بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکدۀ مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

عنوان:

بررسی انتقال حرارت گذرا در مبدل حرارتی دو راهه

استاد راهنما:

دکتر محسن گودرزی

نگارش:

سوده مظهرمنش

10شهریورماه 1392

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, **Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.**

مقالات داخلی

.....، **گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.**

سپاسگزاری:

با سپاس فراوان از جناب آقای دکتر محسن گودرزی برای راهنمایی‌ها و ارائه تجربیات ارزشمندشان در انجام این تحقیق و

با تشکر از خانواده و دوستان عزیزم به خاطر حمایت‌ها و کمک‌های بی‌دریغشان در طول انجام این پژوهش

تقدیم بـــه:

اسوه‌های فداکاری و ایثار، پدر و مادر مهربانم و

نگاه سبز زندگی، سارای عزیزم

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

بررسی انتقال حرارت گذرا در مبدل حرارتی دو راهه

نام نویسنده: سوده مظهرمنش

نام استاد راهنما: دکتر محسن گودرزی

نام استاد مشاور:

دانشکده : فنی و مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی مکانیک**	
رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک	**گرایش تحصیلی: تبدیل انرژی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: 1390/2/12	**تاریخ دفاع:** 1392/6/10	**تعداد صفحات:** 145

چکیده:

یکی از مسائل مهم در عملکرد مبدل‌های حرارتی پیش بینی رفتار گذرایی است که این تجهیزات در طول روشن شدن، خاموش شدن و حالت غیر دائم از خود نشان می‌دهند. رفتار گذرای مبدل حرارتی بر عملکرد سایر قسمت‌های یک سیستم تأثیر می‌گذارد. بنابراین مطالعه‌ی مبدل‌های حرارتی در حالت گذرا به یافتن راهکارهای مناسب جهت کنترل سیستم‌ها کمک می‌کند. در این تحقیق رفتار گذرای مبدل‌های حرارتی تک راهه و دو راهه به صورت تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. این مبدل‌های حرارتی تحت شار ثابت بوده و دمای کل سیال درون آن‌ها، در لحظه‌ی $t=0$ در دمای T_I قرار دارد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که به دلیل وجود نقاط منفرد در حل تحلیلی، پاسخ‌های به دست آمده از این روش از مقدار حقیقی خود فاصله دارند و با افزایش سرعت سیال اختلاف نتایج به دست آمده از دو روش تحلیلی و عددی بیشتر می‌شود. همچنین مقایسه‌ی نتایج به دست آمده برای مبدل حرارتی تک راهه و دو راهه نشان داد که در اعداد گراتز بالا مبدل حرارتی دو راهه زودتر از مبدل حرارتی تک راهه به حالت دائم می‌رسد. لذا با توجه به زمان راه اندازی این نوع مبدل‌های حرارتی، دو راهه کردن جریان در اعداد گراتز بالا مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: انتقال حرارت گذرا، مبدل حرارتی، دو راهه، زمان راه اندازی

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فهرست مطالب ..... ا

فهرست جداول ..... ه

فهرست شکل‌ها ..... و

فهرست علائم اختصاری ..... ل

فصل 1- مقدمه 5

1-1 کلیات 5

2-1 مبدل حرارتی 5

1-2-1 مبدل حرارتی دو لوله‌ای 6

2-2-1 مبدل حرارتی پوسته و لوله 6

3-2-1 مبدل حرارتی صفحه‌ای 7

3-1 افزایش بازده‌ی مبدل‌های حرارتی 8

1-3-1 مبدل‌های حرارتی پره‌دار 8

2-3-1 مبدل‌های حرارتی دو راهه 8

4-1 مروری بر تحقیقات صورت گرفته بر مبدل‌های حرارتی تک راهه و چند راهه 9

5-1 لزوم بررسی حل گذرا 11

1-5-1مروری بر تحقیقات صورت گرفته روی مبدل‌های حرارتی در حالت گذرا 12

فصل2- معادلات حاکم بر جریان 17

1-2 کلیات 17

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

2-2 معادلات حاکم در حالات بعددار 17

2-2-1 معادله‌ی بقای جرم 17

2-2-2 معادله‌ی بقای ممنتوم 17

2-2-3 معادله‌ی انرژی 18

2-3 معادلات حاکم در حالت بدون بعد 18

فصل3- مدلسازی و روش حل تحلیلی 23

3-1 کلیات 23

3-2 هندسه‌ی مسأله 23

3-3 شبیه‌سازی جریان 24

3-3-1 شبیه‌سازی جریان در حالت دائم 24

3-3-2 شبیه‌سازی جریان در حالت گذرا 24

3-4 شرایط مرزی 25

3-4-1 شرایط مرزی در حالت دائم 25

3-4-2 شرایط مرزی در حالت گذرا 25

3-5 روش حل تحلیلی 26

3-5-1 روش حل تحلیلی در حالت دائم 26

3-5-2 روش حل تحلیلی در حالت گذرا 32

فصل4- مدلسازی و روش حل عددی 41

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

4-1 کلیات. 41

4-2 هندسه‌ی مسأله 41

4-2-1 هندسه‌ی مبدل حرارتی تک راهه 41

4-2-2 هندسه‌ی مبدل حرارتی دو راهه 41

4-3 شبیه‌سازی جریان 43

4-4 شرایط مرزی 43

4-4-1 شرایط مرزی در مبدل حرارتی تک راهه 43

4-4-2 شرایط مرزی در مبدل حرارتی دو راهه 46

4-5 شبکه‌بندی مدل 49

4-5-1 شبکه‌بندی مبدل حرارتی تک راهه 49

4-1-5-1 مطالعه‌ی شبکه در مبدل حرارتی تک راهه 50

4-5-2 شبکه‌بندی مبدل حرارتی دو راهه 53

4-2-5-1 مطالعه‌ی شبکه در مبدل حرارتی دو راهه 53

فصل5- بررسی نتایج 59

5-1 کلیات 59

5-2 نتایج حل تحلیلی برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 59

5-3 مقایسه‌ی حل تحلیلی و عددی در مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 63

5-3-1 توزیع دمای روی دیواره‌ی مبدل حرارتی 63

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

5-3-2 توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی 70

5-4- نتایج حل تحلیلی برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت گذرا 73

5-5- نتایج حل عددی برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت گذرا 75

5-6- مقایسه‌ی حل تحلیلی و عددی در مبدل حرارتی تک راهه در حالت گذرا 78

5-7- نتایج حل عددی برای مبدل حرارتی دو راهه در حالت گذرا 91

5-8- مقایسه‌ی حل عددی در مبدل حرارتی دو راهه و تک راهه در حالت گذرا 112

فصل6- نتیجه‌گیری 119

6-1 نتیجه‌گیری 119

6-2 پیشنهادات 120

پیوست‌ها 123

مراجع 139

فهرست جداول

عنوان جدول ..... **صفحه**
جدول4-1- مشخصات ابعادی مبدل حرارتی تک راهه 41
جدول 4-2- دبی حجمی به کار رفته در مبدل‌های حرارتی تک راهه و دو راهه 44
جدول 4-3- پروفیل سرعت به کار رفته در مبدل حرارتی تک راهه به صورت بعددار 45
جدول 4-4- شار حرارتی به کار رفته بر روی دیواره‌های مبدل حرارتی تک راهه 46
جدول 4-5- پروفیل سرعت به کار رفته در مبدل حرارتی دو راهه به صورت بعددار 47
جدول 4-6- شار حرارتی به کار رفته بر روی دیواره‌های مبدل حرارتی دو راهه 48
جدول 5-1- مقادیر ویژه‌ی موجود در حل تحلیلی برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا..... 60
جدول 5-2- تعیین تعداد بهینه‌ی جملات سری داخلی در حل تحلیلی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا... 61
جدول 5-3- مقدار کمیت D موجود در حل تحلیلی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا..... 62
جدول 5-4- مقادیر ضریب A_m موجود در حل تحلیلی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا..... 62
جدول5-5- مقادیر ضریب C_m موجود در حل تحلیلی مبدل حرارتی تک راهه در حالت گذرا..... 74
جدول5-6- مقادیر ویژه‌ی موجود در حل تحلیلی برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت گذرا..... 74
جدول 5-7- مقدار کمیت γ موجود در حل تحلیلی مبدل حرارتی تک راهه در حالت گذرا..... 75
جدول 5-8- گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی تک راهه در دو حالت بعددار و بدون بعد..... 78
جدول 5-9- زمان محاسبه شده برای رسیدن به حالت پایا به صورت عددی در دو حالت بعددار و بدون بعد 84
جدول5-10- زمان محاسبه شده برای رسیدن به حالت پایا به صورت تحلیلی در دو حالت بعددار و بدون بعد 84
جدول5-11- گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی دو راهه در دو حالت بعددار و بدون بعد..... 94
جدول 5-12- زمان رسیدن به حالت پایا در مبدل حرارتی دو راهه به صورت بعددار و بدون بعد..... 97

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل ..... **صفحه**
شکل 1-1- خنک‌کاری بردهای الکترونیکی 9
شکل3-1- مبدل حرارتی تک راهه 23
شکل3-2- هندسه‌ی به کار رفته در حل تحلیلی مبدل حرارتی تک راهه..... 26
شکل 4-1- مبدل حرارتی دو راهه 42
شکل 4-2- شرایط مرزی اعمال شده در مبدل حرارتی تک راهه.. 45
شکل 4-3- شرایط مرزی اعمال شده در مبدل حرارتی دو راهه 47
شکل 4-4- شبکه‌بندی استفاده شده در مبدل حرارتی تک راهه..... 49
شکل 4-5- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=1$ 50
شکل 4-6- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=5$ 51
شکل 4-7- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=10$ 51
شکل 4-8- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=50$ 52
شکل 4-9- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=100$ 52
شکل 4-10- شبکه‌بندی استفاده شده در مبدل حرارتی دو راهه 53
شکل 4-11- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی پایینی مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=1$ 54
شکل 4-12- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی پایینی مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=5$ 55
شکل 4-13- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی پایینی مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=10$ 55
شکل 4-14- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی پایینی مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=50$ 56
شکل 4-15- مطالعه‌ی شبکه بر اساس توزیع دمای روی دیواره‌ی پایینی مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=100$. 56
شکل5-1- توزیع دمای به دست آمده بر روی دیوار از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz=1$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 64

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل ..... **صفحه**

شکل5-2- توزیع دمای به دست آمده بر روی دیوار از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 5$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 64

شکل5-3- توزیع دمای به دست آمده بر روی دیوار از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 10$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 65

شکل5-4- توزیع دمای به دست آمده بر روی دیوار از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 50$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 65

شکل5-5- توزیع دمای به دست آمده بر روی دیوار از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 100$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 66

شکل 5-6- توزیع دمای روی دیوار برای چهار شبکه‌بندی با تراکم متفاوت در $Gz = 1$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 67

شکل 5-7- توزیع دمای روی دیوار برای چهار شبکه‌بندی با تراکم متفاوت در $Gz = 5$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 68

شکل 5-8- توزیع دمای روی دیوار برای چهار شبکه‌بندی با تراکم متفاوت در $Gz = 10$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 68

شکل 5-9- توزیع دمای روی دیوار برای چهار شبکه‌بندی با تراکم متفاوت در $Gz = 50$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 69

شکل 5-10- توزیع دمای روی دیوار برای چهار شبکه‌بندی با تراکم متفاوت در $Gz = 100$ برای مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا 69

شکل 5-11- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 1$ 71

شکل 5-12- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 5$ 71

شکل 5-13- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 10$ 72

شکل 5-14- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 50$ 72

شکل 5-15- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه در حالت پایا از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz = 100$ 73

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل ..... **صفحه**

شکل 5-16- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی تک راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=5$ 76

شکل 5-17- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی تک راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=10$ 76

شکل 5-18- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی تک راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=50$ 77

شکل 5-19- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی تک راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=100$ 77

شکل5-20- تغییرات دمای میانگین خروجی در مبدل حرارتی تک راهه با گذشت زمان از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz=5$ 79

شکل5-21- تغییرات دمای میانگین خروجی در مبدل حرارتی تک راهه با گذشت زمان از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz=10$ 80

شکل5-22- تغییرات دمای میانگین خروجی در مبدل حرارتی تک راهه با گذشت زمان از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz=50$ 80

شکل5-23- تغییرات دمای میانگین خروجی در مبدل حرارتی تک راهه با گذشت زمان از دو روش تحلیلی و عددی در $Gz=100$ 81

شکل 5-24- تغییرات دمای چهار مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=5$ 82

شکل 5-25- تغییرات دمای چهار مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=10$ 82

شکل 5-26- تغییرات دمای چهار مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=50$ 83

شکل 5-27- تغییرات دمای چهار مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی تک راهه در $Gz=100$ 83

شکل 5-28- زمان رسیدن به حالت پایا به صورت بی‌بعد از دو روش تحلیلی و عددی در مبدل حرارتی تک راهه 85

شکل 5-29- زمان رسیدن به حالت پایا به صورت بعددار از دو روش تحلیلی و عددی در مبدل حرارتی تک راهه 85

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل ..... **صفحه**

شکل5-30- توزیع دمای روی دیوار در مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=5$..... 87

شکل5-31- توزیع دمای روی دیوار در مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=10$... 87

شکل5-32- توزیع دمای روی دیوار در مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=50$... 88

شکل5-33- توزیع دمای روی دیوار در مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=100$ 88

شکل5-34- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=5$..... 89

شکل5-35- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=10$..... 90

شکل5-36- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=50$..... 90

شکل5-37- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی تک راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=100$..... 91

شکل5-38- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی دو راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=5$ 92

شکل5-39- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی دو راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=10$ 92

شکل5-40- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی دو راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=50$ 93

شکل5-41- تعیین گام زمانی بهینه در مبدل حرارتی دو راهه بر اساس دمای میانگین خروجی در $Gz=100$ 93

شکل5-42- تغییرات دمای پنج مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=5$... 95

شکل5-43- تغییرات دمای پنج مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=10$ 96

شکل5-44- تغییرات دمای پنج مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=50$ 96

شکل5-45- تغییرات دمای پنج مقطع مختلف با گذشت زمان در مبدل حرارتی دو راهه در $Gz=100$ 97

شکل 5-46- تأخیر زمانی بین دیوار بالایی و پایینی در رسیدن به حالت پایا در مبدل حرارتی دو راهه به صورت بدون بعد 98

شکل5-47- تأخیر زمانی بین دیوار بالایی و پایینی در رسیدن به حالت پایا در مبدل حرارتی دو راهه به صورت بعددار 99

شکل 5-48- خطوط جریان داخل مبدل حرارتی دو راهه در اعداد گراتز مختلف..... 99

شکل5-49- توزیع دمای روی دیوار پایینی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz=5$ 100

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل ..... **صفحه**
شکل5-50- توزیع دمای روی دیوار پایینی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 10$ 101
شکل5-51- توزیع دمای روی دیوار پایینی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 50$ 101
شکل5-52- توزیع دمای روی دیوار پایینی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 100$ 102
شکل5-53- توزیع دمای روی دیوار بالایی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 5$ 103
شکل5-54- توزیع دمای روی دیوار بالایی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 10$ 103
شکل5-55- توزیع دمای روی دیوار بالایی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 50$ 104
شکل5-56- توزیع دمای روی دیوار پایینی در مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 100$ 104
شکل5-57- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 5$ 105
شکل5-58- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 10$ 106
شکل5-59- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 50$ 106
شکل5-60- توزیع دما در خروجی مبدل حرارتی دو راهه برای زمان‌های مختلف در $Gz = 100$ 107
شکل5-61- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/03) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 5$ 108
شکل5-62- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/03) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 10$ 108
شکل5-63- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/03) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 50$ 109
شکل5-64- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/03) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 100$ 109
شکل5-65- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/25) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 5$ 110

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل ..... **صفحه**

شکل5-66- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/25) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 10$ 111

شکل5-67- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/25) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 50$ 111

شکل5-68- تغییرات دمای نقطه‌ی (0,0/25) در خروجی مبدل حرارتی دو راهه با گذشت زمان تحت دو شار حرارتی مختلف در $Gz = 100$ 112

شکل5-69- زمان رسیدن به حالت پایا در مبدل حرارتی تک راهه و دو راهه به صورت بی‌بعد..... 113

شکل5-70- زمان رسیدن به حالت پایا در مبدل حرارتی تک راهه و دو راهه به صورت بعددار..... 113

شکل5-71- تأخیر زمانی بین دیوار پایینی و خروجی در مبدل‌های حرارتی تک راهه و دو راهه در رسیدن به حالت پایا به صورت بدون بعد..... 114

شکل5-72- تأخیر زمانی بین دیوار پایینی و خروجی در مبدل‌های حرارتی تک راهه و دو راهه در رسیدن به حالت پایا به صورت بعددار..... 115

فهرست علائم اختصاری

ضریب موجود در پاسخ غیر همگن در حالت دائم	A
عمق مبدل حرارتی(m)	B
ضریب موجود در پاسخ غیر همگن در حالت گذرا	C
ثابت موجود در پاسخ غیر همگن در حالت دائم	D
ضریب تابع ویژه f_m	d_{mk}
تابع ویژه در راستای ξ در حالت پایا	f_m
تابع ویژه در راستای η در حالت پایا	g_m
عدد گراتز	Gz
تابع η در پاسخ غیر همگن حالت پایا	H
ضریب تابع ویژه J_m	h_{mk}
تابع ویژه در راستای ξ در حالت گذرا	I_m
تابع ویژه در راستای η در حالت گذرا	J_m
ضریب هدایت حرارتی$(W/m.K)$	k
طول مبدل(m)	L
فشار سیال(Pa)	P
فشار بی‌بعد	$\tilde{p}$
شار حرارتیW/m^2	q
عدد رینولدز	Re
دمای سیال(K)	T
زمان(s)	t
دبی حجمی(m^3/s)	V
سرعت متوسط	$\bar{V}$
بردار سرعت بعددار سیال(m/s)	$\vec{V}$
بردار سرعت بی‌بعد سیال	$\vec{\tilde{V}}$
عرض مبدل(m)	W
مختصه بعددار عرضی	y
مختصه بعددار محوری	z

فهرست علائم اختصاری

علائم یونانی

ضریب پخش حرارتی(m^2/s)	α
ضریب ثابت زمان بی‌بعد	γ
مختصه بی‌بعد عرضی	η
پاسخ غیر همگن معادله در حالت پایا	θ
مقدار ویژه در حالت پایا	λ
مختصه بی‌بعد محوری	ξ
چگالی(Kg/m^3)	ρ
زمان بی‌بعد	τ
پاسخ همگن معادله در حالت پایا	φ
دمای بی‌بعد	ψ
مقدار ویژه در حالت گذرا	ω

زیرنویس‌ها

خروجی مبدل حرارتی	F
ورودی مبدل حرارتی	I
بخش مستقل از زمان در پاسخ گذرا	s
دیوار مبدل حرارتی	w
دیوار پایینی مبدل حرارتی	wa
دیوار بالایی مبدل حرارتی	wb
بخش وابسته به زمان در پاسخ گذرا	τ

فصل 1

مقدمه