

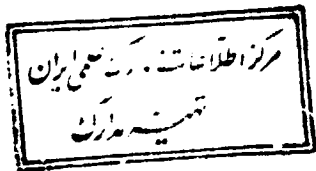
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال رسول الله،

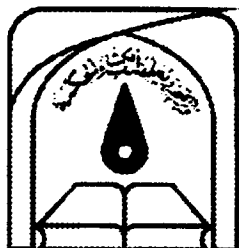
ليس العلم بكثرة العتلم وإنما هو نور يقذف الله

في قلب من يشاء

٣٠٢٤٤



۱۳۷۹ / ۶ / ۳۰



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

۲۸۸۸

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

حل عددی جریان لزج اطراف ایرفویل به همراه

اسپویلر با روش گردابه تصادفی

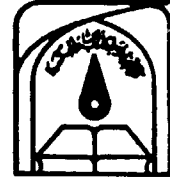
مجید سبزویشانی

استاد راهنما

دکتر بهزاد قدیری

اردیبهشت ۱۳۷۹

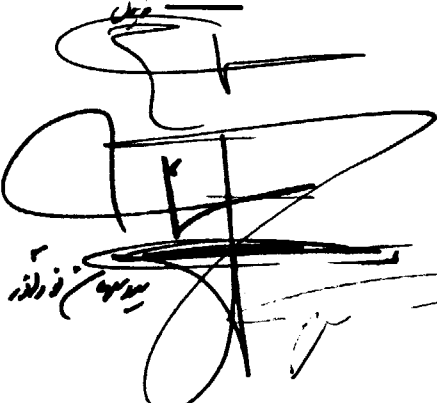
۳۰۲۴۴



دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای مجید سبزویشانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان حل عددی جریان لزج اطراف ایر فویل به همراه اسپویلر باروش گردابه تصادفی در تاریخ ۷۹/۳/۴ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند. ۲۶ ب ۲

امضاء

فراشته

نام و نام خانوادگی

آقای دکتر قدیری

—

آقای دکتر حیدری نژاد

آقای دکتر نورآذر

آقای دکتر معرفت

اعضای هیات داوران

۱- استاد راهنما:

۲- استاد مشاور:

۳- استادان ممتحن:

۴- مدیر گروه:

(یا نماینده گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهائی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:





بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

- ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.
- ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته _____ است
که در سال _____ در دانشکده _____ دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ ، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»
- ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.
- ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأديه کند.
- ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.
- ماده ۶ اینجانب محمد سبزوئی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک - مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد سبزوئی

تاریخ و امضا: ۲۵، ۲، ۷۹

تقدیم به:

پدر پاکدل و مهربانم و مادر دلسوز و صبورم
آنانکه همواره دستها و دلهایشان پشتوانهٔ زندگیم
و دعاهایشان تکیه‌گاه تلاشهایم بوده است.

با سپاس از:

استاد ارجمند آقای دکتر بهزاد قدیری که
راهنمایی این پایان نامه را به عهده داشته اند و هیئت داوران که
زحمت مطالعه آنرا تقبل فرمودند.

چکیده

جریان لزوج، آرام و تراکم‌ناپذیر اطراف اجسام Bluff به روش گردابه تصادفی¹ و با استفاده از طرح هیبرید مطالعه گردیده است و این روش برای شبیه‌سازی جریان اطراف ایرفویل به‌مراه اسپویلر توسعه داده شده است. معادله ناویراستوکس بفرم ورتیسیتی، به روش گام جزء به جزء² به دو معادله خطی پنخش و غیر خطی جابجائی تفکیک می‌گردد. در این روش معادلات بدنبال هم حل می‌شوند، بدین صورت که در هر فاصله زمانی ابتدا معادله پنخش با شرایط اولیه حل می‌شود و سپس معادله جابجائی با استفاده از حل معادله پنخش بعنوان شرط اولیه حل می‌گردد. روش گام تصادفی³ برای حل معادله پنخش و روش CIC⁴ برای حل معادله جابجائی بکار برده می‌شود. ورتیسیتی توسط ورتکسهای نقطه‌ای مدل شده و ورتکسهای جدید برای ارضاء شرط سرعت مماسی صفر، روی سطح بوجود می‌آیند. ورتکسها با گام تصادفی حرکت می‌کنند تا معادله پنخش شبیه‌سازی گردد و سپس در میدان لاگرانژیین حرکت می‌کنند تا معادله جابجائی را شبیه‌سازی نمایند.

شبیه‌سازی عددی برای جریان اطراف ایرفویل به همراه اسپویلر انجام پذیرفته است. فشار متوسط و ضرائب نیرو برای طول و زوایای مختلف اسپویلر محاسبه و با نتایج تئوری و تجربی موجود مقایسه شده است. نتایج از توافق خوبی برخوردارند.

کلمات کلیدی: حل عددی، ایرفویل، اسپویلر، جریان لزوج، گردابه تصادفی، ناویراستوکس،

ورتیسیتی، تبدیلات همدیس

-
- 1- Random Vortex
 - 2- Fractional Step
 - 3- Random Walk
 - 4- Cloud-in-Cell

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
پ	فهرست علائم اختصاری
ج	فهرست اشکال
	فصل اول
	مقدمه
۲	۱-۱- روشهای عددی
۶	۲-۱- مرور مقالات
۶	۱-۲-۱- کاربرد روش ورتکس منفرد
۹	۲-۲-۱- جریان اطراف ایرفویل به‌مراه اسپویلر
۱۲	۳-۱- اهداف رساله
	فصل دوم
	روش رن‌دم ورتکس
۱۴	۱-۲- معادلات اولیه
۱۷	۲-۲- حل معادله جابجائی
۲۰	۳-۲- شرایط مرزی
۲۱	۴-۲- حل معادله دیفیوژن
	فصل سوم
	شبیه‌سازی جریان اطراف ایرفویل به‌مراه اسپویلر
۲۴	۱-۳- روش عددی
۲۶	۲-۳- تبدیلات هم‌مدیس متوالی
۳۱	۳-۳- حل معادله دیفیوژن
۳۳	۴-۳- حل معادله پواسون
۳۳	۵-۳- حل معادله اویلر
۳۵	۶-۳- شرایط مرزی ورتیسیتی
۳۶	۷-۳- محاسبه ضرائب نیرو

عنوان

فصل چهارم

بررسی نتایج و پیشنهادات

صفحه

۴۰	۱-۴- بررسی جریان در حالت گذرا
۴۲	۲-۴- بررسی جریان در حالت دائم
۴۹	۳-۴- نتیجه گیری
۵۰	۴-۴- بحث خطاها
۵۱	۵-۴- پیشنهادات
۵۲	اشکال
۱۱۶	مراجع
۱۲۰	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۱۲۴	چکیده انگلیسی

علائم اختصاری

a	شعاع استوانه
l_s/l	نسبت طول اسپویلر به ایرفویل
C_l, C_d	ضرائب برا و پسا لحظه ای بر اساس U
E_s/LE	فاصله اسپویلر تا نقطه LE ایرفویل
\bar{C}_l, \bar{C}_d	متوسط زمانی ضرائب برا و پسا بر اساس U
C_p	ضریب فشار ($C_p = p/0.5\rho U^2$)
\bar{C}_p	ضریب فشار متوسط
$d\xi/dz$	مشتق نگاشتی
$ d\xi/dz $	قدر مطلق مشتق نگاشتی
$\overline{d\xi/dz}$	مزدوج مشتق نگاشتی
F_L, F_D	نیروهای برا و پسا
$F(z)$	پتانسیل مختلط در صفحه z -
$F(\xi)$	پتانسیل مختلط در صفحه ξ -
h/c	کمبر (camber) ایرفویل
P	فشار
$P_i(x,t)$	توزیع نرمال (گوسی)
P_s	فشار سکون
r	مختصات قطبی
δ	زاویه ایرفویل با اسپولر
Re	عدد رینولدز
t	زمان
t_l	ضخامت ایرفویل
U	سرعت آزاد جریان در صفحه z -
u, v	مؤلفه های متعامد سرعت در مختصات کارترین

u_r, u_θ	مؤلفه های متعامد سرعت در مختصات قطبی
V	سرعت آزاد جریان در صفحه ξ -
V_b	سرعت جسم
$w(z)$	سرعت مختلط در صفحه z -
$w(\xi)$	سرعت مختلط در صفحه ξ -
$w'(\xi)$	سرعت مختلط مؤثر
x, y	مختصات کارتزین
α	زاویه حمله جریان
Γ	سیرکولاسیون ورتکس
Γ_0	سیرکولاسیون ورتکس در سطح
Γ_{max}	ماکزیمم سیرکولاسیون ورتکس
γ	قدرت ورتکس در واحد طول
ΔS	طول پنل
Δt	فاصله زمانی
$\Delta \tau$	فاصله زمانی بی بعد $(\Delta \tau = \frac{\Delta t U}{a})$
$\Delta \theta$	طول شیت ورتکس در سطح
$\Delta x, \Delta y$	ابعاد شبکه در جهات y, x
$\Delta \xi$	بعد شبکه در جهت ξ
δ	تابع دلتا دیراک
ε	پارامتر Cut-off
θ	مختصات قطبی
λ_1, λ_2	اعداد تصادفی در صفحه z -
λ'_1, λ'_2	اعداد تصادفی در صفحه ξ -
μ	ویسکوزیته
ν	ویسکوزیته سینماتیکی

ρ دانسیته
τ زمان بی بعد ($\tau=tU/a$)
τ_0 تنش برشی در سطح
ψ تابع جریان
ω ورتیسیتی
ω_0 ورتیسیتی در سطح

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۵۲	شکل (۱-۲) - توزیع ورتکس در سلول CIC
۵۳	شکل (۲-۲) - سیستم شبکه قطبی
۵۴	شکل (۱-۳) - صفحه حقیقی Z
۵۴	شکل (۲-۳) - صفحه t
۵۵	شکل (۳-۳) - صفحه s
۵۵	شکل (۴-۳) - صفحه ω
۵۶	شکل (۵-۳) - صفحه λ
۵۶	شکل (۶-۳) - صفحه μ
۵۷	شکل (۷-۳) - صفحه محاسباتی κ
۵۸	شکل (۸-۳) - محاسبه ضرائب نیرو
۵۹	شکل (۱-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=0.1$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی (b) خطوط جریان
۶۰	شکل (۲-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=0.3$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی (b) خطوط جریان
۶۱	شکل (۳-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=0.5$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی (b) خطوط جریان
۶۲	شکل (۴-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=1.5$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی مرجع [12] (b) ساختار ورتیستی (c) خطوط جریان
۶۳	شکل (۵-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=3.0$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی مرجع [12] (b) ساختار ورتیستی (c) خطوط جریان
۶۴	شکل (۶-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=5.0$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی مرجع [12] (b) ساختار ورتیستی (c) خطوط جریان
۶۵	شکل (۷-۴) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=0.2$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیستی مرجع [12] (b) ساختار ورتیستی (c) خطوط جریان

- شکل (۴-۸) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=0.5$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیسیتی مرجع
 [12] (b) ساختار ورتیسیتی (c) خطوط جریان ۶۶
- شکل (۴-۹) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=2.0$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیسیتی مرجع
 [12] (b) ساختار ورتیسیتی (c) خطوط جریان ۶۷
- شکل (۴-۱۰) - محاسبات عددی جریان در زمان $\tau=5.0$ و $Re=1000$ (a) ساختار ورتیسیتی مرجع
 [12] (b) ساختار ورتیسیتی (c) خطوط جریان ۶۸
- شکل (۴-۱۱) - توسعه زمانی ضرایب برا در $Re=1000$ و زاویه حمله 0.0 درجه و مقایسه با نتایج
 تجربی [31] و تئوری [12] ۶۹
- شکل (۴-۱۲) - توزیع فشار روی سطح در $Re=1000$ و $\tau=0.2$ و مقایسه با نتایج [12] ۷۰
- شکل (۴-۱۳) - ساختار ورتیسیتی جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.5, \delta=90$
 و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$ ۷۱
- شکل (۴-۱۴) - خطوط جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.5, \delta=90$
 و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$ ۷۲
- شکل (۴-۱۵) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله 2- درجه ... ۷۳
- شکل (۴-۱۶) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله 4 درجه ۷۳
- شکل (۴-۱۷) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله 10 درجه ۷۴
- شکل (۴-۱۸) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله 18 درجه ۷۴
- شکل (۴-۱۹) - تغییرات ضرایب برا و پسا بر حسب زاویه حمله در $Re=1000$ و مقایسه با نتایج
 تجربی و تحلیلی [11] ۷۵
- شکل (۴-۲۰) - توزیع فشار روی سطح در زاویه حمله ۶ درجه ۷۶
- شکل (۴-۲۱) - توزیع فشار روی سطح در زاویه حمله ۱۸ درجه ۷۶
- شکل (۴-۲۲) - ساختار ورتیسیتی جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.7, \delta=90$
 و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$ ۷۷
- شکل (۴-۲۳) - خطوط جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.7, \delta=90$
 و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$ ۷۸
- شکل (۴-۲۴) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۴- درجه .. ۷۹
- شکل (۴-۲۵) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۰/۰ درجه . ۷۹

- شکل (۴-۲۶) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۸ درجه ... ۸۰
- شکل (۴-۲۷) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۱۸ درجه ... ۸۰
- شکل (۴-۲۸) - تغییرات ضرایب برا و پسا بر حسب زاویه حمله در $Re=1000$ و مقایسه با نتایج تجربی و تحلیلی [11] ۸۱
- شکل (۴-۲۹) - توزیع فشار روی سطح در زاویه حمله ۴ درجه ۸۲
- شکل (۴-۳۰) - توزیع فشار روی سطح در زاویه حمله ۱۴ درجه ۸۲
- شکل (۴-۳۱) - ساختار ورتیسیتی جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.7, \alpha=6$ ۸۳
- و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$
 شکل (۴-۳۲) - خطوط جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.7, \alpha=6$ ۸۴
- و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$
 شکل (۴-۳۳) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در زاویه حمله ۶ درجه و زاویه اسپویلر ۱۵ درجه. ۸۵
- شکل (۴-۳۴) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در زاویه حمله ۶ درجه و زاویه اسپویلر ۴۵ درجه. ۸۵
- شکل (۴-۳۵) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در زاویه حمله ۶ درجه و زاویه اسپویلر ۶۰ درجه. ۸۶
- شکل (۴-۳۶) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در زاویه حمله ۶ درجه و زاویه اسپویلر ۷۵ درجه. ۸۶
- شکل (۴-۳۷) - تغییرات ضرایب برا و پسا بر حسب زاویه اسپویلر و مقایسه با نتایج تجربی [11] ۸۷
- شکل (۴-۳۸) - ساختار ورتیسیتی جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.05, Es/LE=0.7$ ۸۸
- و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$ و $\delta=90$
 شکل (۴-۳۹) - خطوط جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.05, Es/LE=0.7, \delta=90$ ۸۹
- و زمان $\tau=25$ و $Re=1000$
 شکل (۴-۴۰) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۰/۰ درجه .. ۹۰
- شکل (۴-۴۱) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۱۶ درجه .. ۹۰
- شکل (۴-۴۲) - تغییرات ضرایب برا و پسا بر حسب زاویه حمله در $Re=1000$ و مقایسه با نتایج تجربی و تحلیلی [11] ۹۱
- شکل (۴-۴۳) - ساختار ورتیسیتی جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.7, \delta=60$ ۹۲
- و زمان $\tau=22$ و $Re=1000$
 شکل (۴-۴۴) - خطوط جریان در $t/l=0.14, h/l=0.0, ls/l=0.1, Es/LE=0.7, \delta=60$ ۹۳
- و زمان $\tau=22$ و $Re=1000$
 شکل (۴-۴۵) - توسعه زمانی ضرایب برا و پسا در $Re=1000$ و زاویه حمله ۲- درجه .. ۹۴