

۸۷/۱۱۰۷۰۳۵
۸۷/۱۴/۱۱



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

**بررسی عددی عملکرد نازل با شکلهای مختلف
برای ایمپاکتورهای مافوق صوت به منظور
جداسازی ذرات نانو**

توسط:

سعیده سعدآبادی

اساتید راهنما:

دکتر امید ابوعلی

دکتر همایون امداد

۱۳۸۷/۸/۱۳

اطلاعات درج شده در این سند
توسط مرکز اسناد

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۰۸۹۰۰

به نام خدا

بررسی عددی عملکرد نازل با شکلهای مختلف برای ایمپاکتورهای مافوق صوت به منظور جداسازی ذرات نانو

به وسیله‌ی :

سعیده سعدآبادی

پایان نامه

ارائه شده به معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

..... دکتر امید ابوعلی، استادیار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته).
..... دکتر همایون امداد، استادیار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته).
..... دکتر رضا کمالی، استادیار بخش مهندسی مکانیک.
..... دکتر ابراهیم گشتاسبی راد، استادیار بخش مهندسی مکانیک.

شهریور ۱۳۸۷

با تشکر از خداوند متعال،

این اوراق ناقابل را به پدر و مادر مهربانم تقدیم می‌کنم.

سپاسگزاری

در پایان این مسیر پرفراز و نشیب، که کوله‌باری از تجربه‌های گران‌بها را برایم به ارمغان آورده است، از اساتید بزرگووارم جناب آقای دکتر امید ابوعلی و جناب آقای دکتر همایون امداد که در طول این مدت از حمایت‌های بی‌دریغ‌شان برخوردار بوده‌ام کمال تشکر را دارم. همچنین از اساتید محترم جناب آقای دکتر رضا کمالی و جناب آقای دکتر ابراهیم گشتاسبی راد به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان سپاسگزارم.

در نهایت از تمامی دوستان و کلیه کادر بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز که با اینجانب همکاری صادقانه داشتند، تشکر می‌نمایم.

چکیده

بررسی عددی عملکرد نازل با شکلهای مختلف برای ایمپاکتورهای مافوق صوت به منظور جداسازی ذرات نانو

به وسیله‌ی:

سعیده سعدآبادی

در این تحقیق عملکرد ایمپاکتورهای مافوق صوت به عنوان دستگاه جداکننده ذرات نانو به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. میدان جریان در درون ایمپاکتور مافوق صوت با فرض جریان متقارن محوری بررسی شده است و برای این منظور معادلات ناویراستوکس و انرژی به فرم تراکم پذیر آن برای جریان آرام و لزج حل شده است. معادلات حرکت ذره از دیدگاه لاگرانژین حل شده اند. به منظور بررسی دقت نتایج عددی میدان جریان و نمودار بازده جذب ایمپاکتور حاصل از نتایج عددی با نتایج تجربی موجود مقایسه شده است که دقت قابل قبولی مشاهده شده است.

نتایج شبیه سازی نشان می دهد که میدان جریان ایمپاکتورهای مافوق صوت برای فواصل کوچکتر از $0.3D_t \sqrt{P_0/P_b}$ مستقل از نسبت فشار کارکرد ایمپاکتور است که در آن D_t قطر نازل، P_0 فشار بالادست نازل و P_b فشار پایین دست نازل است. در محدوده $L/D_t < 0.25 \sqrt{P_0/P_b}$ قطر جدایش ایمپاکتور با افزایش نسبت L/D_t مستقل از نسبت فشار ایمپاکتور کاهش می یابد.

با محاسبه دقیق نیروهای پسا و براونی وارد بر ذرات منحنی بازده جذب و قطر جدایش ایمپاکتور محاسبه شده است. پارامتر حاکم بر فرآیند جذب، عدد استوکس ذرات می باشد که بر حسب مشخصات جریان در نقطه سکون روی صفحه ایمپاکتور محاسبه شده و رابطه جدیدی برای عدد استوکس ۵۰٪ (که در آن بازده جمع آوری ایمپاکتور ۵۰٪ است) در ایمپاکتورهای مافوق صوت ارائه شده است.

همچنین شکلهای مختلف نازل برای ایمپاکتورهای مافوق صوت به منظور جذب ذرات نانو مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که تغییر در هندسه نازل‌های همگرا اثری روی کاهش قطر جدایش ایمپاکتور ندارد. استفاده از نازل لاوال مخروطی برای ایمپاکتور با نسبت $L/D_t \leq 2$ باعث کاهش قطر جدایش ایمپاکتور می شود. اضافه کردن یک صفحه قبل از اریفیس، به طور قابل توجهی قطر جدایش ایمپاکتور را کاهش می دهد، و البته اگر مجموعه صفحه و اریفیس به صورت مخروطی باشد، کاهش قطر جدایش ایمپاکتور بیشتر خواهد بود.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه و مروری بر پژوهش‌های پیشین
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- پژوهش‌های پیشین
۸	۳-۱- اهداف این پژوهش
۱۰	۲- معادلات حاکم و روش حل آنها
۱۱	۱-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال
۱۲	۲-۲- معادله حرکت ذره
۱۳	۱-۲-۲- نیروی پسا
۱۵	۲-۲-۲- ضریب تصحیح کانینگهام
۱۷	۳-۲-۲- حرکت براونی
۱۹	۳-۲- روش حل معادلات حاکم و تشریح کد کامپیوتری
۱۹	۱-۳-۲- شرح مراحل انجام کار
۲۰	۲-۳-۲- نحوه حل معادلات میدان جریان
۲۰	۳-۳-۲- روش حل معادله حرکت ذره بصورت عددی
۲۲	۳- شرح مدل
۲۳	۱-۳- ایمپاکتور با نازل اریفیس نازک
۲۴	۲-۳- نازل اریفیس ضخیم
۲۴	۳-۳- نازل مخروطی همگرا
۲۵	۴-۳- نازل لاوال
۲۵	۱-۴-۳- نازل لاوال مخروطی
۲۶	۲-۴-۳- نازل لاوال ایده آل
۲۷	۵-۳- نازل اریفیس نازک همراه با cap
۲۷	۱-۵-۳- نازل همراه با cap صفحه ای
۲۸	۲-۵-۳- نازل همراه با cap مخروطی
۲۹	۴- فصل چهارم تئوری جت
۳۰	۱-۴- مقدمه
۳۰	۲-۴- جت آزاد

۲۸	۱-۲-۴- ویژگی های جت آزاد مافوق صوت
۳۹	۳-۴- جدایی در جریان مافوق صوت
۴۱	۴-۴- جت برخوردی
۴۴	۵-۴- مکان شاک
۴۵	۶-۴- عدد ناسون جریان
۴۶	۵- نتایج
۴۷	۱-۵- مقدمه
۴۷	۲-۵- مقایسه نتایج عددی با مدل‌های تجربی موجود
۵۰	۳-۵- بررسی ایمپاکتور های مافوق صوت با نازل اریفیس نازک
۵۰	۱-۳-۵- نتایج میدان جریان
۵۶	۲-۳-۵- حرکت ذرات در ایمپاکتور مافوق صوت
۵۹	۳-۳-۵- عدد استوکس
۶۳	۴-۵- مطالعه اثر هندسه نازل
۶۳	۱-۴-۵- نتایج میدان جریان
۷۷	۲-۴-۵- نتایج مربوط به جداسازی ذرات
۹۰	۵-۵- نتیجه‌گیری
۹۲	پیوست ۱
۹۳	۱-۱- روش Foelsch
۹۳	۲-۱- تحلیل جریان در ناحیه ۱
۹۴	۳-۱- تحلیل جریان در ناحیه ۲
۹۴	۴-۱- متد تقریبی Foelsch
۹۸	۵-۱- حل عددی
۹۹	منابع

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۱۶

جدول ۱-۲- تغییرات ضریب تصحیح کانینگهام بر حسب قطر ذره در $\lambda = 70 \text{ nm}$

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱- نمای عرضی یک ایمپاکتور (هیندز ۱۹۹۹)
۳	شکل ۱-۲- شماتیکی از ایمپاکتورهای مافوق صوت
۴	شکل ۱-۳- نمودار بازده جذب ایده آل و واقعی یک ایمپاکتور (رایدر و مارپل ۱۹۸۵).
۶	شکل ۱-۴- شمایی از ایمپاکتوری که دلامورا و همکاران (۱۹۹۰ الف) در آزمایشهای خود استفاده کردند.
۷	شکل ۱-۵- شمایی از ایمپاکتوری که کاناوکا و همکاران (۲۰۰۱) در آزمایشهای خود استفاده کردند.
۱۳	شکل ۱-۲- تغییرات ضریب پسا بر حسب رینولدز برای یک ذره کروی (احمدی ۲۰۰۶).
۱۴	شکل ۲-۲- پیش‌بینی مدل‌های مختلف برای ضریب پسا برای یک ذره کروی (احمدی ۲۰۰۶).
۱۵	شکل ۲-۳- جدایش لایه مرزی آرام و آشفته (احمدی ۲۰۰۶).
۱۶	شکل ۲-۴- تغییرات ضریب تصحیح کانینگهام بر حسب عدد نادسن (احمدی ۲۰۰۶).
۱۷	شکل ۲-۵- شمایی از حرکت براونی (احمدی ۲۰۰۶).
۱۹	شکل ۲-۶- قسمتی از شبکه استفاده شده در مدل سازی ایمپاکتور با اریفیس نازک با $L/D_i = 2$.
۲۳	شکل ۱-۳- نمای متقارن محوری ایمپاکتور با اریفیس نازک
۲۴	شکل ۲-۳- شمایی از نازل‌های مخروطی و استوانه ای همگرای مدلسازی شده
۲۵	شکل ۳-۳- شمایی الف) نازل لاوال مخروطی ب) نازل لاوال ایده آل
۲۶	شکل ۳-۴- نازل لاوال طراحی شده به روش مشخصه ها
۲۷	شکل ۵-۳- متمرکزکننده مدلسازی شده در تحقیقات تفرشی و همکاران (۲۰۰۲) الف) سطح مقطع نازل همراه با cap ب) نمای کلی نازل همراه با cap ج) نحوه متمرکز سازی ذرات با سایزهای مختلف در متمرکزکننده.
۲۸	شکل ۳-۶- شمایی از نازل‌های همراه با cap بررسی شده در این تحقیق الف) نازل همراه با cap صفحه ای ب) نازل همراه با cap مخروطی
۳۱	شکل ۱-۴- جریان خروجی از نازل همگرا: الف) جریان زیرصوتی ب) جت تقریباً underexpanded ج) جت به شدت underexpanded.
۳۲	شکل ۲-۴- تصاویر جت خروجی از نازل همگرا: الف) جریان زیرصوتی ب) جت تقریباً underexpanded ج) جت به شدت underexpanded (دونالدسون و اسندرکر ۱۹۷۱).
۳۴	شکل ۳-۴- مقایسه فشار در مرکز صفحه با فشار در خط مرکزی جت آزاد. — صفحه — — جت آزاد (دونالدسون و اسندرکر ۱۹۷۱).

- شکل ۴-۴- رژیم های جریان در دسته بندی مونتر و همکاران (۱۹۷۰) از لحاظ rarefaction
جریان ۳۶
- شکل ۴-۵- تغییرات دانسیته متعامد جریان در محور جت برای γ مختلف، نسبت فشار $PR = (وو و$
همکاران (۲۰۰۵). ۳۷
- شکل ۴-۶- نازل های مدل سازی شده در مطالعات آتوب و همکاران (۲۰۰۷). ۳۷
- شکل ۴-۷- شکل مرز جت در نازل های مختلف (آتوب و همکاران ۲۰۰۷). ۳۸
- شکل ۴-۸- جدایی در جریان مافوق صوت (آستلند و همکاران (۲۰۰۵). ۴۰
- شکل ۴-۹- توزیع فشار استاتیک روی دیواره در هنگام جدایی (آستلند و همکاران (۲۰۰۵). ۴۱
- شکل ۴-۱۰- شکل کلی جت برخوردی (آلوی و همکاران ۲۰۰۲). ۴۲
- شکل ۴-۱۱- توزیع فشار روی صفحه (آلوی و همکاران (۲۰۰۲). ۴۲
- شکل ۴-۱۲- تصویر یک جت به شدت underexpanded در برخورد به صفحه (دونالدسون و
اسندر (۱۹۷۱). ۴۳
- شکل ۴-۱۳- شمای خطوط جریان روی سطح بر اساس مشاهدات دونالدسون و اسندر (۱۹۷۱) ۴۳
- شکل ۴-۱۵- مقایسه نمودار بازده جذب متعامد ایمپکتور با اریفیس نازک برای L/D_t های مختلف
بدست آمده از شبیه سازی عددی با نتایج تجربی دلامورا و همکاران (۱۹۹۰) (ب) برای الف) ایمپکتور
با نسبت فشار $P_0/P_b = 400$ برای ذرات $10/2$ نانومتر ب) ایمپکتور با نسبت فشار 510 $P_0/P_b =$
برای ذرات $5/6$ نانومتر. ۴۸
- شکل ۴-۲- جزئیات هندسه نازل B ایمپکتور مدل سازی شده از مدل تجربی کاناوکا و همکاران
(۲۰۰۱). ۴۸
- شکل ۴-۳- مقایسه توزیع فشار بدست آمده از حل عددی حاضر و نتایج تجربی روی دیواره نازل. ۴۹
- شکل ۴-۴- مقایسه نمودار بازده جذب ایمپکتور بدست آمده از شبیه سازی عددی با نتایج تجربی
کاناوکا و همکاران (۲۰۰۱) ۴۹
- شکل ۴-۵- توزیع نسبت فشار سکون یا لادست نازل به فشار روی مرکز صفحه ایمپکتور برحسب
نسبت L/D_t برای نسبت فشار های مختلف ایمپکتور ۵۱
- شکل ۴-۶- توزیع فشار روی صفحه ایمپکتور با اریفیس نازک برای نسبت L/D_t های کوچک. ۵۲
- شکل ۴-۷- تغییرات U/C_0 برحسب نسبت L/D_t برای ایمپکتور با نسبت فشارها و قطر نازل های
مختلف. ۵۳
- شکل ۴-۸- تغییرات δ/L برحسب نسبت L/D_t برای ایمپکتور با نسبت فشارها و قطر نازل های
مختلف. ۵۴
- شکل ۴-۹- تغییرات δ/L برای L/D_t های کوچک برای گازهای هوا وهیدروژن. ۵۴
- شکل ۴-۱۰- تغییرات δ/L برحسب نسبت η برای ایمپکتور با نسبت فشارهای مختلف. ۵۵
- شکل ۴-۱۱- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپکتور مافوق صوت درون نازل و در قسمت پایین دست
نازل برای نسبت L/D_t های بزرگ در ایمپکتور با نسبت فشار $P_0/P_b = 400$. ۵۶

- شکل ۵-۱۲- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با نسبت فشارهای مختلف
برای $L/D_t = 2$ ۵۷
- شکل ۵-۱۳- الف) قطر جدایش ایمپاکتور با نسبت فشارهای مختلف بر حسب نسبت L/D_t (ب)
 L/D_t ایمپاکتور با قطر نازل‌های مختلف بر حسب قطر جدایش همراه با رابطه تخمین زده شده. ۵۸
- شکل ۵-۱۴- توزیع $F(x)$ بر حسب x برای ایمپاکتور با نسبت فشارها و قطر نازل‌های مختلف. ۶۲
- شکل ۵-۱۵- عدد استوکس بر حسب St_0 برای ایمپاکتور با نسبت فشارها و قطر نازل‌های مختلف بر
اساس نتایج عددی همراه با فرمول تقریبی دلامورا و همکاران (۱۹۹۰ ب) برای ایمپاکتور با نسبت
فشارهای مختلف و قطر نازل‌های متفاوت. ۶۳
- شکل ۵-۱۶- کانتورهای فشار کل در ایمپاکتور با اریفیس نازک برای نسبت $L/D_t = 2$ ۶۴
- شکل ۵-۱۷- کانتورهای عدد ماخ در ایمپاکتور با اریفیس نازک برای نسبت $L/D_t = 2$ ۶۴
- شکل ۵-۱۸- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور با اریفیس نازک در پایین دست نازل برای L/D_t
های کوچک در نسبت فشار ۴۰۰. ۶۴
- شکل ۵-۱۹- نمای متقارن محوری خطوط جریان همراه با stagnation bubble در ایمپاکتور با
 $L/D_t = 20$ و $P_0/P_b = 400$ ۶۵
- شکل ۵-۲۰- کانتورهای فشار کل برای نسبت $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با : الف) اریفیس نازک (ب)
نازل استوانه ای با ضخامت برابر با قطر نازل (ج) نازل استوانه ای با ضخامت دو برابر با قطر نازل (د)
نازل همگرا با ضخامت برابر با قطر نازل و زاویه همگرایی 10° (ه) نازل همگرا با ضخامت برابر با قطر
نازل و زاویه همگرایی 45° ۶۶
- شکل ۵-۲۱- کانتورهای عدد ماخ برای نسبت $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با : الف) اریفیس نازک (ب)
نازل استوانه ای با ضخامت برابر با قطر نازل (ج) نازل استوانه ای با ضخامت دو برابر با قطر نازل (د)
نازل همگرا با ضخامت برابر با قطر نازل و زاویه همگرایی 10° (ه) نازل همگرا با ضخامت برابر با قطر
نازل و زاویه همگرایی 45° ۶۷
- شکل ۵-۲۲- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور درون نازل و پایین دست نازل برای نسبت
 $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با اریفیس نازک، اریفیس ضخیم با ضخامت برابر با قطر نازل، اریفیس ضخیم
با ضخامت دو برابر با قطر نازل، نازل مخروطی همگرا با ضخامت برابر با قطر نازل و زاویه همگرایی
 10° و نازل مخروطی همگرا با ضخامت برابر با قطر نازل و زاویه همگرایی 45° ۶۸
- شکل ۵-۲۳- تغییرات تابع $F(\eta)$ بر حسب η برای ایمپاکتور با نسبت فشار $P_0/P_b = 400$ با
اریفیس نازک، نازل استوانه ای با ضخامت برابر با قطر نازل، نازل استوانه ای با ضخامت دو برابر با
قطر نازل، نازل همگرا با ضخامت برابر با قطر نازل و زاویه همگرایی 10° و نازل همگرا با ضخامت
برابر با قطر نازل و زاویه همگرایی 45° ۶۸
- شکل ۵-۲۴- کانتورهای فشار کل برای نسبت $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با : الف) اریفیس نازک (ب)
نازل لاوال مخروطی. ۶۹
- شکل ۵-۲۵- کانتورهای عدد ماخ برای نسبت $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با : الف) اریفیس نازک (ب)
نازل لاوال مخروطی. ۶۹

- شکل ۵-۲۶- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور درون نازل و در قسمت پایین دست نازل برای ۷۰ نسبت $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با اریفیس نازک و نازل لاوال مخروطی
- شکل ۵-۲۷- تغییرات تابع $F(\eta) = \frac{\delta}{L}$ بر حسب η روی محور ایمپاکتور در پایین دست نازل ۷۱ برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و نازل لاوال مخروطی برای نسبت فشارهای مختلف.
- شکل ۵-۲۸- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور درون نازل و در قسمت پایین دست نازل برای ۷۲ نسبت L/D_t های بزرگ در ایمپاکتور با اریفیس نازک و نازل لاوال مخروطی.
- شکل ۵-۲۹- نمای متقارن محوری خطوط جریان در ایمپاکتور با نازل لاوال با $P_o/P_b = 4.0$ و ۷۲ $L/D_t = 4.0$.
- شکل ۵-۳۰- کانتورهای فشار کل برای $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با : الف) اریفیس نازک ب) نازل ۷۳ لاوال ایده آل.
- شکل ۵-۳۱- کانتورهای عدد ماخ برای $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با : الف) اریفیس نازک ب) نازل ۷۳ لاوال ایده آل.
- شکل ۵-۳۲- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور درون نازل و در قسمت پایین دست نازل برای ۷۴ $L/D_t = 3$ در ایمپاکتور با اریفیس نازک و نازل لاوال مخروطی.
- شکل ۵-۳۳- کانتورهای فشار کل برای نسبت $L/D_t = 2$ در ایمپاکتور با: الف) اریفیس نازک ب) اریفیس نازک همراه با cap و $D_o/D_t = 5$ و $L_o/D_t = 1/15$ ج) اریفیس نازک همراه با cap و $D_o/D_t = 5$ و $L_o/D_t = 0/1$ د) نازل همراه با cap مخروطی، $D_o/D_t = 2$ و $L_o/D_t = 1/15$ ۷۵
- شکل ۵-۳۴- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور با اریفیس نازک، اریفیس نازک همراه با cap، ۷۶ $D_o/D_t = 5$ و $L_o/D_t = 0/15$ و اریفیس نازک همراه با cap، $D_o/D_t = 5$ و $L_o/D_t = 0/1$.
- شکل ۵-۳۵- توزیع عدد ماخ روی محور ایمپاکتور برای ایمپاکتور با اریفیس نازک، اریفیس نازک ۷۶ همراه با cap مخروطی، $D_o/D_t = 2$ و $L_o/D_t = 0/15$ و اریفیس نازک همراه با cap مخروطی، $D_o/D_t = 2$ و $L_o/D_t = 0/1$.
- شکل ۵-۳۶- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و ایمپاکتور ۷۸ با اریفیس ضخیم برای نسبت L/D_t های مختلف.
- شکل ۵-۳۷- مسیر حرکت ذرات در ایمپاکتور با اریفیس ضخیم بر حسب سرعت ذرات. ۷۸
- شکل ۵-۳۸- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و ۷۹ ایمپاکتور با نازل مخروطی همگرا برای نسبت L/D_t های مختلف.
- شکل ۵-۳۹- مسیر حرکت ذرات در ایمپاکتور با نازل مخروطی همگرا بر حسب سرعت ذرات. ۷۹
- شکل ۵-۴۰- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و ۸۰ ایمپاکتور با نازل لاوال مخروطی برای نسبت L/D_t های مختلف.
- شکل ۵-۴۱- مسیر حرکت ذرات در ایمپاکتور با نازل لاوال مخروطی بر حسب سرعت ذرات. ۸۱
- شکل ۵-۴۲- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و ۸۲ ایمپاکتور با نازل لاوال ایده آل برای نسبت L/D_t های مختلف.
- شکل ۵-۴۳- مسیر حرکت ذرات در ایمپاکتور با نازل لاوال ایده آل بر حسب سرعت ذرات. ۸۲

- شکل ۵-۴۴- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و اریفیس همراه با cap صفحه ای با نسبت $0.1, 0.15$ ، $L/D_t = 0.1$ برای نسبت $L/D_t = 2$
- شکل ۵-۴۵- مسیر حرکت ذرات در ایمپاکتور با اریفیس همراه با cap صفحه ای بر حسب سرعت ذرات.
- شکل ۵-۴۶- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و اریفیس همراه با cap صفحه ای برای نسبت $1, 3$ ، $L/D_t = 1$.
- شکل ۵-۴۷- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و اریفیس همراه با cap صفحه ای برای نسبت D_o/D_t های مختلف و $L/D_t = 2$.
- شکل ۵-۴۸- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و اریفیس همراه با cap مخروطی برای نسبت های $2, 5$ - $D_o/D_t = 0.1, 0.15$ و $L/D_t = 2$.
- شکل ۵-۴۹- مسیر حرکت ذرات در ایمپاکتور با اریفیس همراه با cap مخروطی بر حسب سرعت ذرات.
- شکل ۵-۵۰- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و اریفیس همراه با cap مخروطی برای نسبت های $2, 5$ - $D_o/D_t = 0.1$ و $L/D_t = 2$.
- شکل ۵-۵۱- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با اریفیس نازک و اریفیس همراه با cap مخروطی برای نسبت های $2, 5$ - $D_o/D_t = 0.1$ و $L/D_t = 2$.
- شکل ۵-۵۲- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با: اریفیس نازک، اریفیس ضخیم، نازل مخروطی همگرا، نازل لاوال مخروطی، نازل لاوال ایده آل و اریفیس همراه با cap صفحه ای برای نسبت $L/D_t = 1$.
- شکل ۵-۵۳- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با: اریفیس نازک، اریفیس ضخیم، نازل مخروطی همگرا، نازل لاوال مخروطی، نازل لاوال ایده آل، اریفیس همراه با cap صفحه ای و اریفیس همراه با cap مخروطی برای نسبت $L/D_t = 2$.
- شکل ۵-۵۴- نمودار بازده جذب ذرات بر حسب قطر ذره برای ایمپاکتور با: اریفیس نازک، اریفیس ضخیم، نازل مخروطی همگرا، نازل لاوال مخروطی، نازل لاوال ایده آل، اریفیس همراه با cap صفحه ای و اریفیس همراه با cap مخروطی برای نسبت $L/D_t = 3$.

فهرست نشانه های اختصاری

نسبت گرمای ویژه گاز	: γ
فاصله بین شاک کمائی و صفحه ایمپاکتور	: δ
گام زمانی	: Δt
پارامتر rarefaction	: ζ
زاویه دیواره نازل	: θ_{wall}
$(L/D_n) / \sqrt{P_0/P_b}$: η
فاصله آزاد مولکولی گاز	: λ
لزجت سیال	: μ
جرم مخصوص سیال	: ρ
جرم مخصوص ذره	: ρ_p
زمان پاسخ ذره	: τ
زمان پاسخ ذره در شرایط منبع	: τ_s
سرعت صوت در گلوگاه نازل	: C_0
ضریب تصحیح کانینگهام	: C_c
ضریب گرمای ویژه	: C_p
قطر مولکول گاز	: d_m
قطر ذره	: d_p
قطر جدایی	: D_{50}
قطر cap	: D_c
قطر گلوگاه نازل	: D_t
بازده جذب	: E
نیروی ترموفورسیس	: F_{th}
نیروی براونی	: F_B
نیروی پسا	: F_D
نیروی برآ	: F_L
عدد نادسن	: Kn
فاصله نازل تا صفحه	: L
فاصله بحرانی نازل تا صفحه	: L^*
فاصله بین نازل و صفحه cap	: L_c
عدد ماخ	: M

فشار سیال	:	P
فشار سکون بالادست نازل	:	P_0
فشار در گلوگاه نازل	:	P_1
فشار در مرکز صفحه ایمپاکتور	:	P_2
فشار پایین دست نازل	:	P_b
عدد رینولدز	:	Re
عدد استوکس در شرایط منبع	:	St_0
عدد استوکس	:	St
عدد استوکس ۵۰ درصد	:	St_{50}
دمای سیال	:	T
پهنای نازل	:	Th_n
سرعت سیال در جهت محوری	:	u
سرعت نسبی سیال نسبت به ذره	:	U
سرعت حدی گاز در خروجی نازل	:	U_∞
سرعت سیال در جهت شعاعی	:	v
بردار سرعت ذره	:	V_p
فاصله نقطه مورد نظر از خروجی نازل در واحد قطر نازل	:	x
محل شاک از انتهای نازل	:	X_m

فصل اول

مقدمه و مروری بر پژوهش‌های پیشین

فصل اول

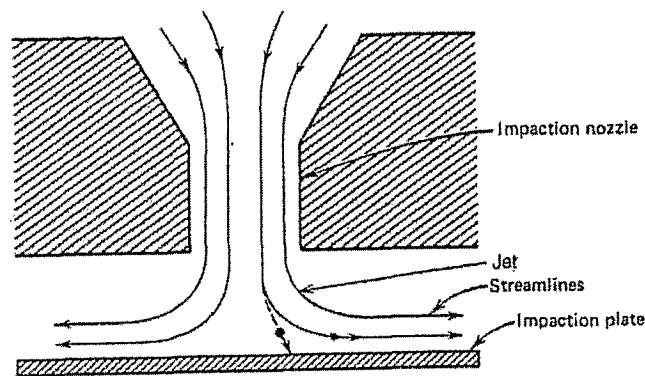
مقدمه و مروری بر پژوهش‌های پیشین

۱-۱ مقدمه

ایمپاکتورهای اینرسی^۱ از رایجترین وسایل نمونه برداری ذرات هستند که برای جداسازی ذرات از جریان هوا به منظور مطالعه غلظت، پراکندگی و آنالیز شیمیایی آنها و همچنین برای طبقه بندی سائیزی و اندازه گیری قطر آیرودینامیکی ذرات بکار می روند. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، اگر یک صفحه مسطح که صفحه ایمپاکتور نامیده میشود در مسیر خروجی جریان نازل قرار داده شود، خطوط جریان به طور ناگهانی به اندازه 90° تغییر مسیر می دهد ذراتی که اینرسی آنها از یک مقدار مشخص بیشتر است نمی توانند همراه خطوط جریان حرکت کرده، به صفحه ایمپاکتور برخورد کرده و جذب صفحه ایمپاکتور می شوند. ذرات ریزتر به خاطر برتری نیروی پسا نسبت به نیروی اینرسی همراه خطوط جریان حرکت می کنند و قبل از آنکه روی صفحه ایمپاکتور نشست کنند از ایمپاکتور خارج می شوند. ایمپاکتورهایی که در نسبتهای فشار کوچک کار می کنند و جریان خروجی از آنها مادون صوت است برای جداسازی ذرات در سائیز میکرو مناسب می باشند ولی مومنتوم ذرات در سائیز نانو در ایمپاکتورهای عادی بسیار کم می باشد لذا در ایمپاکتورها برای افزایش این مومنتوم باید سرعت آنها را به حد زیادی افزایش داد به طوری که جریان خروجی مافوق صوت شود. بنابراین برای جداسازی ذرات ریز در محدوده نانومتر از ایمپاکتورهای مافوق صوت استفاده می شود در این ایمپاکتورها فشار گاز بعد از نازل کاهش پیدا می کند که منجر به یک جت با سرعت زیاد می شود. علاوه بر سرعت زیاد گاز، فشار هم خیلی کم شده و در نتیجه متوسط مسیر آزاد بین مولکولی گاز افزایش پیدا کرده و نیروی پسایی که به ذرات اثر می کند کم می شود و ذرات نانو

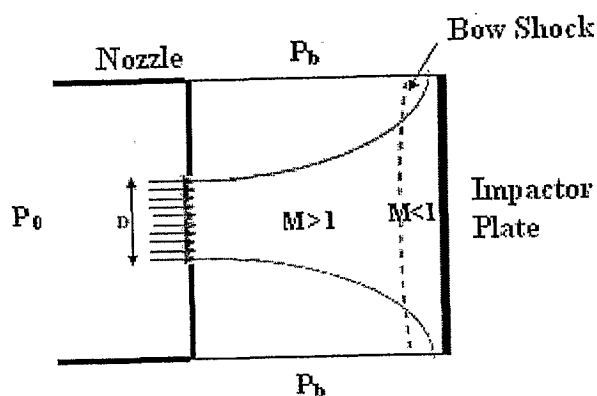
^۱ Inertial impactors

با توجه به افزایش نیروی اینرسی نسبت به نیروی پسا می توانند روی صفحه ایمپاکتور نشست کنند. در این ایمپاکتورها نتیجه مطلوب وقتی بدست می آید که فاصله نازل تا صفحه L نسبت به قطر گلوگاه نازل D_t در محدوده $0.8 < L/D_t < 0.13 \sqrt{P_0/P_b}$ باشد (دلا مورا و همکاران ۱۹۹۰ الف) ، که در آن فشار سکون بالادست نازل و P_b فشار پایین دست نازل می باشند.



شکل ۱-۱- نمای عرضی یک ایمپاکتور (هیندز ۱۹۹۹)

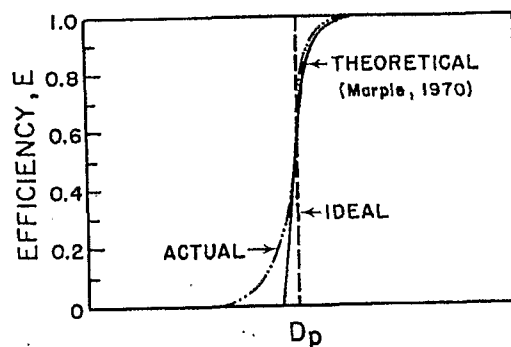
ایمپاکتورهای مافوق صوت شامل یک نازل هستند که جریان خروجی از نازل به محیطی با فشار^۲ کم تخلیه شده و یک جت مافوق صوت تشکیل می دهد، برخورد جت مافوق صوت با صفحه ایمپاکتور منجر به تشکیل یک شاک کمانی قوی در جلوی صفحه ایمپاکتور می شود (شکل ۲-۱) که وقتی فاصله صفحه ایمپاکتور از نازل به اندازه کافی زیاد باشد، جریان از رژیم مافوق صوت به رژیم فرا صوتی نیز در می آید.



شکل ۲-۱- شماتیکی از ایمپاکتورهای مافوق صوت

^۲ Back pressure

یک مشخصه مهم ایمپاکتورها، بازده جذب E است که به صورت نسبت ذراتی که روی صفحه ایمپاکتور نشست کرده اند به تعداد کل ذراتی که وارد ایمپاکتور شده اند، تعریف می شود. تعیین بازده جذب به عنوان تابعی از اندازه ذره برای مشخص کردن عملکرد ایمپاکتورهای اینرسی ضروری است. این رابطه به طور ایده آل باید به صورت یک تابع پله ای بین $E = 0$ تا $E = 1$ تغییر کند (شکل ۱-۳). قطر ذره ای که بازده جذب ایمپاکتور از صفر به یک تغییر می کند قطر جدایش^۳ ایمپاکتور نام دارد. عملکرد ایمپاکتور اینرسیال طوری است که ذرات بزرگتر از قطر جدایش جذب ایمپاکتور شده و ذرات کوچکتر از آن از ایمپاکتور خارج می شوند.



شکل ۱-۳- نمودار بازده جذب ایده آل و واقعی یک ایمپاکتور (رایدر و مارپل ۱۹۸۵).

البته در عمل منحنی بازده جذب به صورت S شکل می باشد، بدین خاطر قطر جدایش ایمپاکتور را در محل بازده ۵۰٪ تعریف می کنند.

۲-۱ پژوهش‌های پیشین

مطالعات آزمایشگاهی و محاسباتی زیادی روی ایمپاکتورها، خصوصاً ایمپاکتورهای مافوق صوت صورت گرفته است که در زیر به بعضی از آنها اشاره شده است.

- هرینگ و همکاران در سال ۱۹۷۸ - ۱۹۷۹ اولین بار تئوری ایمپاکتور فشار پایین را در طراحی یک ایمپاکتور زنجیره ای^۴ فشار پایین با دبی ۱ lit/min برای جذب ذرات ریز با منحنی بازده جذب تیز استفاده کردند. آنها یک ایمپاکتور هشت مرحله ای که جریان پس از عبور از اریفیس مرحله چهارم به شرایط صوتی می رسید ارائه دادند. این ایمپاکتور در مراحل بالایی با فشاری در محدوده فشار اتمسفر کار می کرد و پس از عبور از مرحله چهارم فشار آن به ۰/۲ atm افت پیدا می کرد و در مرحله هشتم

^۳ Cut of size

^۴ Cascade impactor