١٠٨٢٢٢

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مواد و متالورژی

پایان‌نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد

مطالعه و بهینه سازی سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری از طریق مشاهده مستقیم نحوه حرکت مذاب

اساتید راهنما :
دکتر رامین رئیس زاده
دکتر شهریار شرفی

مؤلف:
هاتف هاشمی

۱۳۸۷/۹/۲۳

اسفندماه ۸۶

۱۰۸۲۴۴

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

گروه مواد و متالورژی

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مذبور شناخته نمی‌شود.

نام و نام خانوادگی **امضا**

دانشجو:

استاد راهنما : دکتر رامین رستم زاده

داور ۱: دکتر زند رحیمی

داور۲:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده:

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

(حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه است)

Yaşamımın səbəbləri,

atam, anam və sevimli arxadaşımın qisqancsız

əməkərinə sunuram.

از تلاش ها، راهنمایی ها و همکاری های مسئولانه استاد محترم راهنمای پروژه آقای دکتر رییس زاده و نیز کلیه عزیزانی که در به اتمام رساندن این پایان نامه یاریم کرده اند از جمله، سرکار خانم مهندس مینوش خداداد و مسئول پر تلاش کارگاه ریختگری آقای سلطانی و تمامی اساتید و کارکنان بخش مهندسی متالورژی کمال تشکر را دارم.

چکیده

تولید قطعات ریخته گی سالم مستلزم کنترل و هدایت مناسب جریان مذاب در قالب تا تکمیل انجماد آن است. از این رو، چگونگی حرکت مذاب در سیستم راهگاهی و ورود مذاب به محفظه قالب در ریخته گری از اهمیت زیادی برخوردار است. اکثر سیستم های راهگاهی که مناسب شناخته می شوند به علت ایجاد تلاطم سطحی، فیلم اکسید دوتایی تولید می کنند که ورود این فیلم ها به درون قالب خواص قطعه را تحت تأثیر قرار می دهد. اخیراً پروفسور کمپبل بر اساس مشاهدات خود از چگونگی حرکت مذاب در قالب، سیستم راهگاهی جدیدی به نام سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری را پیشنهاد نمود اما هنوز جوانب متعددی از این سیستم ناشناخته مانده و نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

در این تحقیق سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری پیشنهاد شده توسط پرفسور کمپبل مورد ارزیابی و بررسی دقیق قرار گرفت و سرعت و نحوه حرکت مذاب در قسمت های مختلف سیستم راهگاهی از طریق مشاهده مستقیم به وسیله دوربین فیلم برداری و اندازه گیری دبی مذاب بررسی شد و بر اساس نتایج آن اصلاحاتی کوچک اما بسیار مهم در طراحی سیستم اعمال گردید. در نهایت، از طریق روش آنالیز آماری ویبل، قابلیت اعتماد به قطعات تولید شده به وسیله سیستم های راهگاهی غیر فشاری، طبیعی-فشاری (در حضور فیلتر و بدون آن) و طبیعی-فشاری اصلاح شده با یکدیگر مقایسه شدند. مقدار کاهش سرعت مذاب در اثر عبور آن از خم قائم ۲۰٪ و از فیلتر اسفنجی نصف مقدار پیشنهاد شده توسط کمپبل، یعنی ۵۰٪، محاسبه گردید. همچنین، نشان داده شد که وجود فیلتر اسفنجی در پر کردن سریع راهگاه بارریزی و آرام ساختن جریان در راهبار نقش بسیار مهمی ایفا می کند و این که اگر سطح مقطع راهبار پس از فیلتر بیش از دو برابر سطح مقطع راهبار قبل از آن باشد وجود فیلتر خود باعث تولید عیب اکسید دوتایی چه در زیر فیلتر و چه در راهبار پس از فیلتر می گردد. مقایسه قابلیت اعتماد به قطعات تولید شده توسط سیستم های راهگاهی گوناگون توسط آنالیز آماری ویبل نشان داد که قطعات تولید شده توسط سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری اصلاح شده دارای بیشترین قابلیت اعتماد بوده و تاثیر طراحی جدید در جلوگیری از تولید عیب اکسید دوتائی و ورود آن به محفظه قالب از تاثیر وجود فیلتر در سیستم متداول غیر فشاری بیشتر است.

واژه های کلیدی: سیستم راهگاهی، غیر فشاری، طبیعی فشاری، آنالیز ویبل.

مقدمه..... ۱

۲- کلیات..... ۴

۲-۱- قوانین حرکت سیال..... ۴

۲-۱-۱- قانون گرانروی نیوتون۴

۲-۱-۲- معادلات حالت..... ۵

۲-۱-۳- قانون بقای جرم ۵

۲-۱-۴- قانون پیوستگی..... ۵

۲-۱-۵- قانون بقای اندازه حرکت..... ۶

۲-۱-۶- قانون بقای انرژی..... ۷

۲-۱-۶-۱- معادله برنولی..... ۷

۲-۱-۶-۲- معادله تریچلی..... ۷

۲-۱-۷- قانون تداوم..... ۹

۲-۲- سیستم های راهگاهی متداول در ریخته گری..... ۱۰

۲-۲-۱- اجزای یک سیستم راهگاهی..... ۱۱

۲-۲-۱-۱- حوضچه بارریزی..... ۱۱

۲-۲-۱-۲- راهگاه بارریز..... ۱۳

۲-۲-۱-۳- حوضچه پای راهگاه بارریز..... ۱۴

۲-۲-۱-۴- کانال اصلی (راهبار) و فرعی(راهباره)..... ۱۵

۲-۲-۲- سیستم های راهگاهی فشاری و غیر فشاری..... ۱۵

۲-۳- اصول طراحی سیستم های راهگاهی..... ۱۶

۲-۳-۱- ضریب تخلیه..... ۱۶

۲-۳-۲- عوامل مؤثر بر ضریب تخلیه ۱۷
۲-۳-۲-۱- دبی جریان ۱۷
۲-۳-۲-۲- هندسه راهگاه بارریز ۱۸
۲-۳-۲-۳- نسبت های سیستم راهگاهی ۱۸
۲-۳-۲-۴- دما و آهنگ بارریزی ۱۸
۲-۳-۲-۵- زمان بارریزی ۱۸
۳- مروری بر تحقیقات گذشته ۲۲
۳-۱- عیب فیلم اکسید دوتایی ۲۲
۳-۱-۱- آخال و طبیعت زیان بار آن ۲۲
۳-۱-۲- تلاطم سطحی ۲۴
۳-۱-۳- سرعت بحرانی مایع ۲۶
۳-۱-۴- تشکیل عیب فیلم اکسید دوتایی ۲۷
۳-۱-۵- پیامد غوطه ور شدن فیلم ها در مذاب ۳۲
۳-۲- تأثیر طراحی سیستم راهگاهی بر تشکیل عیب فیلم اکسید دوتایی ۳۴
۳-۲-۱- سیستم فشاری ۳۷
۳-۲-۲- سیستم غیر فشاری ۳۹
۳-۲-۳- مفهومی نو در طراحی سیستم راهگاهی- سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری ۴۰
۳-۲-۳-۱- حوضچه بارریز ۴۲
۳-۲-۳-۲- راهگاه بارریز ۴۴
۳-۲-۳-۳- پای راهگاه بارریز ۴۶
۳-۲-۳-۴- راهبار ۴۷

۳-۲-۳-۵- راهباره ها..... ۵۰
۳-۲-۳-۶- صافی‌ها..... ۵۱
۳-۳- آنالیز آماری خواص قطعات ریخته گی..... ۵۳
۴- روند عملی..... ۵۷
۴-۱- طراحی سیستم راهگاهی..... ۵۷
۴-۱-۱- طراحی سیستم راهگاهی غیر فشاری..... ۵۷
۴-۱-۱-۱- طراحی راهگاه بارریز..... ۵۷
۴-۱-۱-۲- طراحی حوضچه بارریز..... ۵۸
۴-۱-۱-۳- طراحی راهبار..... ۵۹
۴-۱-۱-۴- طراحی حوضچه پای راهگاه..... ۵۹
۴-۱-۱-۵- طراحی راهباره..... ۵۹
۴-۱-۱-۶- طراحی تغذیه..... ۶۰
۴-۱-۲- طراحی سیستم راهگاهی طبیعی- فشاری..... ۶۰
۴-۱-۲-۱- تعیین دبی ورودی..... ۶۰
۴-۱-۲-۲- طراحی حوضچه بارریز..... ۶۱
۴-۱-۲-۳- طراحی راهگاه بارریز..... ۶۱
۴-۱-۲-۴-طراحی راهبار..... ۶۱
۴-۱-۲-۵- طراحی راهباره..... ۶۲
۴-۲- روند انجام آزمایشات..... ۶۵
۴-۲-۱- بررسی تأثیر استاپر بر نحوه پر شدن راهگاه بارریز (آزمایش ۱و ۲)..... ۶۵
۴-۲-۲- اندازه گیری سرعت حرکت مذاب در پای راهگاه بارریز (آزمایش ۳)..... ۶۶

۴-۲-۳- بررسی نحوه حرکت مذاب در محل اتصال

راهگاه بارریز به راهبار قبل از فیلتر (آزمایش ۴) ۶۶

۴-۲-۴- اندازه گیری سرعت مذاب در انتهای راهبار قبل از فیلتر (آزمایش ۵)..... ۶۷

۴-۲-۵- بررسی میزان پر شدن راهبار قبل از فیلتر از مذاب (آزمایش ۶)..... ۶۸

۴-۲-۶- بررسی نحوه عبور مذاب از فیلتر

و ورود آن به راهبار بعد از فیلتر (آزمایش ۷)..... ۶۸

۴-۲-۷- بررسی میزان پر شدن راهبار پس از فیلتر از مذاب (آزمایش ۸)..... ۶۹

۴-۲-۸- اندازه گیری سرعت مذاب بعد از عبور از فیلتر

در انتهای راهبار پس از فیلتر (آزمایش ۹)..... ۶۹

۴-۲-۹- بررسی نحوه حرکت مذاب در راهبار پس از فیلتر

و ورود به راهباره در حضور فیلتر و بدون (آزمایش ۱۰)..... ۷۰

۴-۲-۱۰- آزمایشات انجام شده بعد از اصلاح سیستم راهگاهی بر اساس نتایج قبلی..... ۷۰

۴-۲-۱۰-۱- بررسی نحوه عبور مذاب از فیلتر

و ورود آن به راهبار پس از فیلتر (آزمایش ۱۱)..... ۷۱

۴-۲-۱۰-۲- بررسی نحوه حرکت مذاب در راهبار پس

از فیلتر و ورود آن به راهباره در حضور فیلتر (آزمایش ۱۲)..... ۷۱

۴-۲-۱۱- آزمایشات خواص مکانیکی و آنالیزآماری..... ۷۲

۴-۲-۱۱-۱- تست کشش (آزمایش ۱۳)..... ۷۲

۵- نتایج..... ۷۳

۵-۱- تأیید وجود استاپر در ورودی راهگاه بارریز (آزمایش ۱ و ۲)..... ۷۳

۵-۲- اندازه گیری سرعت مذاب در پای راهگاه بارریز (آزمایش ۳)..... ۷۳

۵-۳- بررسی نحوه حرکت مذاب در محل اتصال راهگاه بارریز
به راهبار قبل از فیلتر (خم نود درجه) (آزمایش ۴).....۷۵
۵-۴- اندازه گیری سرعت مذاب در انتهای راهبار قبل از فیلتر
پس از گذشتن از یک خم نود درجه (آزمایش ۵).....۷۵
۵-۵- بررسی نحوه پر شدن راهبار قبل از فیلتر (آزمایش ۶).....۷۸
۵-۶- نحوه عبور مذاب از فیلتر و ورود آن به راهباره (آزمایش ۷).....۷۹
۵-۷- نحوه پر شدن راهبار پس از فیلتر (آزمایش ۸).....۷۹
۵-۸- اندازه گیری سرعت مذاب بعد از عبور از فیلتر در انتهای راهبار (آزمایش ۹).....۸۱
۵-۹- بررسی نحوه حرکت مذاب در راهبار پایین در حضور فیلتر و بدون آن (آزمایش ۱۱).....۸۲
۵-۱۰ نحوه عبور مذاب از فیلتر و ورود آن به راهباره بر در سیستم
راهگاهی اصلاح شده و نحوه حرکت مذاب در راهبار پایین (آزمایش ۱۱ و ۱۲).....۸۴
۵-۱۱- تست کشش (آزمایش ۱۴).....۸۴
۶- بحث.....۸۹
۶-۱- وجود استاپر در ورودی راهگاه بارریز ۸۹
۶-۲- بررسی نحوه حرکت مذاب در سیستم راهگاهی طبیعی فشاری.....۸۹
۶-۳- اندازه گیری سرعت مذاب در انتهای راهبار قبل از فیلتر
پس از گذشتن از یک خم نود درجه.....۹۰
۶-۴- قابلیت اعتماد به قطعات ریختگی حاصل از سیستم های راهگاهی.....۹۲
۷-نتیجه گیری.....۹۴
۸- منابع و مراجع ۹۶

۱- مقدمه

فلزات نقش مهمی را در گسترش تمدن بازی کرده‌اند. در این فرآیند توسعه، هیچ فلزی به جز فولاد، به اندازه آلومینیوم کاربرد ندارد. آلومینیوم از بیش از یک قرن پیش تا کنون از یک عنصر شیمیایی به دومین فلز مورد استفاده در جهان تبدیل شده است. آلومینیوم به علت خواص یگانه اش، جایگزین مواد قدیمی تر نظیرچوب، مس، آهن و فولاد در برخی کاربردهایشان شده است.

آلومینیوم خواص یگانه ای دارد، دانسیته آن حدود یک سوم فولاد است و در برابر بسیاری از مایعات و گازهای مختلف مورد استفاده در کابرد های روزمره مقاوم است. آلومینیوم بازتابش، الاستیسیته، شکل پذیری و رسانایی الکتریکی و گرمایی بالایی دارد و آلیاژهای آلومینیوم می توانند استحکامی برابر یا حتی بیشتر از استحکام فولاد ساختمانی داشته باشند.

جدا از این خواص، نقطه ذوب نسبتاً پایین، حلالیت قابل صرف نظر برای همه گازها به جز هیدروژن و سطح تمام شده خوب آن، می تواند این فلز را برای ریخته گری بسیار مناسب سازد. همچنین اکثر آلیاژهای آلومینیوم سیالیت خوبی دارند و با انتخاب آلیاژ مناسب می توان آن ها را برای کاربردهای خاص به کار برد. مشکل مهم ریخته گری آلومینیوم انقباض نسبتاً بالای آن در حین انجماد (بین۳/۵تا ۸/۵٪) است. سه فرآیند ریخته گری که عموماً برای ریخته گری این فلز مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: ریخته گری در ماسه، ریخته گری در قالب دائمی و ریخته گری تحت فشار با محفظه سرد.

به دست آوردن مکرر خواص یکسان و کیفیت ریخته گری خوب یکی از دشوارترین چالش هایی است که کاربران تکنولوژی ریخته گری با آن روبه رو هستند. کیفیت فلز مذاب می تواند به عنوان مهم ترین عاملی که کیفیت قطعه ریخته گری را تحت تأثیر قرار می دهد در نظر گرفته شود. کیفیت مذاب، خود اصولاً توسط سه عامل کنترل می شود که عبارتند از: غلظت عناصر ناخالصی نظیر آهن، مقدار هیدروژن حل شده در مذاب و مقدار ناخالصی های غیر فلزی موجود در فلز مایع.

تخلخل هیدروژنی عامل کاهش استحکام کششی، انعطاف پذیری و عمر خستگی، ایجاد نشت در مقاطع و ظاهر سطحی ضعیف بعد از ماشین کاری شناخته شده است. کنترل تمیزی ذوب (نظیر غلظت

آخال)بسیار دشوار است و معمولاً به عنوان فاکتور کلیدی مؤثر بر جوانه زنی حفره در نظر گرفته می شود. بنابراین، گاز زدایی فلز مایع و حذف آخال ها دو عملیات مهم ذوب هستند که اگر به درستی انجام شوند، می توانند کیفیت فلز مذاب را به طور قابل ملاحظه ای افزایش دهند.

اکسید آلومینیوم آخالی است که عموماً در آلیاژهای آلومینیوم یافت می شود. این اکسید روی سطح آلیاژ آلومینیوم مایع وجود دارد، و می تواند با تلاطم سطح فلز مایع به علت هم زدن شدید، بی دقتی در حمل و نقل و یا در حین بارریزی وارد مایع شود.

اثر فیلم های اکسیدی فرو رفته در مذاب بر روی خواص مکانیکی قطعات ریخته گی آلومینیوم اخیراً موضوع تحقیقات بسیاری بوده است. مطالعات قبلی نشان دادند که اگر مذاب آلومینیوم با سرعتی بیش از یک مقدار بحرانی وارد محفظه قالب شود، فیلم اکسید سطحی روی فلز مایع بر روی خود می غلتد و با یک حجم هوای محصور در آن به داخل مایع فرو می رود و باعث کاهش خواص مکانیکی ریخته گی می شود. فیلم های اکسیدی فرو رفته، تخلخل هیدروژنی را ایجاد می کنند که به عنوان محل جوانه زنی مواد بین فلزی غنی از Fe و ترک های خستگی عمل می نمایند. مطالعات متعددی با در نظر گرفتن سرعت بحرانی مذاب برای بهبود طراحی سیستم های راهگاهی متداول برای جلوگیری از تلاطم سطحی و حبس فیلم های اکسید در مایع انجام گرفته است.

پیشنهاد شده است که اکسیژن و نیتروژن حبس شده در یک فیلم اکسیدی دوتایی غوطه ور در مذاب ممکن است توسط آلومینیوم مذاب، پس از یک زمان درنگ، مصرف شوند و احتمالاً برخی پیوند های جزیی بین دو سطح خیس شده آن ایجاد شده و لذا تأثیر زیان بار فیلم اکسید دوتایی ممکن است تا حدی حذف گردد.

تولید قطعات ریخته گی سالم مستلزم کنترل و هدایت مناسب جریان مذاب در قالب تا تکمیل انجماد آن می باشد. از این رو، چگونگی ورود مذاب به محفظه ی قالب و جریان آن در مجراهایی که به محفظه ی قالب منتهی می شوند، در ریخته گری از اهمیت زیادی برخوردار هستند. اکثر سیستم های راهگاهی

که مناسب شناخته می شوند به علت ایجاد تلاطم سطحی، فیلم اکسید دوتایی تولید می کنند که ورود این فیلم ها به درون قالب خواص قطعه را تحت تأثیر قرار می دهد. اخیراً پروفسور کمپبل بر اساس مشاهدات خود از چگونگی حرکت مذاب در قالب، سیستم راهگاهی جدیدی به نام سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری را پیشنهاد نمود که اصول طراحی آن بر مبنای طبیعت حرکت مذاب استوار است. در این سیستم به علت ایجاد تغییرات گسترده در مفاهیم پیشین از جمله حذف مفهوم نسبت سیستم راهگاهی، ایجاد تلاطم در سیستم راهگاهی کاهش یافته است و نیز تأثیر طراح و خطاهای فردی بر کیفیت قطعه به حداقل رسیده است.

در این مطالعه تاثیر سیستم راهگاهی طبیعی-فشاری پیشنهاد شده توسط کمپبل بر سرعت و طبیعت حرکت مذاب مورد بررسی قرار گرفت و سرعت مذاب در قسمت های مختلف سیستم اندازه گیری شد و اصلاحات لازم بر سیستم اعمال گردید. تست های مکانیکی و قابلیت اعتماد به قطعه برای مقایسه بین سیستم های غیر فشاری، طبیعی-فشاری و سیستم طبیعی-فشاری اصلاح شده، انجام شد و نتایج توسط آنالیز ویبل (Weibull) مورد تحلیل قرار گرفتند.

۲- کلیات

۲-۱- قوانین حرکت سیال

سیال در حال حرکت از قوانینی پیروی می کند که چگونگی رفتار آن را مشخص می نمایند. این قوانین به طور کلی برای یک سیال ایده ال تعریف شده اند و بدیهی است که برای بررسی حرکت فلزات در حالت مایع نیز مفید هستند. آگاهی از این اصول برای طراحی صحیح اجزای سیستم راهگاهی ضروری است[۳۷].

۲-۱-۱- قانون گرانروی نیوتون (Newton's Viscosity Law)

گرانروی خاصیتی فیزیکی و مشخصه مقاومت سیال در برابر تنش برشی است. این ویژگی با در نظر گرفتن حرکت سیال بین دو صفحه موازی وسیع که یکی از آن ها در جهت x در حال حرکت و دیگری ساکن است، تعریف می گردد. تنش برشی لازم برای ادامه این حرکت به صورت زیر تعریف می شود:

$$\tau_{xy} = -\mu d_{vx}/d_y \qquad (۱-۲)$$

که در آن $\frac{dv_x}{dy}$ آهنگ برش بر حسب $[s^{-1}]$، μ گرانروی سیال $[N.m^{-2}.S]$، τ_{yx} تنش برشی $[N.m^{-2}]$ است. این معادله به معادله گرانروی نیوتن معروف است و سیالی که رفتار آن این گونه باشد سیال نیوتنی (Newtonian Fluids) نامیده می شود. گرانروی سیالات، مستقل از آهنگ برش و حدود $۱۰^{-۳}$-۲-$۱۰^{-۳}$ Pa.s است و با افزایش دما به صورت تابع نمایی کاهش می یابد. به طور کلی فلز مذابی که در سیستم راهگاهی جاری است، به صورت سیال نیوتنی فرض می شود. گرانروی فلز آلومینیوم در سه درجه حرارت به صورت زیر است:

جدول۲-۱: گرانروی آلومینیوم مایع [۱]

درجه حرارت $[^{\circ}c]$	گرانروی $\times ۱۰^{-۳}[Pa.s]$	گرانروی سینماتیکی $\times ۱۰^{-۶}[m^2.s]$
۶۲۲	۱٫۳۹۷	۰٫۵۲۸
۶۸۹	۱٫۳۱۷	۰٫۵۵۸
۷۰۰	۱٫۲۸۶	۰٫۵۴۳

۲-۱-۲- معادلات حالت (Equation of Changes)

رفتار فلز مذاب در فرایند های متداول ریخته گری با تغییراتی نظیر حجم، جا به جا شدن سیال و تغییر در انرژی آن همراه است که معمولا به وسیله‌ی معادلات جرم، اندازه حرکت و انرژی سیال نیوتنی بیان می شود که توضیح مختصری از این قوانین در زیر آمده است.

۲-۱-۳- قانون بقای جرم (Conservation of Mass)

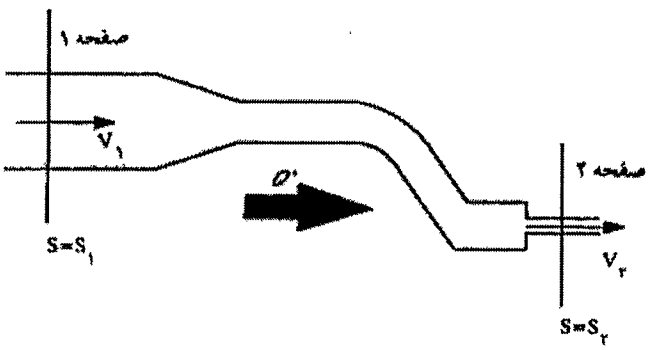
این قانون بیانگر ثابت بودن جرم سیال در حال حرکت در یک کانال است. بر این اساس، در یک سیستم که سیال در آن جریان دارد، می توان نوشت:

دبی خروجی جرم - دبی ورودی جرم = آهنگ ذخیره شدن جرم

۲-۱-۴- قانون پیوستگی (Law of Continuity)

فرض می شود در سیستمی شامل یک کانال با سطوح ۱و۲ (شکل ۲-۱) شرایط زیر حاکم است:

- جریان سیال در کانال آرام و سرعت آن در مقاطع ۱و۲ موازی با دیواره کانال است.
- چگالی و سایر خواص سیال در مقاطع ۱و۲ تغییر نمی‌کند و دیواره کانال غیر قابل نفوذ است.



شکل۲-۱: ارتباط دو کانال با سطوح مقاطع مختلف[۱].

با استفاده از برقراری قانون بقای جرم در این سیستم و در صورت ذخیره نشدن سیال در آن، معادله پیوستگی به صورت زیر نتیجه می شود:

$$Q=\rho A_i V_i \qquad (۲-۲)$$

که در آن:

Q: دبی حجمی$[m^3.s^{-1}]$

V_i: سرعت میانگین سیال در مقطع i $[m.s^{-1}]$

A_i: سطح مقطع سیال در مقطع i $[m^2]$

در زمان عبور جریان از درون کانال، سطح مقطع A_i برابر با سطح مقطع پر شده کانال است. برای محاسبه دبی وزنی عبوری از کانال می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$W/t=\rho AV \qquad (۲-۳)$$

که در آن:

ρ:چگالی سیال $[kg.m^{-3}]$

A: سطح مقطع جریان$[m^2]$

V: سرعت سیال $[m.s^{-1}]$

W: وزن سیال عبوری [kg]

t: زمان عبور [s]

۲-۱-۵- قانون بقای اندازه حرکت (Conservation of Momentum)

این قانون بیان می‌کند که اندازه حرکت در یک سیستم همواره ثابت است. وقتی سیالی از میان دو صفحه موازی که تحت تنش برشی قرار گرفته اند حرکت می کند، مطابق قانون گرانروی نیوتن یک

شیب با تغییر سرعت در آن پدید می آید. این تغییر سرعت، پتانسیلی برای انتقال حرکت از لایه ای به لایه دیگر است.

۲-۱-۶- قانون بقای انرژی (Conservation of Energy)

قانون بقای انرژی، شرایط تبدیل صورت های مختلف انرژی را به یکدیگر بیان می‌کند. از این قانون از دو معادله مهم نتیجه می شود که در زیر آمده اند:

۲-۱-۶-۱- معادله برنولی (Bernoulli's Equation)

این معادله بیان می‌کند که مجموع انرژی‌های حرکتی (Kinetic)، ذخیره شده (Potential) و فشاری (Pressure) برای واحد وزن سیال در یک سیستم مقدار ثابتی است:

$$\rho v^2/2+\rho gh+P = \text{مقدار ثابت} \qquad (۴-۲)$$

که در آن :

V: سرعت سیال $[m.s^{-1}]$

h: ارتفاع سیال $[m]$

P: فشار $[N.m^{-2}]$

۲-۱-۶-۲- معادله تریچلی (Torricelli's Equation)

در محفظه شکل ۲-۲، سیالی تا ارتفاع h قرار دارد و در انتهای ظرف، دهانه کوچکی برای خروج سیال تعبیه شده است. فرض می شود که شرایط زیر بر این سیستم حاکم است:

- سرعت سیال در ظرف صفر است.
- فشار در سطح ظرف و دهانه خروجی ثابت است.
- ارتفاع سیال در هنگام آزمایش، ثابت است.