

## شبیه‌سازی عددی جریان سه‌بعدی در آبگیر مدول تیغه‌ای

عطا... مومنی هروی<sup>۱</sup>، صلاح کوچک‌زاده<sup>۲\*</sup> و محمد بی‌جن خان<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، پردیس بین‌المللی ارس دانشگاه تهران، تهران، ایران
  - ۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی کشاورزی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران
  - ۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی، قزوین، ایران
- تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۰

### چکیده

مدول‌ها سازه‌هایی هستند که به‌رغم نوسانات سطح آب در کانال‌های آبیاری، دبی نسبتاً ثابتی تحویل می‌دهند. از جمله این سازه‌ها، مدول‌های تیغه‌ای هستند که بر مبنای مطالعات نظری و آزمایشگاهی روش‌های مختلفی برای تعیین ابعاد آنها معرفی شده است. تعیین ضوابط و بهترین روش طراحی آنها نیازمند آزمون آزمایشگاهی است؛ این ضوابط برای ظرفیت‌های پایین تعیین شده و عملکرد بسیار مطلوب آنها به اثبات رسیده است. چنین مدول‌هایی قابلیت کاربرد برای دبی‌های بالاتر را هم دارند اما به دلیل بررسی پدیده اثر مقیاس در مدل‌های آزمایشگاهی همچون سرریزها، استفاده از این مدل‌ها در ظرفیت‌های بالاتر زمان‌بر و هزینه‌بر است. با توجه به نوع طراحی مدول‌های تیغه‌ای، تعیین حساسیت ارتفاع تیغه‌ها در تعیین سهم جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها نسبت به کل دبی و سهم دبی هر مجرا اهمیت ویژه‌ای دارد که تعیین آنها در مدل‌های آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست. از این رو، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کاربرد مدل‌های عددی سه‌بعدی در شبیه‌سازی جریان در مدول‌های تیغه‌ای برای بازتولید داده‌های مشاهده‌ای، تعیین سهم جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها نسبت به کل دبی، سهم جریان عبوری از هر یک از مجراهای موازی و امکان‌سنجی استفاده از معادلات دبی-اشل برای سرریزها به اجرا درآمد. به کارگیری نرم‌افزار Flow-3D نشان داد که این ابزار در شرایط تحت آزمون، نتایج بسیار قابل اعتمادی ارائه می‌دهد و قابلیت کاربرد را برای تعیین ضوابط طراحی مدول‌ها برای ظرفیت‌های بالا، تعیین میزان جریان عبوری از هر مجرا و سرریز تیغه‌ها دارد و بنابراین به‌عنوان جایگزینی برای بررسی‌های آزمایشگاهی یا محدود کردن نیاز به ابزار آزمایشگاهی، با میانگین قدرمطلق خطای نسبی حدود ۱/۷ درصد برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه، ۳/۹۷ درصد برای ظرفیت ۱۰ لیتر بر ثانیه، ۵/۲۲ درصد برای ظرفیت ۷ لیتر بر ثانیه و ۷/۹۴ درصد برای ظرفیت ۴ لیتر بر ثانیه توصیه می‌شود.

### واژه‌های کلیدی

ارتفاع تیغه‌ها، مدل آزمایشگاهی، مدول تیغه‌ای موازی، نرم‌افزار عددی

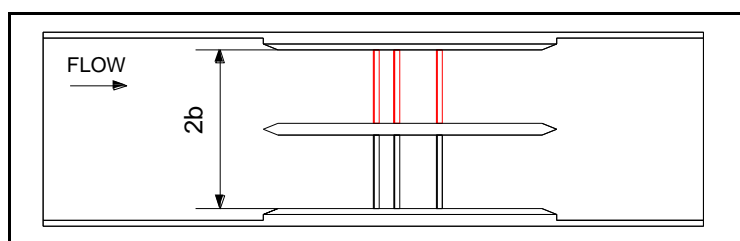
### مقدمه

دبی تعیین شده در طراحی، اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌رغم مطالعات بسیار روی سازه‌های آبگیر و تنوع بالای این سازه‌ها، همچنان با احساس نیاز به قابلیت‌های جدید و کاربردی این سازه‌ها، به‌روز کردن ایده‌ها و تحقیقات روی فرم‌های مختلف آنها مورد علاقه محققان است. یکی از انواع سازه‌های کنترل جریان (آبگیر) در

به‌دلیل مصرف عمده آب در بخش کشاورزی، استفاده بهینه از آن برای بالا بردن راندمان آبیاری بسیار مورد توجه است. در این راستا، توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌صورت تحویل حجمی، همراه با دقت اندازه‌گیری مناسب و پایین آوردن اختلاف دبی تحویلی با

مدول‌های تیغه‌ای از دیگر انواع سازه‌های کنترل دبی هستند که برای اولین بار می‌شرا و همکاران (Mishra *et al.*, 1990) آنها را در دامنه ظرفیت‌های ۲ تا ۷ لیتر بر ثانیه پیشنهاد داده‌اند. بی‌جن‌خان و کوچک‌زاده (Bijankhan & Kouchackzadeh, 2012) با به‌کارگیری روش‌های طراحی جدید، دقت مدول‌های تیغه‌ای را افزایش دادند. اولین بار مهرزاد (Mehrzad, 2015) طراحی مدول تیغه‌ای را با ارائه پیشنهاد روش تیغه‌های موازی در ظرفیت‌های ۷ تا ۱۴ لیتر بر ثانیه مطابق شکل ۱ توسعه داد.

مجاری روباز که در ایران کاربرد فراوان دارد و در اکثر پروژه‌ها استفاده می‌شود، مدول‌های نیرپیک طراحی شده در یک شرکت فرانسوی است که از یک سرریز و یک یا دو تیغه تشکیل می‌شوند. نحوه عملکرد این آبگیرها به‌گونه‌ای است که اگر سطح آب بالادست به لبه پایین تیغه نرسد، این نوع سازه به‌صورت یک سرریز و در زمان افزایش سطح آب، آبگیر به‌صورت روزنه عمل می‌کند. طبقه بندی این نوع آبگیر بر اساس میزان بده عبوری است که شامل انواع مختلف  $X$ ,  $XX$ ,  $L$ ,  $C$  و  $CC$  می‌شود

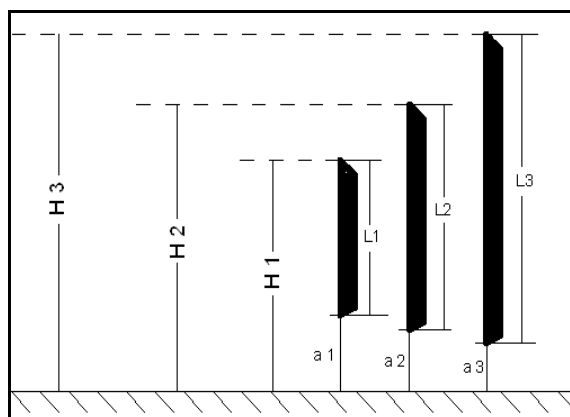


شکل ۱- پلان مدول تیغه‌ای موازی طراحی شده در آزمایشگاه

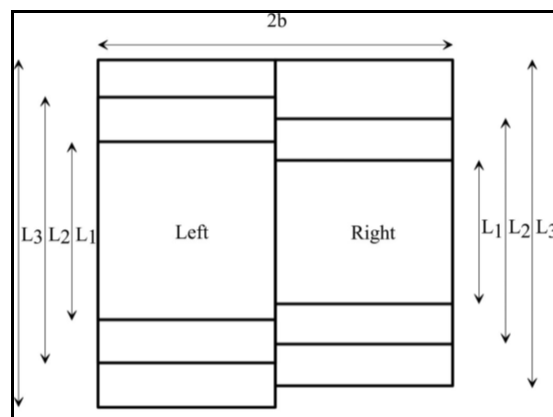
Fig. 1. Experimental parallel baffle module

بده طراحی بسیار نزدیک خواهد شد (Bijankhan *et al.*, 2017). برای تعیین میزان بازشدگی و ارتفاع هر یک از تیغه‌ها (در سمت راست و چپ) مطابق شکل‌های ۲ و ۳، از حل دستگاه معادلات غیرخطی برای هریک از مجراها استفاده شده است که مقدار آنها برای ظرفیت‌های مختلف، در جدول ۱ ارائه شده است (Vatankhah, 2013). بی‌جن‌خان و همکاران (Bijankhan *et al.*, 2017)، تمامی سناریوهای فوق‌الذکر را با مدل‌های آزمایشگاهی و تا دبی حداکثر ۱۴ لیتر بر ثانیه و برای کاربرد در شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی آزمایش و با یکدیگر مقایسه کردند. مقایسه‌ها حاکی از آن است که روش پیشنهادی به‌صورت تیغه‌های موازی دقیق‌تر از روش پیشنهادی می‌شرا و همکاران (Mishra *et al.*, 1990) و بی‌جن‌خان و کوچک‌زاده (Bijankhan & Kouchackzadeh, 2012) است.

استفاده از تیغه‌های موازی در این روش طراحی، به گونه‌ای است که علاوه بر کاهش قابل توجه تغییرات بده نسبت به مقدار طراحی، استفاده از مدول را برای ظرفیت‌های بالای آبگیری میسر می‌کند. مدول‌های تیغه‌ای موازی، از دو نیمه چپ و راست تشکیل شده‌اند. مشخصات نیمه چپ مدول طوری در نظر گرفته می‌شود که از یک شمای کم‌تحویل تبعیت کند. در حالی که نیمه راست آن بر اساس شمای بیش‌تحویل طراحی می‌شود. به‌عبارت دیگر، دو مدول تیغه‌ای طوری کنار یکدیگر قرار داده شده‌اند که هر یک از آنها نیمی از بده طراحی را از خود عبور دهد. از طرفی، به‌ازای هر عمقی از جریان اگر یکی از نیمه‌ها بده بیشتری از بده طراحی تحویل دهد، دیگری به‌ازای همان عمق، بده کمتری از بده طراحی از خود عبور دهد. در نتیجه، عملکرد تجمیع شده این دو تیغه موازی که مکمل یکدیگرند در کل بده‌ای تحویل می‌دهند که به



شکل ۳- نمای جانبی در مدول تیغه‌ای موازی  
Fig. 3. Side view of parallel baffle module



شکل ۲- نمای از روبه‌رو در مدول تیغه‌ای موازی  
Fig. 2. Front view of parallel baffle module

آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست. پس از مشخص شدن میزان جریان عبوری از سرریز تیغه‌های مختلف با استفاده از شبیه‌سازی عددی، می‌توان امکان استفاده از معادلات دبی-اشل را برای تخمین میزان جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها بررسی کرد. در این مقاله، نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی عددی برای مدول‌های تیغه‌ای با نتایج آزمایشگاهی در ظرفیت‌های ۱۴، ۱۰، ۷، ۴ لیتر بر ثانیه بررسی شده است تا از این طریق قابلیت مدل عددی به‌عنوان جایگزینی برای بررسی‌های آزمایشگاهی در ظرفیت‌های بالاتر، تعیین سهم دبی در هر یک از مجراهای موازی، بررسی جریان سرریزی متناظر با هر تیغه نسبت به کل دبی برای تعیین حساسیت ارتفاع تیغه‌ها و امکان‌سنجی استفاده از معادلات دبی-اشل برای سرریز تیغه‌ها، مشخص گردد.

### مواد و روش‌ها

#### الف- داده‌های آزمایشگاهی

مدول تیغه‌ای موازی را اولین بار مهرزاد ( Mehrzad, 2015) پیشنهاد و عملکرد آن را در محیط آزمایشگاهی دانشگاه تهران برای ظرفیت‌های ۱۴ و ۱۰، ۷، ۴ لیتر بر ثانیه بررسی کرد. مدل آزمایشگاهی مذکور متشکل است از یک مخزن که با یک پمپ همراه مجهز به ادوات تنظیم دور

هدف از طراحی مدول‌های تیغه‌ای، کنترل دبی در مقابل نوسات سطح آب است؛ از مزایای آن نیز می‌توان به حمل، نصب و بهره‌برداری ساده آن، نسبت به سایر سازه‌های آبگیر، اشاره کرد. به منظور کاربرد این مدول‌ها در مقیاس بزرگتر و در شبکه‌های اصلی آبیاری و زهکشی، بررسی عملکرد آنها ضروری است. به‌منظور اطمینان از مدل‌سازی فیزیکی در آزمایشگاه، معمولاً نمونه‌هایی با مقیاس‌های مختلف ساخته می‌شوند که به بررسی تاثیر مقیاس روی خصوصیات هیدرولیکی سازه پرداخته می‌شود (Blake et al., 2018). از این‌رو استفاده از این مدل‌های فیزیکی در ظرفیت‌های بالاتر و در محیط آزمایشگاهی زمان‌بر و هزینه‌بر است. از این‌رو برای توسعه این نوع مدول‌ها باید از روش‌ها و مدل‌های عددی استفاده کرد. با ساخت مدل عددی برای ظرفیت‌های پایین و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از آن با نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های آزمایشگاهی، در صورت تطابق و یا با اختلاف قابل قبول، می‌توان از مدل عددی ساخته شده برای کاربرد و آزمایش در ظرفیت‌های بالاتر بهره برد.

با توجه به نوع طراحی مدول‌های تیغه‌ای، تعیین حساسیت ارتفاع تیغه‌ها در تعیین سهم جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها نسبت به کل دبی و سهم دبی هریک از مجراهای موازی اهمیت ویژه‌ای دارد که در مدل‌های

موتور، آب را به مجرای اصلی فلوم به طول ۳ متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر منتقل و برای تنظیم آب در ارتفاع‌های مختلف، از یک سرریز جانبی در بالادست فلوم استفاده می‌کند. فلوم آزمایشگاهی به طول ۹۰ سانتی‌متر و عرض ۲۴/۸ سانتی‌متر است که در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از ابتدای فلوم، دو مجرای کارگذاری تیغه‌ها با عرض ۱۰ سانتی‌متر و به طول ۴۰ سانتی‌متر نصب شده‌اند. ارتفاع و بازشدگی تیغه‌ها در دو مجرای کارگذاری پس از حل دستگاه معادلات غیرخطی (Vatankhah, 2013) برای هریک از مجراها مطابق جدول ۱ است. پس از بررسی اثر فاصله تیغه‌ها در مدول‌های تیغه‌ای بر هیدرولیک جریان توسط ساوری (Savari, 2010)، فاصله اولین تیغه از مجرای کارگذاری تیغه‌ها ۱۵ سانتی‌متر، فاصله بین تیغه اول و دوم ۲ سانتی‌متر و فاصله بین تیغه دوم و سوم ۵ سانتی‌متر لحاظ شده است.

جدول ۱- ابعاد و اندازه تیغه‌ها در مدول تیغه‌ای موازی

Table 1. Dimension of baffles in parallel baffle module

Discharge (l/s)	Position of baffles	Height of first baffle (cm)	Height of second baffle (cm)	Height of third baffle (cm)	Gate opening of first baffle (cm)	Gate opening of second baffle (cm)	Gate opening of third baffle (cm)
4	Left	15.4	19	25	1.8	1.7	1.5
	Right	13.5	16.8	25	2	1.9	1.7
7	Left	15.4	19	25	3.3	3	2.8
	Right	13.5	16.8	25	3.7	3.5	3.2
10	Left	15.4	19	25	4.9	4.5	4.1
	Right	13.5	16.8	25	5.6	5.1	4.7
14	Left	15.4	18.9	25	7.1	6.5	6
	Right	13.5	16.8	25	8.2	7.5	6.9

### ب- مدل عددی

#### ب-۱- معادلات حاکم بر جریان در مدل عددی

جزئی هستند. معادله پیوستگی جریان از قانون بقای جرم و با نوشتن رابطه تعادل برای یک حجم کنترل از سیال تراکم‌ناپذیر به دست می‌آید که معادله عمومی آن در نرم‌افزار FLOW-3D به شکل رابطه ۱ است:

معادلات حاکم بر جریان سیال از قوانین بقای جرم و مومنوم به دست می‌آیند و به صورت معادلات دیفرانسیل

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = 0 \quad (1)$$

سطح در جهات y و z هستند (Javareshkian, 1993).

معادلات حرکت سیال با مولفه‌های سرعت  $(u, v, w)$  در سه جهت مختصات، یعنی معادلات ناویر-استوکس به شکل روابط نشان داده شده در رابطه ۲ هستند:

که در آن،

$V_f$  = کسر حجم باز به جریان؛  $\rho$  = چگالی سیال؛ مولفه‌های سرعت  $(u, v, w)$  در جهات  $(x, y, z)$  هستند؛  $A_x$  = کسر سطح باز در جهت x؛ و  $A_y$  و  $A_z$  به‌طور مشابه کسر

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_f} (uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z}) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_f} (uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z}) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_f} (uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z}) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \end{aligned} \quad (2)$$

ب-۳- شبکه‌بندی مدل عددی در معادلات ناویر-استوکس فوق‌الذکر ( $G_x, G_y, G_z$ )

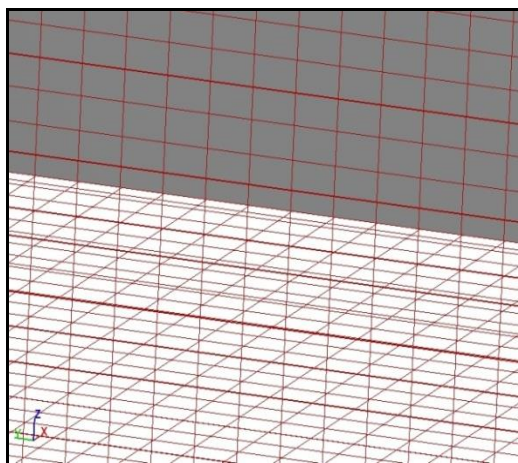
شبکه‌بندی نرم‌افزار مذکور به صورت متعامد مستطیلی است. در تهیه شبکه مدل عددی، سعی شده است نسبت بین ابعاد سلول‌ها در جهات مختلف منطقی و نسبت بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین اندازه آن در جهات X, Y برابر ۱ گردد. در محل ورودی و خروجی آب، جداره‌های فلوم، محل کارگذاری تیغه‌ها در راستای X, Y و پایین و بالای هر یک از تیغه‌ها سعی شد با استفاده از قابلیت Mesh Plane مطابق شکل‌های ۴ و ۵، سلول‌های شبکه را کوچکتر کرده تا دقت محاسبات افزایش یابد.

به دلیل استفاده از قابلیت Mesh Plane و متغیر بودن ارتفاع کارگذاری تیغه‌ها از کف کانال، نسبت بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین اندازه سلولی در جهت Z حدود ۱/۲۵ تا ۲ در ظرفیت‌های مختلف است.

شتاب‌های بدنه و ( $f_x, f_y, f_z$ ) شتاب‌های ناشی از لزجت هستند.

ب-۲- مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در مدل عددی

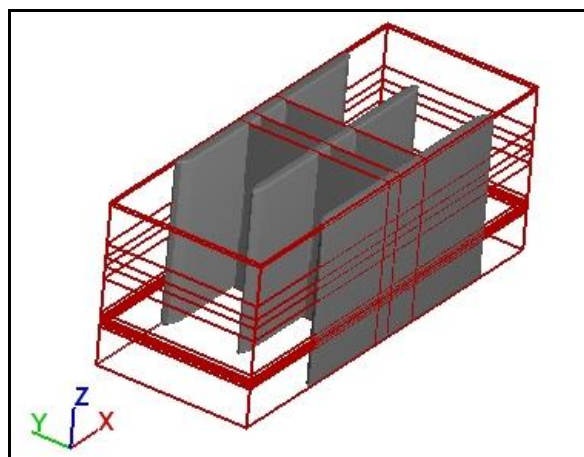
مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در نرم‌افزار Flow-3D عبارت‌اند از: Prandtl mixing length, One-equation, transport, transport, Two-equation  $k-\epsilon$ , RNG, Large eddy (renormalized group theory) و simulation و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تعداد قابل توجه آن، به دلیل کاربرد وسیع نرم‌افزار Flow-3D در زمینه‌های متفاوت است. در این مقاله، برای بالا بردن دقت در نتایج و به منظور یافتن مطلوب‌ترین تطابق با نتایج آزمایشگاهی برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه، بین مدل‌های آشفتگی مختلف مقایسه شده است.



شکل ۵- تفاوت اندازه و ابعاد سلول‌ها در محل استفاده از

Mesh Plane

Fig. 5. Difference dimension of cells using capability of Mesh Plane technique



شکل ۴- نحوه استفاده از قابلیت Mesh Plane در مدول تیغه‌ای موازی  
Fig. 4. Using capability of Mesh Plane technic in parallel baffle module

آزمایش‌ها و اجراهای مختلفی با توجه به ابعاد و تعداد سلول‌ها برای تعیین زمان بهینه و دقت نتایج به‌دست‌آمده اجرا شد که در نتیجه ابعاد سلول‌ها در راستای X, Y برابر ۰/۰۳۵ متر و در راستای Z حدود ۰/۰۰۳ متر تعیین گردید. به‌دلیل استفاده از قابلیت Mesh Plane و فاصله متفاوت هریک از تیغه‌ها از کف برای دبی‌های مختلف، ابعاد سلول‌ها در راستای Z و در نتیجه تعداد سلول‌ها نیز کمی متفاوت از یکدیگر و مطابق جدول ۲ خواهد شد.

جدول ۲- ابعاد و تعداد سلول‌های بهینه در انواع مدول تیغه‌ای آزمایش شده در مدل عددی

Table 2. Dimension and number of optimum cells in different discharges of numerical simulation

Discharge (l/s)	Number of cells				X direction			Y direction			Z direction		
	X direction	Y direction	Z direction	Total of cells	Minimum cell (m)	Maximum cell (m)	Ratio of cell	Minimum cell (m)	Maximum cell (m)	Ratio of cell	Minimum cell (m)	Maximum cell (m)	Ratio of cell
14	188	71	98	1308104	0.0034	0.0035	1.015	0.0035	0.0035	1	0.0019	0.0029	1.25
10	188	71	105	1401540	0.0034	0.0035	1.015	0.0035	0.0035	1	0.0019	0.0028	1.25
7	188	71	109	1454932	0.0034	0.0035	1.015	0.0035	0.0035	1	0.001	0.0026	1.99
4	188	71	108	1441584	0.0034	0.0035	1.015	0.0035	0.0035	1	0.0009	0.0029	1.99

سرعت جریان در مرز ورودی، سلول‌های شبکه در این قسمت با استفاده از قابلیت Mesh Plane ریز شد تا بدین صورت دقت محاسبات انجام شده افزایش یابد.

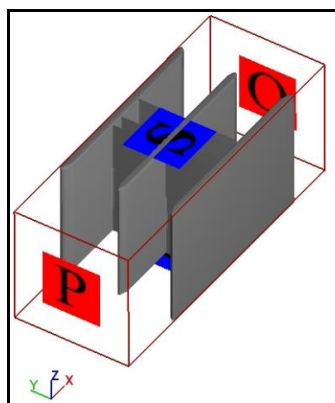
یکی از روش‌های جزء حجمی که برای تعیین هندسه به‌کار برده می‌شود، روش<sup>۱</sup> FAVOR است (Ghasemzadeh, 2014). با استفاده از این تکنیک، مرزهای جدا شده سیال از محیط صلب با تعداد سلول منتخب رویت شد که مشاهدات حاکی از عدم نمایش مناسب ارتفاع تیغه‌ها بود. به‌همین دلیل با توجه به اهمیت مدت زمان اجرای برنامه (با در نظر گرفتن اندازه و تعداد سلول‌ها)، از قابلیت به‌کارگیری Baffle‌ها در نرم‌افزار FLOW-3D و در محل هریک از تیغه‌های مجرا، استفاده شد. با تعریف حد بالا و پایین این Baffle‌ها در محل تیغه‌ها (به‌صورت عبور نکردن جریان آب) عملاً ارتفاع متناظر تیغه‌ها در محیط آزمایشگاه و عددی به‌طور کامل متناظر با یکدیگر شدند. در این مرحله، انتخاب تعداد و اندازه بهینه سلول برای بالا بردن دقت در ضخامت تیغه‌ها در اجرای شبیه‌سازی

#### ب-۴- شرایط اولیه، مرزی و نحوه ساخت مدل عددی

برای بررسی صحت نتایج شبیه‌سازی عددی، مدل مذکور به نحوی ساخته شده است که بیشترین تطابق را با مدل آزمایشگاهی از لحاظ هندسه و ابعاد مطابق جدول ۱ و شرایط اولیه و مرزی دارا باشد. نتایج خروجی از شبیه‌سازی عددی به‌صورت دبی‌های متناظر با ورودی‌های مختلف ارتفاع آب استخراج گردیده است.

شرایط اولیه مدل مطابق شکل ۶ متناظر با ارتفاع آب اولیه ۱۵ سانتی‌متر (به‌دلیل تطابق با شرایط آزمایشگاهی) و تا تیغه اول و سیال ورودی به مجرا، آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس لحاظ گردیده است. شرایط مرزی در قسمت ورودی مطابق شکل ۷ به‌صورت تابعی از ارتفاع آب "Specified Pressure"، در قسمت خروجی از نوع "OUTFLOW" که یک نوع مرز با مشتق صفر است و در کناره‌ها و کف مجرا از جداره‌های کانال به‌عنوان مرز بهره گرفته شد. در سقف مجرا نیز از یک مرز بی‌اثر در جریان در شرایط عدم تماس جریان با مرز به‌نام "Symmetry" استفاده شد. جهت اعمال تغییرات تدریجی تبدیل فشار به

ناگهانی ارتفاع آب و بالا بردن دقت نتایج، میزان افزایش ارتفاع‌های مختلف آب ورودی حدود ۳ میلی‌متر تعیین شد.



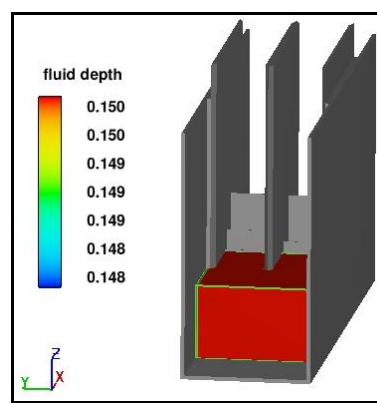
شکل ۷- شرایط مرزی مدول تیغه‌های موازی در مدل عددی  
Fig. 7. Boundary condition of numerical simulation of parallel baffle module

ظرفیت‌های ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه است که خلاصه اطلاعات آن در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳ دیده می‌شود که دقت نتایج به‌دست آمده با افزایش تعداد سلول‌ها در اجرای شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت ۷ لیتر بر ثانیه، تنها حدود ۰/۴ درصد و برای ظرفیت ۴ لیتر بر ثانیه، حدود ۱/۷ درصد افزایش یافته است ضمن اینکه مدت زمان اجرای شبیه‌سازی عددی با تعداد سلول بیشتر برای ظرفیت ۴ لیتر بر ثانیه حدود ۴ روز نسبت به اجرای شبیه‌سازی عددی با تعداد سلول کمتر افزایش یافته است. بنابراین، در صورت افزایش تعداد سلول‌ها، دقت نتایج به‌دست آمده در اجرای شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه افزایش چندانی نخواهد یافت و عملاً با این کار فقط مدت زمان اجرای مدل افزایش پیدا خواهد کرد.

علاوه بر تعیین تعداد سلول بهینه، همگرایی نتایج به‌دست آمده در ظرفیت‌های مختلف برای کلیه ارتفاع‌های آب ورودی، بررسی شد که نمودارهای شکل ۹، همگرایی ظرفیت در مدت زمان مشخص را برای ارتفاع‌های ۱۵/۷ و ۱۹ سانتی‌متر و برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه به‌عنوان نمونه نمایش می‌دهد.

عددی تعریف گردید. با توجه به دامنه ارتفاع‌های ورودی آب ۱۵-۲۵ سانتی‌متر در مدل آزمایشگاهی و نیز به‌عنوان شرایط مرزی ورودی در مدل عددی، برای تغییر نیافتن



شکل ۶- شرایط اولیه مدول تیغه‌های موازی در مدل عددی  
Fig. 6. Initial condition of numerical simulation of parallel baffle module

#### ب-۵- واسنجی مدل عددی

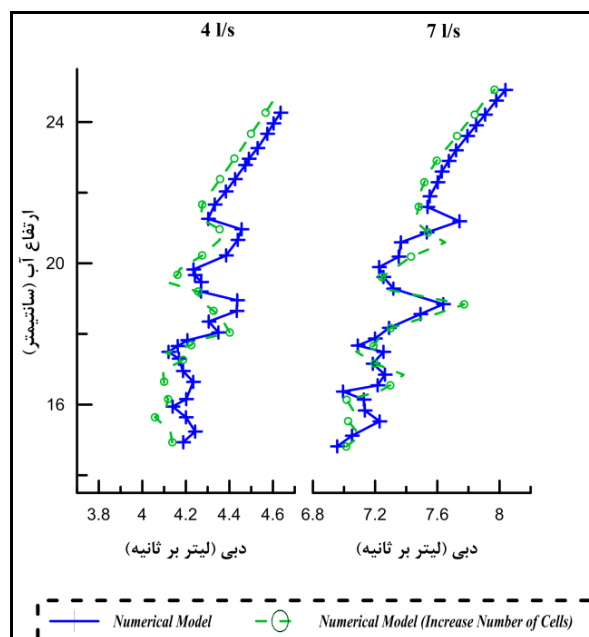
برای بررسی دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی و مدت زمان اجرا و مقایسه آن با نتایج مدل آزمایشگاهی در تعیین تعداد بهینه سلول، از روش میانگین قدر مطلق خطای نسبی مطابق رابطه ۳ استفاده شد که در جداول ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است.

$$MAE = \frac{100}{n} \sum_{N=1}^n \frac{|Q_N - Q_E|}{Q_N} \quad (3)$$

که در آن،

$MAE$  = میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی دبی حاصل از نتایج شبیه‌سازی عددی با مدل آزمایشگاهی؛  $Q_N$  = دبی حاصل از ارتفاع‌های مختلف آب ورودی به مدل عددی؛  $Q_E$  = دبی حاصل از ارتفاع‌های مختلف آب ورودی به مدل آزمایشگاهی.

به‌همین منظور شبیه‌سازی عددی برای تعداد سلول‌های مختلف در ظرفیت‌های ۱۴، ۱۰، ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه اجرا و تعداد بهینه سلول از نظر دقت نتایج و مدت زمان اجرا برای هر ظرفیت مطابق جدول ۲ تعیین شد. شکل ۸ نمونه‌ای از بررسی دقت نتایج به‌دست آمده و مدت زمان اجرا بر اساس تعداد سلول‌های مختلف در



شکل ۸- مقایسه منحنی دبی- ارتفاع آب در مدل‌های عددی با تعداد سلول‌های مختلف برای ظرفیت‌های ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه

Fig. 8. Comparison of head-discharge curves with different cells for discharges of 4, 7 l/s

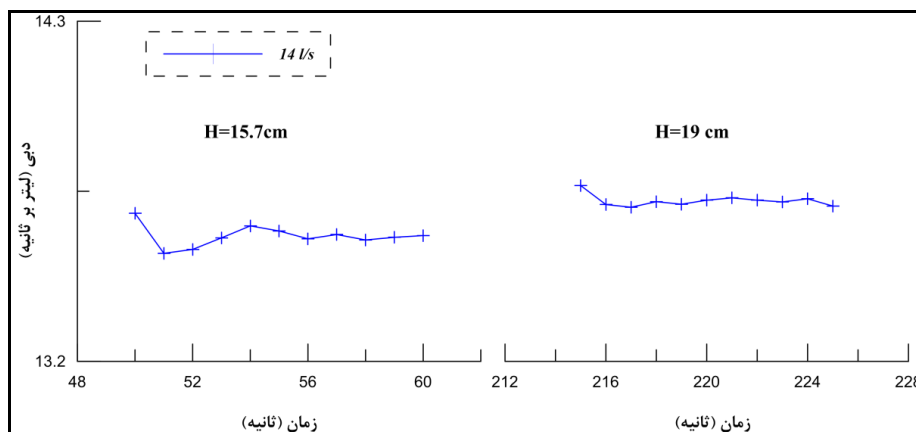
جدول ۳- خلاصه اطلاعات به دست آمده از اجرای مدل عددی با تعداد سلول‌های مختلف برای ظرفیت‌های ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه

Table 3. The results of numerical simulation with different cells for discharges of 4, 7 l/s

Design Discharge (l/s)	Type of Module	Type of Turbulence Model	Type of CPU	Number of cells in numerical simulation	Time (s)	Duration of Numerical simulation (day)	Average discharge of experimental results (l/s)	Average discharge of numerical results (l/s)	Mean absolute percentage error (MAPE)
7	Parallel Module	k-e	core i7-7700	1454932	540	16.83	7.09	7.46	5.22
	Parallel Module (increase Number of cells)	k-e	core i7-8700	1696800	540	16.46	7.09	7.43	4.80
4	Parallel Module	k-e	core i7-8700 k	1441584	550	12.71	4.03	4.35	7.94
	Parallel Module (increase Number of cells)	k-e	core i7-8700 k	1713600	550	16.54	4.03	4.28	6.20

با توجه به نمودارهای شکل ۹، نتایج به دست آمده سایر ارتفاع‌های ورودی آب نیز همانند شکل‌های فوق برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه به ازای هر ارتفاع ورودی پس از مدت زمان حدود ۱۰ ثانیه همگرا شده است. پس از همگرا شدن نتایج، به عنوان ظرفیت نهایی ثبت گردید.



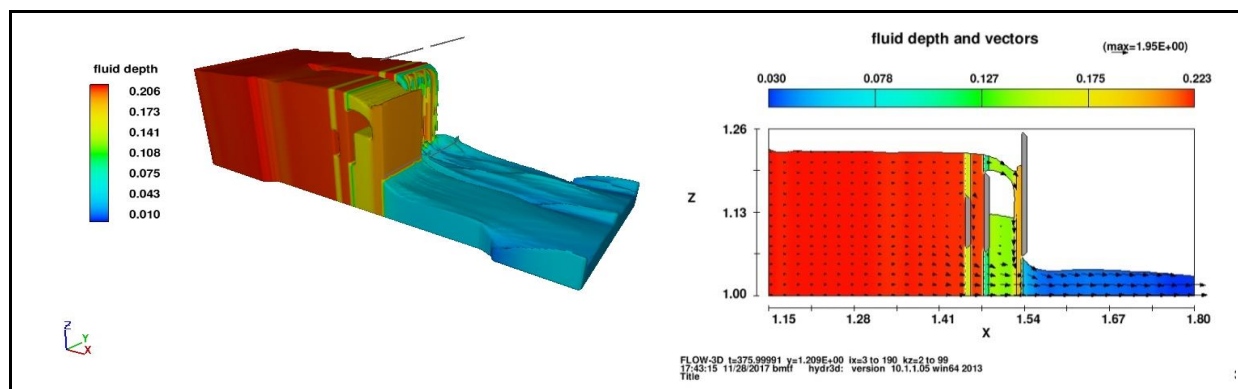


شکل ۹- نمودار همگرایی ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه برای ارتفاع‌های مختلف آب  
 Fig. 9. Convergence diagram of different head of water for discharge of 14 l/s

می‌کند. برای مشاهده روند عبور جریان آب در مدول‌های تیغه‌ای موازی و قابلیت تیغه‌ها در کنترل دبی عبوری در مجرای سمت راست و چپ مدول، نتایج دو بعدی و سه بعدی به دست آمده از اجرای شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه به‌عنوان نمونه در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

### نتایج و بحث

مدول تیغه‌ای موازی، شامل دو مجرای چپ و راست است که هر یک از مجراها متشکل است از سه تیغه با ارتفاع‌های مختلف برای کنترل دبی با نوسانات مختلف ارتفاع آب. هر یک از تیغه‌ها در مراحل مختلف با توجه به ارتفاع‌های مختلف آب ورودی، دبی عبوری را کنترل

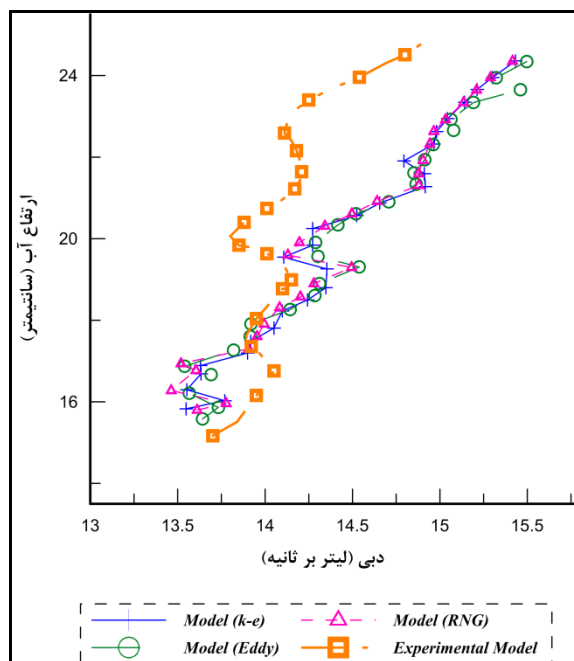


شکل ۱۰- نمای دو و سه‌بعدی نتایج مدل عددی برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه در مدول‌های تیغه‌ای موازی  
 Fig 10. View of 2 and 3 dimension of numerical simulation of parallel baffle module for discharge of 14 l/s

کرد. با توجه به نمودار شکل ۱۱ دیده می‌شود که روند کم و زیاد شدن دبی در مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  تطابق نسبتاً بهتری با مدل آزمایشگاهی دارد و همچنین با توجه به میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی عددی با مدل آزمایشگاهی مطابق جدول ۴، مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از

به‌دلیل اهمیت نوع مدل آشفتگی در اجرای شبیه‌سازی عددی و به‌کارگیری آن در مدول‌های تیغه‌ای، نتایج به دست آمده با به‌کارگیری مدل‌های آشفتگی مختلف، برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه مطابق شکل ۱۱ مقایسه گردید تا بتوان در اجرای شبیه‌سازی عددی برای سایر ظرفیت‌ها نیز از مناسب‌ترین مدل آشفتگی استفاده

اجرای مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  دقت بالاتری دارد تا سایر مدل‌های آشفتگی. از این رو در اجرای شبیه‌سازی عددی برای سایر ظرفیت‌ها نیز از مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  استفاده گردید.



شکل ۱۱- مقایسه روند منحنی دبی- ارتفاع آب با استفاده از مدل‌های آشفتگی مختلف برای دبی طراحی ۱۴ لیتر بر ثانیه  
Fig. 11. Comparison of head-discharge curves with different turbulence models for discharge of 14 l/s

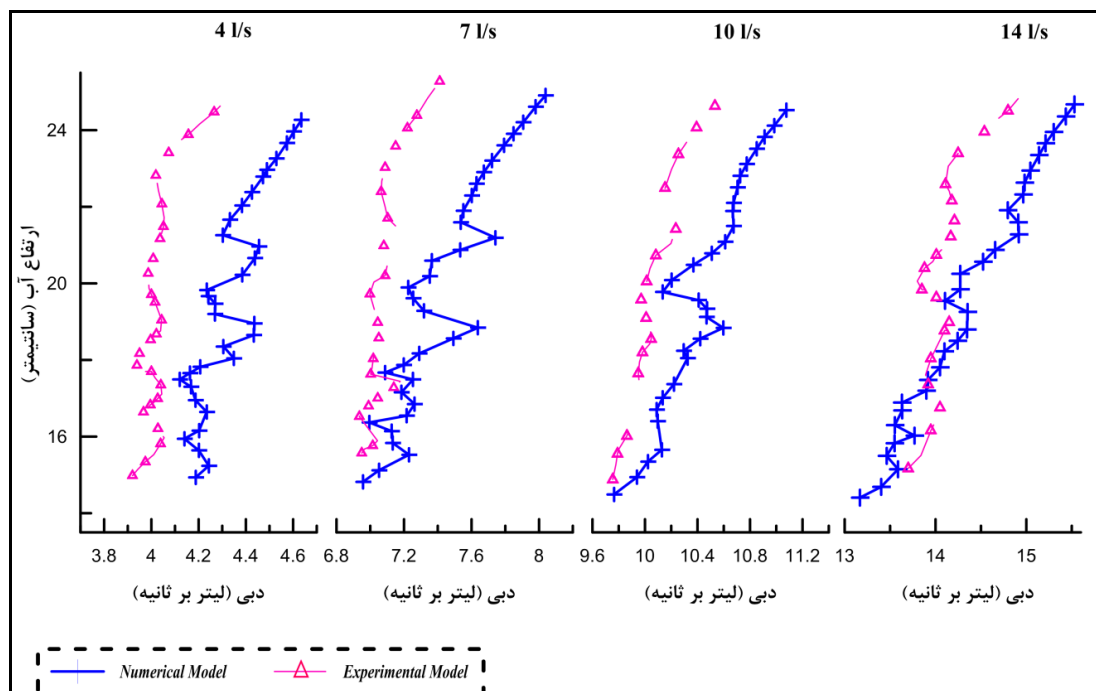
جدول ۴- مقایسه مدل‌های آشفتگی به کار رفته در اجرای مدل عددی برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه

Table 4. The results of different turbulence model for discharge of 14 l/s

Design Discharge (l/s)	Type of Module	Type of Turbulence Model	Type of CPU	Number of cells in numerical simulation	Time (s)	Duration of Numerical simulation (day)	Average discharge of experimental results (l/s)	Average discharge of numerical results (l/s)	Mean absolute percentage error (MAPE)
14	Rising parallel module	k-e	core i7-7700	1308104	525	14.58	14.12	14.37	1.77
		eddy	core i7-8700	1308104	521	7.25	14.12	14.42	2.12
		RNG	core i7-8700	1308104	525	8.1	14.12	14.37	1.77

با توجه به نمودارهای شکل ۱۲ و خلاصه اطلاعات حاصل از اجرای شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت‌های مختلف مطابق جدول ۵، مشاهده می‌شود که روند کم و زیاد شدن دبی با افزایش ارتفاع‌های مختلف آب تقریباً مشابه مدل آزمایشگاهی و میانگین قدرمطلق خطای نسبی به دست آمده از شبیه‌سازی عددی با مدل آزمایشگاهی حدود ۲ تا ۸ درصد است که دقت کافی دارد.

پس از نهایی شدن تعداد سلول‌های بهینه مطابق جدول ۲ برای ظرفیت‌های مختلف و نیز تعیین مدت زمان همگرایی و نوع مدل آشفتگی، شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت‌های مختلف، به ازای هر ارتفاع ورودی آب اجرا شد؛ مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج مدل آزمایشگاهی در نمودارهای شکل ۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲- مقایسه روند منحنی دبی- ارتفاع آب در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی برای ظرفیت‌های مختلف  
 Fig. 12. Comparison of numerical and experimental head-discharge curves for different discharges

جدول ۵- خلاصه اطلاعات به‌دست آمده از اجرای مدل عددی برای ظرفیت‌های مختلف و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی

Table 5. Comparison of numerical & experimental results for different discharges

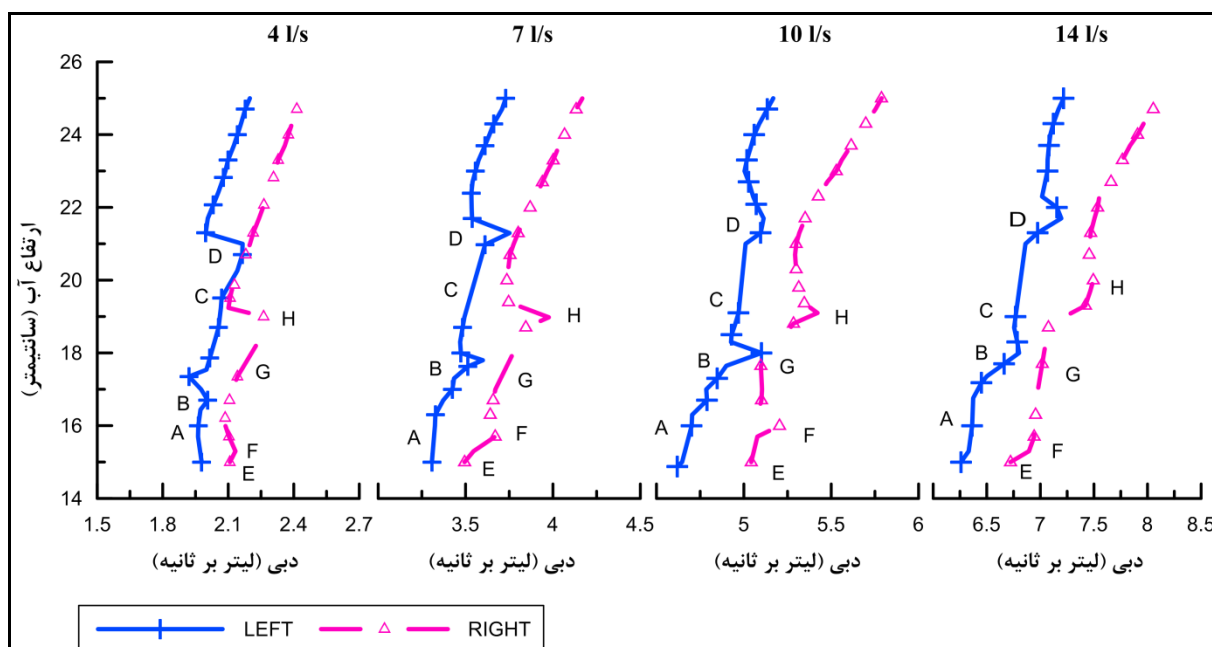
Design Discharge (l/s)	Type of Module	Type of Turbulence Model	Type of CPU	Number of cells in numerical simulation	Time (s)	Duration of Numerical simulation (day)	Average discharge of experimental results (l/s)	Average discharge of numerical results (l/s)	Mean absolute percentage error (MAPE)
14	Parallel Module	k-e	core i7-7700	1308104	525	14.58	14.12	14.37	1.77
10	Parallel Module	k-e	core i7-8700	1401540	540	10.79	10.07	10.47	3.97
7	Parallel Module	k-e	core i7-7700	1454932	540	16.83	7.09	7.46	5.22
4	Parallel Module	k-e	core i7-8700 k	1441584	550	12.71	4.03	4.35	7.94

میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی به‌دست آمده از اجرای شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت‌های ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه با مدل آزمایشگاهی، کمی بیشتر از ظرفیت‌های ۱۴ و ۱۰ لیتر بر ثانیه است و دلیل آن متفاوت بودن فاصله بین لبه تیغه پایینی و کف مجرا برای ظرفیت‌های مختلف است (جدول ۱). در واقع، شبیه‌سازی عددی با استفاده از قابلیت

به‌منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی عددی و مدل آزمایشگاهی برای ظرفیت‌های مختلف، میانگین قدرمطلق خطای نسبی حاصل از آنها در جدول ۴ ارائه شده است که برای ظرفیت ۱۴ و ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب حدود ۲ و ۴ درصد و نشان‌دهنده آن است که نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی دقت بالایی دارد.

عددی با نتایج آزمایشگاهی می‌توان به منظور تعیین میزان حساسیت ارتفاع تیغه‌ها در اجرا و ساخت، نتایج میزان جریان آزاد عبوری از روی سرریز تیغه‌های اول و دوم را در هر مجرای موازی (چپ و راست) برای ظرفیت‌های مختلف با استفاده از شبیه‌سازی عددی به دست آورد. به همین منظور شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت‌های مختلف در هریک از مجراهای موازی اجرا و در شکل ۱۳ ارائه شده است.

Mesh Plane، اندازه و ابعاد سلول را در محل مورد نظر کوچک‌تر می‌کند، در نتیجه نسبت سلولی ماکزیمم و مینیمم ابعاد سلول‌ها در ظرفیت‌های ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه نیز افزایش و به تبع آن دقت نتایج کاهش می‌یابد. مطابق اطلاعات ارائه شده در جدول ۵ برای ظرفیت‌های مختلف، می‌بینیم که نوع پردازنده نیز تاثیر قابل توجهی در کاهش مدت زمان اجرای برنامه دارد. با توجه به مطابقت بالای نتایج حاصل از شبیه‌سازی



شکل ۱۳- مقایسه روند منحنی دبی- ارتفاع آب در هر مجرا (چپ و راست) با استفاده از نتایج شبیه‌سازی عددی برای ظرفیت‌های مختلف

Fig. 13. Comparison of head-discharge curves in each part of channels (left & right) using numerical simulation for different discharges

(ارتفاع ورودی آب بالاتر از ارتفاع تیغه اول) شروع می‌شود و تا نقطه B (انتقال کنترل جریان به تیغه دوم و مستغرق شدن جریان) پایان می‌گیرد و از روی سرریز تیغه دوم از نقطه C (ارتفاع ورودی آب بالاتر از ارتفاع تیغه دوم) آغاز می‌شود و تا نقطه D (انتقال کنترل جریان به تیغه سوم و مستغرق شدن جریان) خاتمه می‌یابد. همچنین، در مجرای سمت راست مدول تیغه‌ای برای ظرفیت‌های مختلف، جریان آزاد از روی سرریز تیغه اول از نقطه E

با توجه به شکل ۱۳، مجرای سمت چپ از یک شمای کم‌تحویل و مجرای سمت راست از یک شمای بیش‌تحویل تبعیت می‌کند. از طرفی، به‌ازای هر عمقی از جریان اگر یکی از نیمه‌ها بده بیشتری از بده طراحی تحویل دهد، دیگری به‌ازای همان عمق، بده کمتری از بده طراحی از خود عبور می‌دهد. در مجرای سمت چپ مدول تیغه‌ای برای ظرفیت‌های مختلف، جریان آزاد از روی سرریز تیغه اول از نقطه A

(ارتفاع ورودی آب بالاتر از ارتفاع تیغه اول) شروع می‌شود و تا نقطه F (انتقال کنترل جریان به تیغه دوم و مستغرق شدن جریان) پایان می‌گیرد و از روی سرریز تیغه دوم از نقطه G (ارتفاع ورودی آب بالاتر از ارتفاع تیغه دوم) آغاز می‌شود و تا نقطه H (انتقال کنترل جریان به تیغه سوم و مستغرق شدن جریان) خاتمه می‌یابد. خلاصه نتایج سهم دبی عبوری به‌صورت سرریز آزاد در تیغه‌های اول و دوم و برای ظرفیت‌های مختلف و نیز سهم هر مجرای موازی (چپ و راست) در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- خلاصه نتایج سهم دبی در هر مجرا (سمت چپ و راست) و در تیغه‌های مختلف با استفاده از اجرای مدل عددی

Table 6. Ratio of flow in each part of channels (left & right) and baffles using numerical simulation for different discharges

Discharge (l/s)	Ratio of flow (%)		Maximum Ratio of flow (%)			
	Left channel	Right channel	Overflow ratio of first baffle in left channel	Overflow ratio of first baffle in right channel	Overflow ratio of second baffle in left channel	Overflow ratio of first baffle in right channel
14	48	52	13	11	13	15
10	48	52	21	19	18	15
7	48	52	27	19	23	20
4	48	52	19	29	33	29

که در آن،  $Q =$  دبی عبوری از روی سرریز؛  $h =$  ارتفاع آب روی سرریز؛  $b =$  عرض سرریز؛ و  $g =$  شتاب گرانش زمین. با توجه به جدول ۷، مینیمم خطای نسبی حاصل از استفاده از معادلات دبی-اشل مطابق رابطه ۴ با نتایج حاصل از اجرای مدل عددی، حدود ۸/۹۸ درصد در تیغه دوم مجرای سمت چپ برای ظرفیت ۷ لیتر بر ثانیه و ماکزیمم مقدار آن حدود ۲۴/۵۶ درصد در تیغه اول مجرای سمت چپ برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه است. با توجه به میزان خطای نسبی به‌دست آمده برای ظرفیت‌های مختلف مطابق جدول ۷، استفاده از معادلات دبی-اشل برای محاسبه میزان جریان عبوری از سرریز تیغه‌های مختلف در مدول‌های تیغه‌ای دقت کافی ندارد و مستلزم استفاده از مدل‌های عددی است. ارتفاع کم آب در بالادست سرریز باعث می‌شود از اثر ویسکوزیته و کشش سطحی نتوان صرف‌نظر کرد و در نتیجه معادلات مرسوم برای محاسبه دبی عبوری از سرریزها، اعتبار خود را از دست خواهند داد.

با توجه به جدول ۶، سهم دبی در مجرای سمت چپ حدود ۴۸ درصد و در مجرای سمت راست حدود ۵۲ درصد و برای ظرفیت‌های مختلف است که صحت نوع طراحی بر اساس شمای بیش‌تحویل و کم‌تحویل را تأیید می‌کند. ماکزیمم سهم دبی برای ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه به‌صورت جریان آزاد از سرریز تیغه اول مجرای سمت چپ و راست به‌ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد و از سرریز تیغه دوم مجرای سمت چپ و راست به‌ترتیب ۱۳ و ۱۵ درصد است. مطابق جدول ۶، این میزان برای سایر ظرفیت‌ها به‌مراتب بالاتر و تا حدود ۳۳ درصد برای ظرفیت ۴ لیتر بر ثانیه افزایش می‌یابد. لذا از آنجایی که سهم دبی عبوری ناشی از جریان سرریزی در سازه، مقادیر قابل توجهی می‌باشند، لازم است در ساخت و اجرای رقوم لبه‌بالایی تیغه‌ها دقت بسیار نمود. نتایج امکان‌سنجی استفاده از معادلات دبی-اشل بر اساس رابطه ۴ (Bijankhan *et al.*, 2018) در جدول ۷ ارائه شده است.

$$Q = (0.7609h \times b^{2/3} \times g^{1/3})^{3/2} \quad (4)$$

جدول ۷- مقایسه میزان درصد خطای استفاده از معادلات دبی-اشل و نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل عددی در ظرفیت‌های مختلف

Table 7. Comparison of head-discharge equations and numerical results using mean absolute percentage error for different discharges

Discharge (l/s)	Mean absolute percentage error of discharge (MAPE)			
	Overflow ratio of first baffle in left channel	Overflow ratio of first baffle in right channel	Overflow ratio of second baffle in left channel	Overflow ratio of second baffle in right channel
14	24.56	16.73	13.40	21.60
10	19.22	13.67	12.80	11.94
7	16.47	13.91	8.98	12.83
4	17.17	23.35	15.72	17.42

### نتیجه‌گیری

از شبیه‌سازی عددی است. بررسی سهم جریان عبوری از سرریز تیغه‌ها نیز نشان‌دهنده اهمیت دقت در ساخت و اجرای ارتفاع تیغه‌هاست که این میزان برای ظرفیت ۴ لیتر بر ثانیه حدود ۳۳ درصد است. با توجه به طراحی این نوع مدول‌ها و استفاده از یک شمای کم‌تحویل و بیش‌تحویل در مجراهای سمت چپ و راست، سهم دبی عبوری از مجرای سمت چپ حدود ۴۸ درصد و از مجرای سمت راست حدود ۵۲ درصد در ظرفیت‌های مختلف است. بررسی‌ها برای جایگزین کردن معادلات دبی-اشل در محاسبه میزان ظرفیت عبوری از سرریز تیغه‌ها حاکی از فقدان دقت کافی و با خطای نسبی ماکزیمم ۲۴/۵۴ برای تیغه اول مجرای سمت چپ نسبت به نتایج حاصل از مدل عددی در ظرفیت ۱۴ لیتر بر ثانیه است. با توجه به دقت بالای نتایج به‌دست آمده از اجرای شبیه‌سازی عددی و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی، می‌توان از مدل عددی ساخته شده برای توسعه و آزمایش مدول‌های تیغه‌ای موازی در ظرفیت‌های بالاتر نیز بهره برد.

مدول تیغه‌ای برای کاربرد در دبی‌های ۲ تا ۱۴ لیتر بر ثانیه توسعه داده شده است. هر اقدامی برای افزایش دامنه دبی عبوری از این سازه به لحاظ کاربردی بااهمیت است. در این خصوص، شبیه‌سازی عددی می‌تواند ابزاری در کنار مطالعات آزمایشگاهی باشد و جزئیات بیشتری از خصوصیات هیدرولیکی سازه را آشکار سازد. در این تحقیق پس از بررسی امکان استفاده از مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان عبوری از مدول تیغه‌ای مشخص شد که میزان ابعاد بهینه سلول از نظر دقت نتایج و مدت زمان اجرای مدل، در راستای X, Y برابر ۰/۰۳۵ متر و در راستای Z حدود ۰/۰۰۳ متر است. مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  نسبت به سایر مدل‌های آشفتگی در شبیه‌سازی عددی مدول‌های تیغه‌ای، دقت بالاتری دارد. اختلاف نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی با مدل آزمایشگاهی برای ظرفیت‌های ۱۴ و ۱۰ لیتر بر ثانیه، حدود ۲ و ۴ درصد و برای ظرفیت‌های ۷ و ۴ لیتر بر ثانیه حدود ۵ و ۸ درصد است که نشان‌دهنده دقت بالای نتایج به‌دست آمده

### مراجع

- Bijankhan, M. and Kouchakzadeh, S. 2012. Baffle modules: improved design based on the variable hydraulic sensitivity concept. J. Irrig. Drain. Eng. 61(2): 260-269.
- Bijankhan, M., Mehrzad, M., Golzar, M. and Kouchakzadeh, S. 2017. Volumetric water delivery using baffle sluice modules: New approach. J. Irrig. Drain. Eng., 143(10): 1-13.

- Bijankhan, M., Di Stefano, C. and Ferro, V. 2018. Generalised stage–discharge relationship for rectangular weirs. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*. 171(3): 125-133.
- Blake, P. T., Young, N. L. and Crookstone, B. M. 2018. Size-scale effects of labyrinth weir hydraulics. 7<sup>th</sup> IAHR International Symposium on Hydraulic Structures. May 15-18. Aachen, Germany.
- Ghasemzadeh, F. 2014. *Hydraulic Simulation in Flow-3D*. Noavar Press Book. IRI. (in Persian)
- Javarehshkian, M. H. 1993. Secondary flow in a 90 degree bend having rectangular cross-section. M. Sc. Thesis. The University of Liverpool. England.
- Mehrzad, M. 2015. Performance assessment of parallel baffle modules. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University, Karaj, Iran. (in Persian)
- Mishra, P. K., Larsen, P. and Satyanarayana, T. 1990. Development of low-discharge baffle-slucice modules. *J. Irrig. Drain. Eng.* 116(3): 444-453. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1990).
- Savari, H. 2010. The impact of baffle distance on the baffle gate distributors. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University, Karaj, Iran. (in Persian)
- Vatankhah, A. R. 2013. Discussion of discharge coefficient for Baffle Slucice gates by PK Mishra, Wernher Brevis, Cornelia Lang. *J. Irrig. Drain. Eng.* 140(4): 336-340.

## **Numerical Simulation of Three-Dimensional Flow in Baffle Modules**

**A. Momeni-Heravi, S. Kouchakzadeh\* and M. Bijankhan**

\* Corresponding Author: Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: skzadeh@ut.ac.ir.

Received: 16 June 2018, Accepted: 11 November 2018

### **Abstract**

Intake Modules are structures that deliver relatively constant discharge irrespective of water surface fluctuations. One of these modules is baffle sluice modules for which various theoretical methods have been proposed so far for determining their dimensions. Determining the best theoretical approach requires experimental studies. In this regard experimentations have been carried out only for low capacities. Therefore, numerical methods can be used to identify design criteria of baffle modules in higher capacities. But because of the scale effect on experimental models such as weir, the use of these models in higher capacities requires time and cost. Also, considering the type of design of the baffle modules, determination of the sensitivity of baffle height in determining the share of flow over the baffles and the rate of discharge of each duct is very important, which is not feasible in Experimental models. In this research aims to evaluate the application of three-dimensional numerical models in simulation of flow in baffle modules for reproduction of observational data, determination of the share of flow over the baffles, the rate of discharge of each parallel duct and the use of stage-discharge equations. The result of Flow-3D software indicated that very good concurrence exists between the numerical model output and the observed data for low discharge and this software is applicable to determination of design criteria for the modules for high capacities, determination of the share of flow over the baffles, the rate of discharge of each parallel duct and the use of stage-discharge equations. This indicated the capability of such mean to substitute experimental test or to decrease their use for special cases with an average error of about 1.7% for 14 l/s, 3.97% for 10 l/s, 5.22% for 7 l/s and 7.94% for 4 l/s.

**Keywords:** Baffle Height, Experimental Model, Numerical Software, Parallel Baffle Modules