بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مکانیک و هوافضا

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی

شبیه‌سازی عددی گسترش آتش‌سوزی روی سطوح جامد

بوسیله:

علی صادقیان جهرمی

استاد راهنما:

دکتر رضا مهریار

اسفند ۱۳۹۰

بسمه تعالی

شبیه‌سازی عددی گسترش آتش‌سوزی روی سطوح جامد

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط:

علی صادقیان جهرمی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر رضا مهریار، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا (استاد راهنما) .....

دکتر امیر امیدوار، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا (استاد مشاور) .....

دکتر امید ابوعلی، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز (استاد داور) .....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

اسفند ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر بزرگوارم

و

مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر مهریار به عنوان استاد راهنما که همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

شبیه‌سازی عددی گسترش آتش‌سوزی روی سطوح جامد

به وسیله‌ی:

علی صادقیان جهرمی

احتراق و گسترش شعله روی اجسام جامد، هر دو، فرآیندهایی هستند که نه تنها دارای جذابیت علمی قابل‌توجه هستند بلکه اهمیت زیادی در کاربردهای ایمنی آتش دارند. این پدیده، سوختن بدون شعله لوازم و اثاثیه‌های منزل تا آتش‌سوزی‌های وسیع جنگل‌ها را شامل می‌شود. گسترش آتش روی یک سطح جامد قابل‌اشتعال یکی از موضوعات در ایمنی آتش می‌باشد که نیاز به توجه دارد، زیرا توسعه ابتدایی آتش و نرخ گرمای آزادشده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آزمایشات و تحقیقات زیادی روی گسترش آتش‌سوزی انجام شده است. امروزه مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به طور وسیع توسط محققان برای طراحی و پیش‌بینی نحوه توزیع و انتشار دود مورد استفاده قرار می‌گیرند که این مدل‌ها توسط نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی بکار گرفته می‌شوند. در این تحقیق، از یکی از نرم‌افزارهای موجود برای شبیه‌سازی آتش‌سوزی استفاده می‌شود. در ابتدا، ضمن مطالعه معادلات حاکم، بررسی پارامتریک عملکرد نرم‌افزار مورد توجه می‌باشد و لذا عملکرد این نرم‌افزار با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج آزمایش، ارزیابی می‌شود. سپس گسترش آتش‌سوزی به صورت افقی روی سطح دو قطعه از جنس پلی‌یورتان و پلی‌متیل‌متاکریلیت شبیه‌سازی می‌شود و سرعت گسترش شعله در شبیه‌سازی با سرعت محاسبه‌شده توسط روابط موجود مقایسه می‌شود. در نهایت نیز گسترش شعله روی سطوح شیب‌دار با زوایای مختلف شبیه‌سازی می‌شود و حالات مختلف جریان و در نهایت سرعت گسترش شعله در جهات مختلف محاسبه می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱: مقدمه ۱

فصل ۲: گسترش آتش روی سطوح ۴

۲-۱- مکانیزم های گسترش آتش ۵

۲-۱-۱- مفهوم اساسی گسترش آتش ۵

۲-۱-۲- صورت های یک بعدی گسترش آتش ۷

۲-۱-۲-۱- نقش کینتیک های شیمیایی ۷

۲-۱-۲-۲- انتقال حرارت به صورت هدایت ۷

۲-۱-۲-۳- سوختن بدون شعله ۸

۲-۱-۲-۴- گسترش کنترل شده بوسیله تشعشع از میان بسترهای متخلخل ۹

۲-۱-۲-۵- آتش های کنترل شده بوسیله تهویه ۱۰

۲-۱-۳- گسترش آتش در طول سطوح پیوسته ۱۱

۲-۱-۳-۱- گسترش رو به پایین روی سوخت های جامد ۱۱

۲-۱-۳-۲- محدودیت های مکانیزم های مختلف گسترش ۱۳

۲-۱-۳-۳- اثرات انحنا ۱۴

۲-۱-۳-۴- گسترش افقی روی سوخت های مایع ۱۵

۲-۱-۳-۵- گسترش رو به بالا ۱۷

۲-۱-۴- گسترش آتش میان المان های گسسته ۱۸

۲-۱-۴-۱- گسترش در مقیاس کوچک میان سوخت های گسسته ۱۸

۲-۱-۴-۲- گسترش در مقیاس بزرگ میان سوخت های گسسته ۱۹

۲-۲- احتراق جامدات ۱۹

۲-۳- بررسی احتراق جسم جامد از نظر حرارتی نازک ۲۲
۲-۳-۱- معیار برای از نظر حرارتی نازک..... ۲۲
۲-۳-۲- تئوری اجسام از نظر حرارتی نازک ۲۳
۲-۳-۳- گسترش آتش روی سطح جسم از نظر حرارتی نازک..... ۲۵

۲-۴- اثر شیب روی گسترش شعله ۳۰

فصل ۳: مروری بر تحقیقات انجام شده ۳۳

۳-۱- مدل های گسترش آتش سوزی با تئوری های ساده..... ۳۴

۳-۲- آزمایش های انجام شده روی سطوح شیب دار ۳۹

۳-۳- تحقیقات انجام شده با روش های عددی ۴۲
۳-۳-۱- شبیه سازی عددی گسترش آتش و حرکت دود در یک پارکینگ ماشین زیرزمینی..... ۴۳
۳-۳-۲- ارزیابی شبیه سازی عددی گسترش رو به بالای شعله ۴۳
۳-۳-۳- شبیه سازی عددی گسترش آتش روی قطعه اسفنج افقی از جنس پلی یورتان ۴۵

فصل ۴: معادلات حاکم و نحوه شبیه سازی ۴۷

۴-۱- معادلات بقای حاکم و مدل احتراق..... ۴۸
۴-۱-۱- معادلات بقا ۴۸
۴-۱-۲- معادله شبیه سازی گردابه بزرگ ۵۰
۴-۱-۳- مدل احتراق ۵۰
۴-۱-۳-۱- واکنش لحظه ای یک مرحله ای ۵۲
۴-۱-۳-۲- واکنش یک مرحله ای با خاموشی محلی ۵۳
۴-۱-۳-۳- نسبت جرمی CO (واکنش دو مرحله ای با خاموشی)..... ۵۶
۴-۱-۳-۴- نرخ حرارت آزادشده ۵۷
۴-۱-۴- روش عددی ۵۸

۴-۲- نحوه انجام شبیه سازی..... ۵۸
۴-۲-۱- روش واردکردن پارامترهای واکنش سوختن ۵۸
۴-۲-۱-۱- گرمای احتراق ۶۱
۴-۲-۲- روش واردکردن پارامترهای گرمایی و احتراقی مواد ۶۶

۴-۲-۲-۱- خواص گرمایی ۶۶
۴-۲-۲-۲- مدل تجزیه بوسیله گرما برای سوختهای جامد ۶۷
۴-۲-۲-۳- مدل تجزیه بوسیله گرما برای سوختهای مایع ۷۱
۴-۲-۳- اثر ضخامت در دستور واردکردن پارامترهای سطح ۷۷

فصل ۵: نتایج حاصل از شبیه سازی ۸۰

۵-۱- ارزیابی روش عددی ۸۱
۵-۱-۱- مشخصات هندسه مدل ۸۱
۵-۱-۲- نتایج شبیه سازی ۸۴

۵-۲- شبیه سازی عددی جسم جامد از نظر حرارتی نازک و محاسبه سرعت گسترش شعله ۸۹
۵-۲-۱- قطعه ای از جنس پلی اورتان ۹۱
۵-۲-۲- قطعه از جنس PMMA ۹۳
۵-۲-۳- مقایسه سرعت گسترش شعله در نرم افزار با رابطه بهبودیافته پیشنهادشده روی دو قطعه از جنس PMMA و PU ۹۶

۵-۳- شبیه سازی جسم از نظر حرارتی نازک در جهات مختلف ۹۸

فصل ۶: جمع بندی و پیشنهادات ۱۰۷

۶-۱- جمع بندی ۱۰۸

۶-۲- پیشنهادات ۱۰۹

فهرست جدول ها

جدول ۴-۱: ورودی های خط REAC ۶۲
جدول ۴-۲: ضرایب استوکیومتری واکنش ۶۲
جدول ۴-۳: مقایسه خروجی خط REAC در FDS با محاسبه دستی ۶۳
جدول ۴-۴: مقایسه خروجی FDS در حالت ایده آل و غیرایده آل در میزان تولید دوده مختلف برای گاز C_3H_8 ..... ۶۵
جدول ۴-۵: مقایسه خروجی FDS در حالت ایده آل و غیرایده آل در میزان تولید دوده مختلف برای گاز C_4H_{10} ۶۵
جدول ۴-۶: مقایسه خروجی FDS در حالت ایده آل و غیرایده آل در میزان تولید دوده مختلف ۶۶
جدول ۵-۱: مشخصات بار آتش در آزمایش و شبیه سازی ۸۳
جدول ۵-۲: مشخصات حرارتی و احتراقی PU و PMMA ۹۱

فهرست شکل ها

شکل (۲-۱): فاکتورهای وارده در احتراق یک جسم جامد [2] ۲۱
شکل (۲-۲): توزیع دما در جسم از نظر حرارتی نازک [2] ۲۲
شکل (۲-۳): مدل حرارتی برای گسترش شعله روی سطح [2] ۲۶
شکل (۲-۴): مدهای گسترش شعله روی سطح [2] ۲۶
شکل (۲-۵): گسترش شعله برای چوب کبریت ۲۸
شکل (۲-۶): گسترش سریع شعله به علت پیشگرمایش [2] ۲۹
شکل (۲-۷): گسترش شعله روی سطح یک سوخت شیبدار[3] ۳۱
شکل (۲-۸): شکل شعله در زوایای مختلف [3] ۳۲
شکل (۳-۱): شماتیک گسترش شعله فرض شده بوسیله deRis [4] ۳۵
شکل (۳-۲): گسترش بر حسب جهت و زاویه [16] ۴۰
شکل (۳-۳): شکل شعله در مدهای گسترش برای شکل (۳-۲) [16] ۴۰
شکل (۳-۴): دستگاه آزمایش برای تعیین سرعت گسترش روی قطعه مایل [3] ۴۱
شکل (۳-۵): سرعت گسترش محاسبه شده در زوایای مختلف [3] ۴۱
شکل (۳-۶): فاصله قرارگیری شعله از سطح سوخت در زوایای مختلف [3] ۴۲
شکل (۳-۷): شکل شماتیک یک پارکینگ ماشین زیرزمینی بزرگ [17] ۴۳
شکل (۳-۸): شکل شماتیک آزمایش و شبیه سازی گسترش رو به بالای شعله [18] ۴۵
شکل (۳-۹): شکل شماتیک آزمایش و شبیه سازی گسترش شعله روی قطعه ای از جنس پلی یورتان [20] ۴۶
شکل (۴-۱): روابط حالت برای متان [21] ۵۳
شکل (۴-۲): محدوده ممکن و غیرممکن احتراق در نمودار درصد کسر حجمی اکسیژن-دما [21] ۵۴
شکل (۴-۳): تغییرات گرمای احتراق محاسبه شده در نرم افزار بر حسب میزان نسبت جرمی دوده ۶۳
شکل (۴-۴): تغییرات کسر مخلوط محاسبه شده در نرم افزار بر حسب میزان نسبت جرمی دوده ۶۴
شکل (۴-۵): اثر گرمای واکنش ماده بر روی نرخ گرمای آزاد شده ۷۳
شکل (۴-۶): اثر گرمای واکنش ماده بر روی نرخ سوختن ۷۳
شکل (۴-۷): اثر گرمای احتراق ماده بر روی نرخ گرمای آزاد شده ۷۶
شکل (۴-۸): اثر گرمای احتراق ماده بر روی نرخ سوختن ۷۶
شکل (۴-۹): نمودار گرمای آزاد شده در بررسی اثر ضخامت ماده و اثر اندازه شبکه بندی ۷۸

شکل (۵-۱): نمونه ای از دستگاه آزمایش برای بررسی گسترش آتش سوزی در کابل های بسته شده روی شبکه فولادی [11] ۸۱
شکل (۵-۲): سطح مقطع کابل های مورد آزمایش [11] ۸۲
شکل (۵-۳): محل اندازه گیری دما [11] ۸۳
شکل (۵-۴): مقایسه منحنی نرخ گرمای آزادشده با نتایج آزمایش، تعریف مقدار گرمای آزادشده بر واحد سطح به صورت یک تابع بر حسب زمان برای ماده ۸۵
شکل (۵-۵): مقایسه منحنی نرخ گرمای آزادشده با نتایج آزمایش، گرمای واکنش برابر با گرمای تبخیر: ۱۷۵۰ kJ/kg، دمای مرجع برابر با دمای احتراق: ۳۷۰ °C، واکنش: غیر ایده آل ۸۵
شکل (۵-۶): مقایسه منحنی نرخ گرمای آزادشده با نتایج آزمایش، گرمای واکنش برابر با گرمای تبخیر: ۱۷۵۰ kJ/kg، دمای مرجع برابر با دمای احتراق: ۳۷۰ °C، واکنش: ایده آل ۸۶
شکل (۵-۷): مقایسه منحنی نرخ گرمای آزادشده با نتایج آزمایش، گرمای واکنش: ۱۸۷۵ kJ/kg، دمای مرجع: ۴۱۰°C، واکنش: ایده آل ۸۷
شکل (۵-۸): مقایسه دمای حاصل از شبیه سازی با نتایج آزمایش، گرمای واکنش: ۱۸۷۵ kJ/kg، دمای مرجع: ۴۱۰°C، واکنش: ایده آل ۸۸
شکل (۵-۹): گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PU با گرمای واکنش ۱۶۰۰ kJ/kg ۹۱
شکل (۵-۱۰): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PU با گرمای واکنش ۱۶۰۰ kJ/kg ۹۲
شکل (۵-۱۱): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PU با گرمای واکنش ۸۰۰ kJ/kg ۹۲
شکل (۵-۱۲): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PU با گرمای واکنش صفر ۹۳
شکل (۵-۱۳): گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PMMA با دمای مرجع ۲۴۰℃ و گرمای واکنش ۱۶۰۰ kJ/kg ۹۴
شکل (۵-۱۴): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PMMA با دمای مرجع ۲۴۰℃ و گرمای واکنش ۱۶۰۰ kJ/kg ۹۴
شکل (۵-۱۵): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PMMA با دمای مرجع ۲۴۰℃ و گرمای واکنش ۸۰۰ kJ/kg ۹۵
شکل (۵-۱۶): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PMMA با دمای مرجع ۲۴۰℃ و گرمای واکنش صفر ۹۵
شکل (۵-۱۷): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PMMA با گرمای واکنش ۱۶۰۰ kJ/kg و مقایسه با رابطه بهبود یافته Quintiere ۹۶
شکل (۵-۱۸): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PU با گرمای واکنش ۱۶۰۰ kJ/kg و مقایسه با رابطه بهبود یافته Quintiere ۹۷
شکل (۵-۱۹): سرعت گسترش شعله روی یک قطعه افقی از جنس PU با گرمای واکنش ۸۰۰ kJ/kg و مقایسه با رابطه بهبود یافته Quintiere ۹۷
شکل (۵-۲۰): مدل سازی قطعه در حالت افقی ۹۸

شکل (۵-۲۱): جهت مثبت و منفی زاویه θ ۹۹
شکل (۵-۲۲): شار حرارتی بر حسب زمان در فاصله ۲۷ میلیمتری از ابتدای قطعه برای اندازه شبکه ۱۰، ۶ و ۳ میلیمتر ۹۹
شکل (۵-۲۳): ماکزیمم نرخ گرمای آزادشده در زوایای مختلف ۱۰۰
شکل (۵-۲۴): ماکزیمم نرخ سوختن در زوایای مختلف ۱۰۰
شکل (۵-۲۵): مقدار جرم سوخته شده در زوایای مختلف ۱۰۱
شکل (۵-۲۶): محل نوک شعله از ابتدای قطعه بر حسب زمان در زوایای مختلف ۱۰۲
شکل (۵-۲۷): سرعت گسترش شعله روی سطح در زوایای مختلف ۱۰۲
شکل (۵-۲۸): شار حرارتی روی سطح در زوایای مختلف ۱۰۳
شکل (۵-۲۹): شکل شعله در زاویه ۶۰- درجه از حالت عمودی ۱۰۴
شکل (۵-۳۰): توزیع سرعت در زاویه ۶۰- درجه از حالت عمودی ۱۰۴
شکل (۵-۳۱): شکل های شعله در زوایای مختلف ۱۰۵
شکل (۵-۳۲): شکل های شعله در زوایای مختلف در زمان ۱۰ ثانیه از شروع آتش سوزی، فلش ها جهت شتاب جاذبه را نشان می دهند. ۱۰۶

فصل اول

مقدمه

احتراق و گسترش شعله روی اجسام جامد، هر دو، فرآیندهایی هستند که نه تنها دارای جذابیت علمی قابل‌توجه هستند بلکه اهمیت زیادی در کاربردهای ایمنی آتش دارند. این پدیده، سوختن بدون شعله لوازم و اثاثیه‌های منزل تا آتش‌سوزی‌های وسیع جنگل‌ها را شامل می‌شود. هر دو نوع فرآیند، احتراق و گسترش شعله، به علت وابستگی شدید واکنش‌های شیمیایی و فرآیندهای حرکت در فاز گازی و فاز جامد، پیچیده هستند. در بیشتر مطالعات قبلی، احتراق و گسترش شعله جداگانه بررسی می‌شد، چون درک کمی از انتقال از احتراق به گسترش شعله وجود داشت. در کاربردهای ایمنی آتش این انتقال بسیار مهم است به علت اینکه تعیین می‌کند که آیا یک آتش در یک منطقه محدود می‌شود یا اینکه به حالت رشد با قابلیت تبدیل‌شدن به یک آتش بزرگ تبدیل می‌شود. برای فهم این تبدیل، مکانیزم‌های حرکتی احتراق و در پی آن گسترش شعله باید مطالعه شود.

فهم بهتر مکانیزم‌های گسترش آتش می‌تواند به افزایش ایمنی بسیار کمک کند. در زیر به تعدادی از مزایای آشنایی با مکانیزم‌های گسترش آتش‌سوزی اشاره می‌شود:

- ایمنی هنگام آتش‌سوزی
- جلوگیری و کنترل آتش‌های غیرساکن
- برآورد میزان زمان در دسترس برای خروج افراد از محل آتش‌سوزی
- قرار دادن خروج‌های اضطراری در مکان‌های مناسب‌تر
- شناخت روش‌های مناسب‌تر و سریع‌تر اطفای آتش‌های بزرگ مانند آتش‌سوزی جنگل‌ها

گسترش آتش روی یک سطح جامد قابل‌اشتعال یکی از موضوعات در ایمنی آتش می‌باشد که نیاز به توجه دارد، زیرا توسعه ابتدایی آتش و نرخ گرمای آزادشده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، استانداردهای موجود تنها اجازه استفاده از مواد خاصی را در ساختن ساختمان‌ها می‌دهند. دلیل این است که این اطمینان حاصل شود که همه ساکنان زمان کافی در اختیار دارند تا در هنگام وقوع آتش با امنیت کافی فرار کنند.

ارزیابی خطر آتش‌سوزی یک ماده اغلب مستلزم تخمین گسترش شعله و نرخ گرمای آزادشده ماده در مقیاس واقعی بوسیله تفسیر آزمایش‌های مقیاس‌های کوچک‌تر می‌باشد. هر دو کمیت در تعیین بدترین حالت در طراحی سیستم آشکارساز آتش یا سیستم اطفای آتش که در واقع حالتی است که این کمیت‌ها به ماکزیمم می‌رسند مهم هستند. آزمایش‌های انجام‌شده اغلب محدود به حالت افقی برای اندازه‌گیری نرخ گرمای آزادشده یک سوخت و حالت عمودی برای اندازه‌گیری ماکزیمم نرخ

گسترش آتش می‌باشند. در حالی که در آزمایش‌های انجام‌شده اخیر این موضوع فهمیده شد که نرخ گسترش شعله و نرخ گرمای آزادشده در جهت‌های دیگری به ماکزیمم می‌رسند.

مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به طور وسیع توسط مهندسان ایمنی آتش برای طراحی بر اساس عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. معادلات حرکت توصیف‌کننده فاز گازی نسبتا شناخته‌شده هستند و تقریب‌ها در مدل‌های مختلف فاز گازی به طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته-اند. اما، ثابت شده است که مدل‌کردن کوپل فاز گازی و فاز جامد برای توصیف گسترش شعله روی یک جسم جامد در حال سوختن مشکل است که این موضوع به علت نبود شناخت پدیده فیزیکی است که هنگام تجزیه جسم جامد روی می‌دهد و همچنین توصیف ضعیف خصوصیات اساسی ماده که فرایند سوختن را کنترل می‌کنند. این مدل‌ها بوسیله نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی بکار گرفته می-شوند. بنابراین بوسیله شبیه‌سازی گسترش آتش می‌توان بدون انجام آزمایش، کمیت‌های مختلف را اندازه‌گیری کرد.

هدف از انجام این پایان‌نامه، دست‌یابی به نحوه انجام شبیه‌سازی کامپیوتری آتش‌سوزی روی اجسام جامد و تعیین سرعت انتشار آن می‌باشد. بدین منظور از نرم‌افزار Fire Dynamics Simulator (FDS) استفاده می‌گردد. بدین ترتیب با انجام شبیه‌سازی‌های متعدد روی مواد مختلف با خواص فیزیکی متفاوت می‌توان روابطی را برای سرعت گسترش آتش‌سوزی بدست آورد و روابط تجربی موجود را مورد ارزیابی قرار داد و یا آن‌ها را بهبود بخشید.

همان‌طور که می‌دانیم شناوری اثر قابل‌توجهی روی طول شعله، احتراق و مرز خاموشی دارد که این موارد اهمیت زیادی برای کنترل و جلوگیری از آتش دارند. بنابراین، شبیه‌سازی در جهات مختلف انجام شده و نرخ گسترش شعله در جهات مختلف نیز محاسبه شده است و بدترین حالت برای گسترش شعله تعیین شده است.

نتایج ارائه‌شده در این پایان‌نامه مفاهیم زیادی برای طراحی ایمنی آتش شامل شناخت بهتر گسترش شعله در حالت‌های افقی یا در شیب‌های مختلف رو و زیر سقف و در محیط‌های باز یا بسته در صورت وجود جریان هوا یا عدم وجود آن در بر دارد.

فصل دوم

گسترش آتش روی سطوح

۲-۱- مکانیزم های گسترش آتش

نظریه‌پردازها اغلب تلاش می‌کنند که تمام پدیده‌های بالقوه مهم را در مدل‌های گسترش آتش خود وارد کنند و عقیده دارند که اگر از بعضی عوامل یا فاکتورها که در این مورد شرکت دارند چشم-پوشی شود نمی‌توانند بطور مناسب فرآیند را توصیف کنند. با این وجود، مخالف این نظریه نیز شایسته است که بیان می‌کند بهترین راه برای فهم بهتر، چشم‌پوشی‌کردن از همه پدیده‌ها بجز موارد اساسی و مطالعه کامل حالت‌هایی است که در آنها پدیده‌های مختلف کنترل می‌شوند. با هدف آسان‌کردن نظریه دوم، در اینجا تلاش شده است که نواحی دارای مدهای مختلف گسترش آتش تعریف شوند. با وجود این که این مورد می‌تواند براحتی تنها بر اساس یک تعریف بسیار ساده انجام شود، تعریف پدیده‌های اصلی می‌تواند تحلیل دقیق مسئله ساده‌شده را به دنبال داشته باشد و پس از آن، پدیده‌های اضافی می‌توانند به عنوان اختلال وارد شوند.

۲-۱-۱- مفهوم اساسی گسترش آتش

به طور مشخص، گسترش آتش تنها در حالتی یک مفهوم معنی‌دار است که اجسام قابل احتراق مشتعل و غیرمشتعل قابل تشخیص باشند. در اینجا، کلمه "مشتعل" به عمومی‌ترین مفهوم خود استفاده شده است که فرآیندهای در محدوده احتراق بدون شعله تا شعله‌ورشدن شدید را در بر دارد. گسترش آتش تنها زمانی اتفاق می‌افتد که یک نوع ارتباط بین ناحیه در حال سوختن و سوخت غیر-مشتعل وجود داشته باشد. مسئله اصلی در تعیین مکانیزم‌های گسترش آتش تعیین مشخصه این ارتباط است [1].

برای تحلیل، نیاز به تعریف مرز بین اجسام قابل احتراق مشتعل و غیرمشتعل که در اینجا سطح آغاز آتش[1] نامیده می‌شود می‌باشد. ارتباطی که باعث گسترش آتش می‌شود شامل انتقال عامل گسترش آتش‌سوزی از میان سطح آغاز آتش می‌باشد. در تمام حالت‌های واقعی شناخته شده، این

[1] the surface of fire inception

عامل به فرم انتقال حرارت هدایت، جابه‌جایی و تشعشع یا بواسطه انتقال مایع مشتعل یا آتش‌پاره‌های داغ صورت می‌گیرد. بنابراین اولین مسئله در تعریف گسترش آتش تعریف مد اصلی انتقال حرارت از میان سطح آغاز آتش می‌باشد [1].

دانش کامل مد انتقال حرارت برابر است با تعیین مشخصه q، انرژی خالص بر واحد مساحت بر ثانیه که از میان سطح آغاز آتش انتقال می‌یابد. نرخ گسترش V از طریق کاربرد اصل بقای انرژی بر حسب q قابل بیان است. با در نظر گرفتن ρ چگالی سوخت و Δh اختلاف انتالپی گرمایی (بر واحد جرم) بین سوخت در دمای احتراق و سوخت در دمای اولیه، معادله بقای انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود [1]:

$$\boldsymbol{\rho V \Delta h = q} \qquad (۱-۲)$$

این رابطه را می‌توان معادله اساسی گسترش آتش نامید [1].

مفهوم دمای احتراق که در اینجا به عنوان ماکزیمم دمای سوخت روی سطح آغاز آتش تعریف می‌شود، به موقعیت‌های دینامیکی بستگی دارد. تحلیل‌های کامل که فرآیندهای شیمیایی را در بر دارند منجر به پیشگویی دمای احتراق، T_i، می‌شوند. در بسیاری از کاربردهایی که تحلیل‌های کامل نیاز نیست، تخمین‌های تجربی برای T_i به کار برده می‌شود. مقادیر دمای احتراق، T_i، تغییرات گسترده‌ای دارند و از تقریبا دمای آدیاباتیک شعله برای گسترش شعله از میان گازهای قابل احتراق از پیش مخلوط‌شده تا کمتر از نقطه جوش برای گسترش شعله روی سوخت‌های مایع فرار تغییر می‌کنند. برای سوخت‌های جامد که در اثر حرارت تجزیه می‌شوند مقدار T_i بوسیله کینتیک‌های شیمیایی تجزیه در اثر حرارت کنترل می‌شود و با افزایش V به مقدار کم افزایش می‌یابد. زمانی که تغییرات فازی سوخت قبل از رسیدن به دمای احتراق قابل چشم‌پوشی باشد، $\Delta h = c(T_i - T_o)$، که T_o دمای اولیه سوخت و c ظرفیت گرمایی (بر واحد جرم) میانگین آن بین دماهای T_o و T_i می‌باشد. اما حالت‌هایی وجود دارند که در آنها طبیعت سوخت ممکن است قبل از رسیدن به T_i به طور قابل توجه تغییر کند که در این صورت فرمول‌های پیچیده‌تر برای Δh مناسب است [1].

برای هر گسترش آتش، مدهای مختلف انتقال حرارت از میان سطح آغاز آتش، مقادیر متفاوت q مربوط به آنها را خواهد داشت. منطقی به نظر می‌رسد که تنها یک مود انتقال حرارت که بزرگترین سهم را در q دارد به عنوان مود اصلی انتقال حرارت تعریف شود. بجز برای حالت‌های مرزی که در آنها دو مد یا بیشتر به طور مساوی سهم دارند، یک تقریب اولیه مناسب، چشم‌پوشی‌کردن از تمام مدهای انتقال حرارت به غیر از مد غالب می‌باشد. از معادله (۲-۱) دیده می‌شود که مکانیزم غالب می‌تواند به عنوان مکانیزم تولیدکننده بزرگترین مقدار V تعریف شود که به این معنی است که آتش‌ها با بیشترین سرعت ممکن گسترش می‌یابند [1].

از طریق مقایسه q یا V برای مکانیزم‌های مختلف گسترش، مکانیزم غالب می‌تواند معلوم شود. بعضی اوقات این کار می‌تواند به صورت تجربی با اندازه گیری q مربوط به مدهای مختلف انتقال حرارت در گسترش آتش انجام شود. معمولا انجام این‌گونه اندازه‌گیری‌ها با دقت کافی بسیار مشکل است، بنابراین مکانیزم‌ها به صورت تئوری استنتاج می‌شوند. تعیین مکانیزم‌های غالب با تئوری محض بوسیله محاسبه q و V برای مکانیزم‌های مختلف با چشم‌پوشی‌کردن از تمام مدهای دیگر انتقال حرارت انجام می‌شود [1].

۲-۱-۲- صورت های یک بعدی گسترش آتش

۲-۱-۲-۱- نقش کینتیک های شیمیایی

ساده‌ترین مثال برای کاربرد معادله (۲-۱) انتشار شعله آرام در یک سوخت گازی از پیش آمیخته می‌باشد. این مثال همچنین فرصت معرفی یک اصل اساسی دیگر را فراهم می‌کند که بعضی اوقات نیاز به تعریف مناسب گسترش آتش دارد که آن، برابر بودن زمان واکنش شیمیایی[۲] τ_c با زمان باقی‌ماندن عوامل احتراق در کنار یکدیگر[۳] τ_r در یک ناحیه بحرانی فاز گازی می‌باشد. کینتیک‌های شیمیایی می‌توانند در گسترش آتش دو نقش داشته باشند. برای سوخت‌های جامد، نرخ تجزیه‌شدن سوخت در اثر حرارت و تبدیل شدن جامد به گاز را کنترل می‌کند که یک نرخ مهم در این فرآیند می‌باشد. همچنین، نرخی که در آن سوخت گازی آتش می‌گیرد بوسیله کینتیک‌های شیمیایی کنترل می‌شود و نرخ گسترش را تحت تاثیر قرار می‌دهد [1].

۲-۱-۲-۲- انتقال حرارت به صورت هدایت

مهمترین مد انتقال حرارت برای شعله آرام، هدایت گرمایی است. بنابراین

$$\boldsymbol{q = \lambda_g (T_i - T_o)/l} \qquad (۲-۲)$$

که λ_g هدایت گرمایی گاز و l یک مشخصه طولی گرادیان دما می‌باشد. برای حذف کردن l، تقریب $\tau_r = l/V$ معرفی می‌شود و از آنجا که $\tau_r = \tau_c$ نتیجه می‌دهد

[2] chemical time
[3] residence time