepreka, (2) kanal s valjkastim preprekama i (3) kanal s kockastim preprekama. Mjerenja su provedena pri različitim ulaznim koncentracijama struja gustoće te pri različitim nagibima. Iz rezultata se mogu izvesti sljedeći zaključci:

- U slučaju bez prepreka zabilježen je uzlazni trend, tj. porast visine glave gradijentne struje tijekom strujanja kroz hidraulički kanal.
- U slučaju s preprekama zabilježeno je smanjenje visine glave gradijentne struje tijekom strujanja kroz kanal. Smanjenje je veće kod kockastih prepreka u usporedbi s valjkastim preprekama. U kanalu s preprekama, pod istim uvjetima koncentracije, nagiba i protoka, to smanjenje iznosi otprilike 50 % za valjkaste prepreke, tj. 70 % za kockaste prepreke u odnosu na kanal bez prepreka.
- Slična je situacija i s utjecajem promjene koncentracije struje i nagiba dna kanala na visinu glave struje. Pri povećanju vrijednosti ta dva parametra, visina gradijentne struje smanjuje se u obje konfiguracije kanala (s preprekama i bez prepreka).

- Zabilježen je silazni trend promjene brzine glave gradijentne struje tijekom gibanja kroz kanal i to za slučajeve s preprekama ili bez njih. Smanjenje brzine glave struje tijekom gibanja kroz kanal bilo je mnogo veće u slučaju s preprekama nego u slučaju bez prepreka. Takvo smanjenje bilo je veće kod kockastih prepreka nego kod valjkastih, pa je tako brzina glave gradijentne struje bila manja za 45 % kod kockastih prepreka, tj. za 30 % kod valjkastih prepreka.
- Pri konstantnom nagibu, brzina glave struje rasla je s povećanjem koncentracije.
- Pri konstantnoj koncentraciji, brzina glave gradijentne struje u obje konfiguracije (s preprekama ili bez njih) rasla je s porastom nagiba. Stopa povećanja brzine glave gradijentne struje, uslijed povećanja nagiba dna kanala, smanjivala se više u slučaju s preprekama nego u slučaju bez prepreka.

Zahvale

Autori posebno zahvaljuju Vodoprivrednoj organizaciji pokrajine Huzestan i Laboratoriju za analizu nanosa Vodoprivredne organizacije pokrajine Huzestan jer su im omogućili korištenje Laboratorija za analizu nanosa u Ahvazu i opreme tog laboratorija za provođenje eksperimenata koji su opisani u ovom radu.

LITERATURA

- [1] Bombardelli, F.A., Cantero, M.I., Garcia, M.H., Buscaglia, G.C.: Numerical aspects of the simulation of discontinuous saline under flows: the lock-exchange problem, *J Hydraulic Res*, 47 (2009) 6, pp. 777-789.
- [2] Toniolo, H., Schultz, J.: Experiments on sediment trap efficiency in reservoirs, *Lakes & Reservoirs Research & Management*, 10 (2005) 1, pp.13-24.
- [3] Akbarzadeh, M., Saffarian, M.R., Ghomeshi, M.: Experimental investigation of sediment accumulation reduction in reservoirs due to turbidity currents with channel insertion at the entrance, *Int J Civ Eng*, doi: 10.1007/s40999-019-00458-7, 2019.
- [4] Keshtkar, Sh., Ayyoubzadeh, S.A., Firoozabadi, B.: Experimental Studies on Thickness and Vertical Velocity Distribution of Turbidity Current, *J Water and Soil*, 24 (2011) 6, pp. 1073-1082.
- [5] Fan, J., Morris, G.L.: Reservoir sedimentation. II: reservoir desiltation and Long-term storage capacity, *J Hydraulic Eng*, 118 (1992) 3, pp. 370-384.
- [6] De Cesare, G., Schleiss, A., Herman, F.: Impact of turbidity Currents on reservoir sedimentation, *J Hydraulic Eng*, 127 (2001) 1, pp. 6-16.
- [7] Altinakar, M.S., Graf, W.H., Hopfinger, E.J.: Weakly depositing turbidity current on a small slope, *J Hydraulic Rese*, 28 (1990) 1, pp. 55-80.
- [8] Hacker, J., Linden, P.F., Dalziel, S.B., Mixing in lock-release gravity currents, *J Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 24 (1996) January, pp. 183-195.
- [9] Kneller, B.C., Buckee, M.J.: The structure and fluid mechanics of turbidity currents: a review of recent studies and their geological implications, *J Sedimentology*, 47 (2000) 1, pp. 62-94.
- [10] Haghi Abi, A.H.: Bed Slope Effect on Velocity and Concentration Profiles of Density Currents, Ph.D. thesis, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, 2004.
- [11] Keulegan, G.H.: The Motion of Saline Fronts in Still Water, Twelfth Progress Report on Model Laws for Density Currents, US National Bureau of Standards Report No, 5831, pp. 29, 1957.
- [12] Kooti, F., Kashefipour, M., Ghomeshi, M.: Analyzing Velocity Profiles in Density Current, *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour, Water and Soil Sci*, 16 (2012) 59, pp. 15-29.
- [13] Qorban Moqadam, A.A.: Experimental Study on effect of Cylindrical Obstacles on density current motion, M.Sc thesis, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, 2013.
- [14] Asghari Pari, S.A., Kashefipour, S.M., Ghomeshi, M., Shafaie Bajestan, M.: Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different concentrations and discharges, *J Food, Agriculture & Environment*, 8 (2010) 2, pp. 930-935.
- [15] Oehy, C.H., Schleiss, A.: Physical and numerical modeling of turbidity current flowing through a permeable screen, *Proceeding, 30th IAHR Congress, Thessaloniki, Greece, Theme C*, 1 (2003) 6, pp. 397-404.
- [16] Oehy, C.H., Schleiss, A.J.: Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles, *J Hydraulic Eng*, 133 (2007) 6, pp. 637-648.
- [17] Marosi, M., Ghomeshi, M., Sarkardeh, H.: Sedimentation control in the reservoirs by using an obstacle, *Sadhana* 40 (2015) 4, pp. 1373-1383.
- [18] Sequeiros, O.E., Spinewine, B., Beaubouef R.T., Sun Tao, Garcia, M.H., Parker, G.: Characteristics of velocity and excess density profiles of saline underflows and turbidity currents flowing over a mobile bed, *J Hydraulic Eng*, 136 (2010) 7, pp. 413- 433.
- [19] Nasrollahpour, R., Ghomeshi, M.: Effect of Roughness Geometry on Characteristics of Density Currents Head, *Indian Journal of Science and Technology*, 12 (2012) 6, pp. 0974-6846.
- [20] Sheikhi Nezhad, B.: Investigating effective parameters on arising density current of the rough bed, M.Sc thesis, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, 2013.
- [21] Yaghubi, S., Abbaszadeh, Sh., Golchoubian, P., Afshin, H., Firoozabadi, B.: Experimental Investigation of the Effect of Two Consecutive Obstacles on Turbidity Current, *J. Selcuk Univ. Natur. Appl. Sci*, 18 (2013) 21, pp. 615-627.
- [22] Asghari Pari, S.A., Kashefipour, S.M., Ghomeshi, M.: An experimental study to determine the obstacle height required for the control of subcritical and supercritical gravity currents, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21 (2017) 9, pp. 1080-1092.
- [23] Huang, S., Huang, W., Shen, Q.: Effects of Bottom Obstacle Structure on Density-Induced Flow, *E&ES*, 455 (2020) 1, pp. 012024.
- [24] Shahni Karamzadeh, N.: Experiment studying stationary water entrainment in density currents, M.Sc thesis, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, 2006.
- [25] Kaheh, M.: Experimental investigation of Gravity Current Dynamics on Rough Beds, Ph.D. thesis, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, 2012.
- [26] De Cesare, G., Portner, N.A., Boillat, J.L., Schleiss, A.: Modeling of erosion and sedimentation based on field investigation in Alpine hydropower schemes, In: *The Third 3rd International Conference on Hydrosience and Engineering, Cottbus/Berlin 3(September), 1998.*
- [27] Oehy, C.H.: Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents, *Communication No. 15 of the Laboratory of Hydraulic Structures LCH, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland*, 2002.