دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی و بهینه‌سازی پره‌های داخلی طولی در جریان آرام داخل لوله توسط تئوری ساختاری

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

جلال دارابی

استاد راهنما

دکتر محمدرضا سلیم پور

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی آقای جلال دارابی

تحت عنوان

طراحی و بهینه‌سازی پره‌های داخلی طولی در جریان آرام داخل لوله توسط تئوری ساختاری

در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۵ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمدرضا سلیم‌پور
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر احمد صداقت
۳- استاد داور	دکتر محمود اشرفی‌زاده
۴- استاد داور	دکتر محسن ثقفیان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سعید ضیایی‌راد

Isfahan University of Technology

Department of Mechanical Engineering

Constructal design and optimization of internal longitudinal fins at internal laminar flows

A Thesis

Submitted in partial fulfillment of the requirements

for the degree of Master of Science

By

Jalal Darabi

Evaluated and Approved by thesis Committee,on April 25,2011

1.M.R. Salimpour, Assist. Prof. (Supervisor)

2.A. Sedaghat, Assist. Prof. (Advisor)

3. M. Ashrafizaadeh, Assist. Prof. (Examiner)

4.M. Saghafian, Assist. Prof. (Examiner)

Department Graduate Coordinator: S. Ziaei-Rad, Prof

تقدیم به پدر و مادرم

و

۹+۱+۱

خداوند منان را شاکرم که به من توفیق داد تا این دوره را به پایان برسانم. بی‌شک گذراندن این دوره بدون همکاری و زحمات خانواده، اساتید و دوستان عزیزم ممکن نبود. از خداوند متعال موفقیت روزافزون این عزیزان را خواستارم.

بر خود لازم می دانم از زحمات استاد گرامی دکتر **محمدرضا سلیم‌پور** که راهنمایی‌ها و دلگرمی‌هایشان همواره در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه، راهگشای اینجانب بوده است تشکر و قدردانی نمایم.

از دوست عزیز و بزرگوار آقای دکتر **محسن لاهوتی** که ۹ سال لحظات تلخ و شیرین در کنار ایشان سپری شد و اگر حمایت‌ها و دلگرمی‌هایشان نبود این مهم میسر نمی‌شد تشکر می‌نمایم و از خداوند برایشان موفقیت روز افزون خواهانم.

در انتها از دوست گرامی آقای مهندس **امیر بهادر مشهدی** به خاطر همه حمایت‌ها و دلگرمی‌هایشان سپاس‌گزارم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه ۲
۱-۱-قانون ساختاری و ترمودینامیک ۳
۱-۲-پیکربندی جریان‌های طبیعی ۴
۱-۲-۱- پیکربندی جریان در اجسام بی‌جان ۴
۱-۲-۲- پیکربندی جریان در جانداران ۶
۱-۳- پیکربندی جریان‌های مهندسی شده ۶
۱-۴- بررسی پیشینه‌ی پژوهش ۷
۱-۵- معرفی پژوهش حاضر ۹
فصل دوم: بررسی تئوری ساختاری در بهینه‌سازی انتقال حرارت ۱۱
۲-۱- طراحی ساختاری برای سرمایش یک دیسک بوسیله هدایت[۲۰] ۱۲
۲-۱-۱- مقیاس های چندگانه، افزایش پیچیدگی، ساختار ۱۲
۲-۱-۲- جریان حرارت حجم به نقطه ۱۳
۲-۱-۳- حجم المانی ۱۴
۲-۱-۴- سرهمبندی دیسک ۱۶
۲-۱-۵- رگه هایی با شکل بهینه ۱۷
۲-۱-۶- یک مرحله انشعاب یا ساخت دوم ۱۸
۲-۲- بهینه‌سازی پره‌های شاخه‌ای برای یک مبدل حرارتی با دو جریان هم‌محور[۲۱] ۲۲
۲-۲-۱- ساختار مبدل حرارتی ۲۳

۲-۲-۲- حجم المانی ۲۴
۲-۲-۳- حجم کل ثابت و ماده پره‌ی ثابت ۲۷
۲-۲-۴- ثابت کردن کوچکترین جزء ساختار سطح مقطع ۲۸
۲-۲-۵- کارآیی ثابت ۲۹
۲-۲-۶- چند مبدل حرارتی به صورت موازی ۳۰
۲-۲-۷- بهینه‌سازی عددی ساختار مقطع عرضی ۳۲
۲-۳- خنک کاری دیسک بوسیله پره‌های با قابلیت هدایت بالا که از پیرامون به سمت داخل دیسک امتداد یافته‌اند[۱۱] ۳۶
۲-۳-۱- فرمولبندی تحلیلی ۳۷
۲-۳-۲- فرمول‌بندی عددی ۴۳
فصل سوم: بهینه‌سازی تحلیلی و نتایج ۴۶
۳-۱- تحلیل معادلات حاکم ۴۸
۳-۱-۱- پروفیل سرعت سهموی ۵۱
الف) بررسی کارآیی حرارتی برای شرط مرزی دما ثابت در جداره‌ی لوله ۵۲
ب) بررسی کارآیی حرارتی برای شرط مرزی شار ثابت در جداره‌ی لوله ۵۳
۳-۱-۲- پروفیل سرعت یکنواخت ۵۳
الف) بررسی کارآیی حرارتی برای شرط مرزی دما ثابت در جداره‌ی لوله ۵۴
ب) بررسی کارآیی حرارتی برای شرط مرزی شار ثابت در جداره‌ی لوله ۵۴
۳-۲-تعیین حالت بهینه ۵۵
۳-۲-۱- پروفیل سرعت سهموی ۵۶
۳-۲-۲- پروفیل سرعت یکنواخت ۶۰
۳-۳-اعتبارسنجی پژوهش ۶۴

فصل چهارم: حل عددی و نتایج حاصل ۶۷
۴-۱- مشخصات مدل ۶۷
۴-۲- بررسی استقلال شبکه ۶۹
۴-۳- روند حل عددی ۷۳
۴-۴- بررسی نتایج عددی و تحلیلی ۷۷
۴-۵- بررسی تغییرات محوری ۸۱
فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۸۴
پیشنهادات ۸۶
مراجع ۸۷

چکیده

در پژوهش حاضر، ساختار بهینه‌ی پره‌های داخلی طولی درون لوله به صورت تحلیلی و عددی، مورد بررسی قرار گرفته است. این پره‌ها از جداره‌ی لوله در راستای شعاعی و به سمت مرکز لوله به گونه‌ای امتداد یافته‌اند که تا شعاع معینی پیش‌می‌آیند. لوله و پره‌های داخلی نسبت به سیال درون لوله، دارای قابلیت هدایت حرارتی بزرگتری هستند و انتقال حرارت از جداره‌ی لوله و پره‌ها به سمت سیال می‌باشد. بهینه‌سازی تحلیلی با استفاده از تئوری ساختاری انجام شده است. تئوری ساختاری، به عنوان یادآور اینکه سیستم های جریانی که طراحی می‌شوند، باید انعطاف پذیر باشند، مورد استفاده قرار می گیرد. یک سیستم جریان، جهت پایداری و بقا در زمان، باید چنان تکمیل و اصلاح شود که دسترسی هر چه آسان‌تری را برای جریان‌هایی که در آن جاری می‌باشد، فراهم نماید. این قانون پایه و اساس تئوری ساختاری برای تولید پیکربندی جریان در طبیعت می‌باشد. درحوزه انتقال حرارت، نشان داده شده است که اصول تولید هندسه جریان چگونه عمل می‌کنند. در ابتدا با استفاده از تئوری ساختاری برای رسیدن به کارآیی حرارتی بیشینه، نسبت عرضی بهینه‌ی پره‌های داخلی برای نسبت‌های مختلف ماده‌ی پره، مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاصل ارائه شده است؛ پس از آن برای دونسبت ماده‌ی پره‌ی مختلف (۰/۱ و $\phi = ۰/۰۵$)، نسبت عرضی بهینه با استفاده از حل عددی برای شرایط مرزی دما ثابت و شار ثابت، بررسی شده است. برای شرط مرزی شارثابت، کمینه‌ی دمای جداره برای رسیدن به بیشینه‌ی کارآیی جستجو شده است و برای شرط مرزی دما ثابت، بیشینه‌ی شار ورودی برای کسب کارآیی حرارتی بیشینه بررسی شده است؛ سپس نتایج حاصل از حل تحلیلی با نتایج حاصل از حل عددی برای بررسی ساختار بهینه‌ی پره‌های داخلی طولی، مقایسه شده است.

کلمات کلیدی

تئوری ساختاری؛ پره‌های طولی؛ بهینه‌سازی؛ انتقال حرارت در لوله؛ جریان آرام

فصل اول

مقدمه

همگام با پیشرفت تکنولوژی در زمینه‌های گوناگون، استفاده‌ی بهینه از منابع انرژی، مورد توجه روز افزون قرار گرفته است. جریان حرارت و سیال در اکثر زمینه‌های صنعتی کاربرد وسیعی دارند. غلبه بر مقاومت جریان در جریان حرارت و سیال، با توجه به کاربرد وسیع در انواع صنایع، مستلزم صرف میزان عظیمی از انرژی و هزینه است. بنابراین بهینه‌سازی مسیر جریان حرارت و سیال، تاثیر بسزایی در حفظ منابع انرژی دارد و در نهایت بازده کلی را افزایش داده، هزینه‌ها را به میزان چشم‌گیری کاهش می‌دهد. در این میان بهینه‌سازی هندسی یکی از راه‌های متداول و کم‌هزینه برای نیل به این هدف می‌باشد.

۱-۱- قانون ساختاری و ترمودینامیک

چرا هندسه، یک مشخصه برای سیستم‌های جریان طبیعی می‌باشد؟ پایه و اساس توالی، تکامل زمان، پیچیدگی و توازن ساختارهای طبیعی چیست؟ آیا اصل فیزیکی یگانه‌ای وجود دارد که بتوان بدون استفاده از تجربه، شکل و توازن را نتیجه گرفت؟

یک اصل وجود دارد و آن خلاصه‌ای از مشاهدات معمولی است که اگر یک سیستم جریان، آزادی کافی برای تغییر پیکربندی داشته باشد، سیستم، پیکربندی‌هایی را ارائه می‌کند که مسیرهای دسترسی بهتر و پیشرفته‌تری برای جریان‌هایی که در آن جاری می‌باشند فراهم نماید. میلیون‌ها نوع مشاهده از این قبیل وجود دارد و همه‌ی آنها یک معنا دارند: پیکربندی‌های جریان که موجودیت سیستم را تشکیل می‌دهند، در طول زمان دچار تغییرات می‌شوند. در این نمایش پیوسته، طرح‌های موجود با طرح‌هایی که مسیر آسان‌تری برای جریان ارائه می‌کنند، جایگزین شده‌است، بدین معنا که، پیکربندی‌های جاری ساده‌تری جایگزین پیکربندی‌های موجود می‌شوند[۱].

این اصل در سال ۱۹۹۶ بعنوان قانون ساختاری برای تولید پیکربندی جریان ، فرمول بندی شد. یک سیستم جریان، جهت پایداری و بقا در زمان، باید چنان تکمیل و اصلاح یابد که دسترسی هر چه آسان‌تری را برای جریان‌هایی که در آن جاری می‌باشد، فراهم نماید. این قانون پایه و اساس تئوری ساختاری برای تولید پیکربندی جریان در طبیعت می‌باشد. امروزه همه‌ی این تلاش‌ها پیشرفت جدیدی را در ترمودینامیک ارائه می‌کنند: ترمودینامیک سیستم‌های غیرتعادلی همراه با پیکربندی[۲].

برای اینکه ببینیم چرا قانون ساختاری یک قانون ترمودینامیکی(فیزیکی) است، این سوال مطرح می‌شود که وجه تمایز قانون ساختاری با قوانین دیگر ترمودینامیک چیست؟

یک سیستم ترمودینامیکی ایزوله را درنظر بگیرید که در ابتدا در حالت غیریکنواخت درونی است (بطور مثال مناطقی با فشار یا دمای بالاتر و پایینترکه قسمت‌های مجزاشده توسط دیواره‌های داخلی بطور ناگهانی شکسته شوند). قوانین اول و دوم ترمودینامیک برای مشاهدات دلیل موجه می‌آورند که تمایل در زمان را توصیف می‌کنند، اگر زمان کافی بگذرد، سیستم ایزوله به حالت تعادل می‌رسد (بدون جریان‌های داخلی، بیشترین آنتروپی در مقدار انرژی ثابت). قانون‌های اول و دوم از یک جعبه سیاه و تاریک صحبت می‌کنند. آنها درباره‌ی ساختار جریان، صحبت نمی‌کنند.

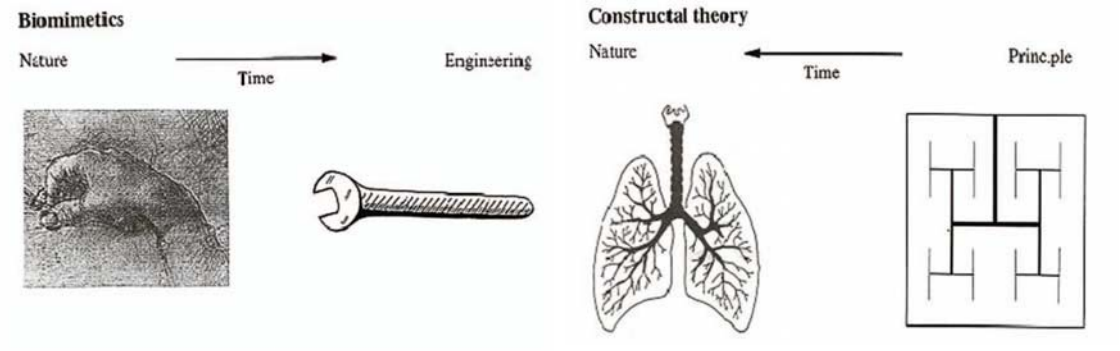
ترمودینامیک کلاسیک به پیکربندی سیستم‌های غیرتعادلی مربوط نمی‌شود، اگر چه می بایست چنین باشد. تولید پیکربندی جریان یک پدیده‌ی طبیعی است و به ترمودینامیک تعلق دارد.

این توالی زمانی تصاویر که سیستم جریان در حال رشد را نشان می‌دهد، پدیده‌ایست که با قانون ساختاری پوشش داده شده است. نه تصاویردر لحظه، بلکه جهت زمانی که در آنها در صورت آزادی برای تغییر حاصل می‌شود. هیچ کدام از پیکربندی‌های موجود در طبیعت از قبل تعیین یا انتخاب نشده‌اند که یک تصویر خاص باشند یا بشوند. تکامل واقعی تصاویر به فاکتورهای زیادی بستگی دارد که اغلب تصادفی هستند[۱].

درباره‌ی قانون دوم نیز چنین می‌توان گفت، سیستم ایزوله‌ای در طبیعت نیست که از قبل تعیین یا انتخاب شده که در حالت یکنواختی از خصوصیات متمرکز پایان یابد، به گونه‌ای که همه‌ی جریانهای بعدی را نفی کند. کسی نمی‌تواند روی حذف همه‌ی قیود داخلی حساب کند. قانون دوم ترمودینامیک، موکداً وجود تعادل را در یک سیستم ایزوله، در

یک زمان کافی، وقتی همه‌ی قیود داخلی حذف ساختاری شده‌اند بیان می‌کند. درحالی که قانون ساختاری وجود موضوع معماری جریان تعادلی، وقتی همه‌ی امکان برای تغییرات جزیی از بین رفته را ادعا می‌نماید[۱].

تئوری ساختاری اکنون یک میدان در حال رشد سریع است که منابع زیادی را در بر می‌گیرد و در جهات مختلفی سوق داده می‌شود. این مجموعه فعالیت‌ها دو قسمت اصلی دارد. اول، استفاده از قانون ساختاری برای پیش بینی و بیان پیکربندی جریان‌های طبیعی (جاندار و بیجان) است. قسمت دوم، کاربرد قانون ساختاری بعنوان یک اصل فیزیکی در مهندسی است. بدین خاطر که تئوری ساختاری، یکتایی پدیده‌ی تولید پیکربندی جریان در طبیعت و مهندسی را بیان می‌کند. طبیعت و مهندسی می‌توانند به دو روش تجربی و تئوری، با یکدیگر در نظر گرفته شوند. در تجربیات، مشاهده و الگوگیری از طبیعت در ابتدا می‌آید و از آن بعنوان پایه‌ای برای مدلسازی، توصیف و مهندسی بکار گرفته می‌شود. در تئوری ساختاری فرایندهای فکری برخلاف پیکان زمانی تجربیات است(شکل۱-۱). ابتدا قانون ساختاری مطالبه می‌شود و از این اندیشه و فکر، معماری جریان نتیجه می‌شود. در پایان، پیکربندی تئوری با پیکربندی طبیعی مقایسه می‌شوند و مطابقت این دو قانون اساسی ساختاری را معتبر می‌سازد[۲].



شکل۱-۱: حرکت تئوری ساختاری بر خلاف تجربیات یا الگوبرداری از طبیعت در طی زمان [۱]

۱-۲- پیکربندی جریان‌های طبیعی

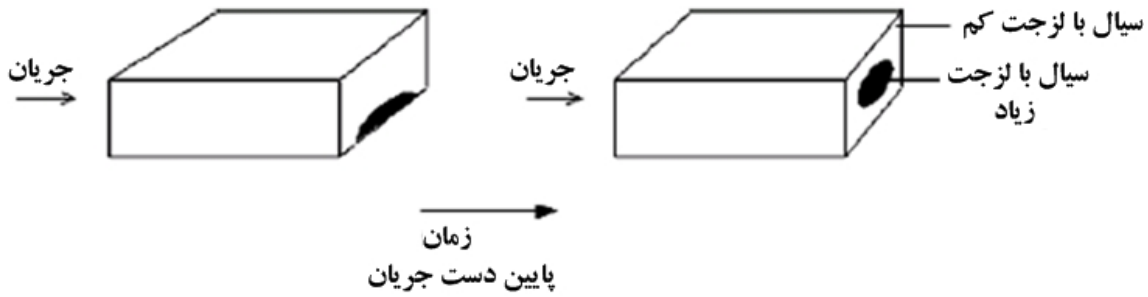
پیکربندی جریان‌های طبیعی، به پیکربندی جریان در اجسام بی‌جان و اجسام جاندار تقسیم می‌شود.

۱-۲-۱- پیکربندی جریان در اجسام بی‌جان

دسته بندی‌هایی از پیکربندی‌های جریان بیجان، شامل اشکال سطح مقطع کانال‌های بسته، شکل‌های سطح مقطعهای رودخانه، ساختار جریان مغشوش، معماری درختی‌شکل، انجماد شاخه‌ای (دانه‌های برف)، جابجایی بنارد و گردش کلی آب و هوا می‌باشد. در این قسمت به عنوان نمونه سطح مقطع کانال‌های بسته مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۱-الف-سطح مقطع کانال‌های بسته

رگ‌ها و معابر جریان هوا در ریه ها دارای سطح مقطع‌های دایروی هستند. رودهای زیرزمینی، تخلیه آتشفشانی، راهروهای لانه کرم‌های خاکی ومورچه‌ها سطح مقطع‌های دایروی دارند. این تعدد پدیده‌های تولید پیکربندی جریان با فراخواندن قانون ساختاری برای یک سیستم جریان بزرگتر که شامل کانال است، مدل شده است. اگر کانال دارای بعد محدود(سطح مقطع ثابتA) و دارای آزادی تغییر شکل مقطع آن باشد، آنگاه بالاخره شکل آن چنان رشد می‌نماید، که جریانی که در کانال جریان دارد با کمترین مقاومت جریان می‌یابد. اگر یک سیستم بزرگتر، ایزوله شود و شامل کانال‌ها و دو منبع فشار که در انتهای کانال متصل شده اند باشد، آنگاه معماری کانال چنان شکل و تحولی می‌پذیرد که تمام سیستم با سریعترین حالت به تعادل (بدون جریان، فشار یکنواخت) برسد و سطح مقطع کانال بالاخره به شکل دایره تکامل می یابد. این تکامل در رگ‌ها و مسیرهای هوا در ریه نمی‌تواند شاهدی داشته باشد زیرا مقیاس زمانی مشاهدات ما (دوره‌ی زندگی) در مقایسه زمانی تکامل حیات (سیستم زنده) بسیار کوتاهتر است. تغییرات دایروی را می‌توان در مدت فرایند فرسایش در خاک در پی بارش ناگهانی باران مشاهده کرد. همچنین آنرا می توان در تکامل گذرگاه گدازه‌های آتشفشانی مشاهده نمود، جایی که گدازه‌ها با لزجت پایین‌تر، دیواره‌ی گذرگاه را پوشانده است و گدازه با لزجت بالاتر، خودش را در قسمت میانی سطح مقطع قرار می‌دهد. در حالتی دیگر، لزجت بالاتر روی محیط و لزجت پایین‌تر در مرکز، با قانون ساختاری در تناقض می‌باشیم. همه‌ی پدیده‌های خودروانکار، مطابق با قانون ساختاری هستند. تایید بیشتر قانون ساختاری با شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی با جابجا کردن گدازه‌ی با لزجت بالا مشاهده گردید (شکل۱-۲). در ابتدا مواد وارد شده دارای یک سطح مقطع تخت بوده و در نزدیکی دیواره گذرگاه قرار داده شده است. با گذشت زمان و در پایین‌دست جریان، مواد وارد شده نه تنها به سمت مرکز سطح مقطع حرکت می‌کنند بلکه یک سطح مقطع گرد از خود ایجاد می‌نمایند. این تمایل با آنچه بطور کلی هنگام پاشش یک جت (آرام یا مغشوش)، درون یک منبع سیال مشاهده می‌شود، سازگار است [۳و۴].



شکل ۱-۲: تکامل پیکر بندی مقطع عرضی یک جریان تشکیل شده از دو سیال با لزجت کم و لزجت زیاد [۱]

با گذشت زمان جریان با لزجت کم جداره ها را می پوشاند و جریان با لزجت زیاد به سمت مرکز حرکت می کند. این تمایل به خود روانکاری، بر اساس قانون ساختاری تولید پیکربندی جریان در ژئوفیزیک (مثلا تخلیه آتشفشانها) و بسیاری دیگر از سیستم های بیولوژیکی می باشد.

اگر جت یک سطح مقطع تخت داشته باشد، آنگاه کمی پایین‌تر، جریان یک یا چند جت بهم فشرده با سطح مقطع دایره‌ای بوجود می‌آمد. عکس این رویه مشاهده نمی‌شود که جت دایره‌ای به جت تخت تبدیل شود. امتیاز و برتری مقطع دایره‌ای نسبت به بقیه‌ی شکل‌ها، میزان افت فشار کمینه‌ای است که در قیاس با سایر اشکال هندسی برای مقطع کانال دارد.

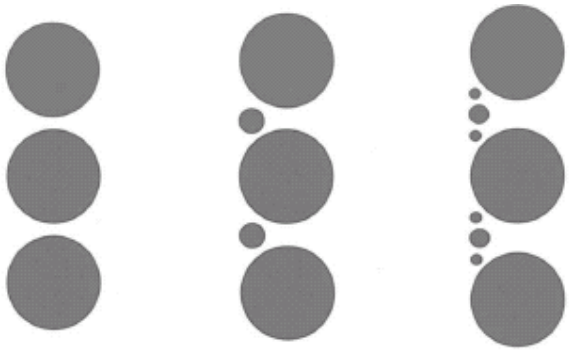
۱-۲-۲- پیکربندی جریان در جانداران

پدیده تولید پیکربندی جریان در سیستم های جاندار نیز وجود دارد. معماری جریان درختی شکل از طراحی جانداران حاصل می‌شود، زیرا این ساختار، راحت ترین راه برای جریان بین بی نهایت نقطه (حجم، سطح) و یک نقطه است. شش‌ها، کلیه‌ها بافت‌های آوندی و سیستم عصبی، از دیدگاه تئوری ساختاری مثالهایی از معماری درختی هستند. این رفتار بر مبنای دید وسیعی است که بیان می دارد اصولی که در سیستم‌های جریان، در فیزیک و مهندسی به‌کار گرفته می‌شوند، باید در سیستم های جریان بیولوژیکی بکار گرفته شوند.

۱-۳- پیکربندی جریان‌های مهندسی شده

شبکه‌های درختی شکل طبیعی، بهترین مسیرهای جریان بین یک نقطه و یک سطح (یا حجم) هستند، زیرا آنها فضاهای موجود را با کانالهای چند مقیاسه پوشش می دهند که بطور بهینه در سطح یا حجم، جاسازی می شوند. در این شبکه‌ها، مقیاسهای زیادی سازماندهی می‌شوند و بصورت غیر یکنواخت توزیع می‌گردند که برخی بزرگ و تعداد زیادی کوچک هستند. شبکه‌ی بهینه با بیشترین میزان کارآیی از ترکیب سیستم‌هایی با مقیاس‌های مختلف که بصورت غیر یکنواخت چیده شده‌اند، حاصل می‌شود. نتیجه‌ی کلیدی تئوری ساختاری، برای ساختار جریان‌های داخلی در حجم‌هایی که باید بیشترین مقدار حرارت و جرم را انتقال دهند، پیش بینی فواصل بهینه است. این ایده در طراحی ساختار سرمایش برای قطعات الکترونیکی در همه مقیاسها ضروری است و همچنین برای جابجایی طبیعی و اجباری و جریانهای آرام و مغشوش برقرار است. از جمله‌ی مثال‌های کاربردی می‌توان به مجموعه‌های استوانه‌ها در جریان متقاطع [۵]، اشاره کرد.
در شکل۱-۳، استوانه‌های موازی در جریان متقاطع، با فواصل و قطرهای غیریکنواخت نشان داده شده است که تئوری ساختاری با بهینه‌سازی فواصل و قطر استوانه‌ها، ساختار بهینه‌ای برای انتقال حرارت بیشینه و افت فشار کمینه ارائه می‌کند.

جهان واقعی (طبیعت، فیزیک) دارای معماری، سازمان و الگو می باشد. شبکه جامعه و همه بافت‌های بیولوژیکی، معماری‌های بهینه شده اند. هیچ رودخانه بدون جلگه مرطوبش وجود ندارد. هیچ شهری بدون مزارع و فضاهای بازش پیشرفت نمی کند. هر چیزی که امروزه جاری و زنده است برای بقا در یک تعادل بهینه با جریان‌هایی که آنرا احاطه کرده



شکل۱-۳: ساختار چند مقیاسه‌ی استوانه‌های موازی در جریان متقاطع [۱]

است، می‌باشد. این تعادل (توزیع بهینه‌ی موانع)، طرح‌های زیادی از فرآیندها، نیروگاه، شهر، جغرافیا و اقتصاد را تولید می‌کند.

جهان واقعی (طبیعت، فیزیک) دارای معماری، سازمان و الگو می باشد. شبکه جامعه و همه بافت‌های بیولوژیکی، معماری‌های بهینه شده اند. هیچ رودخانه بدون جلگه مرطوبش وجود ندارد. هیچ شهری بدون مزارع و فضاهای بازش پیشرفت نمی کند. هر چیزی که امروزه جاری و زنده است برای بقا در یک تعادل بهینه با جریان‌هایی که آنرا احاطه کرده است، می‌باشد. این تعادل (توزیع بهینه‌ی موانع)، طرح‌های زیادی از فرآیندها، نیروگاه، شهر، جغرافیا و اقتصاد را تولید می‌کند.

در این‌جا بر مبنای تئوری ساختاری، پدیده فیزیکی تولید پیکربندی جریان در طبیعت به طور خلاصه مورد اشاره قرار گرفت. در یک بیان کلی می‌توان گفت: دو پیکان زمانی در ترمودینامیک وجود دارند. اولی،که پیکان زمانی قانون دوم ترمودینامیک است، پیکان برگشت ناپذیری است. هر چیز از بالا به پایین جاری می شود. بعدی، پیکان زمانی قانون ساختاری است، پیکانی که چگونگی جریان هر فرآیند ساختاری را ارائه می‌کند. این چگونگی، در قانون ساختاری مستتر شده است. پیکربندی‌های موجود با تغییر شکل در زمان، به سمت پیکربندی‌هایی که مسیر آسان‌تری برای جریان ارائه می‌کنند، در راستای بقای خود حرکت می‌کنند. این پیکان زمانی ساختاری، فیزیک را با بیولوژی و مهندسی متحد می کند.

۱-٤- بررسی پیشینه‌ی پژوهش

تئوری ساختاری، دیدگاهی است که بیان می‌دارد تولید پیکربندی جریان، یک پدیده فیزیکی است که می‌تواند بر مبنای یک اصل فیزیکی (تئوری ساختاری) استوار باشد. این تئوری بیان می‌کند که مسئله اساسی در تحلیل هر سیستم، ساختار فیزیکی و هندسی آن است و بهینه سازی این ساختار، مسیر حداکثر کردن کارآیی کل آن سیستم می‌باشد[۲]. در واقع این تئوری قبل از تحلیل عملکرد هر سیستم، بهینه‌سازی ساختار فیزیکی و هندسی آن را مقدم می‌داند. به این ترتیب

تئوری ساختاری با توجه به هدف مورد نظر، تحلیل جامعی از عملکرد سیستم با توجه به مقتضیات ساختار و هندسه ارائه می‌کند.

تئوری ساختاری در سال ۱۹۹۶ توسط آدریان بژان[1] ارائه شد، و تاکنون سیستم‌های بسیاری با این روش مورد آنالیز و بهینه‌سازی قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، می‌توان به طراحی و بهینه‌سازی پره‌های T-Y شکل توسط تئوری ساختاری اشاره کرد [۶ و۷]. در این پژوهش‌ها، مقاومت حرارتی کل با توجه به محدود بودن میزان ماده مصرفی، حجم کل پره و حجم فضای خالی پره حداقل گشته، سپس نتایج تحلیلی حاصله با نتایج حاصل از حل عددی مقایسه شده است. همچنین، طراحی ساختار بهینه برای سیستم‌های انرژی خورشیدی مورد استفاده در ساختمان‌ها و افزایش راندمان کلی سیستم با استفاده از تئوری ساختاری در سال ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت [۸]. تعیین ساختار بهینه برای شبکه میکرو کانال‌ها، برای عبور جریان گاز رقیق با افت کمینه [۹] و تعیین کمینه‌ی مقاومت حرارتی [۱۰]، از دیگر موارد استفاده از این تئوری جهت بهینه‌سازی است.

گستره‌ی کاربرد انتقال حرارت در صنعت، از خنک‌کاری ریزپردازنده‌ها تا فرآیندهای عظیم در صنایع پتروشیمی را دربر می‌گیرد. داسیلوا و همکاران[2] [۱۱] خنک کاری دیسک بوسیله پره های با قابلیت هدایت بالا که از پیرامون به سمت داخل دیسک امتداد یافته‌اند مورد بررسی قرار داده‌اند. یکی از رویکردهای مناسب برای افزایش توانایی انتقال حرارت، افزایش سطح تماس بوسیله پره‌هاست. پره‌ها، با افزایش سطح انتقال حرارت کلی، موجب افزایش انتقال حرارت کلی می‌شوند. به همین دلیل، مجراهای فین‌دار در ابعاد و شاخه‌های مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی‌های مختلفی در این زمینه انجام شده است. به عنوان نمونه می‌توان به سیستم‌های انرژی خورشیدی اشاره کرد. اغلب سیستم‌های انرژی خورشیدی، برای تطابق بین انرژی عرضه شده و مورد تقاضا، به منبع انرژی گرمایی نیاز دارند. تکنیک‌های افزایش انتقال حرارت در این مخازن انرژی گرمایی، باعث افزایش چشمگیر راندمان می‌شود. آگینیم[3] و همکاران [۱۲] نشان داده‌اند استفاده از پره‌های طولی، بهترین عملکرد را در این زمینه داشته است.

انواع واشکال مختلفی از پره‌های داخلی طولی، در مجراهای دایره‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای مثال، دوپلین وبالیگا[4] [۱۳]، پره‌های داخلی طولی از جنس‌های فولاد، آلومینیوم و مس، مورد مطالعه قرار داده‌اند. تیان[5] وهمکاران [۱۴] پره‌های داخلی طولی با اشکال مستطیلی ساده، مسنطیلی با شیارهای متناوب و پره‌های موجی شکل را بررسی کرده‌اند. پره‌های داخلی طولی با مقطع مثلثی با زوایای راس متفاوت، و استفاده از دو سیال آب و روغن موتور، توسط پالانیچامی و ناگاراژ[6] بررسی شده‌اند[۱۵].

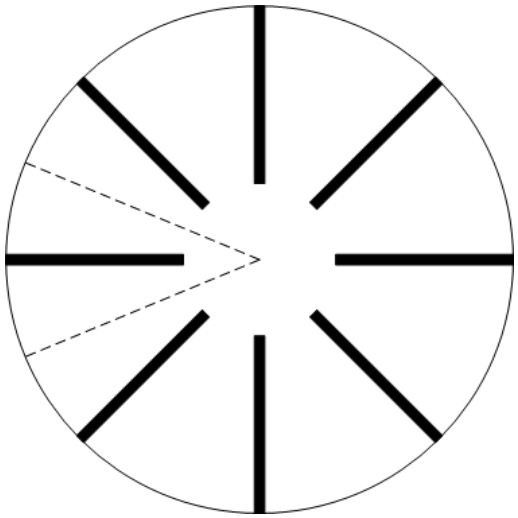
مجراهای غیر دایره‌ای متفاوتی نیز تا کنون مورد تحلیل واقع شده‌اند. فونگ[7] و همکاران [۱۶] ویژگی‌های جریان سیال و انتقال حرارت در یک میکروکانال با مقطع مربع، با چهار ارتفاع متفاوت برای پره‌های داخلی طولی مورد بررسی قرار

[1] Adrian Bejan
[2] A.K.da Silva
[3] F.Agyenim
[4] Eric Duplain & B.Rabi Baliga
[5] L.Tian
[6] R.Palanichamy & P.Nagaraj
[7] A.J.L Foong

داده‌اند. پاپادوپولوس و هاتزیکونستانتینو[1] [۱۷] یک مجرا با سطح مقطع بیضوی همراه با چهار پره‌ی داخلی نازک را برای جریان آرام تراکم ناپذیر کاملا توسعه یافته به صورت عددی تحلیل کرده‌اند.
شرایط مرزی مختلفی بر روی مجراهای با پره‌های داخلی طولی، نیز اعمال شده است. زیتون وحجازی[2] [۱۸] جریان آرام کاملا توسعه یافته با انتقال حرارت جابجایی در یک لوله با پره‌های داخلی طولی و دمای دیواره خارجی یکنواخت با دو گروه پره با ارتفاع متفاوت را مورد بررسی قرار داده‌اند. سابد[3] و همکاران [۱۹] انتقال حرارت جابجایی در یک فضای حلقوی دارای پره‌های داخلی با شار ثابت از جداره‌ی لوله داخلی را شبیه سازی عددی کرده‌اند.

۱-۵- معرفی پژوهش حاضر

در پروژه حاضر، سعی بر آن است تا با استفاده از تئوری ساختاری و بهینه سازی چیدمان مقدار مشخصی از ماده با قابلیت هدایت حرارتی بالاتر به عنوان پره، درون یک لوله با سیالی با قابلیت هدایت حرارتی پایین‌تر، مقاومت حرارتی بین سیال و جداره را کاهش دهیم. مسیر جریان حرارت، از جداره به سمت سیال و در راستای شعاع لوله می‌باشد. بنابراین با وارد کردن مقدار مناسبی از ماده با قابلیت هدایت حرارتی بالاتر نسبت به سیال درون لوله و در راستای شعاع لوله، می‌توان مقاومت حرارتی را کاهش داد. این چیدمان پره به گونه ای است که پره ها با یکدیگر در تماس نباشند.



شکل۱-۴: مقطع عرضی لوله

در ضمن، رژیم جریان درون لوله، آرام در نظر گرفته شده است . مقطع عرضی لوله در شکل۱-۴ نشان داده شده است.
در پروژه حاضر در حقیقت از پژوهش داسیلوا و همکاران [۱۹] به عنوان پژوهش پایه استفاده می‌شود. همان‌طور که پیش از این ذکر شد، در پژوهش داسیلوا و همکاران از رگه‌های ناقص مواد با هدایت بالا که از محیط به سمت داخل

[1] P.K.Papadopoulos & P.M.Hatzikonstantinou
[2] O.Zeitoun & A.S.Hegazy
[3] K.S.Syed

دیسک امتداد یافته بود، جهت خنک‌کاری دیسک استفاده شده است. در پژوهش مذکور دیسک با تولید حرارت داخلی q''' ، بوسیله تئوری ساختاری بهینه سازی شده است.

قیدهای مورد استفاده جهت بهینه‌سازی در این مورد، حجم کل لوله وحجم کل پره‌ها می باشد، که با ثابت در نظر گرفتن این قیود، ساختار پره‌ها بهینه‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از شبیه‌سازی عددی مناسب، نتایج حاصل با نتایج تحلیلی مقایسه گشته، میزان دقت حل تحلیلی بررسی می‌گردد.

فصل دوم
بررسی تئوری ساختاری در بهینه‌سازی انتقال حرارت

در این فصل، تئوری ساختاری در سه قسمت، با گستره‌ی کاربرد بسیار نزدیک به پژوهش حاضر، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته، روند حرکت این تئوری به سمت پژوهش حاضر نمایش داده می‌شود.

در بخش نخست، سرمایش یک سطح دیسکی شکل، بوسیله هدایت حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. دیسک دارای تولید حرارت داخلی بوده و یک چاه حرارتی در مرکز دیسک قرار دارد. با وارد کردن پره های شعاعی، با قابلیت هدایت حرارتی بالاتر نسبت به دیسک، مقاومت حرارتی کلی آن کاهش یافته و در نتیجه، میزان انتقال حرارت از دیسک افزایش یافته است. ساختار این پره‌های با قابلیت هدایت حرارتی بالا در دیسک، توسط تئوری ساختاری، بهینه سازی شده است[۲۰].

در قسمت دوم، با استفاده از مطالعه‌ی نخست، ساختار پره های داخلی طولی، درون یک مبدل حرارتی با دو جریان هم محور، مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش ذکر شده، قطر لوله داخلی مبدل ناچیز در نظر گرفته شده است، به گونه‌ای که پره‌های داخلی، بر روی محور مرکزی مبدل به یکدیگر متصل شده‌اند. با استفاده از تئوری ساختاری، با توجه به شعاع مبدل حرارتی، ساختار بهینه‌ی شعاعی یا شاخه‌ای برای پره‌های داخلی طولی پیشنهاد شده است[۱۹].

در بخش سوم، خنک کاری یک دیسک بوسیله پره‌های با قابلیت هدایت حرارتی بالا، که از پیرامون به سمت داخل دیسک امتداد یافته‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است. دیسک دارای تولید حرارت داخلی بوده و پره‌ها از لبه‌ی دیسک تا شعاع معینی به سمت مرکز، امتداد می‌یابند. ساختار این پره‌ها توسط تئوری ساختاری، بهینه سازی شده است[۱۱].