مجله مهندسی مکانیک مدرس، تیر 1394، دوره 15، شماره 4، ص‌ص 188-194

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی عددی ضریب نیروی‌پسا دو هندسه چترگون دوبعدی متوالی با فرض نفوذپذیری

ایمان لاریبی[1]، فائزه راثی مرزآبادی[2*]

1- کارشناسی ارشد، مهندسی هوافضا، پژوهشکده سامانه‌های فضانوردی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران

2- استادیار، هوافضا، پژوهشکده سامانه‌های فضانوردی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران

* تهران، صندوق پستی 834-14665، rasi@ari.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 06 دی 1393
پذیرش: 04 بهمن 1393
ارائه در سایت: 06 اسفند 1393

کلید واژگان:
چتر
نفوذپذیری
پسا
کلاستر
برهمکنش

چکیده

در تحقیق حاضر، ابتدا نفوذپذیری یک پارچه متداول در ساخت کانوپی چترها، با انجام آزمایش موردبررسی قرار گرفت و با استخراج ضرایب معادله اصلاح شده دارسی، مدل‌سازی برای نمونه مشابه آزمایش انجام و نتایج با آزمایش تجربی مقایسه و صحت‌سنجی شد. سپس این ضرایب برای مدل‌سازی نیمه تجربی هندسه چترگون دوبعدی نفوذپذیر استفاده شد. در نظر گرفتن فرض نفوذپذیری موجب کاهش 39 درصدی ضریب پسا نسبت به کانوپی نفوذناپذیر شد. در مقایسه نتایج کانوپی صلب و نفوذپذیر، تغییرات مقدار ضریب پسا،تفاوت توزیع فشار و خطوط جریان پیرامون کانوپی‌ها بیانگر میزان اهمیت در نظر گرفت نفوذپذیری در شبیه‌سازی عددی کانوپی چتر است. برای ساده‌سازی و بالا بردن سرعت حل، کانوپی‌ها به‌صورت نیم‌دایره و دوبعدی فرض شدند. سپس با در نظر گرفتن فرض نفوذپذیری، شبیه‌سازی عددی چترهای گروهی به شکل دوتایی و پشت سرهم در شرایط چیدمانی مختلف به کمک فلوئنت در حالت دوبعدی انجام گرفت. چیدمان چترهای پشت سرهم جهت کاهش شوک هنگام باز شدن چتر اصلی بکار گرفته می‌شود. برای شبیه‌سازی شرایط حقیقی فرود، جابجایی نسبی افقی کانوپی پائین نسبت به کانوپی بالا نیز در نظر گرفته شده است. با تحلیل جریان در اطراف کانوپی چترها و چگونگی اثرات تداخلی جریان، افت پسا و کارایی در حالت‌های مختلف برای هر کانوپی بررسی شد. در چترهای در نظر گرفته‌شده، قطر چتر جلوئی نصف چتر پشتی در نظر گرفته شده است. نتایج، اهمیت بررسی افت پسا در موقعیت‌های چیدمانی مختلف را نشان می‌دهد. پس از مطالعه فاصله‌های پشت‌به‌پشت دو کانوپی نسبت به هم، فاصله عمودی یک برابر قطر چتر پایینی کمترین افت پسا را نشان داد.

Numerical investigation of drag coefficients in 2D parachute-like bodies with permeability assumption

Iman Laraibi, Faezeh Rasi Marzabadi *

Astronautics Research Institute, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran
* P.O.B. 14665-834 Tehran, Iran, rasi@ari.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 27 December 2014
Accepted 24 January 2015
Available Online 25 February 2015

Keywords:
Parachute
Permeability
Drag
Cluster
Interaction

ABSTRACT

In the current study, for a special fabric that is used for parachute canopies the permeability of the canopy has been estimated empirically and numerically. Moreover, the coefficients of Darcy's equation resulted from experiment are used in 2D numerical simulation of a single parachute-like body. Assuming permeability for the fabric, the drag coefficient showed a 39 percent decrease rather than solid canopy. Comparison between a solid canopy and a permeable one showed significant differences in the results, especially in streamlines and pressure distribution. In order to diminish the numerical effort, the canopies were taken as 2D hemi-spherical porous cups. So-called two dimensional numerical simulations using FLUENT® software was conducted on a group of paired permeable with two different diameters in various vertical and horizontal distances. The diameter of lower canopy was considered as half that of the upper one. Tandem canopies were used in order to reduce the inflation shock of main parachute. The lateral relative displacement of lower canopy to upper one has been considered in order to stimulate true descending conditions. The results showed the interaction between flow fields of canopies has significant effect on drag coefficient of the cluster parachutes. Therefore, determining the length of the risers as the vertical distance and relative diameter of parachutes and their interactions was found to have a tremendous effect on the design of cluster parachutes. The study showed that the most desirable longitudinal distance between two canopies was equal to the diameter of lower canopy.

1- مقدمه

چترها از اصلی‌ترین کاهنده‌های سرعت در کاربردهای مختلف هوایی و فضایی محسوب می‌شوند. تعیین دقیق ضرایب ایرودینامیکی چترها در روند طراحی مجموعه کاهنده سرعت دارای اهمیت بسزایی است. ترکیب ایرودینامیک مربوط به فرم پخ شکل و قسمت پارچه‌ای چتر که کانوپی نام دارد، تغییر شکل بالای آن و جنس نفوذپذیر آن باعث ساختار ایرودینامیکی پیچیده‌ای

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
I. Laraibi, F. Rasi Marzabadi, Numerical investigation of drag coefficients in 2D parachute-like bodies with permeability assumption, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 188-194, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]

می‌شود. چترهای کلاستر معمولاً برای بازیابی محموله با وزن بالا و برای کاهش سرعت فرود تا محدوده‌های پایین یعنی حدود 5-6 متر بر ثانیه و برای ایجاد پایداری مناسب به‌کار می‌روند [1]. این چترها از دسته‌های دوتایی تا بیست عددی با موفقیت آزمایش‌شده‌اند. اما ایرودینامیک این چترها دارای پیچیدگی بیشتری است. اثرات برهمکنش ایرودینامیکی میدان جریان پیرامون کانوپی چترها در مجموعهٔ کلاستر موجب تغییر پسای تولیدی هر چتر نسبت به حالت واحد می‌شود. این تغییر پسا در موقعیت‌های متفاوت قرارگیری چترها نسبت به یکدیگر متفاوت خواهد بود [2].

روش‌های مختلفی اعم از شبیه‌سازی عددی و انجام آزمایش‌های تجربی جهت تعیین مشخصات ایرودینامیکی چترها وجود دارد که هریک مزایا و معایبی دارند. آزمایش تجربی چترها در تونل باد، دارای پیچیدگی‌های زیادی است [3]. چترها، به علت خاصیت الاستیکی و رفتارهای ناپایای جریان در اطراف کانوپی خود، در مقیاس‌های کوچک رفتاری متفاوت از ابعاد واقعی خود نشان می‌دهند. این مسأله، آزمایش‌های تجربی درون تونل باد را با محدودیت‌های بیشتری مواجه می‌کند. روش دیگر، انجام آزمایش‌های پرتابی است که بسیار پرهزینه است. در این آزمون‌ها، چتر با ابعاد واقعی و یا مقیاس شده را به‌وسیله راکت پرتاب و یا از یک هواگرد در آسمان رها می‌کنند [4].

روش دیگر برای تخمین ضرایب ایرودینامیکی چترها، انجام شبیه‌سازی عددی است که توسعه و افزایش دقت آن، در جهت کاهش هزینه‌های آزمایش‌ها دارای تأثیر بسیار مثبتی است. شبیه‌سازی‌های عددی همواره با مفروضاتی جهت ساده‌سازی همراه است.

در مطالعه فرایند باز شدن چترها و نیروهای وارده، در نظر گرفتن برهمکنش سازه-سیال حائز اهمیت است. در نظر گرفتن دقیق شرایط برهمکنش سازه-سیال در فرایند پرباد شدن چتر، دارای پیچیدگی بسیاری است که در این زمینه، تحقیقات متعددی انجام‌گرفته است [5-7]. در این روش‌ها برای کمتر کردن هزینه محاسباتی، از روش‌های المان محدود استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌های المان محدود به علت محدودیت‌های شبکه‌بندی، دقت کمتری نسبت به حل‌های حجم محدود دارند.

ایزدی در مطالعه یک چتر کاملاً پرباد شده، با مقایسه حل پایا و ناپایا پیرامون یک کانوپی صلب، بیان کرد که اختلاف ضریب پسا در دو حالت کمتر از 3% است [8]؛ بنابراین شبیه‌سازی‌ها به‌صورت پایا که هزینه محاسباتی کمتری دارد مناسب‌تر است.

یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های پارچه چترها، نفوذپذیر بودن پارچه کانوپی است که موجب پایدار شدن کانوپی می‌شود و پسا را کاهش می‌دهد [3]. ولی در شبیه‌سازی‌های عددی برای ساده‌سازی حل، پارچه کانوپی را صلب و نفوذناپذیر در نظر می‌گیرند [9,8]. بنابراین فرض نفوذپذیری دقت شبیه‌سازی و محاسبه پسا را بهبود می‌بخشد. برای اولین بار وانگ به کمک یک روش نیمه تجربی و حل‌گر المان محدود نفوذپذیری چتر را مدل کرد [10]. حل‌گر المان محدود ابزاری مناسب جهت بررسی برهمکنش سازه و سیال کانوپی است؛ اما در شبیه‌سازی میدان جریان نتایج ضعیف‌تری نسبت به روش‌های حجم محدود دارد. مدل‌سازی وانگ بر اساس سرعت‌های بالای فرود صورت گرفت؛ شبیه‌سازی نفوذپذیری در سرعت پایین و مراحل فرود نهایی نیازمند بررسی در شرایط کاری و فشارهای مرتبط با سرعت‌های پایین خواهد بود.

بررسی‌های دوبعدی چترها برای نزدیک شدن به درک رفتار چترها با هزینه محاسباتی کم متداول است [12,11]. هدف اصلی این پژوهش مطالعه اثر تداخلی حوزه جریان در مجموعه‌ای است که یک چتر در جلوی چتر دیگر قرار گرفته است. در واقعیت برای کاهش شتاب و شوک هنگام باز شدن چتر اصلی، از یک چتر ترمزی ثانویه استفاده می‌شود که نسبت ابعادی و موقعیت آن نسبت به چتر اصلی می‌تواند بر مشخصات ایرودینامیکی و ضریب پسای آن تأثیرگذار باشد.

اشتاین تأثیر موقعیت دو چتر سه‌بعدی هم‌اندازه پشت سرهم را بر میزان پسا بررسی کرد. اشتاین با فرض صلب و نفوذناپذیر بودن کانوپی، فاصله عمودی دو چتر را ثابت در نظر گرفت و چتر پایین را در محدوده‌ای از فاصله افقی نسبت به چتر دیگر قرار داد و اعلام کرد در فاصله‌های کمتر از یک و نیم برابر شعاع، احتمال کاهش فشار پشت چتر بالا و ازکارافتادن آن وجود دارد [13]. ایزدی با ساده‌سازی هندسه کانوپی و فرض صلب بودن کانوپی تأثیر دو پارامتر فاصله افقی دو چتر و نسبت قطر دامنه بر پسای دو چتر پشت سرهم را بررسی کرد [14].

با در نظر گرفتن فاز نهایی فرود می‌توان از برهمکنش سازه-سیال صرف‌نظر کرد و هندسه چتر پرباد شده را به نیم‌دایره دوبعدی ساده کرد. با فرض نفوذپذیری کانوپی و جریان پایا، تأثیر تداخل حوزه جریان دو چتر بر تغییر ضریب پسای چترها بررسی می‌شود. فاصله پشت‌به‌پشت دو کانوپی در محدوده‌ای معقول بررسی شده است و در هر فاصله برای بررسی حرکت‌های افقی نسبی دو کانوپی، سه فاصله متفاوت نیز بررسی‌شده است.

2- مدل ساده نفوذپذیری

الیاف پارچه چترها به‌گونه‌ای تنیده می‌شوند که هوا در مقیاس میکرو امکان عبور از بین آن‌ها را پیدا می‌کند. با علم بر همگنی منافذ ریز پارچه، می‌توان از معادلات حاکم بر محیط‌های متخلخل همگن، برای مدل‌سازی جریان عبوری در مقیاس ماکروسکوپیک استفاده کرد. این معادلات که بر مبنای متوسط‌گیری مکانی از یک حجم معیار محیط متخلخل نوشته‌شده‌اند، بیانی ماکروسکپیک از رفتارهای میکروسکوپیک عبور سیال ارائه می‌دهند [15].

مشهورترین مدل شبیه‌سازی محیط‌های متخلخل مدل دارسی[1] است، با توجه به کمبودهایی که مدل دارسی در توصیف محیط‌های متخلخل متفاوت داشت، دانشمندان را بر این واداشت که یک سری جملات غیرخطی که اعتبار آن‌ها از آزمایش به‌دست‌آمده بود را به مدل دارسی اضافه کنند. یکی از اصلاحات انجام‌شده بر روی مدل دارسی، مدل ارگان[2] است.

رابطه ارگان (1)، اصلاح‌شده رابطه دارسی برای محیط‌های متخلخل نازک است. این رابطه، بیانگر افت فشار در محیط‌های متخلخل نازک است. مقدار μ/α در معادله را C^{R1} یا ضریب مقاومت خطی و جمله $1/2\, C_2\rho$ را ضریب مقاومت درجه دو یا C^{R2}می‌نامند. جمله C^{R1} ناشی از لزجت و جمله C^{R2} ناشی از نیروهای اینرسی است.

$$\frac{\Delta p}{\Delta x} = -\left(\frac{\mu}{\alpha}U + \frac{1}{2}C_2\rho U^2\right) \qquad (1)$$

در جریان‌های با لزجت بالا، ترم دوم معادله (1) در نظر گرفته نمی‌شود و معادله بلیک-کوزنی[3] (2)، برای جریان آرام در محیط متخلخل نازک به دست می‌آید [16].

$$\frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{\mu}{\alpha}U \qquad (2)$$

3- آزمایش استخراج ضرایب نفوذپذیری پارچه کانوپی و نتایج

با استفاده از دستگاه سنجش نفوذپذیری منسوجات که در شکل 1 نشان داده‌شده، آزمایش نفوذپذیری بر روی پارچه استاندارد MIL-C-7020 چتر انجام شد و مقدار افت فشار در سرعت‌های مختلف محاسبه شد. در این آزمایش، یک‌لایه از پارچه مابین دو فک، کاملاً ثابت می‌شود. فک بالایی در

1- Darcy
2- Ergun
3- Blake-Kozeny

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]

معرض فشار هوای آزاد قرارگرفته و از فک پایینی مکش هوا صورت می‌گیرد. نشانگرهای فشار، مقدار افت فشار را نشان می‌دهند و با استفاده از نشانگر دبی جریان عبوری و با دانستن سطح مقطع تحت مکش پارچه، سرعت محاسبه می‌شود. این آزمایش، چند مرتبه در اختلاف فشارهای متفاوت انجام شد و نتایج در جدول 1 آورده شده است.

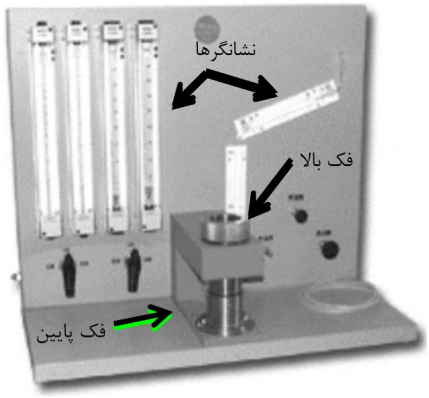
برای محدوده پایین سرعت‌های سقوط، جریان عبوری از کانوپی چترها، سرعت نفوذپذیری[1] بسیار پایینی دارد. این سرعت در محدوده جریان آرام و خطی رابطه ارگان یعنی معادله بلیک-کوزنی قرار دارد. برای ارتباط دادن این اطلاعات تجربی به معادله بلیک-کوزنی یعنی رابطه (2)، شیب‌خط نمودار سرعت نفوذپذیری برحسب افت فشار بر ضخامت $(\Delta p/\Delta x)$ محاسبه می‌شود. مقدار این شیب برابر ضریب C^{R1} است. علامت منفی در این معادله بیانگر افت فشار است و مقدار μ/α برابر با شیب نمودار شکل 2 است با دانستن مقدار C^{R1} در معادله بلیک-کوزنی (2) و در نظر گرفتن ضخامت 0/1016 میلی‌متری برای پارچه اشاره شده، ضریب نفوذپذیری $(1/\alpha)$ حاصل می‌شود.

4- شبیه‌سازی عددی نفوذپذیری پارچه کانوپی

برای مدل‌سازی و اعتبارسنجی با نتایج آزمایش انجام شده، یک کانال دوبعدی با شرط مرزی دیوار بدون لغزش و دربرگیرنده یک مرز به‌عنوان پارچه در نرم‌افزار آیسم- سی اف دی شبکه‌بندی شد و دامنه محاسباتی از 10 هزار شبکه دوبعدی با سازمان پیرامون صفحه متخلخل تشکیل شد. شرط مرزی ورودی سرعت[2] در بالادست جریان و شرط مرزی فشار خروجی[3] در وجه خروجی برای مدل‌سازی استفاده شده است.

فرم عمومی معادلهٔ مومنتم در نرم‌افزار فلوئنت به‌صورت معادله (3) است [17]. جمله چاه S_i^M در معادله (3) را می‌توان به‌صورت معادله (4) متناظر با معادله ارگان نوشت [17].

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho U_j U_i)}{\partial x_j}=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j}+S_i^M \qquad (3)$$

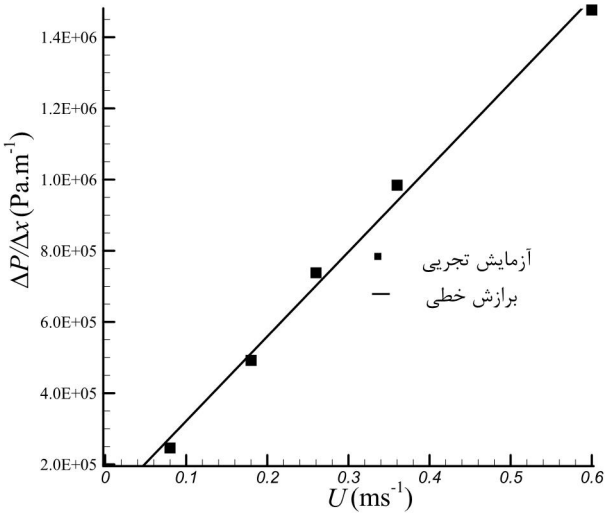


شکل 1 دستگاه آزمایش نفوذپذیری پارچه

جدول 1 مقادیر افت فشار آزمایش نفوذپذیری

Δp (Pa)	q (Ls^{-1})	$U_{permeability}$ (ms^{-1})
25	0/00004	0/08
50	0/00009	0/18
75	0/00013	0/26
100	0/00018	0/36
150	0/0003	0/60

1-U_permeability
2- Velocity_inlet
3- Pressure_outlet



شکل 2 سرعت نفوذپذیری برحسب افت فشار بر ضخامت

جدول 2 مقایسه نتایج تجربی با شبیه‌سازی عددی پارچه چتر

سرعت (m/s)	افت فشار تجربی(Pa)	افت فشار عددی(Pa)	خطا درصد
0/08	25	24/6	1/6
0/18	50	51/2	2/4
0/26	75	77/1	2/8
0/36	100	104/1	4/1
0/6	150	159/2	6/1

$$S_i^M=-C^{R1}U_i-C^{R2}|U|U_i \qquad (4)$$

مقدار U_i سرعت سطحی در هر مؤلفه بردار است که در مدل‌سازی صفحه متخلخل متناظر با پارچه، تنها مؤلفه عمود بر پارچه در نظر گرفته می‌شود [17]. با نسبت دادن شرط پرش-متخلخل[4] به صفحهٔ دوبعدی در نرم‌افزار فلوئنت، ضرایب معادله ارگان به این صفحه نسبت داده شد. با صفر قرار دادن جمله C^{R2} و نسبت دادن عدد به‌دست‌آمده از آزمایش تجربی به C^{R1}، معادله بلیک-کوزنی برای شبیه‌سازی عبور هوا از پارچه استفاده شد. سپس معادلات پیوستگی و مومنتم با الگوریتم کوپله سرعت و فشار و گسسته‌سازی پرستو[5] فشار حل شدند. گسسته‌سازی پرستو برای جریان‌های گردشی و محیط متخلخل مناسب‌تر است [17]. نتایج این شبیه‌سازی در جدول 2 آورده شده است. مقایسه نتایج حل عددی با نتایج آزمایش تجربی نشان از هم‌خوانی و دقت مناسب حل دارد.

5- شبیه‌سازی عددی کانوپی واحد

برای شبیه‌سازی عددی کانوپی واحد، پس از بررسی شبکه‌بندی‌های متفاوت، در مجموع از پانصد هزار المان باسازمان استفاده شد. به علت نفوذپذیر بودن کانوپی نیازی به استفاده از شبکه‌بندی لایه‌مرزی وجود ندارد، اما شبکه در نزدیکی کانوپی کیفیت بسیار مناسبی دارد.

در بالادست جریان، مقدار 10 برابر قطر کانوپی و در سمت‌های کناری و پایین‌دست،20 برابر قطر کانوپی شبکه ادامه پیدا کرده است. نمایی از این فضای محاسباتی در شکل 3 نشان داده‌شده است. شرایط مرزی ورودی سرعت در بالادست و فشار خروجی در سطوح دیگر دامنه استفاده شد. سرعت در ورودی برابر با 20 متر بر ثانیه در نظر گرفته شده که در این سرعت، با توجه به ابعاد چتر، رینولدز جریان در محدوده 10^6 قرار می‌گیرد.

4- Porous-jump
5- Presto

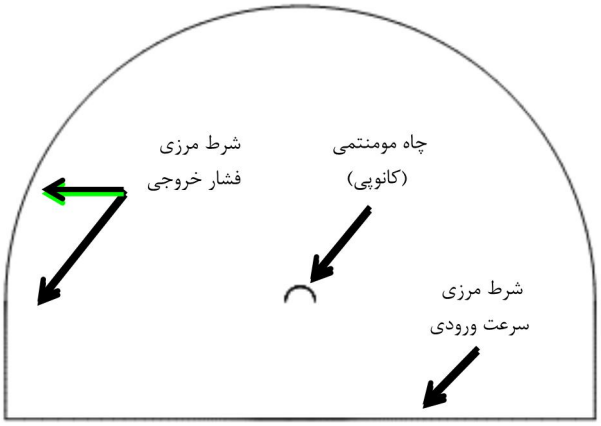
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]

با توجه به پایین بودن سرعت، نیازی به حل معادله انرژی وجود ندارد و معادلات پیوستگی و مومنتم در شبکه‌بندی محاسباتی با الگوریتم کوپله سرعت و فشار و گسسته‌سازی پرستو فشار و مرتبه دوم ممان تا همگرایی و ثابت ماندن ضریب پسا حل شد.

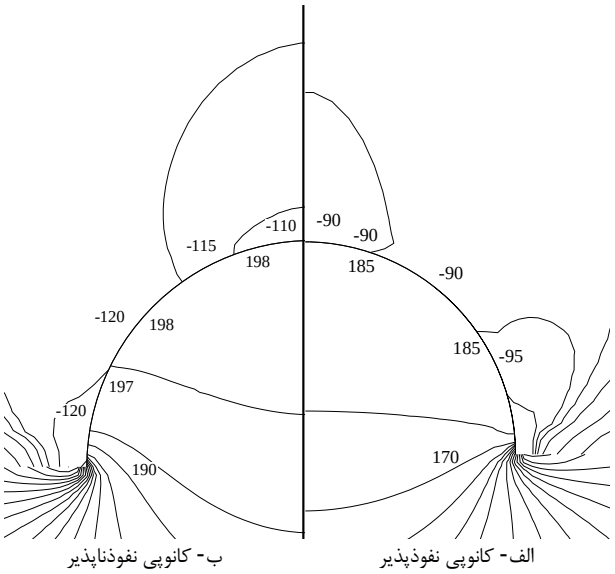
مدل‌های توربولانسی مناسب برای شبیه‌سازی کانوپی نفوذپذیر مدل‌های K-ω SST و K-ε STD می‌باشند [18]. در شبیه‌سازی‌ها از مدل توربولانسی K-ω SST استفاده شده است. اساساً به علت جدایش جریان از لبه ابتدایی کانوپی و عبور هوا از درون هندسه و وجود نداشتن دیوار، حساسیت به مدل توربولانسی پایین است.

ضریب پسای کانوپی صلب دوبعدی همراه با شبکه‌بندی لایه‌مرزی برابر با 2/26 به دست آمد و در مقایسه با نتایج تجربی مرجع [19] به مقدار 1/5% خطا دارد.

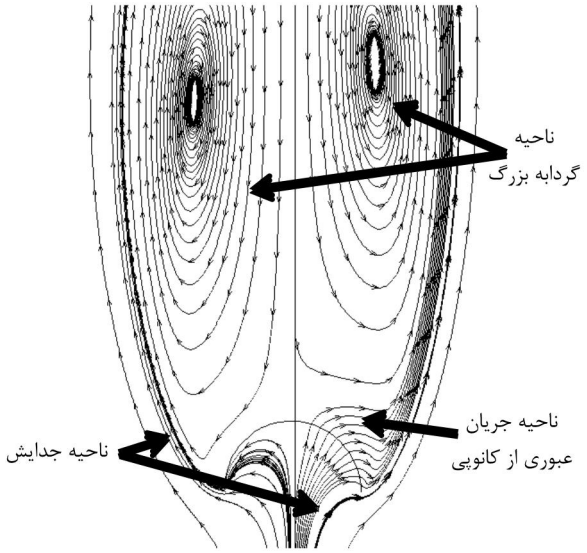
در کانوپی نفوذپذیر مدل شده، سرعت نفوذپذیری در بازه آزمایش انجام شده قرار دارد. ضریب پسای کانوپی نفوذپذیر برابر 1/36 به دست آمد. این مقدار نشان‌دهنده کاهش 39 درصدی پسا به‌واسطه در نظر گرفتن نفوذپذیری کانوپی است. علت این امر کاهش ناحیه کم فشار در پشت کانوپی است. در مقایسه با چتر صلب، چتر نفوذپذیر با گذردهی هوا مقداری از افت فشار می‌کاهد و اختلاف فشار پشت و جلوی کانوپی کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه پسا نیز کاهش می‌یابد. این میزان کاهش در بازه ذکر شده در مرجع [3] است.



شکل 3 شرایط مرزی



شکل 4 کانتور فشار دو سمت کانوپی



ب- کانوپی نفوذناپذیر الف- کانوپی نفوذپذیر

شکل 5 خطوط جریان پیرامون کانوپی

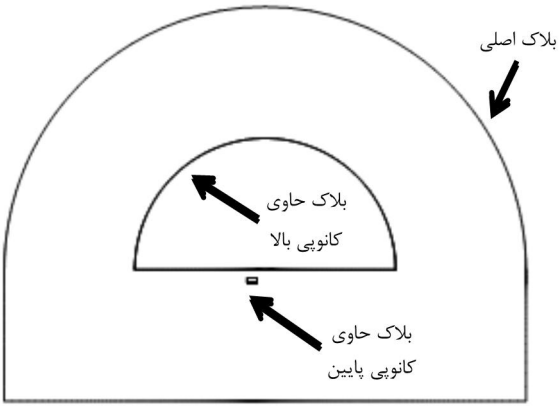
کانتور فشار در مقطع میانی کانوپی صلب و نفوذپذیر در شکل 4 نشان داده شده است. به وضوح دیده می‌شود که محدوده کم فشار تشکیل شده پشت چتر در کانوپی نفوذپذیر، فشار بیشتری دارد و این موجب می‌شود نیروی کمتری در جهت جریان ایجاد کند. تفاوت توزیع فشار مدل صلب و نفوذپذیر در پایین‌دست کانوپی، در بررسی اثرات تداخلی چترهایی که به‌صورت کلاستر به کار می‌روند، بسیار حائز اهمیت است، چراکه با صلب در نظر گرفتن مدل کانوپی در شبیه‌سازی عددی مجموعهٔ چترها، اثرات تداخلی در نظر گرفته شده، متفاوت با واقعیت، مورد تفسیر قرار می‌گیرند.

خطوط جریان در شکل 5 نشان می‌دهد که جریان پشت کانوپی پیچیده و از ترکیب چند الگو شکل می‌گیرد. جدایش جریان که از لبه دامنه کانوپی شروع می‌شود، الگوی کلی را شکل می‌دهد که گردابه های دیگر درون آن قرار می‌گیرند. در ناحیه دوم گردابه بزرگی در پشت کانوپی تشکیل شده است. این گردابه باعث کاهش فشار و افزایش پسا می‌شود. در سمت راست الگوی جریان پیرامون مدل نفوذپذیر نشان داده شده است و عبور جریان از کانوپی نفوذپذیر به‌خوبی آشکار است. در کانوپی نفوذپذیر ناحیه‌ی سومی نیز با گذر جریان از کانوپی شکل‌گرفته است. این ناحیه گردابه های بزرگ را به بالا هدایت کرده است و از قدرت و بزرگی آن‌ها کاسته شده است. هرچه سرعت بیشتر باشد، سرعت جریان عبوری از درون کانوپی نیز بیشتر می‌شود و گردابه‌های ناحیه دوم را بیشتر به بالا حرکت می‌دهد. همچنین عبور جریان از کانوپی، موجب شده جریان چرخشی درون کانوپی شکل نگیرد.

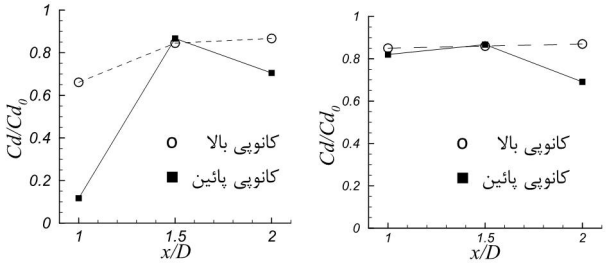
6- نتایج عددی در حالت پشت سرهم

کانوپی دو چتر نفوذپذیر که قطر چتر بالایی دو برابر قطر چتر پایینی باشد شبیه‌سازی شد، مشابه این ساختار در سیستم‌های بازیابی محموله‌ی فضایی استفاده شده است [4]. در این چیدمان فاصله عمودی و افقی دو کانوپی تنظیم می‌شود در واقعیت دو چتر در موقعیت‌های افقی مختلف نسبت به هم در حال نوسان قرار می‌گیرند، به همین جهت در هر فاصله عمودی دو کانوپی، موقعیت‌های متفاوت افقی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. این فاصله در بازهٔ بین یک تا دو برابر طول قطر حالت باد شده چتر پایینی در محورهای افقی و عمودی تغییر می‌کند. بررسی اثرات تداخلی و تخمین تغییرات پسای آن‌ها موقعیت در طراحی مجموعه چترها بسیار حائز اهمیت است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]

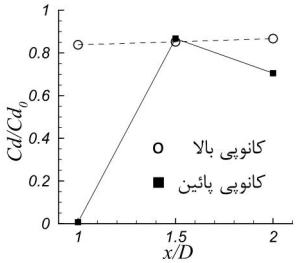


شکل 6 شبکه‌بندی با سازمان و مرزهای رابط



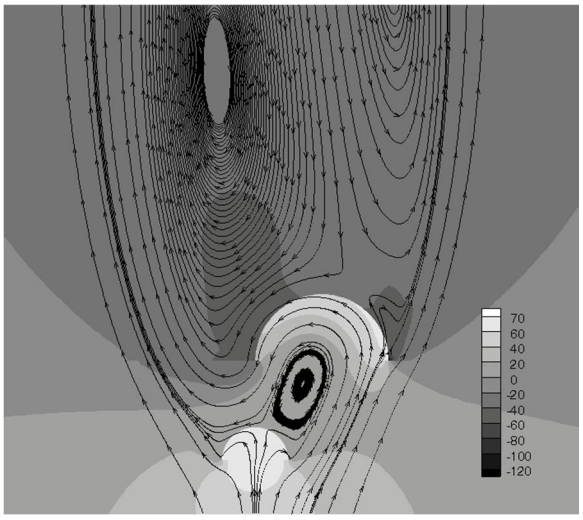
الف- فاصله عمودی ۱ برابر قطر

ب- فاصله عمودی ۱/۵ برابر قطر



پ- فاصله عمودی ۲ برابر قطر

شکل 7 تغییرات ضریب پسا



شکل 8 کانتور فشار و خطوط جریان در فاصله عمودی 1/5 و افقی یک برابر قطر

همان‌گونه که در بخش 4 گفته شد، برای شبیه‌سازی نفوذپذیری کانوپی یک جمله چاه به انتهای معادله مومنتم اضافه شده است. این جمله میل به ناپایداری را در حل بالا می‌برد. هنگامی‌که دو کانوپی با فاصله کم به‌عنوان دو چاه در معادلات مومنتم قرار می‌گیرند میل به ناپایداری در حل بالاتر می‌رود.

برای جبران این مورد و خوش‌رفتاری در همگرایی، کیفیت شبکه نقش مثبتی دارد. همان‌گونه که در شکل 6 نشان داده شده است، شبکه‌بندی از طریق سه بلوک جدا از هم انجام شد شامل: بلوک دربرگیرنده کانوپی بالا، بلوک کانوپی پایین و بلوک بزرگ حاوی محیط حل. هر بلوک به‌صورت جداگانه و با سازمان شبکه‌بندی شده است. در نواحی ارتباط بلوک‌ها سطح رابط[1] تعریف‌شده است. ارتباط دو بلوک در نرم‌افزار فلوئنت از طریق میانگین‌گیری مقادیر نقاط در طول سطوح رابط و نسبت دادن مقدار به نقاط بلوک دیگر انجام می‌شود [17]. بلاک حاوی کانوپی پایین به شکل مستطیلی ساخته شد.

برای بررسی اثر میانگین‌گیری در سطوح رابط، چتر واحد یک‌بار با مرزهای رابط و یک‌بار با شبکه‌بندی کاملاً با سازمان بدون سطح رابط شبیه‌سازی شد که نتایج هر دو یکسان گزارش شد و تأثیر منفی در استفاده کردن سطوح رابط و میانگین‌گیری در آن‌ها دیده نشد.

چتر پایینی در سه فاصلهٔ عمودی 1، 1/5 و 2 برابر قطر خود نسبت به چتر بالایی تغییر وضعیت داده و در هر فاصله عمودی، در سه فاصلهٔ افقی 1، 1/5 و 2 برابر قطر خود نسبت به چتر بالایی قرار گرفت. افت ضریب پسا در هر موقعیت در شکل 7 ترسیم شده است. این افت به‌صورت نسبت پسا به پسای چتر واحد نفوذپذیر (Cd/Cd_0) بی‌بعد شده است.

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود در هر سه فاصله‌ی عمودی، با افزایش فاصله افقی دو چتر از 1 برابر تا 2 برابر قطر چتر پائینی، تغییرات ضریب پسای چتر پائینی بسیار بیشتر از تغییرات ضریب پسای چتر بالایی یا چتر بزرگ‌تر است. در مورد چتر بالایی، تنها هنگامی‌که فاصله افقی دو چتر کمترین مقدار یعنی $1D$ را دارد، تأثیرپذیری از تداخلات بسیار بالا است. در این حالت، همان‌طور که در شکل 8 نیز از روی خطوط جریان قابل‌مشاهده است، گردابه تشکیل‌شده در پشت چتر کوچک‌تر درون کانوپی چتر بالایی محبوس می‌شود و بر افت اختلاف فشار آن تأثیر می‌گذارد. در فاصله عمودی $2D$ و موقعیت افقی $1D$ پسا افت شدیدی نشان می‌دهد و مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود. اما با دور شدن فاصله افقی دو چتر از یکدیگر از تداخل گردابه‌های پشت کانوپی چتر پائینی با کانوپی چتر بالایی کاسته شده و نسبت بی‌بعد Cd/Cd_0 افزایش می‌یابد.

اما در مورد چتر پایینی در هر سه فاصله عمودی، با افزایش فاصله افقی، پسای آن ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد؛ به علت اینکه در فاصله افقی خیلی کم، یعنی $1D$، همان‌طور که اشاره شد، گردابه‌های پشت آن درون کانوپی چتر بالایی گیر می‌افتد و حباب چرخشی تشکیل می‌شود؛ بنابراین فشار در سطح بالای چتر پایینی افزایش می‌یابد و در نتیجه اختلاف فشار و پسای آن کم می‌شود؛ اما با افزایش فاصله افقی بین دو چتر، جریان در عبور از فاصله بین دو چتر و پشت کانوپی پائین شتاب گرفته و فشار آن کاهش می‌یابد و در نتیجه اختلاف فشار و پسای چتر پایینی افزایش می‌یابد. مجدداً با افزایش بیشتر فاصله افقی بین دو چتر به $2D$ شتاب جریان عبوری کمتر می‌شود و در نتیجه اختلاف فشار و پسای آن کاهش می‌یابد.

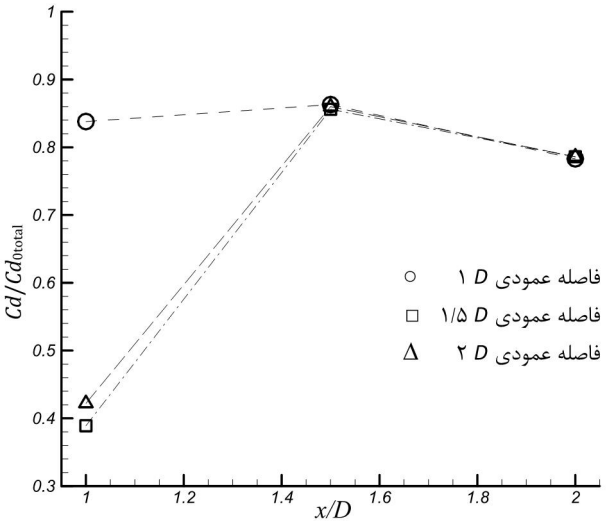
خطوط آرام جریان، پس از عبور از چتر پایین، کاملاً مغشوش می‌شوند و همچنین تأثیراتی بر حوزه جریان چترهای پیرامون می‌گذارند. در کل، پسای کانوپی پایین حساسیت و افت بیشتری نسبت به فاصله نشان داده است، و این بیانگر آن است که تداخل و مزاحمت در گردابه‌های پایین‌دست کانوپی اثر بیشتری بر کاهش پسا دارد و ناحیه کم‌فشار بالای کانوپی نقش بیشتری بر تولید پسا، نسبت به ناحیه پرفشار درون کانوپی دارد. تغییرات

1- Interface

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]

فاصله افقی بیشتر از تغییرات فاصله عمودی بر افت ضریب پسای چترها اثرگذار است.



شکل 9 تغییرات ضریب پسا مجموع

برای بررسی دقیق‌تر افت ضریب پسای مجموع چترها نسبت به جمع ضریب پسای دو چتر واحد (cd_{0total}) بی‌بعد شده است. این نسبت در شکل 9 نشان داده‌شده. در فاصله افقی 1/5 و 2 برابر قطر، فاصله عمودی تأثیر کمی دارد و در سه فاصله‌های عمودی مقدار مجموع یکسان شده است. در واقع بیشترین افت در فاصله افقی 1 برابر قطر و فواصل عمودی 1/5 و 2 برابر قطر رخ می‌دهد.

با توجه به شکل 9، فاصله عمودی 1D در تمام موقعیت های جابجایی افقی، افت پسای زیادی ندارد و فاصله‌ای مناسب جهت قرارگیری دو کانوپی نسبت به هم است.

7- جمع‌بندی

در این مقاله با استفاده از آزمایش نفوذپذیری پارچه و برقراری تشابه با معادلات توصیف‌کننده محیط متخلخل نازک، ضرایب معادله بلیک-کوزنی برای پارچه MIL-C-7020 محاسبه شد. با نسبت دادن این ضرایب به‌عنوان عبارت چاه مرتبه اول در معادلات مومنتم، افت فشار و تغییرات سرعت در عبور جریان از پارچه شبیه‌سازی و اعتبارسنجی شد. سپس برای بررسی اهمیت اثر نفوذپذیری پارچه، دو کانوپی با فرض صلب و نفوذپذیر، شبیه‌سازی شد و مشاهده گردید که نفوذپذیری موجب 39% کاهش ضریب پسا کانوپی واحد دوبعدی در سرعت 20 m/s شده و بر ساختارهای جریان بسیار تأثیرگذار است؛ بنابراین فرض صلب در شبیه‌سازی کانوپی چترها مناسب نبوده و باید اثرات نفوذپذیری پارچه در مدل‌سازی کانوپی چتر لحاظ شود. سپس شبیه‌سازی عددی چترهای گروهی به‌صورت مجموعهٔ دوتایی پشت سرهم و با نسبت قطری 1/2، در دو حالت دوبعدی با درنظر گرفتن شرط نفوذپذیری کانوپی، انجام شد. برای بررسی افت پسای کانوپی‌ها در اثر تداخل میدان‌های جریان، ترکیبی از دو پارامتر فاصله افقی و فاصله عمودی استفاده شد.

نتایج نشان داد، پسای کانوپی پایین حساسیت بیشتری نسبت به فاصله دارد. گردابه‌های بزرگ بالای کانوپی کوچک تغییر وضعیت زیادی نسبت به حالت تکی دارند و جابجایی گردابه های پرقدرت موجب افت پسا در کانوپی پایین شده است. در کانوپی بالا گردابه‌های بزرگ و ناحیه جدایش جریان تاثیرپذیری کمی نشان داده‌اند و به همین سبب پسا تغییرات کمتری نشان داده است.

8- فهرست علایم

C_2	ضریب مقاومت اینرسی
Cd	ضریب پسا
Cd_0	ضریب پسا چتر واحد
Cd_{0total}	جمع ضریب پسا دو چتر واحد
D	قطر کانوپی
p	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
q	دبی جریان (Ls^{-1})
S	جمله چاه
U	سرعت (ms^{-1})
x	فاصله افقی (m)

علایم یونانی

α	ضریب نفوذپذیری (m^2)
Δx	ضخامت (m)
μ	لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)
ρ	چگالی (kgm^{-3})

بالانویس‌ها

R1	مقاومت خطی
R2	مقاومت مرتبه دو

9- مراجع

[1] E. G. Ewing, H. W. Bixby, T. W. Knacke, *Irvin Recovery Systems Design Guide,* 1978.

[2] B. K. Baca, *An Experimental Study of the Performance of Clustered Parachutes in a Low-speed Wind Tunnel*: National Technical Information Service, 1985.

[3] T. W. Knacke, *Parachute Recovery Systems Design Manual*: Nava Weapons Center, 1991.

[4] F. Rasi Marzabadi, R. Meshkani, H. Pouryavi, M.A. Farsi and M. Ebrahimi, "Study of Recovery System Performance of a Sounding Rocket Using Launching Tests," *Journal of Space Science and Technology,* Vol. 7, No. 2, 2014 (In Persian)

[5] S. Sathe, R. Benney, R. Charles, E. Doucette, J. Miletti, M. Senga, K. Stein, T. E. Tezduyar, Fluid–structure Interaction Modeling of Complex Parachute Designs with the Space–Time Finite Element Techniques, *Computers & Fluids*, Vol. 36, No. 1, pp. 127-135, 1, 2007.

[6] K. Takizawa, T. E. Tezduyar, Computational Methods for Parachute Fluid–Structure Interactions, *Archives of Computational Methods in Engineering,* Vol. 19, No. 1, pp. 125-169, 2012.

[7] B. Tutt, R. Charles, Development of Parachute simulation Techniques, LS-DYNA in *19th LS-DYNA con.,* 2010.

[8] M. J. Izadi, M. Dawoodian, CFD Analysis Of Drag Coefficient of a Parachute in a Steady and Turbulent Condition in Various Reynolds Numbers, *ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting,* 2009.

[9] J. Sahu, H. L. Edge, K. R. Heavey, K. R. Stein, R. J. Benney, S. R. Chakravarthy, *Comparison of Numerical Flow Field Predictions for Army Airdrop Systems,* 1999.

[10] J. Wang, N. Aquelet, B. Tutt, I. Do, M. Souli, Porous Euler - Lagrange Coupling: Application to Parachute Dynamics, *9th International LS-DYNA Users Conference,* 2006.

[11] T. Shimada, *A Numerical Simulation of Flows about Two-Dimensional Bodies of Parachute-like Configuration*: Institute of Space and Astronautical Science, 1988.

[12] Y. Kim, C. Peskin, 2-D Parachute Simulation by the Immersed Boundary Method, *SIAM Journal on Scientific Computing,* Vol. 28, No. 6, pp. 2294-2312, 2006.

[13] K. Stein, T. Tezduyar, V. Kumar, S. Sathe, R. Benney, E. Thornburg, C. Kyle, T. Nonoshita, Aerodynamic Interactions between Parachute Canopies, *Transactions-American Society of Mechanical Engineers Journal of Applied Mechanics*, Vol. 70, No. 1, pp. 50-57, 2003.

[14] M. J. Izadi, R. B. Razzaz, 3D Numerical Simulation of a Parachute with Two Air Vented Canopies in a Top-to-Top Formation, *ASME Fluids Engineering Conferance,* 2008.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]

[15] K. Vafai, *Handbook of Porous Media*: Crc Press, 2009.

[16] N. Aquelet, J. Wang, Porous Parachute Modelling with an Euler-Lagrange Coupling, *European Journal of Computational Mechanics,* Vol. 16, No. 3-4, pp. 385-399, 2007.

[17] Fluent User's Guide Version 6.2, *Fluent Inc., Centerra Resource Park, Lebanon, NH,* 2005.

[18] I. Laraibi, F. Rasi Marz abadi, Investigation of Permeability of Canopy in Parachute Stability, *8th Students Conference on Mechanical Engineering,* University of Gilan, 2014. (In Persian)

[19] S. Vogel, *Life in Moving Fluids: The Physical Biology of Flow*: Princeton University Press, 1994.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4]