

## شبیه سازی عددی سه بعدی هیدرولیک جریان در آبگیرهای دارای آشغالگیر تحتانی با کمک

### دینامیک سیالات محاسباتی

مسعود خواجه<sup>۱</sup>، محمد هادی فتاحی<sup>۲\*</sup>، ابوالفضل شمسایی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۲۶

### چکیده

در این پژوهش هیدرولیک جریان در آبگیرهای با آشغالگیر تحتانی به صورت سه بعدی شبیه سازی عددی شده است و برخی فراسنج های مهم این سازه از قبیل ویژگی های شبکه ی آشغالگیر و بویژه طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. آشغالگیر تحتانی سازه ای است آبی که به منظور فراهم ساختن بازدهی مؤثر برای آبگیرهای رودخانه ای در مناطق کوهستانی بکار می رود. در این پژوهش با استفاده از توانایی ها و قدرت محاسباتی روش های عددی دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۴</sup> (CFD) این سازه شبیه شده است. بدین منظور نرم افزار Fluent 6.3.26 و روش احجام محدود، مورد استفاده قرار گرفته اند. آبگیر و آشغالگیر تحتانی شبیه سازی شده بر اساس نمونه ی فیزیکی ساخته شده به وسیله ی دوربیر و همکاران (۲۰۰۳)، در دانشگاه صنعتی وین شبیه سازی گردیده است. افزون بر مقایسه نتایج شبیه عددی با نمونه ی فیزیکی یاد شده، محاسبات تحلیلی دانشمندان در مورد طول خیس شده ی آشغالگیر نیز با نتایج بدست آمده، مقایسه شده است. مقایسه ی نتایج بدست آمده از شبیه سازی عددی، دستاوردهای حل تحلیلی و آزمایش های نمونه های فیزیکی بر تطابق چشمگیر پاسخ های روش عددی با واقعیت دلالت دارد. با اجرای دستورهای کار گوناگون، بهینه ی طول خیس شده ی آشغالگیر با توجه به شکل مقطع و فاصله ی گام میله های آشغالگیر بررسی شده است.

واژه های کلیدی: آشغالگیر تحتانی، طول خیس شده، دینامیک سیالات محاسباتی، Fluent.

<sup>۱</sup> - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

<sup>۲</sup> - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

<sup>۳</sup> - استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

\* نویسنده ی مسؤول مقاله fattahimh@computermail.net

<sup>۴</sup> - computational fluid dynamics

## پیشگفتار

آشغالگیرهای تحتانی سازه های آبی هستند که به منظور آبگیری، هدایت آب به درون مولدهای برق آبی و نگهداشتن ته نشست ها و مواد جامد بزرگ تر و همچنین فاصله بندی شبکه ی آشغالگیر در مناطق کوهستانی مورد استفاده قرار می گیرند. از این سازه ها نیز در ضمن به عنوان ماهی رو (fish ladder) و نگهدارنده ی اجسام شناور بر سطح آب استفاده می شود. عامل های آبی بسیاری بر عملکرد این سازه های آبگیر تأثیر گذارند. شیب آشغالگیر، هندسه ی آشغالگیر، ابعاد آشغالگیر، فاصله ی میله های آشغالگیر از یکدیگر (فاصله بندی شبکه ی آشغالگیر)، اندازه ی ذرات جامد معلق و غلظت آنها در سیلاب موجود بر روی آشغالگیر و بسیاری نکات و فراسنج های موثر دیگر بر بازده ی واقعی این سازه اثر گذارند. اهمیت این سازه ها در کشورهایی که مانند ایران دارای رود های کوهستانی بسیار هستند، بسیار زیاد است زیرا در ایجاد طرح های نیروگاهی برق آبی در چنین مناطقی جمع آوری و انتقال و هدایت آب به سمت مولد های نیروگاهی بسیار حیاتی است. هدایت و مهار کردن آب عاری از مواد معلق و درشت دانه در آب در تضمین سلامت عملکرد این نیروگاه ها بسیار مهم است. هیدرولیک آبگیر با آشغالگیر تحتانی متضمن بررسی نکته هایی بسیار و پیچیده است، افزون بر این که جریان آب نیز باید به واسطه ی حضور ذرات جامد و همچنین ایجاد حباب های هوا به صورت سه حالتی بررسی گردد.

در بررسی این نوع آبگیرها مطالعه های تجربی و آزمایشگاهی بسیاری در زمینه ی بازده ی عملکرد، ابعاد و مقاطع بهینه انجام پذیرفته است که در بخش تاریخچه ی مطالعات بدان ها اشاره خواهد شد، ولی میدان جریان درون آشغالگیر با روش های عددی کم تر مورد بررسی قرار گرفته است که در این پژوهش هدف حل عددی میدان جریان درون آشغالگیر است. انجام آزمایش در مورد نمونه های فیزیکی جهت رسیدن به مقدار بهینه ی فراسنج های مؤثر بر میدان جریان، مستلزم انجام چندین باره ی آزمایش ها با دستورهای کار گوناگون است که امری بسیار پر هزینه و زمان بر است و همچنین محدودیت هایی دارد. در کنار خطاهای انسانی، خطاهای

ابزار اندازه گیری از دیگر موردهایی است که بررسی هیدرولیک این سازه ها را پیچیده تر می سازد.

یکی از راههای رایج در شبیه سازی سازه های آبی استفاده از روش های عددی است. این روش ها که بیش تر مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است، کاربر را قادر می سازد تا ضمن بکار گیری معادله های حاکم بر میدان جریان، جریان سیال در محیط را بررسی کند. پویایی سیالات محاسباتی از علوم روز و رو به رشد است که ابزاری بسیار قدرتمند را برای حل معادله های حاکم مکانیک سیالات در شرایط گوناگون مرزی نمونه های متفاوت محاسباتی بدست می دهد. در این روش ها بر خلاف مکانیک سیالات تجربی شرایط جریان، ابعاد و اندازه های آن به راحتی تغییر پذیر است تا هدف های طراحی گوناگون برآورده شود. همان گونه که اشاره شد، مطالعات تجربی و آزمایشگاهی بسیاری در مورد این نوع سازه های آبگیر انجام پذیرفته است، ولی روش های عددی برای تحلیل و بررسی هیدرولیک آشغالگیرهای تحتانی بسیار به ندرت بکار گرفته شده است. از دلایل عمده این امر می توان به پیچیدگی جریان اعم از چند حالتی بودن جریان روی سازه، ایجاد جریان های گردابی و حالت آشفته ی جریان در حوضچه ی آشغالگیر اشاره کرد. با این حال، با توجه به توانمندی های روش های عددی و همچنین نرم افزارهای قوی می توان به بررسی حالت های پیچیده تر و متنوع تر اقدام نمود. یکی از فراسنج ها و شاخص های مهمی که در حقیقت نمایانگر بازده ی عملکرد این سازه ی آبی نیز می باشد، طول خیس شده ی آشغالگیر است. دانشمندان بسیاری به صورت تحلیلی و ساخت نمونه های فیزیکی در مورد این ویژگی آشغالگیرها مطالعه کرده اند. پژوهشگرانی چون فرانک و همکاران (۱۹۵۶)، کانتزمن و همکاران (۱۹۵۴)، نوسدا (۱۹۵۶) و دیگران معادله های ریاضی متفاوتی را برای محاسبه طول خیس شده ی آشغالگیر در قالب حل تحلیلی ارائه نموده اند. در سال های اخیر نیز دانشمندان دیگری با ساختن نمونه ی فیزیکی سعی در شبیه سازی هیدرولیک جریان بر روی آبگیر با آشغالگیرهای تحتانی نموده اند که از آن جمله می توان به دوربیر و همکاران (۲۰۰۳) و برونلا و همکاران (۲۰۰۳)،

موستکو در سال ۱۹۵۷ توزیع غیر فشار ایستابی، فشار روی آشغالگیرهای تحتانی را بررسی کرد. برای جریانی با ویژگی‌های معمولی، جریان نزدیک شونده ی زیر بحرانی بر روی میله های آشغالگیر، نقطه ی بحرانی در محل تغییر شیب واقع است که با نقطه ی ابتدای آشغالگیر متقارن نیست. با فرض توزیع فشار ایستابی نتایج در سطح آزاد عمودی نقطه ی مهار کردن بدست می آید.

داگان در سال ۱۹۶۳ یادآور شد که ضریب بده لزوماً باید با عمق جریان تغییر کند زیرا که بویژه بستگی به شکل مقطع برشی آشغالگیر و سایر فراسنج های هندسی دارد. وی سپس معادله ی کارمایه را که برای سطوح آزاد تنظیم شده است، دقیقاً در زیر و بالای آشغالگیر بکار برد. سوبرامانیا و شولکا در سال ۱۹۸۸ جریان روی آشغالگیر تحتانی را بسته به شرایط پایین دست و بالا دست به ۵ گروه تقسیم کردند. این دو در محاسباتشان از یک نهر افقی استفاده کردند. ثابت شد که برای جریان های زیر بحرانی بالادست، فرا بحرانی پایین دست نرخ آگیری بده در بالادست با نسبت طول آشغالگیر به عمق جریان بحرانی و نسبت فاصله ی میله ها به طول آنها افزایش چشمگیری داشت.

بیانکو و رپلینو در سال ۱۹۹۴ مشاهده های نوسدا را در سال ۱۹۵۶ با نمونه ی بزرگتری بررسی کرده و هیچ گونه اثری را از تغییر مقیاس در نتایج آزمون نیافتند. مقطع میله های آشغالگیر آن ها در بالا نیمه مدور و در پایین مستطیل بود. آنها نسبت آگیری به مساحت مقطع عرضی آشغالگیر را برابر با یک سوم (۱/۳) و یک چهارم (۱/۴) در نظر گرفتند.

دوربیر و همکاران سال ۲۰۰۳ طول خیس شده ی آشغالگیر را با نمونه ای در مقیاس ۱ به ۱۰ در آزمایشگاه بررسی کردند. عرض آشغالگیر برابر با ۰٫۵ متر و فاصله ی بین میله های آشغالگیر برابر با ۰٫۱ متر لحاظ شد. طول خیس شده ی آشغالگیر برای پنج بده ی متفاوت و با چهار شیب طول آشغالگیر از ۰ تا ۳۰ درصد محاسبه شد.

برونلا و همکاران در سال ۲۰۰۳ و همکارانش با ساختن نمونه های فیزیکی به عرض ۰٫۵ متر و طول ۷ متر احداث سازه ای پهن به طول ۰٫۹ متر در تبدیل به حوضچه ی آبی آرامش و آگیری تحتانی به بررسی تأثیر

اشاره کرد، اما در این میان مطالعات عددی بر روی هیدرولیک جریان این نوع سازه و بویژه شبیه سازی طول خیس شده ی آشغالگیر کم تر مورد توجه واقع شده است. مطابق با پژوهش های نگارندگان، برای نخستین بار است که شبیه سازی عددی آگیری با آشغالگیر تحتانی برای محاسبه ی طول خیس شده در قالب این پژوهش انجام می گیرد.

### پیشینه ی پژوهش

نخستین توصیف هیدرولیکی آگیری تحتانی به وسیله ی اورث و همکاران در سال ۱۹۵۴ ارائه شد که به بررسی نهر هایی با ۲۰ درصد شیب و پنج نوع آرایش هندسی گوناگون آشغالگیر مربوط می شود. این آرایش ها شامل، شکل T به صورت ساده، شکل T با یک نیمرخ مثلثی بر روی آن، شکل نیم دایره با میله های عمودی، دایره ی کامل و نیمرخ های تخم مرغی (هیدرولیکی) می باشند.

کانزمن و بووارد در سال ۱۹۵۴ نخستین بررسی محاسباتی را برای نیمرخ سطح آزاد در مورد آشغالگیر های تحتانی با فرض بار کارمایه ی ثابت و قرار دادن مطالعه ی روزنه (orifice) در محاسبات انجام دادند. توزیع فضایی بده به عنوان تابعی از مؤلفه های هم راستای جریان از حل یک معادله ی دیفرانسیل معمولی از درجه ی ۶ برای آشغالگیر تحتانی افقی بدست آمده است. راکت و مادوکس در سال ۱۹۵۵ تجربه های عمومی خود را در مورد آگیریهای تحتانی که از طرح های گوناگونی در منطقه ی (Savage) در آلپ فرانسه کسب شده بود، ارائه دادند. نتیجه گیری عمومی آن ها را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

آشغالگیر باید دارای وجوه مدور در جهت جریان آب باشد؛ برای رسیدن به کم ترین خطر مسدود شدن دهانه ی آشغالگیر باید شیب تحتانی بیش تر از ۲۰ درصد وجود داشته باشد؛ فاصله بندی شبکه ی آشغالگیر در صورتی که کم تر از ۰٫۱ متر باشد، برای مناطق کوهستانی قابل قبول است.

نوسدا در سال های ۱۹۵۵ و ۱۹۵۶ شیب های تحتانی ۰٫۱، ۰٫۲ و ۰٫۵ میله ای را با مقاطع T و L را انتخاب کردند.

بازدهی هیدرولیکی خوبی ندارد. برونلا و همکاران در ۲۰۰۳ مقطع گرد را برای این منظور پیشنهاد کردند. فراسنج دیگر آشغالگیر که اهمیت زیادی دارد، عبارت است از فاصله یا ارتباط بین ضخامت میله های آشغالگیر (f) و فضای درونی میله های آشغالگیر (e). مطالعات تجربی نشان می دهد که نسبت  $\frac{e}{e+f}$  باید بین 0.3 تا 0.5 باشد.

### طراحی هیدرولیکی

هدف از طراحی هیدرولیکی تعیین ابعاد آشغالگیرهای تحتانی، آبرو جمع کننده و حوضچه ترسیب برای بدهی مورد نظر است. طراحی آشغالگیرهای تحتانی معمولاً به نظام هیدرولیکی جریان در آبرو جمع کننده وابسته است: اگر این نظام دارای شرایط جریان تحت فشار باشد، هر دو سازه ی آشغالگیرهای تحتانی و آبرو باید در قالب یک سامانه محاسبه شود.

رابطه ی بدهی عبوری از یک جزء از طول آشغالگیر ( $d_x$ ) عبارت است از:

$$dQ = -\frac{e}{e+f} \cdot k_Q \cdot w(2gh)^{0.5} dx \quad (1)$$

رابطه ی بدهی در امتداد آشغالگیرها در هر مقطع عرضی X عبارت است از:

$$Q = wh[2g(E-h)]^{0.5} \quad (2)$$

معادله ی سطح آب با قرار دادن  $\frac{dQ}{dx}$  از معادله ی (۱) و Q از معادله ی (۲) به شرح زیر بدست می آید:

$$\frac{dz}{dx} = 2 \frac{e}{e+f} \cdot k_Q \cdot \frac{[z(E-z)]^{0.5}}{3z-2E} \quad (3)$$

شکل های ۱ و ۲ به ترتیب طراحی هیدرولیکی آشغالگیر تحتانی که به وسیله ی کانترزن و همکاران (۱۹۵۴) ارائه شده است، نیمرخ سطح آب بر روی آشغالگیرهای تحتانی و میدان جریان (کیفی) را نمایش می دهند.

### محاسبه ی طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر

یکی از عامل های مهم محاسباتی و طراحی آبروهای با آشغالگیر تحتانی، محاسبه ی طول خیس شده ی این

فراسنج های هیدرولیکی مؤثر بر شیب آشغالگیر، کل مقطع میله های آشغالگیر، هندسه ی آشغالگیر و میزان فاصله بندی شبکه ی آشغالگیر در مورد بازدهی عملکرد آشغالگیر پرداختند.

صلاح الدین و همکاران در سال ۲۰۰۴ حل عددی میدان جریان اطراف یک پایه ی استوانه ای قائم را با استفاده از نرم افزار Fluent انجام دادند. شبیه های گوناگون اغتشاش را به همراه شبکه ی بی سازمان بکار رفته را با نتایج تجربی موجود مقایسه کردند.

فرهادی و اتایی آشتیانی در سال ۲۰۰۴ سطح آزاد را با استفاده از روش mesh-less پیش بینی کردند. آنها با این روش یک نمونه ی ریزش آب (dam breaking) را شبیه سازی کرده و دستاوردهای آن را با نتایج تجربی موجود مقایسه کردند.

یو لینگ چنگ و بو فن یینگ در سال ۲۰۰۷ منطقه ی ورودی آب را به نیروگاه با کاربرد روش عددی شبیه سازی و با نتایج تجربی موجود مقایسه نمودند.

### آبگیر با شبکه ی آشغالگیر تحتانی

آبگیر با شبکه ی آشغالگیر تحتانی یک آبگیر مستغرق افقی یا مایل همراه با شبکه ی آشغالگیر است که جهت آگیری و هدایت جریان به نهر انتقال در رودخانه های کوهستانی کاربرد دارد. این گونه آبگیرها در ابتدا در ترول (Tyroles) در جنوب فرانسه، جایی که کشاورزان مجبور بودند آب را از رودخانه های کوهستانی به سمت دره جهت آبیاری زراعت خود هدایت کنند، بکار گرفته شدند. به همین دلیل به این گونه آبگیرها، آبگیر ترول نیز گفته می شود. آشغالگیرهای تحتانی باید دارای سه ویژگی مهم باشند: در مقابل برخورد قله سنگ ها و تخته سنگ ها مقاومت نمایند، دارای کم ترین مقاومت آبی بوده و احتمال خطر مسدود شدن آنها بر اثر ته نشست ها و بقایای گیاهان و یخ زدن کم ترین اندازه ی ممکن باشد. مقطع عرضی میله های آشغالگیر را می توان به شکل های گوناگونی چون هیدرولیکی، دوزنقه ای، گرد و یا مستطیلی در نظر گرفت. مقطع هیدرودینامیکی دارای کم ترین مقاومت است، ولی تهیه ی آن در عمل دشوار است. مقطع مستطیلی ساده و در دسترس می باشد، اما

$$\left(\frac{dq}{dx}\right)^6 - 2gm^2\left(\frac{dq}{dx}\right)^4 (H+x.Sinx) \quad (۶)$$

$$+ 4g^2q^2m^6 \text{Cos}\alpha^2 = 0$$

با این معادله طول خیس شده ی آشغالگیر (L) را نمی توان مستقیماً محاسبه کرد و نیاز به جداول طراحی دارد که در مرجع [7] ذکر شده اند.

### محاسبه ی طول خیس شده براساس محاسبات نوسدا

معادله ی نوسدا براساس بار ثابت کارمایه استوار است که کل آب را روی ورودی در نظر گرفته و طول خیس شده را مستقیماً محاسبه می کند. از آنجا که این معادله شیب آشغالگیر را در نظر نمی گیرد، چندان مورد اطمینان نیست و تنها در مواردی که شبکه ی آشغالگیر افقی باشد کاربرد دارد.

$$L = 1.185 \frac{H_0}{\mu.m} \quad (۷)$$

### شبیه سازی عددی

#### تشریح مسأله و شرایط مرزی

برای شبیه سازی آبگیر با آشغالگیر تحتانی از شبیه فیزیکی که دوربیر و همکاران در سال ۲۰۰۳ در دانشگاه وین اجرا کرده اند، استفاده شده است. به این صورت می توان از نتایج بدست آمده از شبیه فیزیکی ایشان جهت صحت سنجی شبیه عددی استفاده کرد. بدین منظور شبیه در ابتدا به صورت دو بعدی شبیه سازی شد و سپس شبیه سه بعدی کامل و بدون شبکه ی آشغالگیر و در ادامه طرح آشغالگیر با شبکه ی آشغالگیر و با مقاطع دوزنقه و دایره شبیه سازی شد (شکل های ۴ تا ۷) و پس از تولید شبکه ی محاسباتی، به کمک نرم افزار Fluent اجرا گردید. هندسه و بخشی از شبکه ی به کار رفته در حالت سه بعدی همراه با شبکه ی آشغالگیر و بدون شبکه ی آشغالگیر در شکل (۸) آورده شده است. در شکل (۹) توزیع حالت آب در امتداد آشغالگیر آورده شده است. در شکل (۷) شرایط مرزی بکار رفته برای محاسبه ی میدان جریان درون آشغالگیر سه بعدی با شبکه ی آشغالگیر جهت استفاده در نرم افزار (Fluent Ver.6) آرایه می گردد.

آشغالگیرها می باشد. طول خیس شده ی این آشغالگیر در حقیقت نشان دهنده ی میزان بده ی آبی است که می تواند بدون جاری شدن روی شبکه ی آشغالگیر وارد آبرو آبگیر شود. به منظور محاسبه ی بده ی جریان ورودی به آبرو بار آبی و توزیع آب بر روی شبکه ی آشغالگیرها باید مشخص شود.

### محاسبه ی طول خیس شده ی آشغالگیرها با توجه به

#### محاسبات فرانک

سطح آب بر روی شبکه ی آشغالگیر را می توان به صورت یک منحنی بیضوی در نظر گرفت که از یک سطح ثابت کارمایه روی شبکه ی آشغالگیر سنجیده می شود. نیم محور اصلی بیضی نمایانگر طول خیس شده ی شبکه ی (L) بوده و قطر کوچک عمق جریان (h<sub>0</sub>) را نشان می دهد که فرض می شود از ابتدای تاج آبگیر آغاز گردیده و با زاویه ی انحراف  $\alpha$  تا جایی که سطح کارمایه کم ترین شود، می باشد، شکل (۳). با توجه به محور مختصات نشان داده شده دراین تصویر:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{2L^2}{h_0} * h - \frac{L^2}{h_0^2} * h^2} \quad (۴)$$

که در نتیجه، طول خیس شده ی آشغالگیرها از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$L = \frac{0.846}{\mu.m.Cos^{1/2}\alpha\sqrt{c}} \cdot \sqrt[3]{q_0^2} \quad (۵)$$

که  $\mu$  ضریب تخلیه ی شبکه می باشد که به شکل سطح مقطع میله ها بستگی دارد، m نرخ سازه و c ضریب کاهش است که به شیب آشغالگیر بستگی دارد.

### محاسبه ی طول خیس شده با توجه به مطالعات کانترمن

#### و بوارد

براساس گفته های این دو که سطح کارمایه را ثابت در نظر گرفتند، طول خیس شده را می توان با حل یک معادله ی دیفرانسیل مرتبه ی اول از درجه ی ۶ بدست آورد:

$\tau_{ij}$  تانسور تنش برشی است که در زیر تعریف شده است:

$$\tau_{ij} = \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu_{eff} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \quad (9)$$

$$\mu_{eff} = \mu_{lam} + \mu_{tur}$$

### معادله های آشفتگی

که با توجه به آشفته بودن جریان، برای شبیه اغتشاش از شبیه دو معادله ای  $k-\varepsilon$  معیار استفاده شده است.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (11)$$

ضرایب  $C_{1\varepsilon}$  و  $C_{2\varepsilon}$  و  $\sigma_k$  و  $\sigma_\varepsilon$  ثابت های تجربی هستند که معمولاً به صورت زیر گزارش شده اند، جزئیات بیشتر راجع به شبیه  $k$  و  $\varepsilon$  در مراجع یافت می شود.

$$C_{\mu} = 0.09 \quad ; \quad \sigma_k = 1 \quad ; \quad \sigma_\varepsilon = 1/3$$

$$C_{1\varepsilon} = 1/44 \quad ; \quad C_{2\varepsilon} = 1/92$$

### معادله های VOF

برای پیدا کردن سطح آزاد سیال از رابطه ی پیوستگی برای حجم نسبی استفاده می شود.

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla \alpha_q = \frac{S_{\alpha_q}}{\rho_q} \quad (12)$$

### نتایج

در این بخش نتایج مربوط به محاسبه ی میدان جریان درون آشغالگیر سه بعدی بدون شبکه ی آشغالگیر و با شبکه ی آشغالگیر آورده شده اند. این نتایج، دستاوردهای مربوط به شبیه های تولید شده با کاربرد نرم افزار

### شرایط مرزی

شرایط مرزی بکار رفته برای محاسبه ی شبیه ها به کمک نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی فلونت به قرار زیر می باشد:

- 1- شرایط مرزی مربوط به سرعت ورود آب (inlet velocity) با سرعت نیم متر بر ثانیه می باشد.
- 2- دیواره ها کاملاً ثابت در نظر گرفته شده اند، یعنی

$$L = 1.185 \frac{H_0}{\mu m}$$

دارای سرعت صفر هستند (شرط عدم لغزش)،

- 3- مرز اطراف pressure outlet با فشار نسبی صفر پاسکال در نظر گرفته شده است.

- 4- شرایط مرزی روی دیواره ها و ورودی و خروجی به صورت دیواره ی ثابت، سرعت ورودی آبیگیر و فشار خروجی آبیگیر.
- 5- سیال به صورت دو حالتی (آب و هوا) با ویژگی های زیر لحاظ شده است:

material properties : water + air

$$\mu_{Air} = 1.75e - 7 \text{ kg/m.s}$$

$$\rho_{Air} = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{Water} = 0.001 \text{ kg/m.s}$$

$$\rho_{Water} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

### معادله های حاکم

معادله های حاکم بر میدان جریان معادله های پیوستگی، اندازه ی حرکت (ناویر-استوکس)، معادله های اغتشاش و VOF می باشد.

### معادله ی پیوستگی

معادله ی بقا جرم (پیوستگی) در مختصات کارتزین به شکل زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (7)$$

### معادله ی اندازه حرکت

معادله ی اندازه ی حرکت در دستگاه مختصات کارتزین در جهت  $i$ ام به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (8)$$

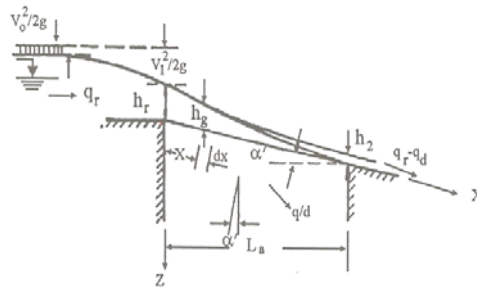
شده اند. نمودار ۱ مقایسه ی طول خیس شده را برای همه ی نمودارهای تفکیکی بر روی یک نمودار نشان می دهد. نمودارهای ۵ تا ۷ طول خیس شده را برای نتایج مربوط به اجراهای CFD این طرح و برای شبکه ی آشغالگیر با مقطع دوزنقه ای و گام ۱۰ سانتیمتر به تفکیک نشان می دهد. نمودار ۵ مقایسه طول خیس شده را برای همه ی نمودارهای تفکیکی بر روی یک نمودار نشان می دهد. از مقایسه ی دستاوردهای کارهای گذشته و نتایج اجراهای CFD که در نمودارهای ۱ تا ۷ آورده شده است، مشاهده می شود که تطابق خوبی بین نتایج تجربی و معادله های تحلیلی-تجربی گذشته و همچنین این اجراها وجود دارد که خود نشان دهنده ی آن است که روش تحلیل مسایل در زمینه ی هیدرولیک آشغالگیرها با کاربرد روش CFD مناسب می باشد. نمودار ۶ نتایج اجراهای گرفته شده برای دو مقطع دوزنقه ای و سه فاصله ی گام را نشان می دهد. برای هر مقطع دوزنقه ای با افزایش فاصله ی گام، طول خیس شده کاهش می یابد. همچنین همان گونه که نمودار ۶ نشان می دهد، برای یک فاصله ی گام ثابت، مقطع دوزنقه ای شکل کوچک تر دارای طول خیس شده ی کم تری است. با توجه به اختلاف فاصله ی گام ۵ سانتیمتری بین دو گام بزرگ تر و ۱۰ سانتیمتری بین دو گام کوچک تر مطابق نمودار با افزایش فاصله ی گام، فاصله ی دو نمودار مربوطه مطابق نمودار ۶ نیز افزایش می یابد. نمودار ۷ طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر را برای دو مقطع شبکه ی آشغالگیر دایره ای به قطرهای ۱۲ و ۱۸ میلیمتر و همچنین دو فاصله ی گام ۱۰ و ۱۵ سانتیمتری نشان می دهد. تغییرات این طول خیس شده همانند مقاطع دوزنقه ای و فاصله های گام مربوطه می باشد، یعنی با افزایش فاصله ی گام، طول خیس شده کاهش می یابد و همچنین با کوچک تر شدن قطر میله نیز طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر کم تر می شود. نمودار ۵ تمامی نتایج CFD مربوط به هر دو مقطع آشغالگیر و همه ی گام ها را نشان می دهد.

Gambit را در بخش شبیه سازی و شبکه بندی و اجرا با کاربرد نرم افزار Fluent عرضه می کنند. نتایج دربرگیرنده ی توزیع حالت مایع در گذر زمان و ریختن آب به درون آشغالگیر در سه حالت آشغالگیر دو بعدی و آشغالگیر سه بعدی بدون شبکه ی آشغالگیر می باشند. از شکل (۱۰) دیده می شود که آب پس از ریخته شدن به درون آشغالگیر، به انتهای آشغالگیر برخورد کرده و از سطح بالا می رود و هم این که به درون دامنه ی محاسباتی و آشغالگیر باز می گردد. همچنین، دیده می شود که بخشی از سیال که از سطح بالا رفته به بیرون از دامنه ی محاسباتی که اهمیت نداشته و شبیه سازی نشده است، می ریزد. مقایسه ی کیفی نشان می دهد که توزیع آب در گذر زمان برای هر دو شبیه، یعنی شبیه دوبعدی و سه بعدی از تطابق خوبی برخوردار است. از مقایسه ی کمی برای یک مقدار رسیدن حالت آب به انتهای آشغالگیر و با توجه به تاخیر زمانی تقریباً ۰,۴ ثانیه ای بخش اولیه ی سیال در ورودی، در محاسبات مربوط به شبیه دو بعدی دیده می شود که پس از گذشت زمان تقریباً ۱,۶ ثانیه، آب به انتهای آشغالگیر می رسد. این مقدار برای شبیه آشغالگیر سه بعدی بدون شبکه ی آشغالگیر ۲ ثانیه می باشد.

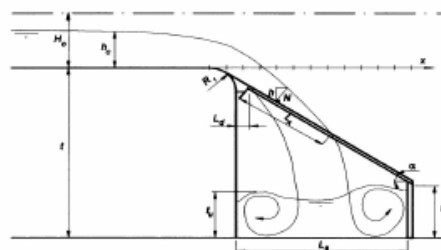
### نتایج مربوط به طول خیس شده ی آشغالگیر

طول خیس شده ی آشغالگیر تابعی از بده ی ورودی، شیب آشغالگیر، فاصله بندی بین میله ها و شکل مقطع میله ها می باشد. آشغالگیر با طول کم سبب هدر رفتن آب شده و طول خیلی زیاد نیز ضمن تحمیل هزینه های اجرایی به طرح عملکرد مؤثری نداشته و بدون استفاده خواهد ماند. همان گونه که اشاره شد، مطالعات بسیاری در مورد طول خیس شده آشغالگیر به صورت تحلیلی و فیزیکی انجام گرفته است. شبیه CFD شبیه سازی شده، با دقت بسیار خوبی عمل کرده و انطباق نتایج ناشی از حل عددی با نتایج نمونه ی فیزیکی انتخاب شده و روش های ریاضی موجود شایان توجه است. در نمودارهای ۱ تا ۴ طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر را برای مقایسه ی نتایج بدست آمده از کارهای گذشته و دستاوردهای مربوط به اجراهای CFD این طرح و برای شبکه ی آشغالگیر با مقطع دوزنقه ای و گام ۱۵ سانتیمتر به تفکیک نشان داده

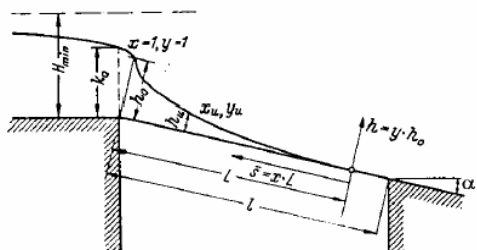
۷- شکل ها و نمودارها



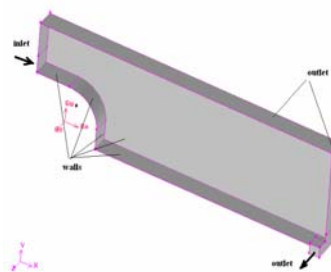
شکل ۱- طراحی هیدرولیکی آشغالگیر تحتانی.



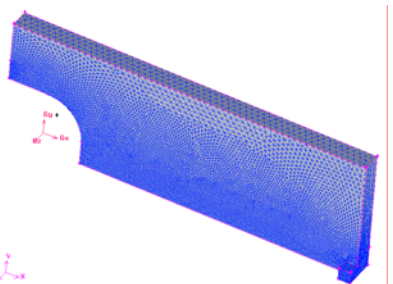
شکل ۲- نیمرخ سطح آب بر روی آشغالگیرهای تحتانی و میدان جریان (کیفی).



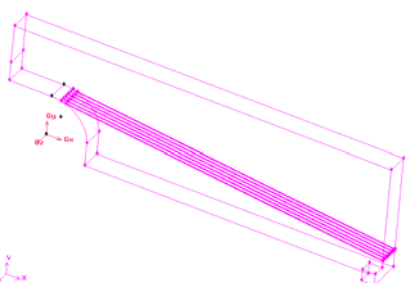
شکل ۳- نیمرخ سطح آب بر روی آشغالگیر تحتانی با قوس بیضوی.



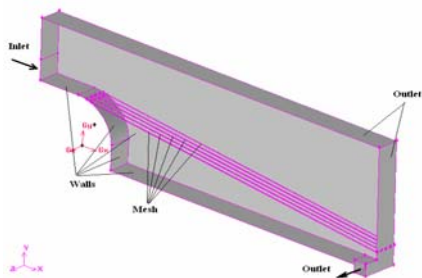
شکل ۴- آشغالگیر سه بعدی بدون شبکه ی آشغالگیر و شرایط مرزی.



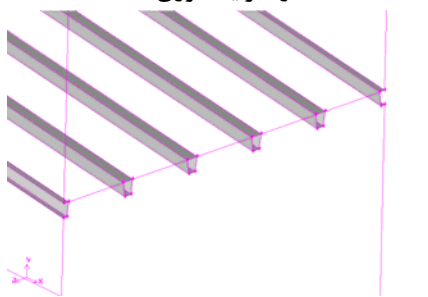
شکل ۵- شبکه ی آشغالگیر سه بعدی بدون شبکه ی آشغالگیر.



شکل ۶- هندسه ی کلی آشغالگیر سه بعدی همراه با شبکه ی آشغالگیر.

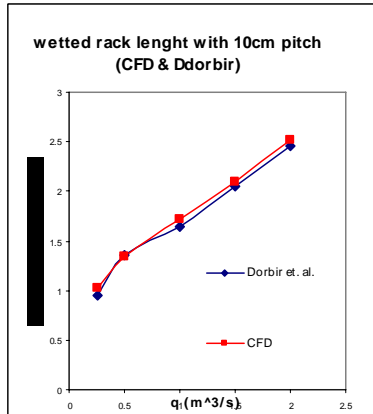


شکل ۷- آشغالگیر سه بعدی همراه با شبکه ی آشغالگیر و شرایط مرزی.

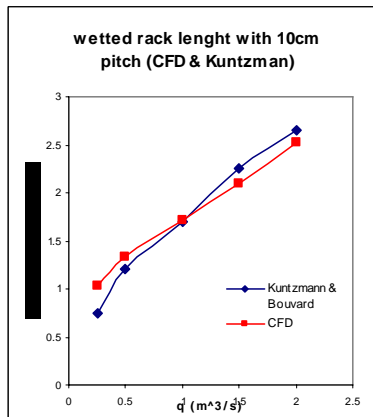


شکل ۸- مقطع دوزنقه ای شکل (شبیه اول) شبکه ی آشغالگیر در آشغالگیر سه بعدی.

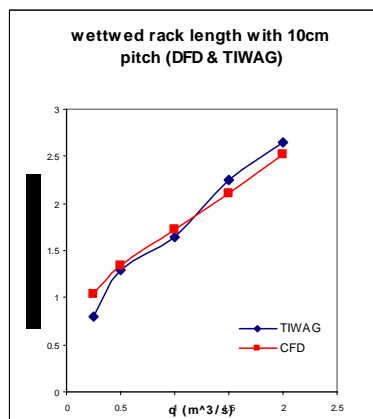




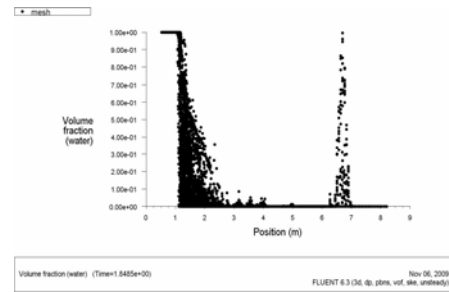
نمودار ۲- طول خیس شده ی شبکه ی ذوزنقه ای با گام ۱۰ سانتیمتر (مقایسه ی دوربیر و CFD).



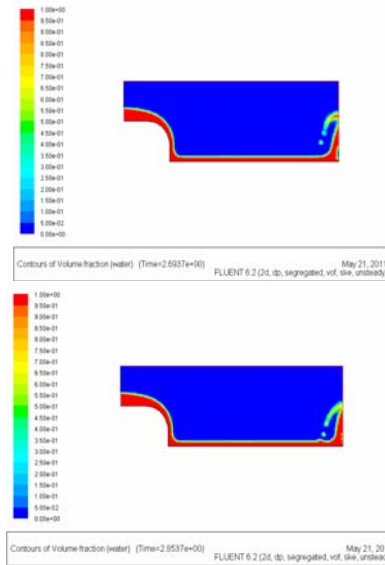
نمودار ۳- طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر ذوزنقه ای مقایسه کانتزمن و بوارد با CFD.



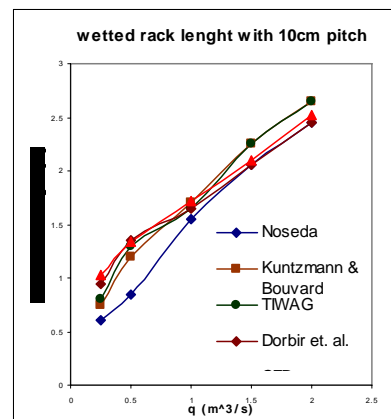
نمودار ۴- طول خیس شده ی آشغالگیر با مقطع ذوزنقه ای مقایسه ی TWAG & CFD.



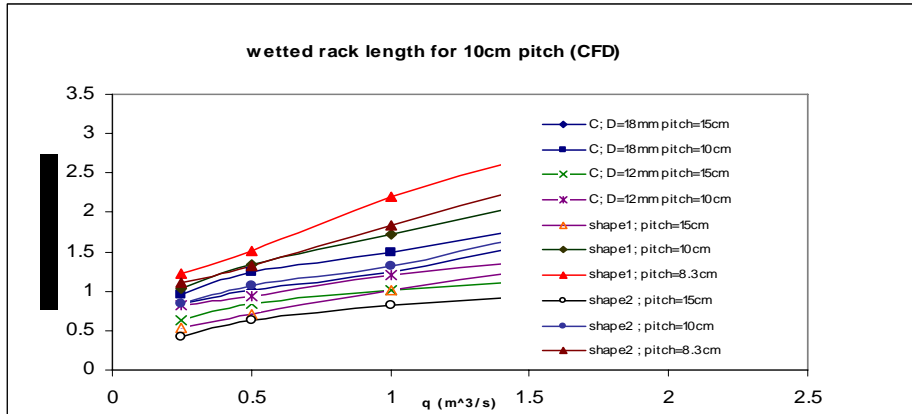
شکل ۹- توزیع حالت آب در امتداد طول شبکه ی آشغالگیر.



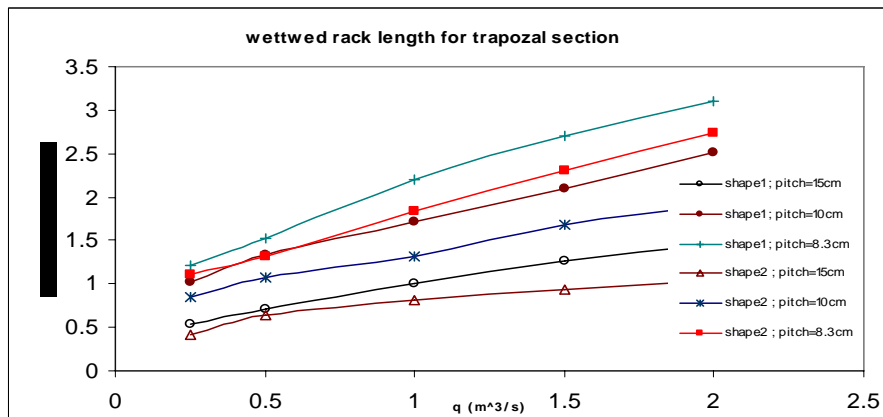
شکل ۱۰- نحوه ی پر شدن آشغالگیر و ایجاد جریان گردابی پس از برخورد آب با دیواره، در آشغالگیر دو بعدی و سه بعدی.



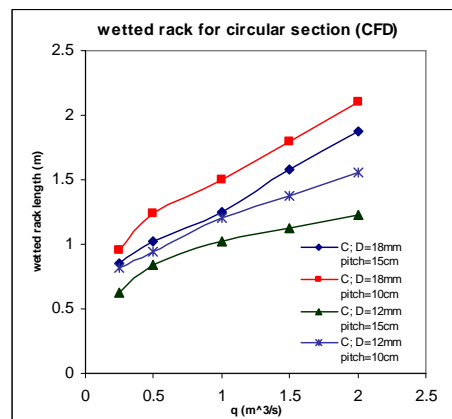
نمودار ۱- مقایسه ی طول خیس شده ی آشغالگیر از روش های تحلیلی و شبیه فیزیکی دوربیر.



نمودار ۵- مقایسه ی نتایج بدست آمده از CFD در گام های گوناگون.



نمودار ۶- طول خیس شده ی شبکه ی آشغالگیر دوزنقه ای CFD.



نمودار ۷- طول خیس شده ی آشغالگیر مدور CFD.

15- Nosedá, G. 1955. Operation and design of bottom intake racks. 6<sup>th</sup> International Association of Hydraulic Research Congress, La Haye, C17, 1-11.

16- Nosedá, G. 1956. Correnti permanenti con portata progressivamente decrescente, defluenti su griglie di fondo. *L'Energia Elettrica*, 33~1.41-51; 33~6, 565-588.

17- Orth, J., Chardonnet, E., Meynardi, G. 1954. Etude de grilles pour prises d'eau du type 'en-dessous.' *La Houille Blanche*, 9~6, 343-351.

18- Ract-Madoux, X., Bouvard, M., Molbert, J., Zumstein, J. 1955. Quelques réalisations récentes de prises en-dessous à haute altitude en Savoie. *La Houille Blanche*, 10~6, 852-878.

19- Subramanya K. Shukla S.K. 1988. Discharge diversion characteristics of trench weirs. *Inst. Eng. India J. CI*, 69~11, 163-168.

20- Salahedin Tarek M. 2004. Numerical modeling of three-dimensional flow field around circular piers, *Journal of Hydraulic Engineering*, February.

21- You-liang cheng and Bo-fan Ying. 2007. Numerical simulation and comparison of water intake outlet methods in power plants, *Journal of Hydraulics*, 19( 5):623-629.

## منابع

۱- ابوالفضل شمساپی، ۱۳۸۳. طراحی سدهای انحرافی، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

2- Bianco, G., and Ripellino, P. G. 1994. Attualita` delle opere di presa attraverso derivante studio con modello idraulico di un tipo di griglia suborizzontale. *Idrotecnica*.

3- Bouvard, M. 1953: Débit d'une grille par en dessous; *La Houille Blanche* 8.

4- Brunella, Sandro Will, H. Hager, F. 2003. ASCE, Hans Erwin Minro. *Hydraulics of Bottom Intakes*. Hydraulic Div. ASCE.

5- Dagan, G. 1963. Notes sur le calcul hydraulique des grilles, pardessous." *La Houille Blanche* 18~1, 59-65.

6- Demny G., Retteneier K., Forkel C. 2003. A numerical model for 3D-simulation of flow through the intake of Water Management, Achaean University of Technology.

7- Dorbir H., Kienberger V., Krouzeczy N. 2003. The wetted rack length of the Tyrolean Weir. Institute of Hydraulic Engineering, Vienna University of Technology.

8- Farhadi I., Ataie-Ashtiani B. 2004. A fully mesh-less Lagrangian numerical method for prediction of free water surface. *Hydraulic of Dams and River Structures*.

9- Fluent 6.3.26 Manual

10- Frank, J. 1956. *Hydraulische untersuchungen für das Tiroler Wehr der Bauingenieur*, Heft 3.

11- Gambit 2.3 Manual

12- Kuntzmann, J., Bouvard, M. 1954. Etude thé'orique des grilles de prises d'eau du type 'en-dessous.' *La Houille Blanche*, 9~9/10, 569-574.

13- Martin R. Brain M. 2007. Multiple Frazil ice blockages at a water intake in the St. Lawrence River, *Cold Region Science and Technology*, 53 (2):131-149.

14- Mostkow, M. A. 1957. Sur le calcul des grilles de prise d'eau. *La Houille Blanche* 570-580.

