۲۵ امین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک ایران
تهران-دانشگاه تربیت مدرس – ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶
ISME2017-1990

بررسی عددی جریان خون غیر نیوتونی در دو گرفتگی پی‌درپی شریانی بعد از خم ۹۰ درجه با استفاده از نرم‌افزار اپن فوم(OpenFoam)

حسام شیردل[۱]، محسن کهرم[۲]، حمید نیازمند[۳]
دانشگاه فردوسی مشهد-دانشکده مهندسی-گروه مهندسی مکانیک

چکیده
تغییرات همودینامیکی جریان خون در یک شریان با دو گرفتگی متقارن پی‌درپی با کاهش ۷۵ درصدی سطح مقطع و داشتن یک خم ۹۰ درجه در بالا دست گرفتگی جهت واقعی‌تر کردن جریان ورودی به گرفتگی‌ها، به صورت عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد. جریان خون را آرام و پایا در نظر گرفته و در ورودی شریان که قبل از خم ۹۰ درجه می‌باشد، جریان کاملا توسعه یافته با پروفیل سرعت سهموی اعمال می‌شود. همچنین خون به عنوان سیال غیر نیوتونی در نظر گرفته می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بروز گرفتگی بعد از ناحیه خم شده باعث تغییرات شدید در الگوی جریان، کانتورهای سرعت، گرادیان فشار، مقادیر تنش برشی دیواره و بوجود آمدن جریان های برگشتی و نواحی ریسیرکولیشن بین دو گرفتگی و بعد از آنها می‌شود.

واژه های کلیدی: *رگ خمیده-جریان خون-غیر نیوتونی-گرفتگی شریانی*

مقدمه
به طور کلی معمولاً گرفتگی های شریانی در بیمارانی که دچار بیماری‌های دستگاه گردش خون هستند دیده می‌شود. این گرفتگی ها معمولاً باعث ایجاد آشفتگی در جریان شده و پارامترهای همودینامیکی مختلف را تغییر می‌دهد [۱]. از تحقیقات پیشین اینگونه برداشت می‌شود که نواحی بعد از انحنای شریان مناطق مستعدی برای بروز گرفتگی هستند [۲]. لیو و همکاران[۳] با مدل کردن یک گرفتگی بعد از یک خم به بررسی تأثیرات مختلف وجود گرفتگی در بوجود آمدن جریان های ثانویه بالا رفتن مقادیر تنش برشی و بوجود آمدن افت فشار های شدید در طول شریان پرداختند. آن‌ها در این تحقیق جریان را پایا و خون را یک سیال نیوتونی فرض کردند. پاول و همکاران[۴] با در نظر گرفتن سه خم ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه قبل از یک گرفتگی واعمال سرعت های مختلف در ورودی به این نتیجه رسیدند که در نظر گرفتن خم در بالادست جریان باعث تشدید افت فشار بوجود آمده در محل گرفتگی می‌شود. در مطالعه حاضر به مدل کردن دو گرفتگی متقارن کسینوسی پی‌درپی بعد از یک خم ۹۰ درجه پرداخته شده است.

مبانی تئوریک
با توجه به فرض پایا بودن جریان و هم چنین غیر قابل تراکم بودن خون فرم انتگرالی معادلات ناویر استوکس (پیوستگی و ممنتوم) حاکم بر مساله به شکل زیر خواهند بود.

$$\iint \vec{V}.d\vec{A} = 0 \qquad (۱)$$

$$\iint \rho\vec{V}\vec{V}.d\vec{A} = -\iint p\vec{n}.d\vec{A} + \iint \mu\vec{\nabla}\vec{V}.d\vec{A} \qquad (۲)$$

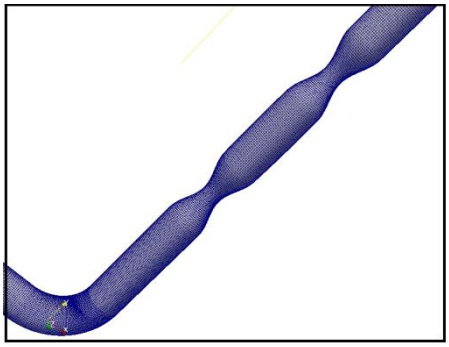
که در این معادلات $\vec{V}$، بردار سرعت P فشار، μ ویسکوزیته و ρ چگالی می باشد. همچنین همان‌گونه که گفته شد در این تحقیق خون، غیر نیوتونی در نظر گرفته شده که جهت مدل کردن لزجت آن از مدل کارو(Carreau) با معادله ای به شکل زیر استفاده شده است.

$$\mu(|\dot{\gamma}|) = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty)[1 + (\lambda\dot{\gamma})^2]^{\frac{n-1}{2}} \qquad (۳)$$

که در این معادله با توجه به مرجع [۱] ضرایب مربوطه برای به دست آوردن لزجت خون در نرخ کرنش های مختلف به شکل $\mu_0 = 0.056$ و $\lambda = 3.131$ و n=0.3568 در نظر گرفته شده است.

در ورودی شریان جریان کاملا توسعه یافته با پروفیل سهموی و رینولدز ۱۰۰۰ اعمال شده است. دیواره رگ را جهت ساده سازی حل عددی صلب در نظر گرفته و بر روی دیواره شرط عدم لغزش اعمال شده است.

روش حل و فرضیه ها
هندسه مساله به صورت یک رگ خمیده با خم ۹۰ درجه و دو گرفتگی متقارن کسینوسی پی‌درپی با کاهش ۷۵ درصد سطح مقطع بعد از خم مدل می‌شود. شبکه بندی هندسه حل توسط نرم افزار گمبیت (gambit 2.4.6) انجام شده و هندسه حل با ۱۱۶۵۰۹۱ گره مش بندی شده است. که این تعداد گره با امتحان کردن تعداد گره های کمتر و بیشتر به عنوان شبکه بندی بهینه انتخاب شده است. قطر رگ برابر با یک سانتی متر در نظر گرفته می‌شود. همچنین حل عددی مساله با استفاده از نرم‌افزار اپن فوم که یک نرم‌افزار حجم محدود است انجام می‌شود که در آن معادلات سرعت و فشار توسط الگوریتم سیمپل کوپل می‌شوند.

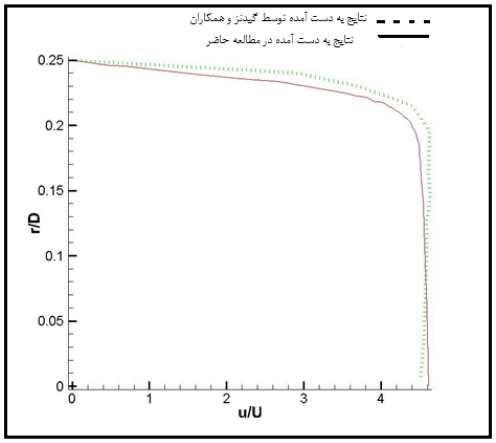


شکل ۱- مدل هندسی شبکه بندی شده

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد،۰۹۱۵۳۵۹۹۰۲۰،hessam9020@yahoo.com(نویسنده مخاطب)
۲- استاد
۳- استاد

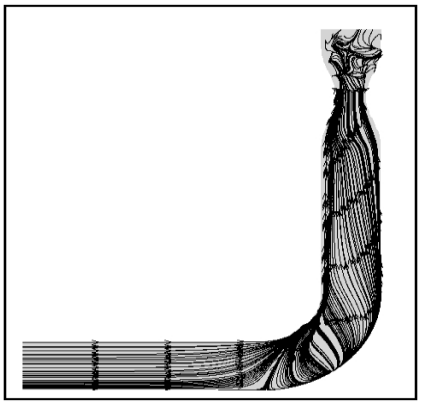
ارایه نتایج و بحث

جهت اعتبارسنجی نتایج عددی موجود از نتایج تجربی به دست آمده توسط ساد و گیدنز[۵] استفاده می‌شود. جهت مقایسه با نتایج تجربی مذکور یک هندسه دویعدی متقارن محوری بدون خم و با یک گرفتگی در نظر گرفته شده و پروفیل سرعت های بدون بعد شده با هم مقایسه می‌شوند. در شکل ۲ این مقایسه دیده می‌شود که همانگونه که مشخص است حل تجربی و حل عددی حاضر تطابق بسیار خوبی با هم دارند.



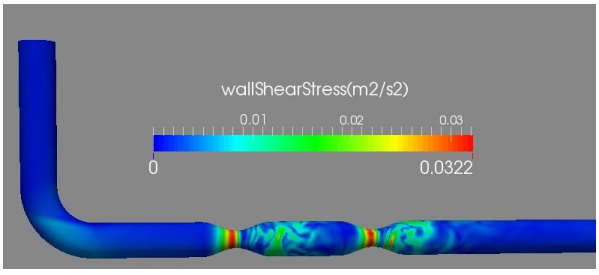
شکل ۲- پروفیل سرعت محوری جهت اعتبار سنجی نتایج

شکل ۳ خطوط جریان را در یک خم ۹۰ درجه و در ورودی گرفتگی ها نشان می‌دهد. آشفتگی های جریان بعد از عبور از گرفتگی دیده شده و اهمیت در نظر گرفتن خم در هندسه مساله به خوبی مشخص می‌شود.

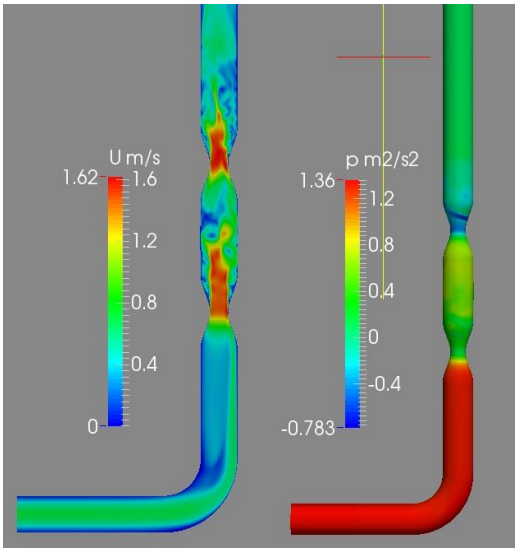


شکل ۳- خطوط جریان

شکل های ۴ مقادیر تنش برشی را نشان داده و شکل ۵ کانتورهای اندازه سرعت و فشار را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- مقادیر تنش برشی دیواره در طول شریان



شکل ۵- کانتور سرعت و کانتور فشار در طول شریان

همانگونه که در شکل ۴ دیده می‌شود مقادیر تنش برشی دیواره شدیدا در محل گرفتگی ها و بر روی خم ۹۰ درجه زیاد شده که این مساله باعث بوجود آمدن گرفتگی‌های جدید تر می‌شود.

نتیجه‌گیری

دو گرفتگی پی‌درپی بعد از یک خم ۹۰ درجه مدل شد و میدان های سرعت و فشار و مقادیر تنش برشی به دست آمد. در خطوط جریان به دست آمده گردابه های تولید شده و جریان برگشتی در محل گرفتگی به خوبی دیده می‌شود. همچنین در کانتور فشار به دست آمده تغییرات و افت فشار های ناگهانی در جریان خون دیده می‌شود که بسیار خطرناک بوده و از عوامل سکته های قلبی می‌باشد. همچنین با مقایسه با مطالعات قبلی مشخص می‌شود که در نظر گرفتن خم در هندسه مساله باعث تشدید افت فشار ناشی از وجود گرفتگی می‌شود. در کانتور سرعت نیز آشفتگی های بوجود آمده در جریان در نواحی بین دو گرفتگی و بعد از آنها و همچنین نواحی با سرعت منفی که نشانگر وجود نقطه عطف در پروفیل سرعت محوری می‌باشد دیده می‌شود. وجود نقطه عطف در پروفیل سرعت می‌تواند باعث گذار جریان به توربولنس شود که باید در مدلسازی های عددی به آن توجه گردد.

مراجع

[1] M.M. Molla, M.C. Paul," LES of non-Newtonian physiological blood flow in a model of arterial stenosis", *Medical Engineering & Physics 34* (2012) 1079–1087

[2] R.K. Dash, G. Jayaraman. "Flow in a catheterized curved artery with stenosis", *Journal of Biomechanics 16*, (1999) 49-61

[3] Biyue Liu," The influences of stenosis on the downstream flow pattern in curved arteries", *Medical Engineering & Physics 29*, (2007) 281–294

[4] M.A. Hye ,M.C. Paul "A computational study on spiral blood flow in stenosed arteries with and without an upstream curved section", *Applied Mathematical Modelling 39* (2015) 4746–4766

[5] Saad AA, Giddens DP. "Velocity measurements in steady flow through axisymmetric stenoses at Moderate Reynolds numbers, *J. Biomech*. 16, (1983) 505–516

ISME

Certificate

TMU

ISME 2017

«گواهی ارائه مقاله»

با اهدای سلام و احترام، بدینوسیله گواهی میشود فرهیخته گرامی؛ سرکار خانم /جناب آقای

حسام شیردل، محسن کهرم، حمید نیازمند

در بیست و پنجمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک ایران ISME2017، که از تاریخ ۱۲ تا ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۶ در دانشگاه تربیت مدرس با همکاری انجمن مهندسان مکانیک ایران برگزار شد حضور داشته و مقاله خود را با عنوان

بررسی عددی جریان خون غیر نیوتونی در دو گرفتگی پی‌درپی شریانی بعد از خم ۹۰ درجه با استفاده از نرم‌افزار اپن فوم(OpenFoam)

در نشست علمی کنفرانس ارائه نموده اند. امیدوار است که همایش بین المللی مهندسی مکانیک ایران در سال های آینده نیز شاهد حضور ارزنده حضرتعالی باشد.

باآرزوی مزید توفیقات

دکتر غلامحسین لیاقت
دبیر همایش

Tarbiat Modares University
ISME 2017
25th Annual International Conference on Mechanical Engineering

دکتر اکبر علی بیگلو
دبیر علمی