بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

بهبود خنک کاری پیل های سوختی از نوع PEM به کمک اختلاط در جریان آرام

استاد راهنما
دکتر علیرضا شاطری

استاد مشاور
دکتر افشین احمدی

پژوهشگر
الهام کاظمی

اسفند ماه ۱۳۹۰

این پایان نامه با کمک و پشتیبانی
سازمان انرژی های نو ایران(سانا)
اجرا شده است.

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه مکانیک

پایان‌نامه‌ی خانم الهام کاظمی جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی با عنوان «بهبود خنک کاری پیل های سوختی از نوع PEM به کمک اختلاط در جریان آرام » در تاریخ با حضور هیئت داوران زیر بررسی و با نمره‌ی مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر علیرضا شاطری با مرتبه علمی استادیار امضا

۲. استاد مشاور پایان‌نامه دکتر افشین احمدی با مرتبه علمی استادیار امضا

۳. استاد داور داخلی گروه دکتر با مرتبه علمی امضا

۴. استاد داور داخلی گروه دکتر با مرتبه علمی امضا

دکتر بهزاد قاسمی

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی و مهندسی

کلیه‌ی حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی

لازم می‌دانم حس سپاس‌گذاری خود را نسبت به همه‌ی کسانی که از ابتدای کودکی تا کنون در زندگانیم در نقش معلم ظاهر شدند، ابراز دارم.

الهام کاظمی
زمستان ۱۳۹۰

تقدیم:

به مادرم که دست هایش باران عطوفت است.
و پدرم که نگاهش تجلی آزادگی است.
و همه زندگیم را مدیون ایثار و فداکاری آنانم.

و تقدیم به همسرم
که نگاه آرام بخش زندگی است.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

چکیده

از آنجایی که بحرانهای انرژی و محیط زیست در دنیا همواره سیاستگذاران بخش انرژی را نسبت به جایگزینی سیستمهای سنتی فسیل سوز فعلی با فناوریهای پاک تحت فشار قرار داده است، پیل سوختی می‌تواند گزینه بسیار مناسبی در این پروسه باشد. از طرفی کنترل حرارتی پیل سوختی به عنوان فاکتوری مهم در جهت عملکرد صحیح آن به حساب می آید و سیستم های سرمایشی با راندمان بالا از جمله اجزاء مهم و اساسی در پیلهای سوختی به شمار می روند. شرایط هیدرودینامیکی جریان در کانال های سیال خنک کننده پیل سوختی به گونه ای است که رژیم جریان در آن کاملا آرام بوده و عدد رینولدز در حدود ۲۰۰ می باشد. جریان آرام در داخل کانال مستقیم در حالت پایا دارای خطوط جریان موازی دیواره های کانال است و انتقال حرارت از دیواره ها به سیال مرکز کانال عمدتا از طریق هدایت انجام می شود که نرخ بسیار کمی دارد. در این موارد برای افزایش انتقال حرارت، می توان از اختلاط سیال در نواحی داخلی و قسمت های مجاور دیواره استفاده کرد که باعث افزایش مولفه عرضی انتقال حرارت می شود. این کار با ایجاد جریان ثانویه در صفحه عمود بر راستای اصلی جریان ممکن است که نرخ انتقال حرارت را بدون افزایش چشمگیر افت فشار، بالا می برد. در این پایان نامه ضمن شبیه سازی عددی جریان و انتقال حرارت در یک کانال زیگزاگ، تاثیر آن بر ایجاد اختلاط سیال و افزایش انتقال حرارت بررسی می شود. برای حل معادلات حاکم از روش حجم کنترل و الگوریتم سیمپل استفاده می گردد. نتایج نشان گر ایجاد جابه جایی آشوبناک در جریان است که با ایجاد جریان های ثانویه در مقطع عرضی و جریان های برگشتی در طول بازوهای زیگزاگ کانال، باعث یکنواختی دما در هر مقطع عرضی شده و حداکثر دما در کانال را کاهش می دهد. همچنین استفاده از این کانال زیگزاگ، در ازای افزایش کمی در افت فشار، میزان انتقال حرارت را تا حدود قابل ملاحظه ای بالا می برد.

کلمات کلیدی: پیل سوختی غشاء پلیمری، کانال زیگزاگ، جابه جایی آشوبناک، اختلاط مومنتوم و حرارتی، عدد نوسلت، ضریب اصطکاک

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه **۱۲**

فصل اول: معرفی و پیشینه تحقیق

۱- ۱ معرفی پیل سوختی ۱۳

۱- ۲ مطالعات انجام شده در زمینه پیل سوختی ۱۸

۱- ۳ جابه جایی آشوبناک ۲۴

۱- ۳- ۱ معرفی جابه جایی آشوبناک ۲۴

۱- ۳- ۲ جابه جایی آشوبناک در اعداد رینولدز بالا ۲۵

۱- ۳- ۲- ۱ کانال T شکل ۲۵

۱- ۳- ۲- ۲ ایجاد اختلال به وسیله ایجاد موانع در کانال ۲۸

۱- ۳- ۲- ۳ جریان دین در یک کانال با پیچ های متناوب ۲۹

۱- ۳- ۳ جابه جایی اشوبناک در اعداد رینولدز متوسط ۳۲

فصل دوم: هندسه مورد بررسی و معادلات حاکم

۲- ۱ هندسه ۳۵

۲-۲ معادلات حاکم ۳۷

۲-۲-۱ فرضیات مسئله ۳۷

۲-۲-۲ معادلات با بعد ۳۷

۲-۲-۳ شرایط مرزی با بعد ۳۸

۲-۲-۳-۱ شرط مرزی ورودی سرعت ۳۸

۲-۲-۳-۲ شرط مرزی ورودی دما ۳۹

۲-۲-۳-۳ شرط مرزی سرعت روی دیواره ها ۳۹

۲-۲-۳-۴ شرط مرزی دما روی دیواره ها ۳۹

۲-۲-۳-۵ شرط مرزی خروجی ۳۹
۲-۲-۴ معادلات بدون بعد ۴۰
۲-۲-۵ شرایط مرزی بدون بعد ۴۰
۲-۲-۵-۱ شرط مرزی ورودی سرعت ۴۰
۲-۲-۵-۲ شرط مرزی ورودی دما ۴۱
۲-۲-۵-۳ شرط مرزی سرعت روی دیواره ها ۴۱
۲-۲-۵-۴ شرط مرزی دما روی دیواره ها ۴۱
۲-۲-۵-۵ شرط مرزی خروجی ۴۱
۲-۲-۶ سایر معادلات ۴۱
۲-۲-۶-۱ عدد نوسلت ۴۱
۲-۲-۶-۲ ضریب اصطکاک ۴۲
۲-۲-۶-۳ عدد نوسلت متوسط کلی در کانال ۴۳
۲-۲-۶-۴ شاخص یکنواختی دما (IUT) ۴۴

فصل سوم: گسسته سازی معادلات

۳-۱ معادله دیفرانسیل عمومی ۴۶
۳-۲ معادله جبری کلی ۴۷
۳-۳ شبکه جابه جا شده (Staggered Grid) ۵۰
۳-۴ حل عددی معادلات مومنتوم ۵۱
۳-۵ معادله تصحیح فشار ۵۲
۳-۶ معادله انرژی ۵۲
۳-۷ الگوریتم سیمپل ۵۳
۳-۸ شرط مرزی فشار ثابت در خروجی ۵۳
۳-۹ ایجاد هندسه و اعمال شرایط مرزی ۵۴
۳-۹-۱ شرط مرزی سرعت ۵۶
۳-۹-۲ شرط مرزی حرارتی ۵۶

فصل چهارم: ارائه نتایج و نتیجه گیری

۴-۲ اعتبارسنجی کد کامپیوتری ۵۸

۴-۱ استقلال حل از شبکه ۵۹

۴-۳ بررسی نتایج ۶۰

۴-۳-۱ آشوب در جریان ۶۰

۴-۳-۱-۱ حساسیت به شرایط اولیه ۶۰

۴- ۳-۱-۲ مقاطع پوآنکاره ۶۴

۴- ۳-۱-۳ بردارهای سرعت در مقاطع عرضی ۶۷

۴- ۳-۱-۴ میدان دما ۷۰

۴- ۳-۱-۵ بردارهای سرعت در طول کانال ۷۶

۴-۳-۱-۶ پروفیل دما در مقطع مرکزی کانال ۷۹

۴-۳-۲ بررسی حرارتی ۸۱

۴-۳-۲-۱ عدد نوسلت محلی در طول کانال ۸۱

۴-۳-۲-۲ عدد نوسلت متوسط کلی در کانال ۸۲

۴-۳-۲-۳ تغییرات دمای جداره و متوسط مقطع ۸۳

۴-۳-۲-۴ نمودار نسبت $\frac{T_{max,w} - T_{min,w}}{A_T}$ ۸۶

۴-۳-۲-۵ شاخص یکنواختی دما (Uniform Temperature Index) ۸۷

۴-۳-۳ بررسی هیدرولیکی: ضریب اصطکاک در طول کانال ۸۹

۴-۳-۴ برآورد حالت بهینه: نسبت ضریب اصطکاک به عدد نوسلت ۹۰

۴-۵ جمع بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۲

۴-۵-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۹۲

۴-۵-۲ ارائه پیشنهادات ۹۳

منابع ۹۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول

شکل ۱-۱ شماتیک یک پیل سوختی ۱۵
شکل ۱-۲ واکنش در پیل سوختی PEM ۱۷
شکل ۱-۳ شش میدان جریان مارپیچ جهت کانال های خنک کاری پیل سوختی [۱۲] ۲۲
شکل ۱-۴ ناحیه اختلاط و لایه مرزی در ورودی یک کانال T شکل ۲۵
شکل۱-۵ خطوط جریان در کانال T شکل در اعداد رینولدز مختلف [۱۸] ۲۷
شکل ۱-۶ شبکه درختی با شش تراز شاخه [۱۹] ۲۷
شکل ۱-۷ نمونه ای از یک کانال U شکل ۲۷
شکل ۱-۸ کانال های ایجاد کننده اختلاط بر اساس جابه جایی آشوبناک ۲۸
شکل ۱-۹ مدل سه بعدی پیل سوختی با کانال های موجی شکل جریان [۲۳] ۲۹
شکل ۱-۱۰ ورتکس های دین در اعداد رینولدز مختلف[۲۴] ۳۰
شکل ۱-۱۱ کانال منحنی صفحه ای، ایجاد کننده اختلاط بر اساس جریان دین ۳۱
شکل ۱-۱۲ نمایش صفحه ای میکروکانال موجی شکل[۲۵] ۳۱
شکل ۱-۱۳ کانال صفحه ای با پیچ های ^{o} ۹۰، ایجاد کننده اختلاط بر اساس جریان دین [۲۷] ۳۲
شکل ۱-۱۴ کانال C شکل ایجاد کننده اختلاط بر اساس جابه جایی آشوبناک در اعداد رینولدز متوسط [۲۹] ۳۳
شکل ۱-۱۵ شماتیک کانال C شکل [۱۵] ۳۳

فصل دوم

شکل ۲-۱ ابعاد کانال زیگزاگ، W عرض کانال، D عمق آن، S طول خطی گام تناوب و L طول کلی کانال ۳۶
شکل ۲-۲ هندسه های مختلف کانال زیگزاگ ۳۶

فصل سوم

شکل ۳-۱ دامنه محاسباتی و نحوه نامگذاری نقاط شبکه ۴۵
شکل ۳-۲ حجم کنترل سه بعدی با نامگذاری وجوه ۴۸
شکل ۳-۳ حجم کنترل در حالت دو بعدی ۴۸

شکل ۳-۴ شبکه جابه جا شده برای u و v ۵۱
شکل ۳-۵ حجم کنترل مورد استفاده برای معادله پیوستگی ۵۳
شکل ۳-۶ سلول P' در یک مرز خروجی ۵۴
شکل ۳-۷ ایجاد کانال زیگزاگ در یک دامنه محاسباتی دکارتی ۵۵
شکل ۳-۸ واحدهای کانال زیگزاگ و نامگذاری های مربوطه ۵۵

فصل چهارم

شکل ۴-۱ تاثیر تعداد نقاط شبکه بر روی دمای حداکثر در طول کانال ۵۹
شکل ۴-۲ تاثیر تعداد نقاط شبکه بر روی اختلاف دمای جداره در ورود و خروج کانال ۵۹
شکل ۴-۳ تاثیر تعداد نقاط شبکه بر روی افت فشار در طول کانال ۶۰
شکل ۴-۴ عدم حساسیت به شرایط اولیه در کانال مستقیم ۶۱
شکل ۴-۵ حساسیت به شرایط اولیه در کانال های زیگزاگ ۶۲
شکل ۴-۶ مقاطع پوآنکاره در کانال زیگزاگ با R=۲ ..... ۶۵
شکل ۴-۷ بردارهای سرعت در مقطع X^*=۰/۸L از کانال مستقیم ۶۷
شکل ۴-۸ بردارهای سرعت برای کانال زیگزاگ با R=۱ ..... ۶۸
شکل ۴-۹ بردارهای سرعت برای کانال زیگزاگ با R=۲ ..... ۶۸
شکل ۴-۱۰ بردارهای سرعت برای کانال زیگزاگ با R=۴ ..... ۶۹
شکل ۴-۱۱ بردارهای سرعت برای کانال زیگزاگ با R=۸ ..... ۷۰
شکل ۴-۱۲ نمایش میدان دما برای کانال های مختلف ۷۱
شکل ۴-۱۳ بردارهای سرعت در کانال زیگزاگ با R=۱ ..... ۷۶
شکل ۴-۱۴ بردارهای سرعت در کانال زیگزاگ با R=۲ ..... ۷۷
شکل ۴-۱۵ بردارهای سرعت در کانال زیگزاگ با R=۴ ..... ۷۸
شکل ۴-۱۶ بردارهای سرعت در کانال زیگزاگ با R=۸ ..... ۷۹
شکل ۴-۱۷ پروفیل دما در مقطع مرکزی کانال در جهت افقی ۸۰
شکل ۴-۱۸ نمودار تغییرات محلی عدد نوسلت در طول کانال برای هندسه های مختلف ۷۱
شکل ۴-۱۹ نمودار تغییرات دمای جداره و مقطع در طول کانال مستقیم ۸۳
شکل ۴-۲۰ نمودار تغییرات دمای جداره و مقطع در طول کانال زیگزاگ R=۱ ..... ۸۳
شکل ۴-۲۱ نمودار تغییرات دمای جداره و مقطع در طول کانال زیگزاگ R=۲ ..... ۸۴
شکل ۴-۲۲ نمودار تغییرات دمای جداره و مقطع در طول کانال زیگزاگ R=۴ ..... ۸۴

شکل ۴-۲۳ نمودار تغییرات دمای جداره و مقطع در طول کانال زیگزاگ R=۸ ..... ۸۵
شکل ۴-۲۴ نمودار نسبت $\frac{T_{max,w} - T_{min,w}}{A_T}$ برای هندسه های مختلف ۸۶
شکل ۴-۲۵ شاخص یکنواختی دما برای هندسه های مختلف بر حسب R ۸۷
شکل ۴-۲۶ شاخص های یکنواختی دما برای مدل های مختلف ۸۸
شکل ۴-۲۷ رنج تغییر دمای سطح در مدل های مختلف ۸۹
شکل ۴-۲۸ نمودار حاصلضرب fxRe برای مدل های مختلف ۹۰
شکل ۴-۲۹ نمودار نسبت ضریب اصطکاک به عدد نوسلت در طول کانال برای مدل های مختلف ۹۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ جملات معادله عمومی ۳-۱ ..... ۴۶
جدول ۳-۲ جملات و ضرایب معادله عمومی بدون بعد ۴۷
جدول ۴-۱ مقدار ضریب اصطکاک در خروجی کانال و درصد خطا در مقایسه با مراجع ۵۸
جدول ۴-۲ مقدار عدد Nu در خروجی کانال و درصد خطا در مقایسه با مراجع ۵۸
جدول ۴-۳ عدد Nu متوسط کلی برای هر هندسه ۸۲

فهرست نمادها

علائم لاتین

a	نصف عرض کانال، w/2، (m)
A	سطح مقطع کانال، (m^2)
A'	سطح جانبی کانال، (m^2)
b	نصف عمق کانال، D/2، (m)
C_f	ضریب اصطکاک پوسته، (-)
C_P	ظرفیت گرمایی ویژه، (j/Kg ^ok)
D	عمق کانال، (m)
De	عدد دین، $Re\sqrt{D_h / r}$، (-)
D_h	قطر هیدرولیک، 4A/p، (m)
f	ضریب اصطکاک، (-)
h	ضریب انتقال حرارت جابه جایی، (w/m^2 ^{o}k)
I	شاخص یکنواختی دما، (^{o}k)
K	ضریب هدایت حرارتی، (w/m ^{o}k)
L	طول کانال، (m)
Nu	عدد ناسلت، (h D_h/ k)، (-)
p	محیط خیس شده سیال، (m)
P	فشار، (Pa)
Pe	عدد پکله، (ρ u D_h C_p / k) ، (-)
Pr	عدد پرانتل، (C_P μ / k)، (-)
q"	شار حرارتی سطحی، (w/m^2)
r	شعاع انحنای کانال دایره ای
R	نسبت طول خطی هر تناوب به عرض کانال، (S/W)، (-)
Re	عدد رینولدز، ($\rho u\ D_h/\mu$)، (-)
S	طول خطی هر واحد زیگزاگ، (m)
t	زمان، (s)

T	دما، (^{o}k)
u	سرعت در جهت x، (m/s)
v	سرعت در جهت y، (m/s)
V	حجم، (m^3)
w	سرعت در جهت z، (m/s)
W	عرض کانال، (m)
x	مولفه طولی، (m)
y	مولفه عرضی، (m)
z	مولفه عمقی، (m)

علائم یونانی

α	ضریب پخش حرارتی، (m^2/s)
δ	فاصله دو گره متوالی شبکه
Δ	اختلاف
φ	متغیر عمومی
Γ	ضریب پخش
Ω	مقاومت ورتکس
μ	لزجت دینامیکی، (Pa.s)
ρ	چگالی سیال، (Kg/m^3)

زیرنویس ها

Ave	متوسط
Cr	بحرانی
f	سیال
H_1	شرط شار حرارتی ثابت
i	اندیس بعد طولی
in	ورودی

j	اندیس بعد عرضی
k	اندیس بعد عمقی
m	میانگین
max	حداکثر
min	حداقل
ref	مرجع
T	کلی
w	جداره

بالانویس ها

*	پارامترهای بدون بعد