بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

آنالیز جریان جابجایی اجباری آرام سیال در داخل کانال با پله، همراه با در نظر گرفتن پدیده انتقال حرارت تابشی

استاد راهنما:
دکتر سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب

مولف:
امیر بابک انصاری

خرداد ماه 1390

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : امیر بابک انصاری

استاد راهنما : آقای دکتر سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب

داور 1 :

داور2 :

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

خدای را سپاس می‌گویم که لطفش را در موفقیتم جای داد تا توانستم برگ دیگری از زندگیم را با سرافرازی رقم زنم و همچنان امیدوار برای رسیدن به هدف، قدم هایم را استوارتر بردارم.

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به پدر و مادر عزیزم و تمامی کسانی که دوستشان دارم و برای پیشرفتم دل می‌سوزانند.

تشکر و قدردانی:

تشکر و قدردانی بی شمار را از استاد گرانقدر و بزرگوارم جناب آقای دکتر گنجعلیخان نسب دارم که عاشقانه و دلسوزانه، با حوصله و متانت فراوان، در تهیه این پایان نامه مرا یاری نموده و از راهنمایی‌های خود محروم نساختند به طوریکه بدون کمک‌های ایشان هرگز قادر به انجام این تحقیق نبوده‌ام. امیدوارم هرگونه کوتاهی و کاستی در تهیه این پایان نامه را بر من ببخشایند.

چکیده

در مطالعه حاضر، جریان آرام با جابه‌جایی اجباری گاز تشعشعی بر روی پله‌های پسرونده، در داخل کانال‌های با مقطع مستطیلی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سیال عامل همانند یک محیط خاکستری در جذب، صدور و پخش تشعشع شرکت می‌کند. برای شبیه‌سازی جریان بر روی پله در داخل کانال، از روش مسدود شده[1] در سیستم مختصات کارتزین دوبعدی استفاده شده است. جهت بدست آوردن میدان‌های سرعت و دما، معادلات مومنتوم و انرژی به صورت عددی حل می‌گردند. فرم جداسازی شده‌ی معادلات حاکم، توسط روش حجم محدود بدست آمده و با به کار بردن الگوریتم سیمپل حل می‌شوند.

از آنجایی که گاز به عنوان یک محیط شرکت کننده در انتقال حرارت تشعشعی نقش دارد، تمام مکانیزم‌های انتقال حرارت که شامل جابه‌جایی، هدایت و تشعشع می‌شوند به طور همزمان در جریان گاز درنظر گرفته می‌شوند. برای محاسبه جمله تشعشع در معادله انرژی، معادله انتقال تشعشع[2] به طور عددی و با به کاربردن روش طول‌های مجزا[3] حل شده و توزیع شار تشعشعی داخل جریان گاز محاسبه می‌شود. نتایج حل عددی به صورت رسم نمودارهایی برای بررسی اثرات عدد رینولدز، ضخامت نوری، ضریب البدو و عدد تشعشع - هدایت بر روی رفتار سیال و انتقال حرارت جریان گاز ارائه شده است. همچنین سازگاری خوبی بین نتایج عددی بدست آمده از مطالعه حاضر با نتایج مطالعات قبلی برقرار است.

کلمات کلیدی: پله‌پسرو، جریان اجباری آرام، انتقال حرارت تشعشعی، روش مسدود شده

---

[1] **Blocked-off Method**
[2] **Radiative Transfer Equation (RTE)**
[3] **Discrete Ordinate Method (DOM)**

فهرست مطالب

عنوان ---------- صفحه

فصل اول: مقدمه 1

1-1 مقدمه 2

2-1 بررسی مقالات و مطالعات انجام شده 2

3-1 هدف از مطالعه حاضر 6

فصل دوم: شرح مسأله و معادلات حاکم 7

1-2 مقدمه 8

2-2 شرح مسأله 8

1-2-2 هندسه مسأله 8

2-2-2 شرایط مرزی 9

3-2 معادلات حاکم 9

1-3-2 معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی 9

4-2 معادلات تشعشعی 10

1-4-2 محاسبه گرادیان شار حرارتی تشعشعی ($\nabla.\vec{q}_r$) 12

5-2 معادلات بدون بعد 12

6-2 پارامترهای مورد بررسی 13

1-6-2 دمای متوسط 13

2-6-2 عدد نوسلت 14

3-6-2 ضریب اصطکاک 15

فصل سوم: روش حل معادلات 16

1-3 مقدمه 17

1-1-3 روش اختلاف محدود 18

2-1-3 روش المان محدود 18

3-1-3 روش حجم محدود 19

2-3 شبکه محاسباتی و حجم‌های کنترلی 20

3-3 حجم های کنترل منظم با ناحیه مسدود شده 22

4-3 روش طولهای مجزا 24
1-4-3 معادلات طولهای مجزا 24
2-4-3 انتخاب جهت در روش طولهای مجزا 26
5-3 گسسته کردن معادلات حاکم 27
1-5-3 گسسته کردن معادلات تشعشعی با روش طولهای مجزا 27
2-5-3 گسسته کردن معادله پیوستگی 31
3-5-3 گسسته کردن معادله مومنتوم در جهت X 33
4-5-3 فرم تفاوت محدود معادله فشار 41
5-5-3 گسسته کردن معادله انرژی 44
6-3 حل معادلات جبری خطی 52
7-3 فضای شبکه 53
8-3 روش حل و برنامه کامپیوتری 53
9-3 همگرایی 54
10-3 محاسبه عدد نوسلت و دیگر پارامترها 57
فصل چهارم: بررسی نتایج و نتیجه‌گیری 58
1-4 مقدمه 59
2-4 اعتبار سنجی نتایج 59
1-2-4 اعتبار سنجی نتایج انتقال حرارت به روش جابجایی و هدایت 60
2-2-4 اعتبار سنجی نتایج انتقال حرارت به روش تشعشع و هدایت 62
3-2-4 اعتبارسنجی روش مسدود شده 63
3-4 بررسی میدان جریان 65
1-3-4 تأثیر عدد رینولدز بر خطوط جریان 65
2-3-4 تأثیر عدد رینولدز بر ضریب اصطکاک 66
4-4 تاثیر عدد تشعشع-هدایت بر دمای متوسط 67
1-4-4 تاثیر عدد تشعشع-هدایت بر اعداد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی ... 69
2-4-4 تاثیر عدد تشعشع-هدایت بر عدد نوسلت کل 70
5-4 تاثیر ضریب البدو بر دمای متوسط 71
1-5-4 تاثیر ضریب البدو بر اعداد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی 72

2-5-4 تاثیر ضریب البدو بر عدد نوسلت کل 73
6-4 تاثیر ضخامت نوری بر دمای متوسط 74
1-6-4 تاثیر ضخامت نوری بر اعداد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی 75
2-6-4 تاثیر ضخامت نوری بر عدد نوسلت کل 76
7-4 پله شیب دار 77
فصل پنجم: جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات 80
1-5 جمع بندی 81
2-5 نتیجه گیری 82
3-5 پیشنهادات 82
فهرست مراجع 83

فهرست علائم

C_f	ضریب اصطکاک محلی
C_f^*	ضریب اصطکاک محلی بهبود یافته
C_P	گرمای ویژه سیال
D_h	قطر هیدرولیکی
ER	نسبت انبساط
G	شدت تشعشع برخوردی
H	ارتفاع کانال بعد از پله
h	ارتفاع کانال قبل از پله
I	شدت تشعشع
I^*	شدت تشعشع بدون بعد
I_b	شدت تشعشع جسم سیاه
L_1	طول کانال قبل از پله
L_2	طول کانال بعد از پله
Nu_c	عدد نوسلت جابجایی
Nu_r	عدد نوسلت تشعشعی
Nu_t	عدد نوسلت کل
P	فشار
Pe	عدد پکلت
Pr	عدد پرانتل
q_t	شار حرارتی کل

q_r	شار حرارتی تشعشعی
q_c	شار حرارتی هدایتی
Re	عدد رینولدز
RC	عدد تشعشع-هدایت
s	ارتفاع پله
S	جمله چشمه
T	دما
T_{in}	دمای سیال ورودی
T_W	دمای دیوار
T_b	دمای متوسط سیال
u	سرعت جریان سیال در جهت محور x
U	سرعت بدون بعد جریان سیال در جهت محور x
$U_\circ$	سرعت یکنواخت ورودی
v	سرعت جریان سیال در جهت محور y
V	سرعت بدون بعد جریان سیال در جهت محور y
x	طول متغیر در جهت محور x در فضای محاسباتی
x_r	طول نقطه باز برخورد جریان به دیوار پایین
X	طول بدون بعد متغیر در جهت محور x در فضای محاسباتی
y	طول متغیر در جهت محور yدر فضای محاسباتی
Y	طول بدون بعد متغیر در جهت محور yدر فضای محاسباتی

علائم یونانی

α	ضریب پخش حرارتی

β	ضریب استهلاک
γ_c	ضریب انتقال حرارت جابجایی
ϕ	زاویه پله
φ	تابع فاز
ω	ضریب البدو
Ω	زاویه فضایی
σ_a	ضریب جذب
σ_s	ضریب پخش
κ	ضریب هدایت حرارتی
τ	ضخامت نوری
Θ	دما بدون بعد
Θ_b	دمای متوسط بدون بعد
θ_1 , θ_2	اعداد بدون بعد
μ	لزجت مطلق سیال
ν	لزجت سینماتیکی
ρ	چگالی سیال

فهرست شکل‌ها

عنوان		صفحه
شکل 2-1	شکل مسأله	8
شکل 2-2	رفتار تشعشع در سطح یک حجم کنترل	10
شکل 3-1	دامنه محاسباتی	20
شکل 3-2	شبکه حل جریان	21
شکل 3-3	ناحیه مسدود شده در یک شبکه منظم	23
شکل 3-4	حجم کنترل	29
شکل 3-5	سلول اصلی شبکه محاسباتی	31
شکل 3-6	نمونه حجم کنترل برای مولفه سرعت U	33
شکل 3-7	حجم کنترل برای گسسته سازی معادله انرژی	45
شکل3-8	خطوط مربوط به روش حل انتگرالی	52
شکل 4-1	شکل مسأله	59
شکل 4-2	طول ناحیه بازگشتی برای رینولدزهای مختلف	60
شکل 4-3	تغییرات عدد نوسلت بر روی دیوار پائین	61
شکل 4-4	توزیع دما در صفحه میانی محفظه	62
شکل 4-5	محفظه بسته نیم دایره‌ای	63
شکل 4-6	توزیع شار حرارتی بر روی دیوار پایینی محفظه بسته نیم دایره‌ای	64
شکل 4-7	توزیع خطوط جریان	65
شکل 4-8	توزیع ضریب اصطکاک بهبود یافته بر روی دیوار پایین	67
شکل 4-9	توزیع دمای متوسط در طول کانال $(\omega = 0.5 \, , \tau = 0.005)$	68
شکل 4-10	توزیع اعداد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی بر روی دیوار پائین $(\omega = 0.5 \, , \tau = 0.005)$	70
شکل 4-11	توزیع اعداد نوسلت کل بر روی دیوار پائین $(\omega = 0.5 \, , \tau = 0.005)$	71
شکل 4-12	توزیع دمای متوسط در طول کانال $(RC = 100 \, , \tau = 0.005)$	72
شکل 4-13	توزیع اعداد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی بر روی دیوار پائین $(RC = 100 \, , \tau = 0.005)$	73
شکل 4-14	توزیع اعداد نوسلت کل بر روی دیوار پائین $(RC = 100 \, , \tau = 0.005)$	74

شکل 4-15	توزیع دمای متوسط در طول کانال ($RC = 50 \, , \omega = 0.5$)	75
شکل 4-16	توزیع اعداد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی بر روی دیوار پائین ($RC = 50 \, , \omega = 0.5$)	76
شکل 4-17	توزیع اعداد نوسلت کل بر روی دیوار پائین ($RC = 50 \, , \omega = 0.5$)	77
شکل 4-18	توزیع خطوط جریان	78
شکل 4-19	توزیع عدد نوسلت محلی تشعشعی و جابجایی بر روی پله شیب‌دار و دیوار پائین ($\omega = 0.5 \, , \tau = 0.005$)	79

فهرست جداول

عنوان		صفحه
جدول 3-1	جهت ها وتوابع وزنی برای S_N های مختلف (8 و 6 و 4 و $N = 2$)	27
جدول 3-1	مطالعه شبکه	56

فصل اول

مقدمه

1-1 مقدمه

جریان سیال با جابه‌جایی اجباری در کانال‌هایی که دارای انبساط یا انقباض ناگهانی در سطح مقطع خود هستند، به طور گسترده در کاربردهای مهندسی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان، از وسایل تولید توان، پخش کننده‌ها، مبدل‌های حرارتی و خنک‌کاری در وسایل الکترونیکی نام برد. درجریان اجباری داخل چنین هندسه‌هایی جدایی جریان و جریان بازگشتی به دلیل تغییرات ناگهانی در هندسه جریان رخ می‌دهد. در بسیاری موارد مانند جریان گاز بر روی پره‌های توربین و یا جریان گاز ناشی از محصولات احتراق، انتقال حرارت تشعشعی نقش بسزایی را ایفا می‌کند. همچنین افزایش دما در سیستم‌های صنعتی امروزی، باعث شده است که مکانیزم انتقال حرارت تشعشعی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. در نتیجه برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، می‌بایستی جریان گاز را مانند یک محیط شرکت کننده در انتقال حرارت تشعشعی درنظر گرفت و تمام پدیده‌های انتقال حرارت شامل جابه‌جایی، هدایت و تشعشع را به طور همزمان مورد بررسی و مطالعه قرار داد.

یکی از هندسه‌هایی که به خوبی جریان و جریان بازگشتی را نشان می‌دهد، کانالهایی با پله پسرونده است. اگرچه هندسه این کانالها در ظاهر ساده به نظر می‌رسد، اما جریان سیال و انتقال حرارت بر روی این پله‌ها پیچیدگی‌های زیادی را شامل می‌شود. به گونه‌ای که از چنین هندسه‌هایی به عنوان هندسه معیار برای معتبرسازی نتایج استفاده می‌شود.

2-1 بررسی مقالات و مطالعات انجام شده

حل تمامی مسائل مربوط به جریان آرام سیال چسبنده، به حل معادلات کلی مومنتوم و انرژی برمی‌گردد. متاسفانه این معادلات به صورت غیر خطی می‌باشند و هیچ روش تحلیلی معینی جهت حل این معادلات وجود نداشته و حل دقیق معادلات تنها پس از برخی ساده سازی ها قابل دسترس است. به عنوان مثال یک منبع دقیق در مورد جریان داخل کانال با هندسه های مختلف توسط Schlichting [1] ارائه شده است اما فرضیات صورت گرفته جهت ساده سازی برای حل دقیق این معادلات چندان مناسب و منطقی نیستند. بنابراین، این معادلات تنها از طریق تخمین عددی قابل حل می باشند.

حل تخمینی معادلات مومنتوم و انرژی از دیر زمانی مورد مطالعه قرار گرفته است. یک مطالعه مناسب توسط Shah and London [2] ارائه شد که در آن حل عددی مسائل مربوط به جریان

سیال در هندسه های مختلف از قبیل لوله، صفحات موازی و کانال های مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. روش به کار رفته برای حل عددی معادلات مومنتوم و انرژی در این مطالعه، روش اختلاف محدود بود. اگرچه این مطالعه یک منبع مناسبی به شمار می رفت اما همه راه حل‌ها بر این فرض استوار بود که تمام خواص سیال ثابت در نظر گرفته شوند. تعدادی از خواص سیال وابستگی بالایی به دما دارند و فرض وابستگی این خواص به دما منجر به حل دقیق تر معادلات مومنتوم و انرژی خواهد شد. به عنوان مثال لزجت وابسته به دما تاثیرات فراوانی بر توزیع سرعت و دما خواهد داشت. بنابراین آنالیزی کامل است که تاثیرات دما بر خواص سیال را در حل معادلات لحاظ کند.

جریان و انتقال حرارت در هندسه‌هایی مانند کانال با پله پسرو توسط محققین زیادی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. Nie و Armaly [3]، جریان آرام با جابه‌جایی اجباری بر روی پله‌های پیشرو در داخل کانالهای مستطیل سه بعدی را به روش عددی شبیه‌سازی کردند. آنها در مطالعه خود اثر ارتفاع پله را بر روی ضریب اصطکاک، عدد نوسلت توزیع سرعت در دما مورد بررسی قرار دادند.

Armaly و همکاران [4] توزیع سرعت و خواص جریان را بر روی یک پله پیشرو و در داخل کانال با مقطع مستطیلی به روش تجربی بدست آوردند. آنها برای محاسبه سرعت از دستگاه سرعت سنج لیزری[1] استفاده نمودند.

در سال 2003 یک بازبینی و مرور کامل بر روی تمام مطالعاتی که توسط محققین پیشین بر روی هندسه‌هایی چون کانالها با پله‌های پسرو و پیشرو انجام شده بود، توسط Abu-Mulaweh [5] انجام گرفت. وی خلاصه‌ای کامل در مورد رفتار سیالاتی و حرارتی چنین جریان‌هایی تهیه نمود. هدف اصلی وی از انجام این کار بررسی اثر پارامترهای مختلفی همچون ارتفاع پله، عدد رینولدز، عدد نوسلت و نیروی شناوری بر روی جریان و توزیع دما در جریان سیال بود. همچنین روابط متعددی که توسط محققین در مطالعات مختلف ارائه شده بود نیز گردآوری شد.

Abu-Nada [6-8] میزان تولید انتروپی در جریان با جابه‌جایی اجباری در داخل کانالهای دوبعدی و بر روی پله‌های پسرو را مورد بررسی قرار داد. در کارهای انجام شده توسط وی معادلات حاکم توسط روش حجم محدود حل شده و توزیع عدد انتروپی، عدد نوسلت و ضریب اصطکاک بر روی دیواره‌های کانال محاسبه، رسم و تحلیل شدند. همچنین اثرات مکش و دمش روی دیواره پائینی کانال بر روی موارد فوق نیز مورد بررسی قرار گرفته است. Erturk [9] جریان جابه‌جایی اجباری در داخل کانال‌های دوبعدی و بر روی پله‌های پسرو را مورد مطالعه قرار داد به گونه‌ای که

[1] **Laser Doppler**

دامنه گسترده‌ای از اعداد رینولدز را شامل می‌شد. وی در مطالعه خود، برای حل معادلات مومنتوم در جریان غیر قابل تراکم، از یک روش اختلاف محدود بسیار کارا استفاده کرد. وی نشان داد که این روش برای رینولودزهای بسیار بالا نیز از پایداری بسیار خوبی برخوردار است.

Nie و همکاران [10]، اثرات وجود یک تیغه روی دیوار بالایی کانال را بر روی انتقال حرارت و جریان سیال عبوری از روی یک پله پیشرو مورد مطالعه قرار دادند.

بهرامی و گنجعلیخان نسب [11] تولید انتروپی در جریان داخل کانالهای مستطیلی با پله پیشرو را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین توزیع عدد نوسلت و عدد بژان نیز مورد بررسی قرار گرفت.

در تمام مطالعاتی که در بالا ذکر شده است، پله بر دیواره کانال عمود است. اما در بسیاری از کاربردهای مهندسی، پله پسرو یا پیشرو به صورت مایل و شیب‌دار قرار دارد. در این رابطه می‌توان به یکی از مطالعات اندکی که توسط محققین انجام شده اشاره کرد.

گنجعلیخان نسب و همکاران [12] جریان آشفته با جابه‌جایی اجباری در داخل کانال بر روی پله شیب‌دار پیشرو را مورد بحث و بررسی قرار دادند. در کار آنها معادلات انرژی و مومنتوم توسط نگاشت همدیس شوارتزکریستوفل به فضای محاسباتی منتقل شده و بعد از حل، نتایج به فضای فیزیکی انتقال یافته‌اند. با این روش، اثرات زاویه شیب پله بر روی جریان و توزیع دما در داخل سیال مورد بررسی قرار گرفت.

انتقال حرارت تشعشعی به همراه جریان سیال با جابه‌جایی اجباری یکی از مهمترین مسائل مورد بحث در کاربردهای مهندسی مانند خنک کاری پره‌های توربین، مبدل‌های حرارتی و محفظه‌های احتراق است. زمانی که گاز جاری همانند یک محیط شرکت کننده در انتقال حرارت تشعشعی رفتار می‌کند، خواص تشعشعی آن که عبارتند از جذب، صدور و پخش تشعشع پیچیدگی‌های بسیار زیادی را در شبیه‌سازی این نوع جریان‌ها اعمال می‌کند. Viskanta [13] این موضوع را به خوبی در مطالعات خود نشان داد.

در تمامی مطالعاتی که در بالا ذکر شد، از اثرات انتقال حرارت تشعشعی در آنالیز مسئله صرفه‌نظر شده است. به طوریکه معادله انرژی تنها شامل مکانیزمهای انتقال حرارت جابه‌جایی و هدایت می‌باشد. در رابطه با بحث انتقال حرارت تشعشی، تحقیقات اندکی در هندسه‌های پیچیده دو بعدی و سه‌بعدی موجود است که در ادامه به بعضی از آنها مختصراً اشاره شده است. تحلیل همزمان تشعشع و جابه‌جایی اجباری داخل کانالها از پیچیدگی خاصی برخوردار است، بدلیل اینکه معادله انرژی برای جابه‌جایی اجباری با مسئله تشعشع هم‌بسته می‌شود. مقالات انجام شده روی این موضوع مشخص می‌کند که خیلی از کارهای انجام شده روی ناحیه توسعه یافته حرارتی بوده و یا

محدود به جذب و صدور گاز بدون اثرات پخش تشعشعی می‌باشند. Echigo و همکاران [14] مطالعات خود را روی اثرات تشعشع با هدایت انجام دادند. آنها معادله انرژی شامل ترم تشعشع که ترم غیرخطی می‌باشد را به روش عددی حل کرده و مقایسه‌ای بین گازهای خاکستری و غیرخاکستری و نیز پروفیل‌های دما انجام دادند. پس از آن Echigo و همکاران [15] روی انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری با تشعشع در جریان توسعه یافته حرارتی آرام داخل یک لوله کارشان را ادامه دادند. آنها در این تحقیق توانستند پروفیل‌های دما و اعداد نوسلت برای جریان آرام به ازای ضخامت‌های نوری متفاوت و نیز پارامتر بدون بعد هدایت- تشعشع را با هم مقایسه کنند.

Chawla و Chan [16] ترکیب جابه‌جایی و تشعشع در جریان توسعه یافته حرارتی داخل لوله با اثرات پخش را تحقیق کرده و به ازای ضخامت‌های نوری متفاوت، پروفیل‌های دما و اعداد نوسلت محلی را مقایسه کردند.

Azad و Modest [17] جریان آشفته با جابه‌جایی اجباری به همراه انتقال حرارت تشعشعی در داخل لوله‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه آنها، گاز همانند یک محیط شرکت کننده در انتقال حرارت تشعشعی نقش داشت، به گونه‌ای که آنها اثرات جذب، صدور و پخش غیرهمگن گاز را در محاسبات مربوط مدنظر قرار داده بودند.

Bouali و Mezrhab [18] جریان اجباری به همراه انتقال حرارت تشعشعی در یک کانال عمودی با دیواره‌های هم‌دما را مورد مطالعه قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که تشعشع صادر شده از سطح تاثیر بسزایی بر روی عدد نوسلت در رینولدزهای بالا دارد.

جریان آشفته با جابه‌جایی آزاد و اجباری و با درنظر گرفتن اثرات تشعشع در کانالهای عمودی به روش گردابه‌های بزرگ[1] توسط Barhaghi و Davidson [19] شبیه‌سازی شد. آنها در کار خود، دو حالت خاص را مورد بررسی قرار دادند که این دو حالت شامل دو مقدار مختلف برای نسبت عدد گراشف به عدد رینولدز و بر مبنای شار حرارتی دیواره‌ها و عرض کانال، می‌شد. علاوه بر این شرایط مرزی شامل شار حرارتی ثابت بر روی یک دیواره و عایق بودن سایر دیواره‌ها بوده است. همچنین از اثرات تشعشع در جهت عرضی[2] نیز صرفه‌نظر شده بود. آنها در مطالعه خود نشان دادند که تغییرات خواص اثرات بسیار زیادی را بر روی توزیع دما می‌گذارد.

Grosan و Pop [20] جریان توسعه یافته آرام با جابه‌جایی اجباری و آزاد در داخل یک کانال عمودی را با درنظر گرفتن اثرات تشعشع مطالعه کردند. آنها در مطالعه خود برای شبیه‌سازی ترم

---

[1] **Large Eddy**
[2] **Span-wise**

تشعشع در مطالعه انرژی، از تقریب روزلند[1] استفاده کردند. آنها به این نتیجه دست یافتند که تشعشع بر روی جریان سیال و انتقال حرارت تاثیر زیادی دارد.
Chiu و همکاران [21] و Chiu [22] جریان آرام با جابجایی آزاد و اجباری در کانالهای سه بعدی افقی و مایل را با در نظر گرفتن اثرات تشعشعی مطالعه کردند. در کار آنها معادلات مومنتوم و انرژی به طور همزمان و با روش سرعت-گردابه[2] حل شده است. همچنین برای حل معادلات تشعشعی از روش طولهای مجزا[3] استفاده شده است. اثرات تشعشع بر روی نیروی بویانسی، توزیع دما، ضریب اصطکاک و عدد نوسلت نیز بررسی شد.

3-1 هدف از مطالعه حاضر

اگرچه تحقیقاتی در مورد رفتار حرارتی در داخل کانال‌ها انجام گرفته است، اما آنالیز کامل حرارتی در داخل کانال‌ها و با وجود پله‌های قائم یا شیب‌دار بگونه‌ای که تمام پدیده‌های انتقال حرارت در نظر گرفته شوند، انجام نشده است و از آنجایی که جریان سیال بر روی پله‌های پیشرو یا پسرو در داخل کانال‌های مستطیلی در صنعت و مهندسی کاربردهای بسیار زیادی دارد، مطالعه حاضر این نوع از جریان را بررسی می‌کند، درحالی که در محاسبات مربوط به دما تمام مکانیزم‌های انتقال حرارت که شامل هدایت، جابه‌جایی و تشعشع هستند به طور همزمان در جریان سیال مدنظر قرار گرفته‌اند. بر این مبنا معادلات حاکم که شامل معادلات بقای جرم ، مومنتوم و انرژی هستند به صورت عددی و توسط روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی[4] و با به کار بردن روش بلوک شده[5] در سیستم مختصات دکارتی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که در محاسبات مربوط به انتقال حرارت تشعشعی از روش مشهور و کارآمد طول‌های مجزا استفاده شده است.

[1] **Rosseland approximation**

[2] **Vorticity-velocity Method**

[3] **Discrete Ordinate Method**

[4] **CFD Technique**

[5] **Blocked-off Method**