ماهنامه علمى پژوهشى

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی عددی ضریب نیروی پسا دو هندسه چتر گون دوبعدی متوالی با فرض نفوذ پذیری

ايمان لاريبي¹، فائزه راثي مرز آبادي^{2*}

1- كارشناسی ارشد، مهندسی هوافضا، پژوهشكده سامانههای فضانوردی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران -

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

* تھران، صندوق پستى rasi@ari.ac.ir،14665-834

چکیدہ	اطلاعات مقاله
. 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، تنییرات مقدار ضریب پسا،تفاوت توزیع فشار و خطوط جریان پرامون کانوپیها بیانگر میزان اهمیت در نظر گرفت نفوذپذیری در شبیهسازی عددی کانوپی چتر است. برای سادهسازی و بالا بردن سرعت حل، کانوپیها بهصورت نیمدایم 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 گرفتن فرض نفوزپذیری، نسبیه ازی عددی چترهای گروهی به شکل شوک هنگام باز شدن چتر اصلی بکار گرفته میشود. برای شبیهسازی شرا حقیقی فرود، جابجایی نسبی افقی کانوپی پائین نسبت به کانوپی موج هنگام باز شدن چتر اصلی بکار گرفته می مود. برای شبیهسازی شرایط حقیقی فرود، جابجایی نسبی افقی کانوپی پائین نسبت به کانوپی مختلف برای هر کانوپی باز اسی به از گرفته می شد. در اطر گرفتن در حالت دوبعدی انجام گرفت، چیدمان چترهای پشت سرهم جهت کاهش موح هنگام باز شدن چتر اصلی بکار گرفته می شود. برای شبیهسازی شرایط حقیقی فرود، جابجایی نسبی افقی کانوپی پائین نسبت به کانوپی شوک هنگام باز شدن چتر اصلی بخار گرفت می در نظر گرفته شده، قطر چتر جلوئی نصف چتر پشتی در نظر گرفته شده است. نتایج، اهمیت بالا نیز در نظر گرفته شده است. با تحلیل جریان در اطرا گرفتهشده، قطر چتر جلوئی نصف چتر پشتی در نظر گرفته شده است. نتایج، اهمیت مختلف برای هر کانوپی بررسی شد. در چترهای در نظر گرفته شده، قطر چتر جلوئی نصف خانهای پشتبه پشت دو کانوپی نسبت به هم، فاصله مودی پرس افت پسا در موقعیتهای چین افت پسا را نشان داد.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 06 دی 1393 پذیرش: 14 بهمن 1393 ارائه در سایت: 06 اسفند 1393 ک <i>لید واژگان:</i> چتر پسا نفوذبذیری کلاستر برهمکنش

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	Abstract
Original Research Paper Received 27 December 2014 Accepted 24 January 2015 Available Online 25 February 2015	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
<i>Keywords:</i> Parachute Permeability Drag Cluster Interaction	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. The study showed that the most desirable longitudinal distance between two canopies was equal to the diameter of lower canopy.

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

1- مقدمه

چترها از اصلیترین کاهندههای سرعت در کاربردهای مختلف هوایی و فضایی محسوب میشوند. تعیین دقیق ضرایب ایرودینامیکی چترها در روند طراحی

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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)

Please cite this article using:

می شود. 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 به کار می روند [1]. این چترها از دستههای دوتایی تا بیست عددی با موفقیت آزمایش شدهاند. 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 می شود. این تغییر پسا در موقعیتهای متفاوت قرار گیری 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 به وسیله 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 انجام گرفته است [5-7]. در این روشها برای کمتر کردن هزینه محاسباتی، از روشهای المان محدود استفاده میشود. شبیه سازی های 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 اصلی ترین ویژگی های پارچه چترها، نفوذپذیر بودن پارچه کانوپی است که موجب پایدار شدن کانوپی می شود و پسا را کاهش می دهد [3]. ولی در شبیه سازی های عددی برای ساده سازی حل، پارچه کانوپی را صلب و نفوذناپذیر در نظر می گیرند [9،8]. بنابراین فرض نفوذپذیری دقت شبیه سازی و محاسبه پسا را بهبود می خشد. برای اولین بار وانگ به کمک یک روش نیمه تجربی و حل گر المان محدود نفوذپذیری چتر را مدل کرد [10]. حل گر المان محدود ابزاری مناسب جهت بررسی برهمکنش سازه و سیال کانوپی است؛ اما در شبیه سازی میدان جریان نتایج ضعیف تری نسبت به روش های حجم محدود دارد. مدل سازی وانگ بر اساس سرعت های بالای فرود صورت گرفت؛ شبیه سازی نفوذپذیری در سرعت پایین و مراحل فرود نهایی نیازمند بررسی در شرایط کاری و فشارهای مرتبط با سرعت های 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 [13].

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 سادہ نفوذپذیری

الیاف پارچه چترها به گونهای تنیده می شوند که هوا در مقیاس میکرو امکان عبور از بین آنها را پیدا می کند. با علم بر همگنی منافذ ریز پارچه، می توان از معادلات حاکم بر محیطهای متخلخل همگن، برای مدل سازی جریان عبوری در مقیاس ماکروسکوپیک استفاده کرد. این معادلات که بر مبنای متوسط گیری مکانی از یک حجم معیار محیط متخلخل نوشته شده اند، بیانی ماکروسکپیک از رفتارهای میکروسکوپیک عبور سیال ارائه می دهند [15].

مشهورترین مدل شبیه سازی محیط های متخلخل مدل دارسی¹ است، با توجه به کمبودهایی که مدل دارسی در توصیف محیط های متخلخل متفاوت داشت، دانشمندان را بر این واداشت که یک سری جملات غیرخطی که اعتبار آنها از آزمایش به دست آمده بود را به مدل دارسی اضافه کنند. یکی از اصلاحات انجام شده بر روی مدل دارسی، مدل ارگان² 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 معادله را C^{r_1} یا ضریب مقاومت خطی و جمله μ/α را ضریب مقاومت درجه دو یا C^{R_2} مینامند. جمله C^{R_1} ناشی از لزجت و جمله C^{R_2} ناشی از نیروهای اینرسی است.

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

در جریان های با لزجت بالا، ترم دوم معادله (1) در نظر گرفته نمی شود و معادله بلیک -کوزنی³ (2)، برای جریان آرام در محیط متخلخل نازک به دست می آید [16]. $\frac{\Delta p}{\Delta x} = -\frac{\mu}{\alpha}U$ (2)

3- آزمایش استخراج ضرایب نفوذپذیری پارچه کانوپی و نتایج با استفاده از دستگاه سنجش نفوذپذیری منسوجات که در شکل 1 نشان داده شده، آزمایش نفوذپذیری بر روی پارچه استاندارد 7020-C-TN چتر انجام شد و مقدار افت فشار در سرعتهای مختلف محاسبه شد. در این آزمایش، یک لایه از پارچه مابین دو فک، کاملاً ثابت می شود. فک بالایی در

189

¹⁻ Darcy

²⁻ Ergun 3- Blake-Kozeny

معرض فشار هوای آزاد قرار گرفته و از فک پایینی مکش هوا صورت می گیرد. 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 نفوذپذیری¹ 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 ^{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 ($1/\alpha$) میشود. میلی متری 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 سرعت² در بالادست جریان و شرط مرزی فشار خروجی³ در وجه خروجی برای مدلسازی استفاده شده است.

فرم عمومی معادلهٔ مومنتم در نرمافزار فلوئنت بهصورت معادله (3) است [17]. جمله چاه ³⁴ در معادله (3) را میتوان بهصورت معادله (4) متناظر با معادله ارگان نوشت [17].

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



شكل 1 دستگاه آزمايش نفوذپذيرى پارچه

نفوذپذيرى	فشار ازمايش	جدول آ مقادير افت
∆ <i>p</i> (Pa)	q (Ls-1)	Upermeability (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



ېددې پارچه ختر	ر با شىيەسازى غ	، نتابج تحرير	ول 2 مقايسه	حد
<u></u>		5		

3 *	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		• •
خطا درصد	افت فشار عددی(Pa)	افت فشار تجربی(Pa)	سرعت (m/s)
1/6	24/6	25	0/08
2/4	51/2	50	0/18
2/8	77/1	75	0/26
4/1	104/1	100	0/36
6/1	159/2	150	0/6

 $S_i^M = -C^{R_1}U_i - C^{R_2}|U|U_i$

مقدار $I^{\rm U}$ سرعت سطحی در هر مؤلفه بردار است که در مدلسازی صفحه متخلخل متناظر با پارچه، تنها مؤلفه عمود بر پارچه در نظر گرفته می شود [17]. با نسبت دادن شرط پرش -متخلخل⁴ به صفحهٔ دوبعدی در نرمافزار فلوئنت، ضرایب معادله ارگان به این صفحه نسبت داده شد. با صفر قرار دادن جمله CR2 و نسبت دادن عدد به دست آمده از آزمایش تجربی به CR3 ، معادله بلیک -کوزنی برای شبیه سازی عبور هوا از پارچه استفاده شد. سپس معادلات پیوستگی و مومنتم با الگوریتم کوپله سرعت و فشار و گسته سازی پرستو⁵ فشار حل شدند. گسسته سازی پرستو برای جریان های گردشی و محیط متخلخل مناسب تر است [17]. نتایج این شبیه سازی در جدول 2 آورده شده است. مقایسه نتایج حل عددی با نتایج آزمایش تجربی نشان از هم خوانی و دقت مناسب حل دارد.

5- شبیهسازی عددی کانوپی واحد

(4)

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 ⁶01 قرار می گیرد.

Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09

⁴⁻ Porous-jump 5- Presto

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 شبیه سازی کانوپی نفوذپذیر مدلهای ۲۰۰۸ و K-۶ STT می باشند [18]. در شبیه سازی ها از مدل توربولانسی K- SST و SST ساستفاده 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 می کاهد و اختلاف فشار پشت و جلوی کانوپی کاهش پیدا می کند، در نتیجه پسا نیز کاهش می یابد. این میزان کاهش در بازه ذکر شده در مرجع [3] است.





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 مجموعۀ چترها، اثرات تداخلی در نظر گرفته شده، متفاوت با واقعیت، مورد تفسیر قرار می گیرند.

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 کالوی جریان پیرامون مدل نفوذپذیر نشان داده شده است و عبور جریان از کانوپی نفوذپذیر به خوبی آشکار است. در کانوپی نفوذپذیر ناحیهی سومی نیز با گذر جریان از کانوپی شکل گرفته است. این ناحیه گردابه های بزرگ را به با گذر جریان از کانوپی شکل گرفته 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.



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

همان گونه 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. هنگامی که دو کانوپی با فاصله کم بهعنوان دو چاه در معادلات مومنتم قرار می گیرند میل به ناپایداری در حل بالاتر میرود.

برای جبران این مورد و خوش رفتاری در همگرایی، کیفیت شبکه نقش مثبتی دارد. همان گونه که در شکل b 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 رابط¹ تعریفشده است. ارتباط دو بلوک در نرمافزار فلوئنت از طریق میانگین گیری مقادیر نقاط در طول سطوح رابط و نسبت دادن مقدار به نقاط بلوک دیگر انجام می شود [17]. بلاک حاوی کانوپی پایین به شکل مستطیلی ساخته شد.

برای بررسی اثر میانگین گیری 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 میانگین گیری در آنها دیده نشد.

چتر پایینی در سه فاصلهٔ عمودی 1، 1/5 و 2 برابر قطر خود نسبت به چتر بالايي تغيير وضعيت داده و در هر فاصله عمودي، در سه فاصلهٔ افقي 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/Cd₀) بی بعد شده است.

همان طور که در شکل 7 مشاهده می شود در هر سه فاصله یعمودی، 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 هنگامی که فاصله افقی دو چتر کمترین مقدار یعنی **1**D را دارد، تأثیرپذیری از تداخلات بسیار بالا است. در این حالت، همان طور که در شکل 8 نیز از روی خطوط جریان قابل مشاهده است، گردابه تشکیل شده در پشت چتر کوچکتر درون کانوپی چتر بالایی محبوس می شود و بر افت اختلاف فشار آن تأثیر می گذارد. در فاصله عمودی 2D و موقعیت افقی 1D پسا افت شدیدی نشان میدهد و مقدار آن به صفر نزدیک می شود. 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/Cd₀ افزایش مییابد.

اما در مورد چتر پایینی در هر سه فاصله عمودی، با افزایش فاصله افقی، پسای آن ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد؛ به علت اینکه در فاصله افقی خیلی کم، یعنی 1D، همان طور که اشاره شد، گردابه های 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 می شود و در نتیجه اختلاف فشار و پسای آن کاهش می یابد.

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 گردابه های پایین دست 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

Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09

DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.4.52.4

¹⁻ Interface

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



برای بررسی دقیق تر افت ضریب پسای مجموع چترها نسبت به جمع ضریب پسای دو چتر واحد (cduta) بی بعد شده است. این نسبت در شکل 9 نشان داده شده. در فاصله افقی 1/5 و 2 برابر قطر، فاصله عمودی تأثیر کمی دارد و در سه فاصله های 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 می دهد.

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

7- جمع بندی

در این مقاله با استفاده از آزمایش نفوذپذیری پارچه و برقراری تشابه با معادلات توصیف کننده محیط متخلخل نازک، ضرایب معادله بلیک -کوزنی برای پارچه Top MIL-C-7020 محاسبه شد. با نسبت دادن این ضرایب به عنوان عبارت چاه مرتبه اول در معادلات مومنتم، افت فشار و تغییرات سرعت در عبور جریان از پارچه شبیه سازی و اعتبارسنجی شد. سپس برای بررسی اهمیت اثر نفوذپذیری پارچه، دو کانوپی با فرض صلب و نفوذپذیر، شبیه سازی شد و مشاهده گردید که نفوذپذیری موجب 39% کاهش ضریب پسا کانوپی واحد دوبعدی در سرعت در شبیه سازی کانوپی چترها مناسب نبوده و باید اثرات نفوذپذیری پارچه در مدل سازی کانوپی چتر لحاظ شود. سپس شبیه سازی عددی چترهای گروهی مدل سازی کانوپی چتر لحاظ شود. سپس شبیه سازی عددی چترهای گروهی به صورت مجموعهٔ دوتایی پشت سرهم و با نسبت قطری 1/2، در دو حالت به صورت مجموعهٔ دوتایی پشت سرهم و با نسبت قطری 1/2، در دو حالت به صورت مجموعهٔ دوتایی پشت سرهم و با نسبت ملری 20، در دو حالت به صورت مجموعهٔ دوتایی پشت سرهم و با نسبت ملری 20، در می افت دوبعدی با درنظر گرفتن شرط نفوذپذیری کانوپی، انجام شد. برای بررسی افت پسای کانوپی ها در اثر تداخل میدان های 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 علايم

. 1
صريب مفاومت أينرسي
ضريب پسا
ضريب پسا چتر واحد
جمع ضریب پسا دو چتر واحد
قطر کانوپی
فشار (kgm ⁻¹ s ⁻²)
دبی جریان (Ls ⁻¹)
جمله چاه
سرعت (ms ^{.1})
فاصله افقی (m)
ضریب نفوذپذیری (m²)
ضخامت (m)
لزجت دینامیکی (kgm ⁻¹ s ⁻¹)
چگالی (kgm ⁻³)

R1 مقاومت خطی

R2 مقاومت مرتبه دو

9- مراجع

- 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.

بررسی عددی ضریب نیروی پسا دو هندسه چترگون دوبعدی متوالی با فرض نفوذ پذیری

- [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.
- [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.