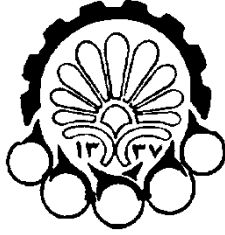


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# توسعه یک روش آماری برای تولید شرط اولیه (ورودی) برای جریانهای مغشوش همراه با واکنش شیمیایی

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط:

فرهاد سکوتی

استاد راهنما:

دکتر بامداد لسانی

دانشکده مهندسی مکانیک

۱۳۸۷

## قدردانی

بدینوسیله از زحمات جناب آقای دکتر بامداد لسانی برای راهنمایی‌های ارزنده در طول انجام این پایان‌نامه قدردانی می‌نمایم. هم‌چنین صمیمانه از همکاری خالصانه جناب آقای دکتر مانی فتحعلی که در راستای انجام این پروژه کمک‌های بسیاری به اینجانب نمودند، کمال تشکر و امتنان را دارم.

«تقدیم به پدر و مادر عزیزم»

## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب فرهاد سکوتی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

فرهاد سکوتی

امضا

## چکیده

هدف این پایان نامه، بررسی حساسیت لایه‌های مخلوط شونده و همراه با احتراق نسبت به دو میدان مغشوش در شرط اولیه می‌باشد. برای نیل به این هدف، شرط اولیه‌ای برای لایه‌های مخلوط شونده زمانی<sup>۱</sup> بوجود آمده است که شامل دو میدان مغشوش برای میدان سرعت اولیه و میدان کسر مخلوط<sup>۲</sup> اولیه می‌باشد. میدان کسر مخلوط اولیه با استفاده از توابع چگالی احتمال نرمال، لگ‌نرمال و بتا ساخته شده و میدان سرعت اولیه با استفاده از روش‌های آماری<sup>۳</sup> بوجود آمده است. این میدان سرعت دارای طول مشخصه انتگرالی و انرژی معین برای تمام آزمایش‌های انجام شده، می‌باشد. میدان محاسباتی از یک مکعب به طول  $L$  تشکیل شده است و در دو جهت طولی و عرضی  $(y,x)$  شرایط پرئودیک و در جهت عمود بر جریان  $(Z)$  شرط دیوار لغزنده<sup>۴</sup> اعمال شده است. معادلات سه بعدی و تراکم پذیر ناویر-استوکس به کمک شبیه سازی گردابه‌های بزرگ<sup>۵</sup>، بر روی شبکه یکنواختی با  $96^3$  سلول محاسباتی و به روش حجم محدود حل می‌شوند. چهار آزمایش انجام شده است تا تاثیر شرایط اولیه مختلف را برگسترش لایه‌های مخلوط شونده آشکار کند. در سه آزمایش کسر مخلوط اولیه بصورت مغشوش در نظر گرفته شده است تا اثر چگونگی توزیع اغتشاشات بر گسترش میدان آشکار شود و در یک آزمایش کسر مخلوط اولیه فاقد اغتشاش می‌باشد تا اثر وجود اغتشاش را بهتر معلوم کند. نتایج بدست آمده حاکی از این است که وجود اغتشاش بر روی کسر مخلوط اولیه به اختلاط بیشتر و در نتیجه گسترش میدان کمک می‌کند. همچنین چگونگی توزیع اغتشاشات تاثیر بسزایی بر توسعه میدان دارد. از بین توابع چگالی احتمال بکار رفته، توزیع لگ‌نرمال آشفنگی و اختلاط بیشتری را نسبت به سایر توابع نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Temporal Mixing Layer

<sup>2</sup> Mixture Fraction

<sup>3</sup> Stochastic Method

<sup>4</sup> Slip Wall

<sup>5</sup> Large Eddy Simulation(LES)

## فهرست مطالب

أ.....	قدردانی.....
ج.....	تعهدنامه اصالت اثر.....
د.....	چکیده ..
ه.....	فهرست مطالب.....
ح.....	فهرست اشکال.....
ل.....	فهرست جداول.....
م.....	فهرست علائم.....
۱.....	مقدمه.....
۵.....	۱- جریانهای توربولانس.....
۶.....	۱-۱ مقدمه.....
۶.....	۲-۱ توربولانس.....
۸.....	۳-۱ معادلات ناویر - استوکس.....
۱۱.....	۴-۱ منشاء ایجاد حالت تصادفی.....
۱۲.....	۵-۱ منشاء ایجاد بی نظمی در جریان توربولانس.....
۱۳.....	۶-۱ معادله ورتیسیتی.....
۱۴.....	۷-۱ خطوط ورتکس و لوله ورتکس.....
۱۴.....	۸-۱ تعریف جریان توربولانس.....
۱۵.....	۹-۱ انتقال انرژی بین گردابه های بزرگ و کوچک.....
۱۹.....	۱۰-۱ جریانهای لایه برشی.....
۲۱.....	۱۱-۱ لایه های مخلوط شونده.....
۲۳.....	۲- روش عددی حل جریان برشی.....
۲۴.....	۱-۲ مقدمه.....
۲۴.....	۲-۲ معادلات بقاء.....
۲۵.....	۳-۲ روش حل عددی جریانهای توربولانس.....
۲۶.....	۴-۲ تجزیه معادلات.....
۲۹.....	۵-۲ گسترش میدان سیال در زمان و مکان.....
۳۱.....	۶-۲ مقیاس های توربولانس.....
۳۲.....	۷-۲ روش متوسط گیری.....
۳۳.....	۱-۷-۲ متوسط گیری زمانی.....

۳۴	۲-۷-۲ متوسط گیری مجموعه.....
۳۵	۳-۷-۲ متوسط گیری مکانی.....
۳۵	۴-۷-۲ متوسط گیری جرمی.....
۳۶	۸-۲ معادله انرژی متوسط جریان.....
۳۷	۹-۲ انرژی جنبشی توربولانس.....
۳۹	۳- حل جریان برشی به روش LES.....
۴۰	۱-۳ مقدمه.....
۴۲	۲-۳ معادلات بقا برای جریان های همراه با واکنش شیمیایی.....
۴۴	۳-۳ کسر مخلوط.....
۴۶	۴-۳ فرض شعله های کوچک آرام.....
۴۷	۵-۳ ساختار شعله بارک-شومان.....
۴۹	۶-۳ روش LES برای شعله های غیر پیش آمیخته.....
۴۹	۷-۳ روش LES برای مسائل اختلاط.....
۵۱	۸-۳ LES در تعیین ساختار شعله.....
۵۲	۹-۳ ساختارهای تجربی PDF ها.....
۵۵	۱-۹-۳ الگوریتم حل.....
۵۵	۱۰-۳ مشخصات جریان و مروری بر شبیه سازی.....
۵۸	۴- احتمالات.....
۵۹	۱-۴ مقدمه.....
۵۹	۲-۴ توابع توزیع.....
۶۱	۳-۴ توابع چگالی احتمال.....
۶۲	۴-۴ توزیع های پیوسته خاص.....
۶۳	۵-۴ متغیر تصادفی نرمال.....
۶۶	۶-۴ متغیر تصادفی بتا.....
۶۷	۷-۴ متغیر تصادفی لگ نرمال.....
۶۹	۵- میدان کسر مخلوط اولیه.....
۷۰	۱-۵ مقدمه.....
۷۰	۲-۵ تولید اغتشاش برای کسر مخلوط.....
۷۷	۶- میدان سرعت اولیه.....
۷۸	۱-۶ مقدمه.....
۷۸	۲-۶ روش تولید میدان سرعت اولیه.....



۸۷	۷- نتایج
۸۸	۷-۱ مقدمه
۸۸	۷-۲ گسترش لایه های مخلوط شونده
۹۰	۷-۳ دخل و خرج انرژی توربولانس
۹۲	۷-۴ دخل و خرج انرژی جنبشی متوسط
۹۵	۷-۵ بررسی گردابه‌ها
۹۸	۷-۶ بررسی علت افزایش اندازه جمله تولید
۹۹	۷-۷ مقایسه DNS و LED
۱۰۲	۷-۸ بالانس معادله انرژی متوسط و توربولانس
۱۰۴	۷-۹ نتیجه گیری
۱۰۶	۸- مراجع

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) یک میدان اسکالر غیر فعال..... ۱۰
- شکل (۲-۱) لوله‌های ورتکس در جریان مغشوش..... ۱۵
- شکل (۳-۱) نمایی از گردابه های بزرگ و کوچک..... ۱۵
- شکل (۴-۱) نمودار مقدار انرژی گردابه ها بر اساس عدد موج آنها..... ۱۶
- شکل (۵-۱) گردابه های بزرگ تر انرژی بیشتری از گردابه های کوچک دارند..... ۱۶
- شکل (۶-۱) انتقال انرژی در گردابه ها..... ۱۷
- شکل (۷-۱) آبشار انرژی..... ۱۸
- شکل (۸-۱) تاثیر عدد رینولدز بر روی اندازه گردابه‌ها..... ۱۹
- شکل (۹-۱) انواع جریانهای برشی..... ۲۰
- شکل (۱۰-۱) گسترش لایه مخلوط شونده..... ۲۱
- شکل (۱۱-۱) جریانهای برشی در اتمسفر..... ۲۲
- شکل (۱-۲) موقعیت سلول محاسباتی..... ۲۷
- شکل (۲-۲) تفاوت دیدگاه زمانی و مکانی در بررسی مسائل..... ۳۰
- شکل (۳-۲) شکل ناپایداری..... ۳۲
- شکل (۴-۲) متوسط گیری زمانی..... ۳۴
- شکل (۱-۳) تشکیل نیمرخ ورتیسسته وزن دار..... ۴۱
- شکل (۲-۳) نمایش تابع چگالی احتمال جرم برای کسر جرمی سوخت..... ۵۳
- شکل (۳-۳) توزیع تابع بتا به ازای مقادیر مختلف جزء مخلوط و واریانس زیر ساختارها..... ۵۴
- شکل (۴-۳) پروفیل سرعت اولیه متوسط جریان..... ۵۵
- شکل (۱-۴) تابع توزیع متغیر تصادفی یکنواخت و تابع چگالی احتمال..... ۶۳
- شکل (۲-۴) تابع چگالی احتمال نرمال..... ۶۴
- شکل (۳-۴) تابع توزیع نرمال استاندارد و تابع چگالی احتمال..... ۶۵
- شکل (۴-۴) تابع چگالی احتمال بتا..... ۶۶
- شکل (۵-۴) تابع چگالی احتمال لگ نرمال..... ۶۸

- شکل (۱-۵) نمایش صفحات همگن که اغتشاشات بر آنها اعمال شده است..... ۷۰
- شکل (۲-۵) نمایانگر نمودار PDF برای توزیع نرمال است..... ۷۲
- شکل (۳-۵) نمایانگر نمودار PDF برای توزیع بتا است..... ۷۲
- شکل (۴-۵) نمایانگر نمودار PDF برای توزیع لوگ نرمال است..... ۷۳
- شکل (۵-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۱..... ۷۳
- شکل (۶-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۲..... ۷۳
- شکل (۷-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۳..... ۷۴
- شکل (۸-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۴..... ۷۴
- شکل (۹-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۵..... ۷۴
- شکل (۱۰-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۶..... ۷۴
- شکل (۱۱-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۷..... ۷۴
- شکل (۱۲-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۸..... ۷۴
- شکل (۱۳-۵) نمودار فراوانی توزیع لگ نرمال، صفحه ۹..... ۷۵
- شکل (۱۴-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۱..... ۷۵
- شکل (۱۵-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۲..... ۷۵
- شکل (۱۶-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۳..... ۷۵
- شکل (۱۷-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۴..... ۷۵
- شکل (۱۸-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۵..... ۷۵
- شکل (۱۹-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۶..... ۷۶
- شکل (۲۰-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۷..... ۷۶
- شکل (۲۱-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۸..... ۷۶
- شکل (۲۲-۵) نمودار فراوانی توزیع بتا، صفحه ۹..... ۷۶
- شکل (۱-۶) نمودار اغتشاشات در جهت طولی برای صفحه  $y = 50$ ..... ۷۹
- شکل (۲-۶) نمودار توزیع اغتشاشات در جهت طولی برای صفحه  $y = 50$ ..... ۸۰
- شکل (۳-۶) نمودار توزیع اغتشاشات در جهت طولی برای صفحه  $y = 50$  بعد از ضرب تابع گوسین..... ۸۱
- شکل (۴-۶) نمودار توزیع اغتشاشات در جهت طولی برای صفحه  $y = 50$  بعد از ضرب تابع گوسین..... ۸۱
- شکل (۵-۶) توزیع انرژی جنبشی توربولانس در جهت عمود بر جریان..... ۸۲

- شکل (۶-۶) نمودار توزیع اغتشاشات در جهت طولی (X) برای صفحه  $y = 50$  ..... ۸۳
- شکل (۷-۶) نمودار توزیع اغتشاشات در جهت طولی (X) برای صفحه  $y = 50$  ..... ۸۳
- شکل (۸-۶) نمودار پروفیل سرعت متوسط اولیه در جهت طولی ..... ۸۴
- شکل (۹-۶) شکل مولفه طولی میدان سرعت اولیه، در صفحه  $y = 50$  ..... ۸۵
- شکل (۱۰-۶) شکل مولفه عرضی میدان سرعت اولیه، در صفحه  $y = 50$  ..... ۸۵
- شکل (۱۱-۶) شکل مولفه عمودی میدان سرعت اولیه، در صفحه  $y = 50$  ..... ۸۶
- شکل (۱-۷) گسترش ضخامت مومنتوم برای چهار آزمایش انجام شده ..... ۸۸
- شکل (۲-۷) افزایش ضخامت مومنتوم در حالت بی بعد شده نسبت به شرایط اولیه ..... ۸۹
- شکل (۳-۷) نمایش روند تغییرات انرژی جنبشی توربولانس برای چهار آزمایش انجام شده ..... ۹۱
- شکل (۴-۷) نمایش روند تغییرات تولید برای چهار آزمایش انجام شده ..... ۹۱
- شکل (۵-۷) نمایش روند تغییرات انرژی جنبشی متوسط جریان برای چهار آزمایش انجام شده ..... ۹۲
- شکل (۵-۷) نمایش روند تغییرات جمله  $-\tilde{u}_1 \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_1}$  برای چهار آزمایش انجام شده ..... ۹۳
- شکل (۶-۷) نمایش روند تغییرات دمای ماکسیمم جریان برای ۴ آزمایش انجام شده ..... ۹۴
- شکل (۷-۷) نمایش اثر شدت توربولانس بر دمای میدان ..... ۹۵
- شکل (۳۳-۷) نمایش انستروپی در صفحه  $y = 18, t = 1 \text{ sec}$  ..... ۹۵
- شکل (۳۴-۷) نمایش انستروپی در صفحه  $y = 10, t = 2 \text{ sec}$  ..... ۹۵
- شکل (۳۵-۷) نمایش انستروپی در صفحه  $y = 43, t = 3 \text{ sec}$  ..... ۹۶
- شکل (۳۶-۷) نمایش انستروپی در صفحه  $y = 53, t = 4 \text{ sec}$  ..... ۹۶
- شکل (۳۷-۷) نمایش انستروپی در صفحه  $y = 42, t = 5 \text{ sec}$  ..... ۹۶
- شکل (۳۸-۷) نمایش انستروپی در صفحه  $y = 17, t = 6 \text{ sec}$  ..... ۹۶
- شکل (۱۴-۷) شکل ۳ بعدی انستروپی برای توزیع لگ نرمال،  $t = 5 \text{ sec}$  ..... ۹۷
- شکل (۱۵-۷) نمایش روند تغییرات انستروپی بر حسب زمان ..... ۹۷
- شکل (۱۶-۷) تغییرات  $\overline{\rho u_i'' u_k''}$  بر حسب زمان ..... ۹۸
- شکل (۱۷-۷) تغییرات  $\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_k}$  بر حسب زمان ..... ۹۹
- شکل (۱۸-۷) نمودار طیف انرژی برای دو حل DNS و LES مربوط به آزمایش با توزیع لگ نرمال ..... ۱۰۰
- شکل (۱۹-۷) تغییرات ضخامت مومنتوم بر حسب زمان ..... ۱۰۰

شکل (۷-۲۰) تغییرات انرژی متوسط بر حسب زمان..... ۱۰۱

شکل (۷-۲۱) تغییرات انرژی توربولانس بر حسب زمان..... ۱۰۱

شکل (۷-۲۲) تغییرات جمله تولید بر حسب زمان..... ۱۰۲

## فهرست جداول

- جدول (۱-۳) خواص ترمودینامیکی بکار رفته در شبیه‌سازی.....۵۶
- جدول (۱-۴) خواص تابع توزیع.....۶۰
- جدول (۱-۵) مشخصات ۹ صفحه همگن که اغتشاشات کسر مخلوط بر آنها اعمال شده است.....۷۱
- جدول (۱-۷) جملات مختلف معادله انرژی متوسط برای آزمایش با توزیع بتا.....۱۰۲
- جدول (۲-۷) جملات سمت چپ معادله انرژی توربولانس برای آزمایش با توزیع بتا.....۱۰۳
- جدول (۳-۷) جملات سمت راست معادله انرژی توربولانس برای آزمایش با توزیع بتا.....۱۰۳

فهرست علائم:

۱- علائم لاتین :

$C$	ثابت قانون ساترلند
$C_S$	ضریب اسماگورینسکی
$C_z$	ثابت برای کسر مخلوط در مدل‌های زیر شبکه
$D_k$	ضریب نفوذ جزء $k$
$D_t$	ضریب نفوذ گردابه‌ها در مدل‌های زیر شبکه
$F(U)$	بردار تجزیه شده فلاکس
$K_{fj}, K_{rj}$	نرخ واکنش جزء $j$ در جهت رفت و برگشت
$L_{ref}$	طول مرجع
$Le$	عدد لوئیس
$M$	عدد ماخ
$\mathcal{M}_k$	جزء شیمیایی $k$
$N_e$	تعداد اجزاء سیستم
$Pr$	عدد پرانتل
$Pr_{turb}$	عدد پرانتل توربولانس
$Q$	گرمای واکنش در دمای استاندارد
$R$	ثابت اختلاط گاز
$R_{univ}$	ثابت جهانی گازها
$Re$	عدد رینولدز
$Sc$	عدد اشمیت
$T$	دما
$T_{ref}$	دمای مرجع
$U$	متغیر بقایی
$W_k$	وزن اتم جزء $k$
$Y_k$	کسر جرمی جزء $k$
$a_{mk}$	تعداد گرم جزء $m$ در یک گرم از $k$

$c_v, c_p$	.....	حرارت مخصوص در فشار و حجم ثابت
$e_t, e$	.....	مقدار کل انرژی بر واحد جرم
$e$	.....	بردار یکه
$\bar{f}$	.....	مقدار میانگین رینولدز
$f$	.....	تابع چگالی احتمال
$\tilde{f}$	.....	مقدار میانگین گیری شده فاور
$f_j$	.....	شار کل در جهت $x_j$
$h$	.....	مقدار آنتالپی بر واحد جرم
$\Delta h_{f,k}^0$	.....	آنتالپی تشکیل جزء $k$ بر واحد جرم در دما و فشار مبنا
$m$	.....	جرم گاز
$m_k$	.....	جرم جزء $k$
$p$	.....	فشار
$p'$	.....	اغتشاشات فشار
$u(\mathbf{x}, t)$	.....	سرعت در جهت $x$
$u'$	.....	اغتشاشات سرعت
$u_{ref}$	.....	سرعت مبنا
$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$	.....	اغتشاشات میدان سرعت
$v(\mathbf{x}, t)$	.....	سرعت در جهت $y$
$w(\mathbf{x}, t)$	.....	سرعت در جهت $z$
$x$	.....	مختصات مکانی
$\mathbf{x}$	.....	مختصات بردار مکانی
$s$	.....	نسبت استکیومتری
$t$	.....	زمان
$z$	.....	کسر مخلوط
$\tilde{z}(\mathbf{x}, t)$	.....	واریانس نسبت مخلوط فیاتر شده



## ۲- علائم یونانی :

$\alpha_n$	ضریب روش رانگ-کوتا در مرحله $n^{th}$
$\delta_{ij}$	دلتهای کرنیکر
$\theta$	ضخامت مومنتوم
$\theta_0$	ضخامت مومنتوم اولیه
$k$	ضریب هدایت حرارتی
$\mu$	چسبندگی
$\mu_{ref}$	چسبندگی مرجع
$\nu$	چسبندگی کینماتیکی
$\nu$	چسبندگی گردابه‌های توربولانس
$\nu'_{kj}$	ضریب استوکیومتری مولی جزء $k$ در واکنش $j$
$\nu''_{kj}$	ضریب استوکیومتری مولی جزء $k$ در واکنش $j$
$\rho$	چگالی
$\rho_{ref}$	چگالی مرجع
$\sigma_{ij}$	تانسور تنش
$\tilde{\Delta}$	عرض فیلتر
$\dot{\omega}_T$	نرخ تولید انرژی بر واحد جرم در واکنش شیمیایی
$\dot{\omega}_k$	نرخ تولید جرم جزء $k$

## مقدمه

شعله‌های غیر پیش آمیخته در کاربردهای عملی، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شعله‌ها در موتور جت، موتورهای دیزل، دیگ‌های بخار، کوره‌ها، موتورهای موشک هیدروژن-اکسیژن دیده می‌شوند. به جز احتراق پیش آمیخته مغشوش که در بسیاری از موتورهای جرقه‌ای (چرخه اتو) وجود دارد، بیشتر احتراق‌ها غیر پیش آمیخته و مغشوش می‌باشند. استفاده از شعله‌های غیر پیش آمیخته ایمن‌تر از شعله‌های پیش آمیخته است، زیرا سوخت و هوا در خود محفظه احتراق مخلوط می‌شوند. استفاده وسیع از احتراق غیر پیش آمیخته انگیزه مهمی برای رهیافت‌هایی بر اساس مدل سازی‌های مختلف، جهت شبیه سازی عددی این نوع احتراق است.

در این نوع احتراق، فرآیند اختلاط سوخت و اکسید کننده در چند لایه بین سوخت و اکسید کننده انجام می‌شود. این لایه‌ها، لایه‌های مخلوط شونده نامیده می‌شوند. بوجود آمدن این نوع لایه‌ها در اثر اختلاف سرعت بین دو جریان سیال (سوخت و اکسید کننده) می‌باشد. وقتی دو سیال با سرعت‌های مختلف با هم تماس پیدا می‌کنند، در سطح تماس، لایه‌های مخلوط شونده بوجود می‌آیند و جریان به سرعت مغشوش شده و فرآیند اختلاط انجام می‌شود. بررسی لایه‌های مخلوط شونده در طی ۶۰ سال گذشته به دو صورت آزمایشگاهی و شبیه‌سازی کامپیوتری انجام شده است. این مطالعات برای بازه گسترده از اعداد رینولدز انجام شده است. نتایج متفاوتی است که در آزمایش‌های مختلف بدست آمده است، انگیزه‌ای اصلی انجام این مطالعات گسترده بوده است.

در آزمایشگاه چند آزمایش انجام شد که در آنها پارامترهای متوسط میدان و نسبت سرعت‌ها برابر بوده، ولی نتایج متفاوتی بدست آمد. دیموتاکیس و براون<sup>۱</sup> (۱۹۷۶) [۱] پیشنهاد کردند که این اختلاف ناشی از

---

<sup>1</sup> Dimotakis & Brown

تفاوت در شرایط اولیه است. باند و دیموتاکیس<sup>۲</sup> (۱۹۹۸) [۲] تاثیر شرایط اولیه را در لایه‌های برشی مخلوط شونده بررسی کردند و متوجه ارتباط بین رشد لایه‌های مخلوط شونده و اختلاط مولکولی با ساختارهای بزرگ و کوچک و همچنین شرایط بالا دست شدند.

نتایج آزمایشگاهی حاکی از این مطلب بود که گسترش لایه‌های مخلوط شونده، مستقل از شرایط اولیه نیستند. ویگننسکی<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۸۶) [۳] در آزمایشگاه چگونگی گسترش گردابه‌های بوجود آمده در پشت سیلندر، ایرفویل و صفحه را بررسی کردند. در این مطالعات ضریب پسا و ضخامت مومنتوم و سایر مشخصات ظاهری یکسان بود ولی نتایج متفاوتی برای هر آزمایش بدست آوردند. هو و هاری<sup>۴</sup> (۱۹۸۴) [۴] به وجود ساختارهای غلتکی شکل و ۲ بعدی اشاره کردند که نسبت به اغتشاشات، ناپایدار هستند و ناپایداری منجر به جفت شدن این ساختارهای غلتکی می‌شود. لاشرا و چوی<sup>۵</sup> (۱۹۸۸) [۵]، روگرس و موزر<sup>۶</sup> (۱۹۹۲) [۶] متوجه شدند که این ساختارهای غلتکی شکل دو بعدی، نسبت به اغتشاشات سه بعدی ناپایدار هستند و ناپایداری موجب خمیدگی این ساختارها می‌شود و در منطقه بین دو ساختار غلتکی شکل، گردابه‌های تیغه‌ای شکل<sup>۷</sup> بوجود می‌آیند. دیموتاکیس و براون<sup>۸</sup> (۱۹۷۶) [۷]، حسین و زمان<sup>۹</sup> (۱۹۸۵) [۸] این ساختارها را مشاهده و برای بازه گسترده‌ای از اعداد رینولدز، مورد بررسی قرار دادند.

زیمبا و فیلدر<sup>۱۰</sup> (۱۹۸۵) [۹] در مطالعات آزمایشگاهی، متوجه تاثیر لوازم و ابزار آزمایشگاه در انحراف نتایج و همچنین نقش امواج قوی صوتی و انعکاس فشار در چگونگی گسترش میدان شدند. پیشنهاد

---

<sup>2</sup> Bond & Dimotakis

<sup>3</sup> Wygnanski

<sup>4</sup> Ho & Huerre

<sup>5</sup> Lasheras & Choi

<sup>6</sup> Rogers & Moser

<sup>7</sup> Rib Vortices

<sup>8</sup> Dimotakis & Brown

<sup>9</sup> Hussain & Zaman

<sup>10</sup> Dziomba & fielder

کردند اغتشاشات بسیار ضعیف که ناشی از ابزار آزمایشگاهی هستند، می‌تواند تفاوت‌های فاحشی را در نتایج بوجود آورند و تاثیر ابزار آزمایشگاهی در لایه مرزی مغشوش بسیار شدیدتر از لایه مرزی آرام است. حسین (۱۹۸۰) [۱۰] پی به تاثیر دیواره‌ها بر نتایج آزمایشگاهی برد و پیشنهاد کرد که گردابه‌ها در جهت عرضی<sup>۱۱</sup> میتواند ناشی از وجود دیواره‌ها باشد.

شبیه سازی کامپیوتری جریان‌های مغشوش که در یک محیط کنترل شده و عاری از هرگونه پارامترهای غیر قابل کنترل (که موجب بوجود آمدن خطا در نتایج می‌شود) انجام می‌شود، ابزاری سودمند برای بررسی این نوع جریانها محسوب می‌گردد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری اطلاعات مفیدی در ارتباط با دینامیک و چگونگی گسترش ساختارهای منسجم<sup>۱۲</sup>، در اختیار ما می‌گذارد. روشی که تا کنون بیشتر برای لایه‌های مخلوط شونده استفاده شده، روش شبیه سازی زمانی<sup>۱۳</sup> است، در این روش به طول کمتری برای گسترش میدان نیاز است. بنابراین با کاهش طول میدان محاسباتی، هزینه محاسباتی نیز کاهش می‌یابد. در دو جهت طولی و عرضی، شرایط مرزی پرریودیک اعمال می‌شود و جریان سیال در زمان گسترش می‌یابد. با استفاده از فرضیه تیلور<sup>۱۴</sup> می‌توان محاسبات زمانی را به محاسبات مکانی ارتباط داد. در اکثر شبیه‌سازی‌های زمانی، پروفیل سرعت اولیه جریان بصورت تانژانت هایپربولیک در نظر گرفته می‌شود و اغتشاشات سرعت، بصورت دو یا سه بعدی تولید و به پروفیل اولیه جریان اضافه می‌شود. با استفاده از این روش، مطالعاتی بوسیله ریلی و متکافل<sup>۱۵</sup> (۱۹۸۰) [۱۱]، ورمان<sup>۱۶</sup> و همکاران (۱۹۹۷) [۱۲]، کامت و همکاران<sup>۱۷</sup> (۱۹۹۸) [۱۳] انجام شده است. نتایج بدست آمده، اطلاعات با ارزشی در مورد مکانیزم تشکیل و دینامیک ساختارهای منسجم، بدست می‌دهد.

---

<sup>11</sup> Spanwise

<sup>12</sup> Coherent structures

<sup>13</sup> Temporal Mixing Layer

<sup>14</sup> Taylor's hypothesis

<sup>15</sup> Riley & Metcalfe

<sup>16</sup> Verman

<sup>17</sup> Comte