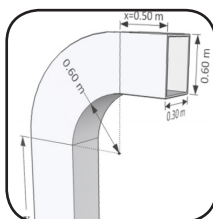
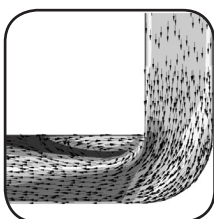


مطالعه مطالب در کانال صنعت تهویه و تاسیسات
<https://telegram.me/hvacmag>



شبیه سازی عددی ضرایب افت فشار موضعی در اتصالات کانال های تهویه

مترجم: امید دیمی، کارشناس ارشد مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)
شرکت دانش بنیان بهسازان آب و انرژی بیرجند





چکیده

دانستن ضرایب افت موضعی برای محاسبه دقیق افت فشار در کانال‌های تهویه مهم است. در عمل، افت فشار کانال تهویه اغلب پیش‌بینی می‌شود؛ به‌طوری‌که سبب طراحی نادرست فن تهویه می‌گردد. تعداد زیادی از ضرایب افت موضعی موجود است، اما داده‌های منتشر شده متفاوتند. ضریب افت موضعی را می‌توان به‌طور تجربی با اندازه‌گیری روی مدل واقعی و یا با استفاده از شبیه‌سازی عددی تخمین زد. این مقاله، به‌کارگیری شبیه‌سازی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی^۱ برای ضرایب افت موضعی در اتصالات کانال‌های تهویه (به‌خصوص زانویی‌ها و خم‌ها) را ارائه می‌کند. همچنین، نتایج این شبیه‌سازی با داده‌های منتشر شده مقایسه می‌شوند.

کلید واژگان: شبیه‌سازی CFD، ضریب افت موضعی، افت فشار.

۱- (Computational Fluid Dynamics (CFD

۱- مقدمه

«گرمایش و تهویه» تألیف رکناجل و همکارانش [۴] می باشد که داده های مختلفی از ضرایب افت موضعی را منتشر کرده است. یافتن این داده ها در منابع چک و اسلواکی نیز امکان پذیر است. گرچه منابع کشور چک بر مقادیر ایدلچیک بنا شده [۵]. اما منابع کشور اسلواکی از داده های کتاب راهنمای رکناجل^۳ استفاده می کنند [۶].

تجزیه و تحلیل های ارائه شده، ضرایب افت موضعی را به صورت تحلیلی توصیف می کنند. در نتیجه، به کارگیری این نتایج برای محاسبات عملی امکان پذیر خواهد بود.

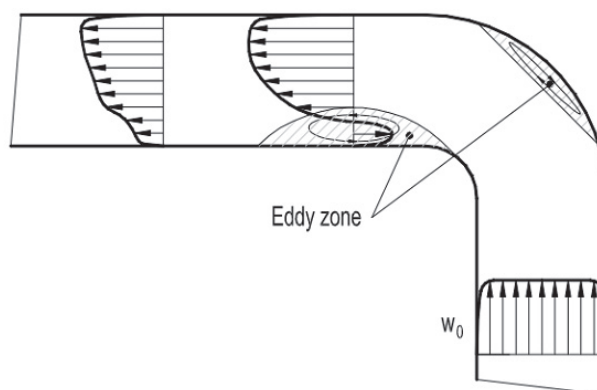
اتصالات اصلی کانال ها همچون زانویی ها و خم ها جهت جریان را تغییر می دهند. در کانال مستقیم، پروفیل های سرعت و فشار به خوبی بالانس و هم ترازند. زمانی که سیال وارد اتصالات می شود، پروفیل های سرعت و فشار به هم می ریزند (شکل ۱). تغییر شکل پروفیل سرعت، به دلیل شرایط هندسی اتصالات کانال به وجود می آید. ناحیه ای گردابی می تواند در اتصالات ایجاد شود که بر شکل پروفیل سرعت اثرگذار است (شکل ۱). پس از عبور سیال از درون اتصالات، پروفیل سرعت تلاش می کند که بالانس و هم تراز شود. این واقعیت که در بالا شرح داده شد (تغییر شکل پروفیل سرعت)، افت فشار موضعی را سبب می گردد.

Recknagel-۳

افت فشارهای موضعی (مقاومت محلی) به واسطه حرکت سیال از داخل اتصالات کانال به وجود می آیند، که این اتصالات یا سبب تغییر جهت جریان می شوند (در زانویی ها و خم ها) و یا جریان را در کانال مستقیم با سطح مقطع ثابت تحت تأثیر قرار می دهند (همانند دریچه ها، شیرها و فیلترها). ضریب افت فشار موضعی ξ برای اتصالات خاص را می توان صرفاً با آزمایش تعیین کرد که این داده ها در منابع مختلف یافت می شوند.

از آنجایی که اندازه گیری تجربی (آزمایشگاهی) ضریب افت فشار موضعی در کانال واقعی، پُر هزینه و زمان بر است؛ لذا امکان استفاده از مزایای شبیه سازی رایانه ای با مدل سازی در یک نرم افزار CFD وجود دارد. نتایج شبیه سازی عددی با داده های منتشر شده در مقالات مقایسه می شوند. ایدلچیک^۲ در سال ۱۹۶۰ کار گسترده ای را منتشر کرده که داده هایش صحیح به نظر می رسند. کار وی همچنین در ایالات متحده امریکا ویرایش شد [۱]. هندبوک [۲،۳] ASHRAE نیز در فصل مربوط به طراحی کانال، از داده های ایدلچیک استفاده می کند. منبع بعدی، کتاب راهنمای آلمانی

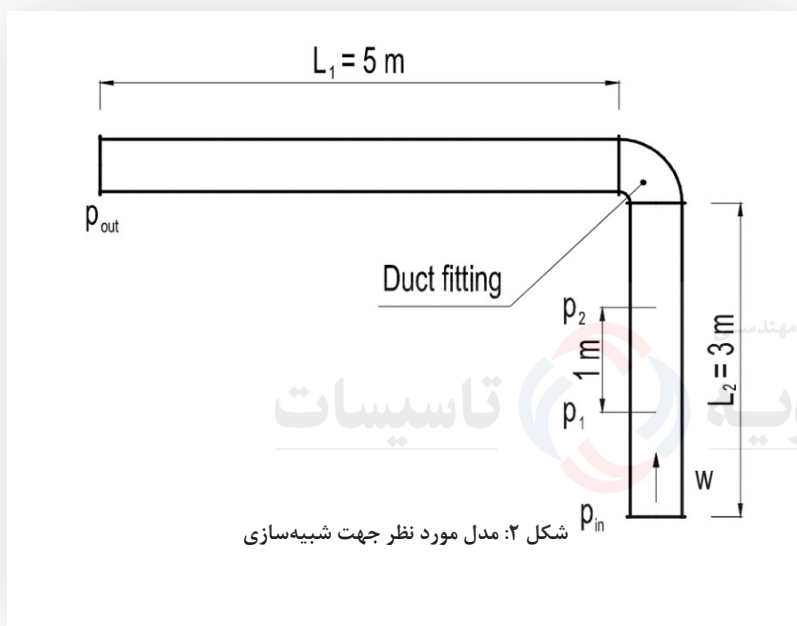
Idelchik-۲



شکل ۱: پروفیل های سرعت در کانالی همراه با زانویی

۲- روش های تحقیق

نرم افزار شبیه سازی عددی فلوئنت نسخه ی ۶.۲ برای محاسبات استفاده گردید. مدل سه بعدی در نرم افزار گمبیت ایجاد شد. تعداد حجم کنترل ها متفاوت بوده و برای حالت های ارائه شده بین ۵۰۰/۰۰۰ و ۲/۰۰۰/۰۰۰ سلول می باشد. شکل ۲، سامانه مورد مطالعه جهت شبیه سازی را نشان می دهد. این مدل از سه قسمت اصلی تشکیل شده است: اتصال، کانال ورودی و کانال خروجی. بین دو کانال مستقیم (شامل ۳ متر طول در ورودی و ۵ متر طول در خروجی) یک اتصال قرار گرفته است.



سرعت w در کانال برای تمامی حالت های مورد تحلیل، ثابت و برابر 5 m/s انتخاب شده است. نتایج ارائه شده برای جریان آشفته معتبرند. مدل توربولانسی (RNG and standard wall function) برای محاسبات استفاده شد. زبری دیواره های کانال برای تمامی حالت ها، صفر (مربوط به جداره های صاف) در نظر گرفته شد.

۲-۱- تعیین ضریب افت فشار موضعی

افت فشار کلی کانال تهویه (در شکل ۲)، برابر است با اختلاف فشار ورودی و خروجی و همچنین برابر است با مجموع افت فشار اصطکاکی و موضعی.

$$\Delta p = p_{in} - p_{out} = \Delta p_{fr} + \Delta p_{loc} \quad (1)$$

افت فشار مخصوص (یا ویژه) ناشی از اصطکاک، F ، می تواند از یک متر کانال مکش مستقیم (شکل ۲) به دست آید:

$$F = p_1 - p_2 \quad (۲)$$

افت فشار ناشی از اصطکاک، تابعی از طول کل کانال مستقیم است:

$$\Delta p_{fr} = F(L_1 + L_2) \quad (۳)$$

افت فشار موضعی را می توان به صورت حاصل ضرب ضریب افت فشار موضعی و فشار دینامیکی تخمین زد:

$$\Delta p_{loc} = \xi \frac{w^2}{2} \rho \quad (۴)$$

پس از جایگزینی رابطه (۴) در (۱)، ضریب افت فشار موضعی به صورت زیر به دست می آید:

$$\xi = \frac{2(\Delta p - \Delta p_{fr})}{w^2 \rho} \quad (۵)$$

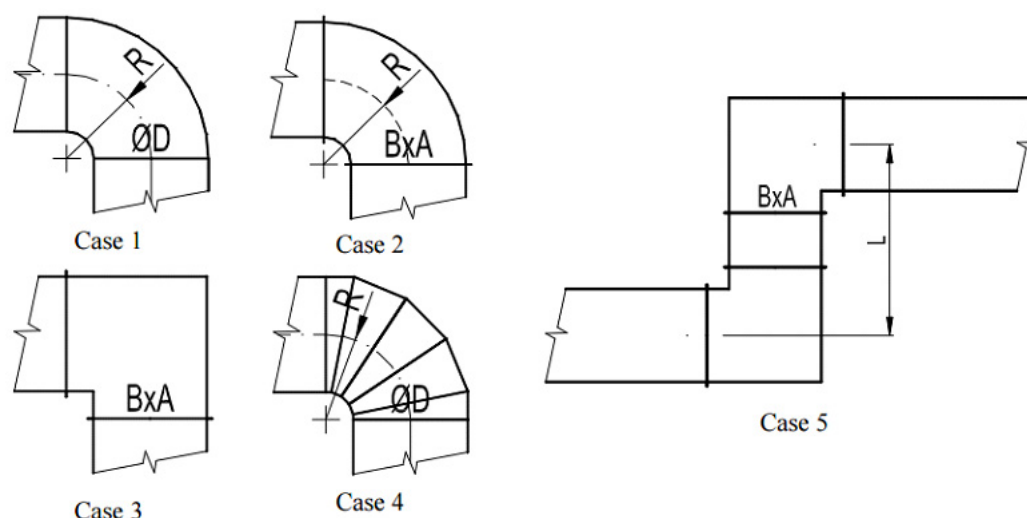
جهت سهولت در محاسبات مهندسی، ضریب افت فشار موضعی کلی به شکل مجموع ضریب مقاومت محلی و اصطکاکی تعیین می شود [۱]:

$$\xi = \xi_{loc} + \xi_{fr} \quad (۶)$$

۲-۱- نمونه اتصالات مورد آزمایش

این مقاله با آزمایش اتصالات کانال که جهت جریان را ۹۰ درجه تغییر می دهند، همراه است. اتصالات مورد آزمایش به شرح زیر و در شکل ۳ مشخص شده اند.

- حالت ۱: زانویی گرد ۹۰ درجه
- حالت ۲: زانویی مستطیلی ۹۰ درجه
- حالت ۳: زانویی مستطیلی با گوشه های تیز ۹۰ درجه
- حالت ۴: زانویی گرد قطعه قطعه شده ۹۰ درجه
- حالت ۵: زانویی Z شکل با گوشه های تیز

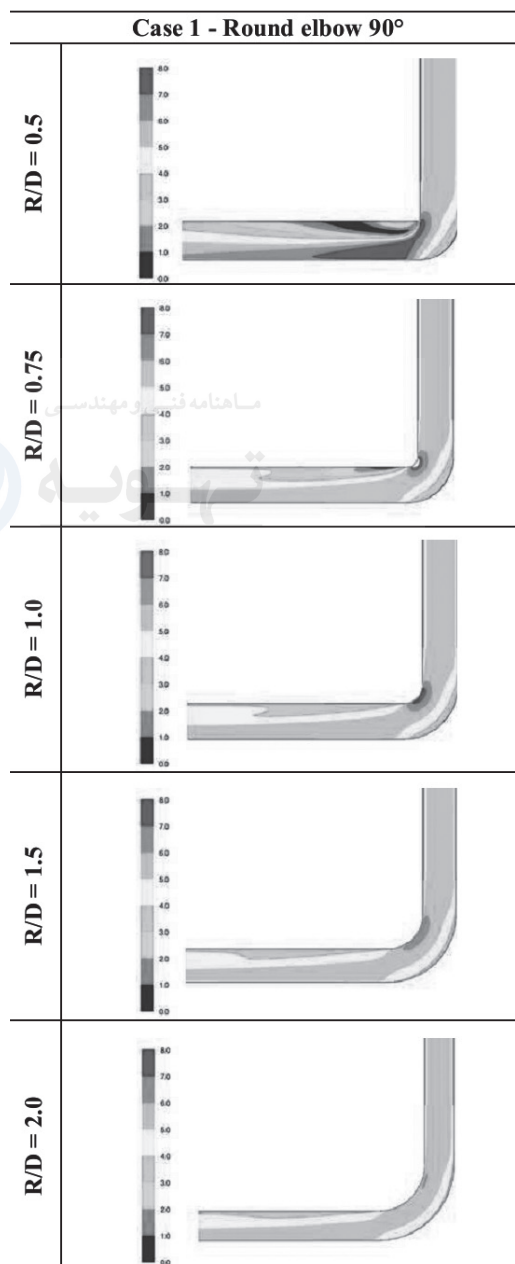


شکل ۳: نمایش شماتیک اتصالات کانال

۳- نتایج و بحث

• حالت ۱: زانویی گرد ۹۰ درجه

هندسه زانویی گرد ۹۰ درجه با نسبت R/D مشخص شده است. شکل ۴، کانتورهای سرعت را برای تمام وضعیت‌های مورد تحلیل، نشان می‌دهد. در شکل ۵، نمونه‌ای از بردارهای سرعت برای نسبت R/D=0.5 نمایش داده شده است.

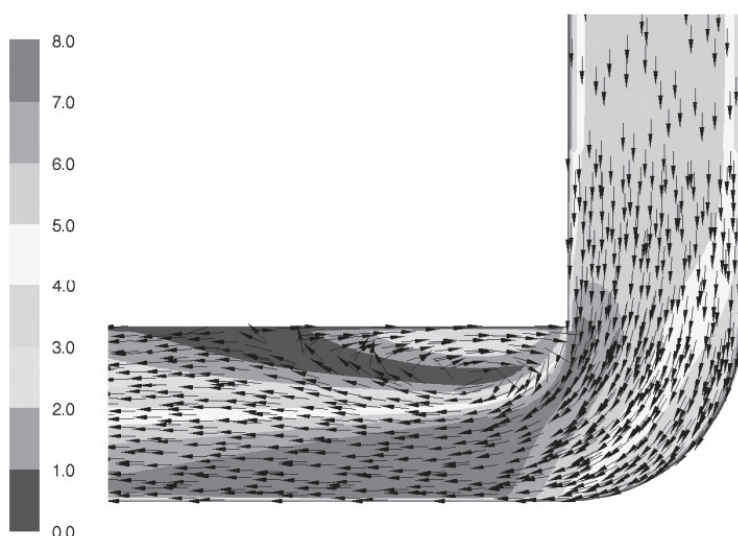


نتایج شبیه‌سازی CFD در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضرایب افت فشار موضعی حاصل از شبیه‌سازی کمتر از داده‌های منتشر شده می‌باشند.

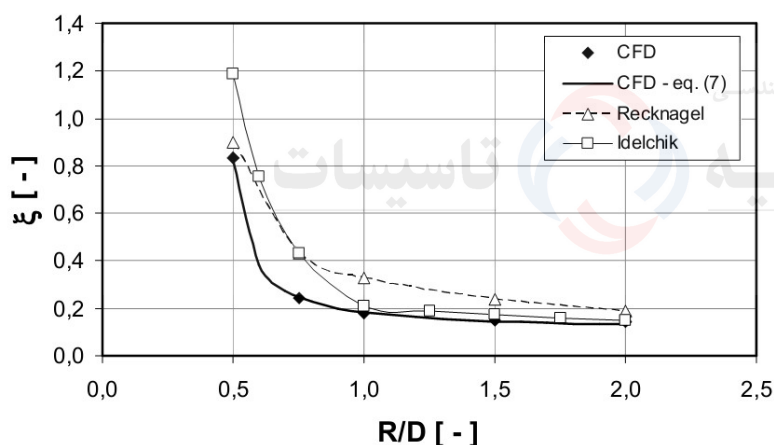
بر اساس نتایج شبیه‌سازی عددی، یک رابطه تحلیلی به شکل زیر استخراج شد:

$$\xi_1 = \frac{R}{D} \left[9.69 \frac{R}{D} - 4.24 \right]^{-1} \quad (7)$$

شکل ۴: کانتورهای سرعت - حالت ۱

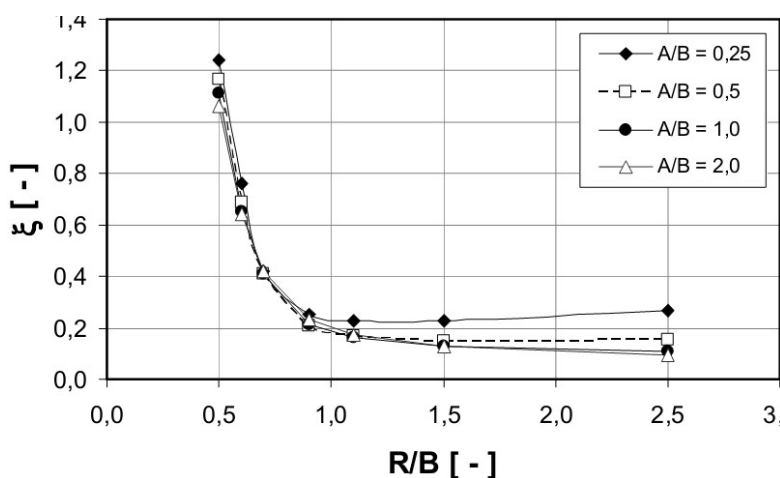

 شکل ۵: بردارهای سرعت - حالت ۱ ($R/D=0.5$)

حالت ۲: زانویی مستطیلی ۹۰ درجه
 حالت بعدی، زانویی مستطیلی ۹۰ درجه است. شعاع لبه‌های داخلی و خارجی با نسبت R/B مشخص می‌شود. ضریب افت فشار موضعی ξ با نسبت ارتفاع و عرض کانال (A/B) نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی در شکل ۷ نشان داده شده‌اند.

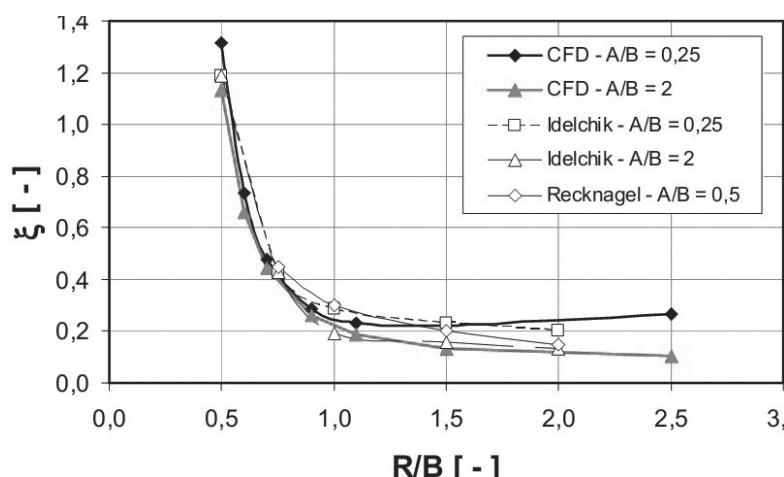


شکل ۶: مقایسه نتایج - حالت ۱

اثر نسبت A/B قابل مشاهده است. این اثر خصوصاً برای مقادیر $R/B > 1$ و $A/B < 1$ نمی‌تواند نادیده گرفته شود. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، برای پارامترهای $R/B > 1$ ، R/B و $A/B=2$ به ضریب افت فشار موضعی ξ کوچک‌تر می‌شود. همان‌طور که از مقایسه نتایج در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، داده‌های منتشر شده، حقایق گفته شده را رد نمی‌کنند.



شکل ۷: نتایج شبیه‌سازی - حالت ۲



شکل ۸: مقایسه نتایج - حالت ۲



شکل ۹: کانطور و بردارهای سرعت - حالت ۳

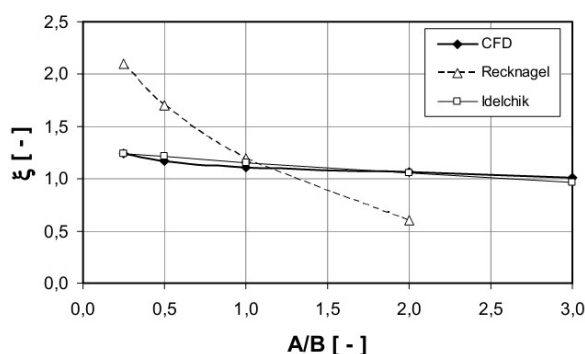
بر اساس نتایج شبیه سازی عددی، رابطه ی تحلیلی ضریب افت فشار موضعی با پارامترهای هندسی این اتصال، استخراج گردید:

$$\xi_1 = C_1 \left(\frac{R}{B}\right)^{-1} + C_2 \exp \left[C_3 \left(\frac{R}{B}\right)^{-1} \right] \quad (8)$$

$$C_1 = \frac{A}{B} \left[-0.069 - 3.458 \left(\frac{A}{B}\right)^2 \right]^{-1} \quad \text{که}$$

$$C_2 = 0.092 \left(\frac{A}{B}\right)^{-1} + 0.046 \quad (9)$$

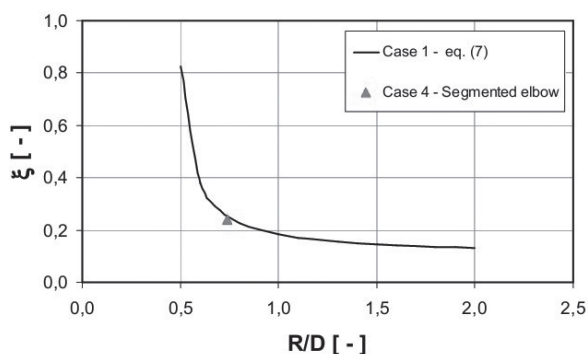
$$C_3 = 1.247 + 0.177 \ln \left(\frac{A}{B}\right)$$



شکل ۱۰: مقایسه نتایج - حالت ۲

حالت ۳: زانویی مستطیلی با گوشه های تیز ۹۰ درجه

انطباق بسیار خوبی با داده های ایدلچیک [۱] برای زانویی مستطیلی با گوشه های تیز به دست آمد (شکل ۱۰). در مقابل، مقادیر ξ منتشر شده در منبع آلمانی رکناجل [۴] کاملاً متفاوتند. گوشه تیز داخلی عمدتاً بر افت فشار موضعی اثر می گذارد، بنابراین بین ضریب ξ و نسبت A/B عملاً رابطه ی مستقیم برقرار است. ابعاد زانویی تعریف شده با A/B نیز بر افت فشار موضعی اثر دارد؛ اما همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، این اثر اندک است.



نتیجه شبیه‌سازی CFD برای زانویی گرد قطعه‌قطعه شده (۵ قسمت) در اصل با نتایج زانویی گرد ساده (حالت ۱) مرتبط است.

حالت ۵: زانویی Z شکل با گوشه‌های تیز

آخرین حالت، از یک جفت زانویی ۹۰ درجه‌ای متصل به هم تشکیل شده که یک زانویی Z شکل را نمایش می‌دهد. هدف این بررسی، یافتن فاصله‌ی L در زمانی است که ضریب افت فشار این حالت دو برابر ضریب افت در زانویی تکی ۹۰ درجه باشد. $(\xi_5 = 2\xi_3)$.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، رابطه $\xi_3 = f(A/B)$ کاملاً یکنواخت یا تخت است. بنابراین، تنها یک حالت هندسی ($A/B=1$) مورد تحلیل قرار گرفته است. شکل ۱۵ کانتورهای سرعت را برای شرایط انتخابی نشان می‌دهد.

شکل ۱۴ نتایج شبیه‌سازی به کمک CFD برای زانویی Z شکل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش فاصله نسبی L/B بین محورهای دو زانویی تکی، ابتدا به افزایش شدید ضریب افت فشار کلی منجر شده و سپس وقتی که به مقدار بیشینه معینی رسید، تدریجاً به یک مقدار تقریباً مساوی با دو برابر ضریب افت موضعی در یک زانویی تکی ۹۰ درجه (حالت ۳) کاهش می‌یابد.

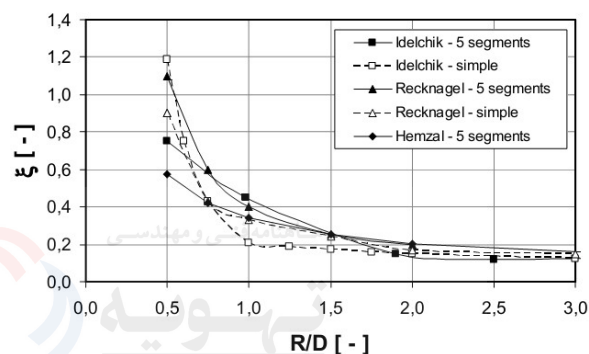
خط نقطه‌چین در شکل ۱۴، رابطه‌ی $\xi_5 = 2\xi_3$ را نشان می‌دهد. این محاسبه ساده می‌تواند برای حالت‌هایی استفاده شود که $L > 2.5m$ ($L/B > 5$) باشد. شکل ۱۴ همچنین مقایسه نتایج شبیه‌سازی CFD با داده‌های منتشرشده را نمایش می‌دهد. در قسمت

بر اساس نتایج شبیه‌سازی عددی، یک رابطه‌ی تحلیلی ساده برای ضریب افت فشار موضعی به دست آمد:

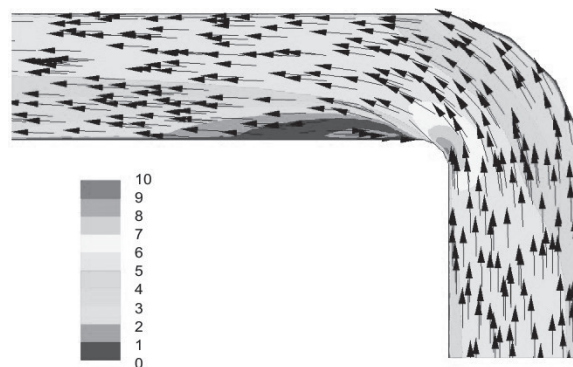
$$\xi_3 = 1.11 \left(\frac{A}{B} \right)^{-0.08} \quad (10)$$

حالت ۴: زانویی گرد قطعه‌قطعه‌شده‌ی ۹۰ درجه

شکل ۱۱ مقایسه‌ی داده‌های منتشرشده پیرامون ضریب افت موضعی برای زانویی گرد ساده (حالت ۱) و گرد قطعه‌قطعه شده (حالت ۴) را نشان می‌دهد. تفاوت این داده‌ها در شکل ۱۱ مشهود است.



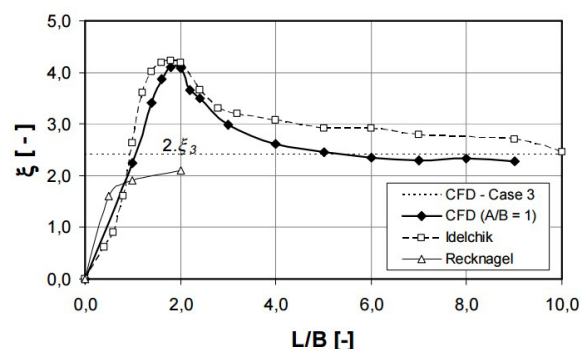
شکل ۱۱: مقایسه داده‌های منتشرشده برای زانویی گرد ساده و زانویی گرد قطعه‌قطعه شده



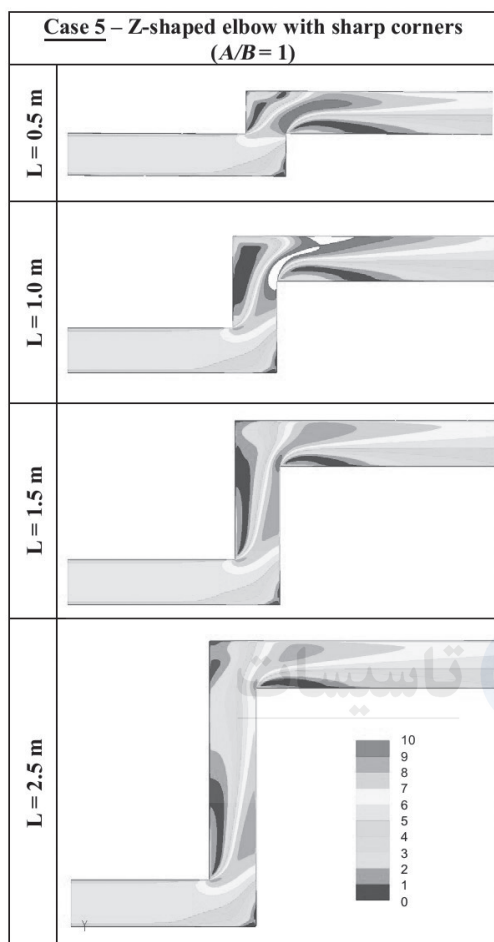
شکل ۱۲: کانتور و بردارهای سرعت - حالت ۴

ایجاد مدل زانویی قطعه‌قطعه‌شده در نرم‌افزار CFD و یا در گمبیت بسیار پیچیده است. بنابراین تنها یک حالت هندسی ($R/D=0.74$) شبیه‌سازی شد. نتیجه این شبیه‌سازی با نتایج شبیه‌سازی به دست آمده در حالت ۱ مقایسه گردید (شکل ۱۳).

L/B کمتر، نتایج انطباق خوبی با داده‌های ایدلچیک نشان می‌دهد. برای $L/B > 3$ ، نتایج بدست آمده کمی متفاوتند. در مقابل، داده‌های منتشرشده توسط رکناجل به نظر می‌رسد که ناقص باشد و خصوصاً برای $L/B > 1$ روند متفاوتی را نشان می‌دهند. استفاده از این داده‌ها را برای محاسبات عملی نمی‌توان پیشنهاد کرد.



شکل ۱۴: مقایسه نتایج - حالت ۵



شکل ۱۵: کانتورهای سرعت - حالت ۵

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله مزایای استفاده از شبیه‌سازی CFD برای تحلیل ضریب افت فشار موضعی (مقاومت محلی) در اتصالات کانال را بیان می‌کند. در مقایسه با روش‌های آزمایشگاهی استاندارد، شبیه‌سازی رایانه‌ای نیازی به وسایل اندازه‌گیری گران‌قیمت ندارد. انجام سریع آزمایش و حصول ساده نتایج نیز از دیگر مزایا می‌باشند. در این مقاله، اتصالات اصلی کانال‌ها، که برای تغییر جهت جریان استفاده می‌شوند، همچون زانویی‌ها و خم‌ها، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج این شبیه‌سازی با داده‌های منتشر شده قابل قبول مقایسه شدند. در این نگاه (دیدگاه)، نتایج حاصله بسیار جالبند. گرچه نتایج منتشر شده توسط ایدلچیک در کار گسترده‌اش، رفتاری مشابه با نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهند، اما برخی داده‌های منتشر شده در منبع آلمانی رکناجل برای محاسبات عملی پیشنهاد نمی‌شود.

۵- کار آتی

شبیه‌سازی‌های ارائه شده تنها بر روی زانویی‌ها و خم‌ها متمرکز شده است. روش شبیه‌سازی عددی در CFD انجام سایر تحلیل‌ها را ممکن می‌سازد. یک روش مشابه می‌تواند برای سایر اتصالات تهویه همچون دیفیوزرها (پخش‌کننده‌ها)، انشعابات و ... مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست علائم

A	ارتفاع کانال (m)
B	عرض کانال (m)
D	قطر کانال (m)
F	افت فشار اصطکاکی مخصوص (Pa/m)
L	طول کانال (m)
p_{in}	فشار ورودی (Pa)
p_{out}	فشار خروجی (Pa)
Δp	افت فشار کلی (Pa)
Δp_{fr}	افت فشار ناشی از اصطکاک (درگ اصطکاکی) (Pa)
Δp_{loc}	افت فشار موضعی (مقاومت محلی) (Pa)
R	شعاع انحنای محور زانویی (m)
w	سرعت هوا (m/s)
ξ	ضریب افت فشار موضعی
ν	لزجت سینماتیکی $= 1.49 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
ρ	چگالی هوا $= 1.2 \text{ kg/m}^3$

منابع

- [۱] Idelchik I.E. Handbook of Hydraulic Resistance. ۳rd edition, ۱۹۹۳, Betelu House inc. ISBN ۱-۵۶۷۰۰۰-۰۷۴-۶
- [۲] ASHRAE Handbook ۲۰۰۱ Fundamentals, ۲۰۰۱, ASHRAE, Atlanta. ISBN - ۱-۸۸۳۴۱۳-۸۷-۷
- [۳] Brooks P.J. New ASHRAE Local Loss Coefficients for HVAC fittings. In ASHRAE Transactions: ۱۹۹۳, Vol.۹۹, Part.۲, paper number ۳۷۰۹ (RP- ۵۵۱)
- [۴] Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E. Taschenbuch fur Heizung + Klimatechnik ۹۴/۹۵, ۱۹۹۵. ISBN ۳-۴۸۶-۲۶۲۱۳-۰
- [۵] Chysky J., Hemzal, K. Ventilation and air-conditioning. Technical guide no. ۳۱ (in czech), ۱۹۹۳, Praha: Bolit Brno. ISBN ۸۰-۹۰۱۵۷۴-۸
- [۶] Ferstl, K. Ventilation and air-conditioning (in slovak). ۲۰۰۶, Jaga group, Bratislava. ISBN ۸۰-۸۰۷۶-۰۳۷-۳