

معرفی نرم افزار **FLOW 3D** و مدل سازی جریان آزاد و مستغرق درون پارشال فلوم

حمید رضا باباعلی^۱، ابوالفضل شمسایی^۲ و علی خدابخشی^۳

۱- دانشجوی دکتری عمران آب- هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد

۲- استاد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف

۳- کارشناس عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد

HAM_babaali@yahoo.com

خلاصه:

Flow-3 D یک نرم افزار قوی در زمینه CFD می باشد این نرم افزار برای کمک به تحقیق در زمینه رفتار دینامیکی مایعات و گازها در موارد کاربردی وسیع طراحی شده است. Flow-3D برای مسائل یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی طراحی شده است. در تحقیق حاضر با مدل کردن یک پارشال فلوم میتوان دید که Flow-3D به آسانی می تواند محاسبات پارشال فلوم را تحت هردو جریان آزاد و مستغرق انجام دهد. نتایج محاسبه شده به خوبی با دبی های منتشر شده مطابقت داشته و نیاز به زمان زیاد و یا استفاده از ابر رایانه ها ندارد. مطالعات جالب و مفید زیادی میتواند در ادامه این تحقیق صورت گیرد بعنوان مثال میتوان تاثیر شرایط ورودی (مثل کج شدن فلوم در اثر تغییر جهت وزن) و یا تاثیر تغییرات شکل و اندازه نواحی مختلف فلوم (مثل اضافه کردن یک مقطع ونتوری) را بر راحتی با نرم افزار Flow-3D بررسی کند.

لغات کلیدی: نرم افزار **FLOW 3D**، مدل سازی، جریان آزاد و مستغرق، پارشال فلوم

مقدمه:

Flow-3D یک نرم افزار قوی در زمینه CFD می باشد که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط **Flow Science, Inc** است. این نرم افزار برای کمک به تحقیق در زمینه رفتار دینامیکی مایعات و گازها در موارد کاربردی وسیع طراحی شده است. **Flow-3D** برای مسائل یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی طراحی شده است. در حالت ماندگار نتایج در زمان بسیار کمی حاصل می شود زیرا برنامه پایه گذاری شده است بر روی قوانین بنیادی جرم، مومنتوم و بقاء انرژی تا این موارد برای مراحل مختلف جریان در هر زمینه ای به کار برده می شوند. **Flow-3D** یک شبکه آسان از اجزاء مستطیلی را استفاده می کند. این دارای مزایایی برای تولدی آسان، نظم برای بهبود بخشیدن صحت عددی است و این احتیاج به کمترین ذخیره حافظه دارد. پایه معادلات حرکت در این نرم افزار بر روی تکنیک تفاضل محدود (**Finite difference**) می باشد. **Flow-3D** شامل مدل های فیزیکی مختلفی می باشد که عبارتند از: آبهای کم عمق، ویسکوزیتی کاویتاسیون، آشفتنگی، آبشستگی، کشش سطحی، پوشش متخلخل ذرات و ... از این مدل ها **Flow-3D** در زمینه های زیر استفاده می کند: ریخته گری مواد، مهندسی فرآیند، طراحی تزریق های مرکب، تولیدات مصرفی، هیدرولیک مهندسی محیط زیست، هوافضا، اندود، علوم دریایی، نفت، گاز و .. **Flow-3D** یک برنامه کامپیوتری با کاربردهای کلی و با توانایی های بسیار است. با وارد کردن اطلاعات کاربر می تواند مدل های فیزیکی مختلفی را به منظور ارائه محدوده وسیعی از پدیده های جریان، انتخاب کند. هدف تقسیم میدان جریان به یک مش با المان های مستطیلی با سایزهای مختلف است. برای هر المان، مقادیر کمیت های پایه ای جریان (یعنی سرعت، فشار، دانسیته) اعمال می شوند.

از تقریب **Finite difference** یا **Finite Volume** برای محاسبه زمانی و فضایی این متغیرها از معادلات حرکت استفاده می شود. در جدول شماره ۲ به ویژگی های این نرم افزار پرداخته میشود.

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد

^۲ استاد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف

^۳ دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد

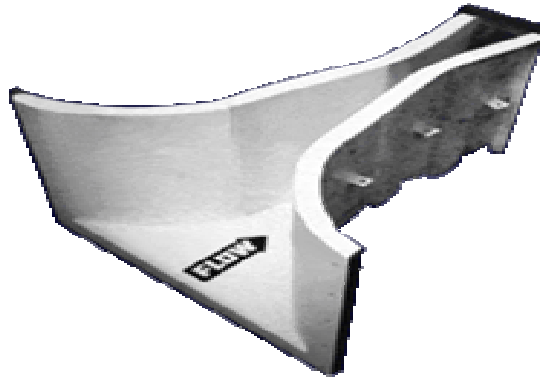
جدول شماره ۱- معرفی نرم افزار Flow 3D

نام نرم افزار	Flow-3D
زمینه کاری	یک نرم افزار قوی در زمینه CFD می باشد. این نرم افزار برای کمک به تحقیق در زمینه رفتار دینامیکی مایعات و گازها در موارد کاربردی وسیع طراحی شده است
قوانین بنیادی	جرم، مومنتوم و بقاء انرژی
کاربردهای Flow 3D در زمینه مهندسی آب	پایه های پل - هواگیری در پرش هیدرولیکی - سرریز دایره ای - هواگیری در سرریزها - شکست سد - پارشال فلوم - آبشستگی - جریان بر روی یک پلکان (step) - جریانهای با عمق کم - جریان در کانالهای کنترل پرش هیدرولیکی - موجهای کم ارتفاع (Shoding wave) - درجه های کشویی - جریان سرریز
سطح آزاد	حد فاصل بین گاز و مایع همان سطح آزاد است. در Flow-3D سطح آزاد با تکنیک (Volume of Fluid) VOF مدل می شود که در سال ۱۹۸۱ توسط Hirt & Nichds گزارش شد. روش VOF شامل سه جزء است: (۱) نمایش موقعیت سطح (۲) شبکه بندی (۳) شرایط مرزی سطح
تکنیک محاسبات	Finite volume-Finite difference
نیازهای سخت افزاری	برای استفاده از این نرم افزار، حداقل به یک پردازنده Pentium III با ویندوز ۲۰۰۰ یا xp احتیاج داریم. حداقل حافظه کارت گرافیک نیز باید 32 MB باشد.
سیستمهای مختصات	معادلات دیفرانسیلی که باید حل شوند در قالب مختصات کارت تزی (x,y,z) نوشته می شود. برای مختصات استوانه ای (z, θ, r) مختصات x بصورت شعاعی و مختصات y بصورت مختصات زاویه ای
مدل های آشفتگی	در Flow-3D پنج مدل آشفتگی ارائه شده است: طول اختلاط پراختل، یک معادله، دو معادله $k - \epsilon$ و مدل های RNG و مدل شبیه سازی بزرگ
مدلسازی	شامل بخش های ۱) Global-۲ Physics-۳ Props-۴ Meshing & Geometry-۵ Boundaries-۶ Initial-۷ Out put-۸ Numeric
Global-۱	زمان اتمام (Finish Time) -- تعداد سیالات (Number of Fluids) - حالت جریان (Flow Mode) که شامل حالت تراکم پذیر یا غیر تراکم پذیر است.
Physics-۲	ویسکوزیته که شامل حالت های سیال غیر ویسکوز و ویسکوز است. - در مطالعه حاضر برای این گزینه مدل آشفتگی دو معادله ای $k - \epsilon$ در نظر گرفته شده است. شتاب ثقل زمین (Gravity) که این شتاب در جهت قائم مختصات (z-Direction) برابر 9.81- وارد می شود. - کشش سطحی (Surface Tension) حفره زایی (Cavitations) آبشستگی رسوب (Sediment Scour) و ...
Props-۳	مقادیر عددی خواص فیزیکی سیال وارد می شود. این خواص عبارتند از: ویسکوزیته (Viscosity)، جرم حجمی (Density)، تراکم پذیری (Compressibility)، کشش سطحی (Surface Tension)، مشخصات گرمایی (Thermal Properties). واحدها (Units Name)
۴- مش بندی Meshing	برای مشخص کردن حدود مش بندی بلوک هایی مشخص می شود که کلیه اندازه های سازه مورد نظر و فضای آزاد در داخل آن تعریف می شود می توان همه جزئیات سازه مورد نظر را در یک بلوک هم در نظر گرفت. سیستم مختصاتی می تواند از نوع کارت تزی یا استوانه ای باشد
۵- شرایط مرزی (Boundaries)	در مختصات کارت تزی برای تعریف شرایط مرزی ۶ درجه مشخص داریم که با توجه به جهت مثبت X و Y و Z شامل $Z_{max}, Z_{min}, Y_{max}, Y_{min}, X_{max}, X_{min}$ می باشد. (لازم به ذکر است که کلیه این مشخصات در یک بلوک تعریف می شوند در صورتیکه چند بلوک داشته باشیم برای هر یک به طور جداگانه شرایط مرزی ۶ گانه را می داشتیم).
۶- شرایط اولیه (Initial)	در این قسمت با توجه به ویژگی های مسئله شرایط اولیه اعمال میگردد.
۷- Out put	در این بخش ویژگی ها و امکاناتی برای داشتن مشخصات خاصی از نتایج ارائه می شود
۸- تنظیمات عددی Numerics	در قسمت گزینه های ضمنی (Implicit Options) برای تنش ویسکوز، هدایت گرمایی و غیره امکان انتخاب بین حل صریح یا ضمنی وجود دارد- در بخش جابجایی مونتیم

مدلسازی پارشال فلوم با شرایط جریان آزاد و جریان مستغرق توسط نرم افزار FLOW 3D :

پارشال فلوم ها سازه های هیدرولیکی هستند که:

- ۱- اغلب جهت اندازه گیری نرخ جریان (دبی) بکار می روند.
- ۲- بخاطر شکل ویژه ای که دارند ته نشینی ذرات در آن معمولا حذف می گردد و در نتیجه خطای اندازه گیری دبی به حداقل می رسد
- ۳- پارشال فلوم ها نسبت به سرریزها ارجحیت دارند زیرا افت هد در آنها ۰.۲۵٪ کمتر از سرریزها است



در تحقیق حاضر یک پارشال فلوم به طول یک فوت توسط نرم افزار Flow-3D مدل گردیده است. داده های مدل از جدول استاندارد WMM اقتباس شده است و در پایان نتایج با این جدول مقایسه شده است. جریان درون پارشال فلوم شامل دو حالت جریان آزاد و جریان تمام مستغرق می باشد.

۴- پارشال فلوم از سه قسمت تشکیل شده است :

الف : دهانه ورودی همگرا با بستر افقی به طول ۱٫۲۵ فوت هد ورودی روی دهانه ورودی ۰٫۷۵ فوت

ب: گلوپی باریک شیب دار

ج: دهانه خروجی واگرا با شیب معکوس روبه بالا به طول ۱٫۲۵ فوت تراز آب پایاب ۰٫۷۵ فوت

باتوجه به شکل متقارن مدل فقط نصف شکل مدل می گردد. شبکه ای که برای مدل ساخته شده است دارای ۸۰ چشمه (سلول) در جهت طولی (x) ۱۴ چشمه (سلول) در جهت عرضی (y) ۱۸ چشمه (سلول) در جهت عمودی (z) با توجه به سلول های مرزی جمعاً ۲۶۸۸۰ سلول مدل را تشکیل می دهد .

جهت مدل سازی قسمت های مختلف، از دو بلوک استفاده شده است. شرایط مرزی برای مدل عبارتند از: شرایط مشخص و معین فشار هیدرواستاتیک در ورودی و خروجی پارشال فلوم. شرایط اولیه عبارت است از هد برابر بالادست و پایین دست. چگالی و ویسکوزیته استاندارد برای آب در نظر گرفته شده است. برای مسئله مدل آشفتگی در نظر گرفته شده است. جهت مدل سازی آشفتگی از روش LES استفاده شده است. (Large Eddy Simulation). از تنش برشی دیواره ها صرف نظر شده است

حالت اول جریان آزاد در پارشال فلوم :

در حالت اول ارتفاع پایاب ۰٫۲۵ ft بالاتر از تاج فلوم انتخاب شده است. زمان مورد نیاز برای انجام مدل ۱۱٫۷۷ ثانیه بوده است. در این لحظه دبی و فشار جریان ورودی به پارشال فلوم در مقطع H اندازه گیری و با کمترین ۱٪ اختلاف پایدار شده است. جریان در حین عبور از تاج و بستر شیب دار مقطع واگرای فلوم خیلی آرام می باشد. فقط پایین دست خروجی فلوم، جریان برای برگشتن به حالت عادی پرش هیدرولیکی از خود نشان می دهد. حداکثر سرعت جریان در مرکز خروجی فلوم است. براساس جدول شماره ۱۶ راهنمای WMM دبی مورد انتظار تحت شرایط جریان آزاد برابر ۲٫۸۵ cfs است. دبی محاسبه شده ورودی فلوم برابر است با ۲٫۷۲ cfs که از ۲٫۸۵ ft که در جدول شماره ۱۶ WMM درج شده ۴٫۶٪ کمتر است. هد مورد نیاز برای دبی محاسبه شده براساس جدول شماره ۱۶ برابر با ۰٫۷۷۶ می باشد. این مقدار تنها ۳٪ کمتر از میزان مورد استفاده ما است. مقدار گزارش شده در WMM از روابط تجربی به دست آمده و شامل

تعدادی اندازه گیری تقریبی است. به عنوان مثال در گزارش غیررسمی هیلار پک از اداره احیا اراضی تحت عنوان «جریان مستغرق در پارشال فلوم ها» PAP-523، آوریل ۱۹۸۸، دبی اندازه گیری شده دریک پارشال فلوم یک فوتی که در منطقه نصب شده بود به خوبی منطبق بر رابطه تجربی زیراست :

$$Q = 3.95H_a^{1.55} \quad (1)$$

با استفاده از این رابطه، دبی برای هد ۰٫۸ ft برابر است با ۲٫۷۹۵ cfs که تنها ۲٫۶۸٪ بیشتر از محاسبات ما است. به هر حال با در نظر گرفتن تحلیل عددی و ناحیه محدود بالادست مدل، محاسبات بطور قابل توجهی (۲٫۶۸٪) برای اندازه گیری دبی دقیق هستند.

استغراق پارشال فلوم:

برای تشریح قابلیت های Flow-3D در شرایط مستغرق، ارتفاع پایاب را ۰٫۶۸ ft که ۸۵٪ ارتفاع سراب (به عبارت دیگر ۸۵٪ ارتفاع استغراق) انتخاب نموده ایم.

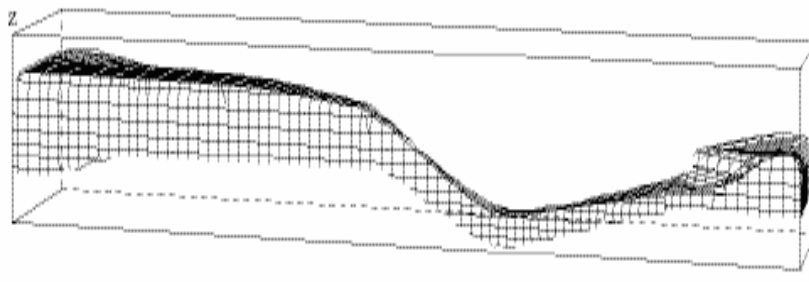
محاسبات ظرف ۱۵ ثانیه انجام شد که در آن زمان دبی سراب حدود ۰٫۸٪ تغییر کرد و فشار در ناحیه H_a حدود ۱٪ افت داشت. در ناحیه H_b یک تغییر فشار بیشتر به دلیل اختلال های کم جریان در ناحیه پایین دست جایی که جریان دستخوش بلندای پرش می شود، وجود دارد. گرچه جریان مستغرق می شود، اما نتایج Flow-3D بسیار منظم هستند و واضح به نظر می رسند. در حین دستیابی به این نتایج هیچ گونه مشکلات محاسباتی مشاهده نمی شود. در جداول اشکال و نمودارهای این محاسبات نمایش داده شده است.

جریان شامل یک پرش هیدرولیکی کوچک در پایین دست گلوبی است. به دنبال پرش یک سرعت نسبی کم در لایه بالایی جریان بوجود می آید در موارد واقعی این ناحیه یک پرش هیدرولیکی آشفته شامل تعدادی جریان معکوس اما غیر قابل رویت است، (احتمالا به علت نتیجه عددی محدود شده و یا آشفنگی LES مدل استفاده شده در محاسبات). سطح پرش حدودا برابر ارتفاع یک سلول شبکه محاسباتی می باشد. به دلیل اینکه مدل به روابط بقای جرم و اندازه حرکت فرمول بندی می شود، انتظار می رود دبی و تغییر ارتفاع ها درست باشد. حتی اگر تمام جزییات ناحیه انتقالی پیش بینی نکرده باشیم. دبی محاسبه شده در این مورد مستغرق برابر ۲٫۵۶ cfs که ۹۴٪ دبی محاسبه شده تحت شرایط جریان آزاد است. این مقدار هنگامی که محاسبات را طولانی تر ادامه میدهیم ممکن است اندکی نسبت به حالت جریان آزاد دبی کاهش یابد که دلیل بر وجود استغراق است. اگر اطلاعات جدید بیشتری از گزارش غیر رسمی پک را که ذکر شد مورد استفاده قرار دهیم، ۸۵٪ دبی مستغرق برابر ۲٫۷۵ cfs خواهد بود که در آن مورد دبی محاسبه شده ما تنها ۰٫۶٪ کمتر است. گذشته از این، اطلاعات پک پیش بینی می کند که جریان ۹۲٪ دبی جریان آزاد از ۸۵٪ جریان استغراق خواهد بود. در صورتی که محاسبات ما ۹۴٪ را نشان می دهند. این مقایسه ها به خوبی قابل توجه است.

نتایج :

از بررسی نتایج مدل سازی پارشال فلوم به دقت بسیار بالای نتایج و نمودارهای نرم افزار flow 3D با نتایج عملی و آزمایشگاهی پی برده میشود. در شکل شماره ۲ مش بندی مسئله ارائه شده است. که کل مجموعه شامل ۸۰ چشمه (سلول) در جهت طولی (X) ۱۴ چشمه (سلول) در جهت عرضی (Y) ۱۸ چشمه (سلول) در جهت عمودی (Z) با توجه به سلول های مرزی جمعا ۲۶۸۸۰ سلول مدل را میبشد. تشکیل می دهد. در جدول نمودارهای شماره ۲ نتایج بردارهای فشار برای جریان آزاد ارائه گردیده است. دقت محاسبات با افزایش زمان اتمام محاسبات بالاتر میگردد. و در ۱۱ ثانیه جریان به نتایج واقعی بسیار نزدیک میگردد. البته زمان از یک حد مشخصی بالاتر در دقت محاسبات تاثیری ندارد. این امر با سعی و خطا حاصل میگردد.

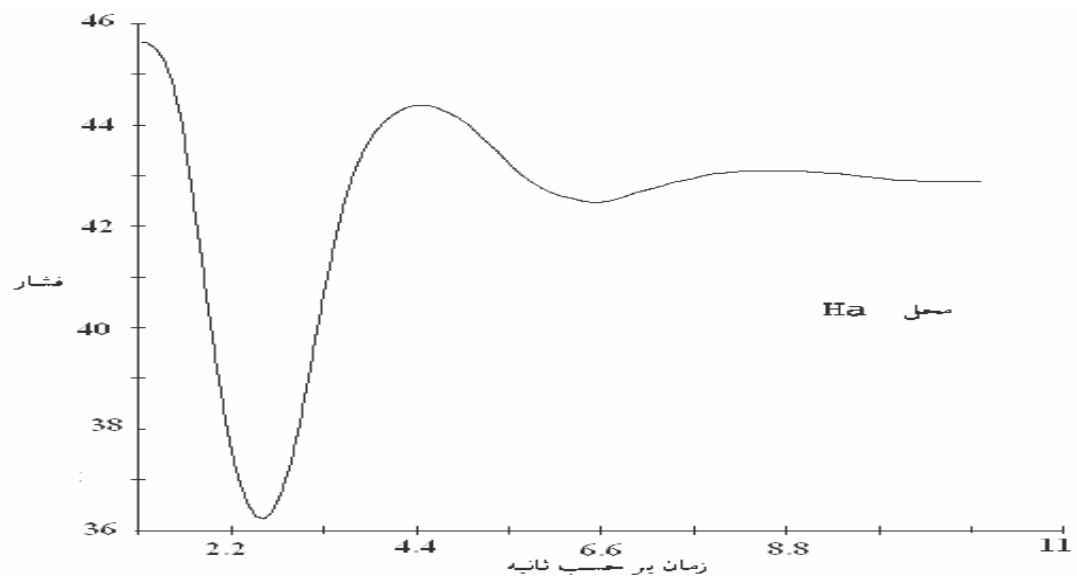
t=10.00 x=3 to 82 y=2 to 15 z=2 to 15



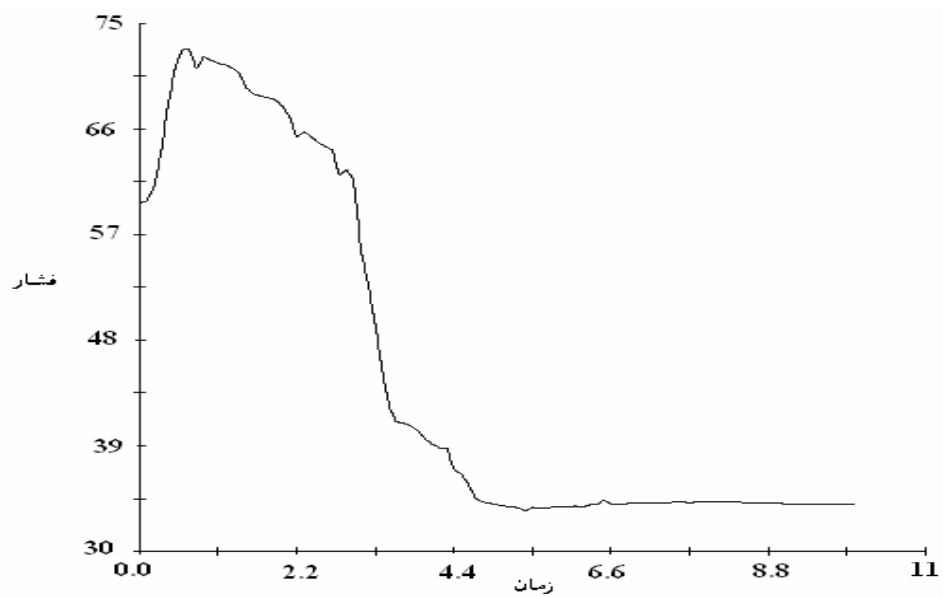
شکل شماره ۱- مش بندی مسئله

جدول شماره ۲- بردارهای فشار درون پارشال فلوم با زمان اتمام محاسبات مختلف

<p>t=1.001 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>0.1 12.2 24.3 36.4 48.5 60.6 72.7</p>	<p>۱-زمان اتمام محاسبات: 0.5 ثانیه</p>
<p>t=2.000 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>-2.2 9.7 21.6 33.5 45.4 57.4 69.3</p>	<p>۲-زمان اتمام محاسبات: ۱ ثانیه</p>
<p>t=2.999 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>-0.6 11.5 23.6 35.7 47.7 59.8 71.9</p>	<p>۳-زمان اتمام محاسبات: ۲ ثانیه</p>
<p>t=7.999 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>-1.7 10.5 22.7 34.9 47.1 59.3 71.5</p>	<p>۴-زمان اتمام محاسبات: ۳ ثانیه</p>
<p>t=7.999 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>-0.5 10.9 22.4 33.9 45.3 56.8 68.3</p>	<p>۵-زمان اتمام محاسبات: ۴ ثانیه</p>
<p>t=10.00 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>-1.7 9.9 21.5 33.1 44.8 56.4 68.0</p>	<p>۶-زمان اتمام محاسبات: ۸ ثانیه</p>
<p>t=10.00 x=3 to 82 y=2 z=2 to 15</p> <p>-1.7 9.9 21.5 33.1 44.8 55.4 68.0</p>	<p>۷-زمان اتمام محاسبات: ۱۰ ثانیه</p>



شکل شماره ۲- نمودار تغییرات فشار در نقطه a با جریان آزاد در پارشال فلوم



شکل شماره ۳- نمودار تغییرات فشار در نقطه b با جریان آزاد در پارشال فلوم

پرش در سطح ارتفاع پایین دست ورودی گلویی تقریباً همیشه نشان از آشفتگی دارد. جریان در این ناحیه با حرکت سریع سیال در سراسر گلویی و گذشتن آرام سطح آن توصیف می شود که لایه های جریان بایک لایه برشی سعی در آمادگی برای از بین بردن آشفتگی گردابه ای دارد. تحولات پرش هیدرولیکی با استفاده از اصول بقای اندازه حرکت و جرم تشریح می شوند. انرژی سینماتیکی متوسط در سراسر پرش ثابت باقی نمی ماند و باید مکانیسمی باشد که انرژی سینماتیکی اضافی را مصرف کند. معمولاً این مکانیسم همان آشفتگی است یعنی افزایش یا افت ناگهانی گردابه ها که سرانجام این انرژی را بصورت صدا و گرما مصرف می کنند.

منابع :

۱-HELP نرم افزار FLOW 3D

2-K. A. WILLIAMS. W. HIRT AND, FLOW-3D® PREDICTIONS FOR FREE DISCHARGE

AND SUBMERGED PARSHALL FLUMES, FLOW SCIENCE INC. JULY 25, 1994