دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

مدل هیبریدی جریان مغشوش برای بهبود پیش بینی کمیت‌های میدان جریان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

محسن فاتحی

استاد راهنما

دکتر محسن دوازده امامی

۱۳۹۰

به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

مدل هیبریدی جریان مغشوش برای بهبود پیش بینی کمیت‌های میدان جریان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

محسن فاتحی

استاد راهنما

دکتر محسن دوازده امامی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک-آقای محسن فاتحی

تحت عنوان

مدل هیبریدی جریان مغشوش برای بهبود پیش بینی کمیت‌های میدان جریان

در تاریخ ۹۰/۹/۲۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محسن دوازده امامی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر محمود اشرفی زاده
۳- استاد داور	دکتر ابراهیم شیرانی
۴- استاد داور	دکتر محسن ثقفیان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمدرضا سلیم پور

بر خود لازم می‌دانم که از توجه، راهنمایی و تشویق دوستان سپاسگزاری کنم
مخصوصاً آقایان سعید مختاریان، صابر زمان پور، علی عمادی و محسن لاهوتی.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر بزرگوار،

مادر فداکار

و همسر مهربانم...

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب..... هشت

فهرست شکل ها ..... ده

چکیده..... ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ کلیات ۲

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده در زمینه مدل های جریان مغشوش..... ۳

۱-۳ کارهای انجام شده در این تحقیق..... ۷

فصل دوم: معادلات حاکم بر جریان های مغشوش

۲-۱ معادلات حاکم در جریان تراکم ناپذیر ۹

۲-۲ روش های حل جریان های مغشوش..... ۱۰

۲-۳ فرم متوسط گیری شده معادلات حاکم بر یک جریان آشفته ۱۲

فصل سوم: مدل های جریان مغشوش

۳-۱ مدل های مبتنی بر لزجت گردابه ای..... ۱۵

۳-۱-۱ مدل های صفر معادله ای..... ۱۶

۳-۱-۲ مدل های یک معادله ای..... ۱۶

۳-۱-۳ مدل های دو معادله ای..... ۱۷

الف – مدل k-ε استاندارد..... ۱۷

ب – مدل k-ε غیر خطی..... ۱۸

۳-۲ مدل تنش رینولدز..... ۱۸

۳-۲-۱ مدل های جبری تنش رینولدز..... ۲۲

الف – مدل جبری LRR..... ۲۳

ب – مدل جبری SSG..... ۲۳

ج – مدل جبری WJ..... ۲۷

فصل چهارم: مدل تلفیقی جریان مغشوش

۴-۱ مدل تلفیقی باینری..... ۳۲

۴-۲ مدل تلفیقی فازی..... ۳۳

فصل پنجم: نتایج

۵-۱ شبیه سازی عددی جریان سیال پشت پله..... ۳۶

۵-۲ شبیه سازی عددی جریان سیال در یک حفره کم عمق..... ۴۸

۵-۳ شبیه سازی عددی جریان سیال در سیکلون..... ۵۸

۵-۳-۱ هندسه سیکلون و شرایط حل..... ۵۹

۵-۳-۲ مقایسه نتایج ۶۱
۵-۴ نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۴
پیوست الف ۶۵
پیوست ب ۷۵
پیوست ج ۷۸
مراجع ۸۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۵-۱- نمایش پارامتر های گوناگون در جریان پشت پله ۳۶
شکل ۵-۲- پیش بینی خطوط جریان حاصل از مدل k-ε ۴۰
شکل ۵-۳- پیش بینی خطوط جریان حاصل از مدلSSG ۴۰
شکل ۵-۴- پیش بینی خطوط جریان حاصل از مدل تلفیقی باینری ۴۰
شکل ۵-۵- پیش بینی خطوط جریان حاصل از مدل تلفیقی فازی ۴۰
شکل ۵-۶- مقایسه پیش بینی سرعت بی بعد حاصل از شبکه های مختلف مدل k-ε ۴۱
شکل ۵-۷- مقایسه پیش بینی تنش عمودی بی بعد حاصل از شبکه های مختلف مدل k-ε ۴۲
شکل ۵-۸- مقایسه پیش بینی تنش برشی بی بعد حاصل از شبکه های مختلف مدل k-ε ۴۳
شکل ۵-۹-مقایسه پیش بینی سرعت بی بعد حاصل از مدل های مختلف ۴۴
شکل ۵-۱۰-مقایسه پیش بینی تنش عمودی بی بعد حاصل از مدل های مختلف ۴۵
شکل ۵-۱۱-مقایسه پیش بینی تنش برشی بی بعد حاصل از مدل های مختلف ۴۶
شکل ۵-۱۲- روند همگرایی حل به وسیله مدل k-ε ۴۷
شکل ۵-۱۳- روند همگرایی حل به وسیله مدلSSG ۴۸
شکل ۵-۱۴- روند همگرایی حل به وسیله مدل تلفیقی فازی ۴۸
شکل ۵-۱۵- نمایش پارامتر های گوناگون درجریان حفره کم عمق مورد آزمایش ۴۹
شکل ۵-۱۶- خطوط جریان بدست آمده از آزمایش برای حفره کم عمق ۴۹
شکل ۵-۱۷- خطوط جریان بدست آمده از مدل k-ε ۵۰
شکل ۵-۱۸- خطوط جریان بدست آمده از مدلSSG ۵۰
شکل ۵-۱۹- خطوط جریان بدست آمده از مدل تلفیقی باینری ۵۰
شکل ۵-۲۰- خطوط جریان بدست آمده از مدل تلفیقی فازی ۵۰
شکل ۵-۲۱- مقایسه پیش بینی سرعت بی بعد حاصل از شبکه های مختلف مدل k-ε ۵۲
شکل ۵-۲۲- مقایسه پیش بینی تنش عمودی بی بعد حاصل از شبکه های مختلف مدل k-ε ۵۳
شکل ۵-۲۴-مقایسه پیش بینی سرعت بی بعد حاصل از مدل های مختلف ۵۵
شکل ۵-۲۵-مقایسه پیش بینی تنش عمودی بی بعد حاصل از مدل های مختلف ۵۶
شکل ۵-۲۶-مقایسه پیش بینی تنش برشی بی بعد حاصل از مدل های مختلف ۵۷
شکل ۵-۲۴-هندسه مورد بررسی سیکلون ۶۰
شکل ۵-۲۵- هندسه مش بندی سیکلون ۶۰
شکل ۵-۲۶-مقایسه سرعت های مماسی با استفاده از مدل های مختلف ۶۲
شکل ۵-۲۷-مقایسه سرعت های محوری با استفاده از مدل های مختلف ۶۳

چکیده

به طور کلی اغتشاش پدیده ای نا منظم و تصادفی بوده و در اثر ناپایداری جریان ایجاد می شود. در جریان های مغشوش ناپایداری جریان باعث مخلوط شدن سریع ذرات و افزایش نرخ انتقال حرارت، مومنتوم و جرم می شود. اغتشاش از جمله خصوصیات جریان بوده و به عدد رینولدزوابسته می باشد. به دلیل وجود نوسانات در کمیات مختلف جریان مغشوش نمی توان جریان را از طریق معادلات حاکم بر جریان آرام حل نمود. در یکی از متداولترین روشهای تحلیل جریان مغشوش، با در نظرگرفتن هر یک از متغیرهای جریان به صورت مجموع دو بخش متوسط و نوسانی می توان معادلات حاکم متوسط گیری شده بر جریان مغشوش را بدست آورد. لذا در در معادلات حاکم مجهولات جدیدی شامل متوسط حاصلضرب کمیات نوسانی ظاهر می‌گردد. حاصلضرب این کمیات نوسانی که در معادله مومنتوم ،تنش های رینولدز نامیده می شود ، با استفاده از مدل های جریان مغشوش بر اساس متغیرهای اولیه بیان مسئله بیان می شوند. مدل های جریان آشفته از چالش های اصلی محققان برای پیش بینی بهتر جریان های آشفته هستند. دقت در پیش بینی کمیت های جریان آشفته ، منجر به دقت در پیش بینی میدان جریان و در نتیجه دقت در کلیه نتایج شبیه سازی عددی خواهد شد. دو مدل بسیار مناسب برای شبیه سازی جریان های آشفته، مدل دو معادله ای- به طور خاص مدل k-ε - و مدل تنش جبریASM هستند. مزیت مدل دو معادله ای، سادگی و سرعت محاسبات و رفتار همگرایی بهتر در حل عددی است، در صورتیکه عیب آن فرض ایزوتروپ بودن جریان مغشوش و پیش بینی غلط تنش های عمودی توربولانس است. مدل ASM تش های عمودی را با دقت خیلی بیشتری پیش بینی می‌کند ولی از نظر همگرایی و همچنین پیش بینی صحیح تنش های برشی توربولانس ضعیف است. لذا به نظر می رسد تلفیق مناسبی از این دو مدل بتواند ضمن جبران ضعف های هر دو مدل از مزایای هر دو بهره ببرد. در این تحقیق، تلفیق دو مدل مذکور به دو شیوه باینری و فازی انجام شده است و نتایج برای جریان پشت پله ، جریان در یک حفره کم عمق و جریان در یک سیکلون استیرمان ارائه شده است. مقایسه نتایج مدل های تلفیقی با نتایج آزمایشگاهی و نتایج دیگر مدل های جریان مغشوش نشانگر این موضوع است که مدل تلفیقی توانسته است پیش بینی کمیت‌های میدان جریان را بطور میانگین حداقل ۸/۳۴ درصد و حداکثر ۳۲/۴ درصد نسبت به مدل های دیگر بهبود بخشد.

کلمات کلیدی: ۱- جریان مغشوش ۲-مدل تلفیقی ۳- جریان پشت پله ۴-جریان در حفره کم عمق

فصل اول

مقدمه

۱-۱ کلیات

یکی از مباحث مهم و چالش بر انگیز در زمینه مهندسی مکانیک سیالات، مبحث جریان های آشفته است.اکثر جریان‌های موجود در طبیعت و صنعت آشفته هستند، جریان آشفته یک رودخانه خروشان، جریان جت گاز های داغ خروجی از نازل موشک ها، جریان متلاطم باد،جریان واقع در پشت یک وسیله نقلیه پر سرعت و صدها نمونه دیگر از این دست جریان ها مثال های روشنی از دسته جریان های آشفته هستند. رفتار پیچیده این جریان ها،مدل سازی آنها را با مشکل عمده مواجه کرده است.

به طور کلی اغتشاش پدیده ای نا منظم و تصادفی بوده و در اثر ناپایداری جریان ایجاد می شود. در جریان های مغشوش ناپایداری جریان باعث مخلوط شدن سریع ذرات و افزایش نرخ انتقال حرارت، مومنتوم و جرم می شود. اغتشاش از جمله خصوصیات جریان بوده و به عدد رینولدز[1] وابسته می باشد. به دلیل وجود نوسانات در کمیات مختلف جریان مغشوش نمی توان جریان را از طریق معادلات حاکم بر جریان آرام حل نمود. در یکی از متداولترین روشهای تحلیل جریان مغشوش،با در نظر گرفتن هر یک از متغیرهای جریان به صورت مجموع دو بخش متوسط و نوسانی می توان معادلات حاکم متوسط گیری شده بر جریان مغشوش را بدست آورد. لذا در در معادلات حاکم مجهولات جدیدی شامل متوسط حاصلضرب کمیات نوسانی ظاهر می‌گردد. حاصلضرب این کمیات نوسانی که در معادله مومنتوم ،تنش های رینولدز[2] ودر

[1] Reynolds Number
[2] Reynolds Stress

معادله اسکالر شار مغشوش[3] نامیده می شود ، با استفاده از مدل های جریان مغشوش[4] بر اساس متغیرهای اولیه بیان مسئله بیان می شوند.

مدل های جریان مغشوش از چالش های اصلی محققان برای پیش بینی بهتر جریان های مغشوش هستند. دقت در پیش بینی کمیت های جریان مغشوش، منجر به دقت در پیش بینی میدان جریان و در نتیجه دقت در کلیه نتایج شبیه سازی عددی خواهد شد.

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده در زمینه مدل های جریان مغشوش

الف)مدل k-ε

از جمله مدل های جریان مغشوش که کاربرد فراوانی در مسائل صنعتی دارد، مدل دو معادله ای k-ε می باشد. این مدل اولین بار توسط جونز و لاندر[5] [۱] در سال ۱۹۷۲ ارائه شد. در این مدل متوسط حاصلضرب سرعت های نوسانی متناسب با گرادیان سرعت متوسط فرض می شوند. اگرچه این مدل کاربرد وسیعی در مسائل گوناگون دارد اما در جریان های پیچیده همراه چرخش و گرادیان شدید فشار، نتایج دقیقی پیش بینی نمی کند یکی از معروفترین تصحیحاتی که جهت لحاظ نمودن اثر انحنای خطوط جریان انجام شده ، تصحیح عدد گرادیان ریچاردسون[6] بوده که توسط برادشا[7] [۲] در سال۱۹۷۳ پیشنهاد شد. پس از آن لاندر وهمکارانش[۳] در سال ۱۹۷۷ از این روش برای بهبود بخشیدن اثر چرخش در مدل دو معادله ای k-ε استفاده نمودند. تصحیح ضریب لزجت گردابه ای[8] از جمله موارد دیگر برای اصلاح مدل k-ε می‌باشد که توسط گیبسون[9] و لاندر [۴] در سال۱۹۷۶ ارائه شد.

لشنر و رودی[10] [۵] در سال ۱۹۸۳ محاسبات اختلاف محدود را برای جریان های چرخشی آزاد با عددهای چرخش مختلف انجام داده و نشان دادند مدل k-ε استاندارد نتایج بهتری از هر مدل اصلاح شده k-ε برای جریان‌های همراه با ناحیه برگشتی پیش بینی می کند.

کیم[11] و همکارانش[۶] در سال ۱۹۸۷ یک مدل k-ε اصلاح شده بر پایه تصحیح عدد ریچاردسون برای حل جریان چرخشی ضعیف ارائه دادند. نتایج حاصل از این مدل نشان دهنده توافق بهتری با نتایج آزمایشگاهی نسبت به مدلk-ε داشت.

---

[3] Turbulent Flux
[4] Turbulent Models
[5] Jones & Launder
[6] Gradient Richardson Number
[7] Bradshaw
[8] Eddy Viscosity
[9] Gibson
[10] Leschziner & Rodi
[11] Kim

عبدالمسیح[۱۲] و همکارانش [۷] در سال ۱۹۹۰ مدل تنش رینولدز[۱۳] و مدل k-ε استاندارد را برای سه عدد چرخش مختلف مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند.شیه[۱۴]وهمکارانش [۸] در سال ۱۹۹۴ یک مدل k-ε جدیدی بر پایه لزجت گردابه ای ارائه دادند. در این مدل تصحیحاتی در معادله k-ε انجام شد وضریب لزجت گردابه ای نیز بر اساس گرادیان های سرعت بیان گردید. این مدل برای جریان پشت پله و جریان داخل کانال مورد استفاده قرار گرفت و نسبت به مدل k-ε توافق بهتری با نتایج آزمایشگاهی داشت. تری و یانگ[۱۵][۹] در سال ۱۹۹۵ بر اساس تصحیح عدد ریچاردسون ، مدل k-ε اصلاح شده جدیدی پیشنهاد کردند. آنها از این مدل برای تحلیل جریان توسعه یافته در داخل لوله در حال دوران استفاده نمودند. آرونیاتسن وسینها[۱۶] [۱۰]در سال ۲۰۰۱ مدل k-ε را بر پایه تلفیقی از روش متوسط گیری معادلات ناویر استوکس و روش گردابه های بزرگ ارائه دادند. چنگ و یانگ[۱۷] [۱۱] در سال ۲۰۰۷ یک مدل توسعه یافته از مدل k-ε را برای حل جریان های برگشتی و جدا شونده ارائه دادند، آنها تابع میرایی ویسکوزیته گردابه را نزدیک دیواره ودر معادله ε اصلاح نمودند. سلما[۱۸] و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۰ مدل k-ε استاندارد را در یک جریان دو فازی گاز مایع مورد بررسی قرار دادند و به نتایج خوبی نسبت به نتایج آزمایشگاهی دست یافتند.

یکی دیگر از مدل هایی که برای تحلیل جریان مغشوش بکار میرود مدل غیر خطی k-ε [۱۹] می باشد. این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط اسپیزیالی[۲۰] [۱۳] برای تحلیل جریان های با انحنای خطوط جریان ارائه شد. بر طبق نظر وی، پیش بینی مدل های دو معادله ای خطی در جریان هایی که نقش تنش های عمودی با اهمیت می باشد از دقت کافی برخوردار نیست. پس از آن اسپیزالی و نگو[۲۱] [۱۴] در سال ۱۹۸۸ مسائل جریان مغشوش دو بعدی پشت پله را با مدل غیر خطی اسپیزالی مورد بررسی قرار دادند و پیش بینی این مدل را با نتایج آزمایشگاهی کیم و همکارانش[۱۵] مقایسه نمودند.

اسپیزیالی و موریس[۲۲] [۱۶] در سال ۱۹۸۹ عملکرد چندین مدل جریان مغشوش از جمله مدل غیر خطی k-ε را برای جریان مغشوش برشی همگن[۲۳] مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند مولفه های تانسور غیر ایزوتروپیک تنش رینولدز در مدل غیرخطی k-ε توافق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

اسپیزالی و همکارانش [۱۷] در سال ۱۹۹۰ کار اسپیزالی و موریس را مجددا مورد بررسی و تحلیل قرار دادند و اظهار داشتند پیش بینی مدل k-ε و مدل غیر خطی k-ε برای لحاظ نمودن اثر چرخش از دقت کافی برخوردار نمی باشد. هر[۲۴]

---

[12] Abd Al-Masseeh
[13] Reynolds Stress Model
[14] Shih
[15] Torii & Yong
[16] Sinha and Arunajatesan
[17] Cheng & Yang
[18] Selma
[19] Nonlinear k-ε Model
[20] Speziale
[21] Ngo
[22] Mhuiris
[23] Homogenous Turbulent Shear Flow

وهمکارانش [۱۸] در سال ۱۹۹۰ جریان ثانویه مغشوش رادردرون کانال های خمیده و مستقیم با سطح مربع با مدل خطی و غیر خطی k-ε بررسی نموده و نتایج حاصل را با داده های آزمایشگاهی مقایسه نمودند.

تانگام[۲۵] و هر [۱۹] در سال ۱۹۹۲ اثر شبکه ی متفاوت را بر روی جریان مغشوش پشت پله با دو مدل k-ε و مدل غیر خطی k-ε مورد بررسی قراردادند. نتایج حاصل نشان دهنده نتایج بهتر مدل غیر خطی نسبت به مدل k-ε بود. پس از آن تانگام و اسپیزالی[۲۰] در سال ۱۹۹۲ مسائل جریان مغشوش پشت پله را با استفاده از مدل غیر خطی اسپیزالی مورد بررسی قرار دادند. مقایسه نتایج با داده های آزمایشگاهی ایتون و یوهانسن[۲۶] [۲۱] نشان دهنده بهبود های عمده این مدل در پیش بینی مشخصه های جریان بود. آنها ادعا نمودند علت بهبودهای حاصل،دقت این مدل در پیش بینی تنش های عمودی می باشد.

یونیس[۲۷] [۲۲] در سال ۱۹۹۳ با اعمال تصحیحاتی در مدل غیر خطی اسپیزالی از آن برای پیش بینی جریان در کانال مستطیلی ساکن و چرخان استفاده نمود .نتایج حاصل از این مدل نشان داد توزیع سرعت متوسط توافق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. دوتا و آچاریا[۲۸] [۲۳] در سال ۱۹۹۳ سه مدل k-ε استاندارد،مدل غیر خطیk-ε و مدل k-ε اصلاح شده را برای پیش بینی جریان مغشوش پشت پله بکار گرفتند. آنها بیان داشتند که مدل اصلاح شده و مدل غیر خطیk-ε نسبت به مدلk-ε توافق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارد.

رابیت[۲۹] [۲۴] در سال ۱۹۹۷ سه مدل k-ε، مدل غیر خطی k-ε و مدل اصلاح شده k-ε را برای تحلیل جریان انبساط ناگهانی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که علیرغم اینکه مدل غیر خطی نتایج بهتری نسبت به دو مدل دیگر ارائه می دهد هنوز نمی تواند بطور کامل اثر چرخش را پیش بینی نماید. بالابل[۳۰] و همکارانش [۲۵] در سال ۲۰۱۰ مدل k-ε خطی و غیر خطی را با تغییر دادن ثابت های این مدل ها در یک جریان جت سه بعدی بکار بردند و نتایج خود را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند.

ب)مدل تنش جبری رینولدز

مدل جبری تنش رینولدز[۳۱] از دیگر مدل های جریان مغشوش بوده که برای بیان تنش های رینولدز بکار گرفته می‌شود. لاندر و همکارانش [۲۶] در سال ۱۹۷۵ اولین مدل تنش جبری رینولدز(LRR) [۳۲] را پیشنهاد نمودند. در مدل ارائه

---

[24] Hur
[25] Thangam
[26] Eaton & Jonston
[27] Younis
[28] Dutta & Acharya
[29] Rabitt
[30] Balabel
[31] Algebraic Reynolds Stress Model
[32] Launder , Recee and Rodi

شده معادلات تنش رینولدز به صورت روابط ضمنی[۳۳] بیان شدند. پس از آن رودی [۲۷] در سال ۱۹۷۶ با اعمال تصحیحاتی در مدل LRR از آن برای تحلیل جریان لایه برشی آزاد استفاده نمود.

کیم وچونگ[۳۴] [۲۸] در سال ۱۹۸۸ مدل جبری تنش رینولدز LRR و مدلk-ε استاندارد را جهت تحلیل جریان چرخشی خروجی از جت همراه با ناحیه برگشتی بکار گرفتند. مقایسه نتایج با داده های آزمایشگاهی نشان داد مدل جبری تنش رینولدز در جریان های چرخشی نسبت به مدل k-ε توافق بهتری با آزمایش دارد. فو[۳۵] وهمکارانش [۲۹] در سال ۱۹۹۸ جریان چرخشی و غیر چرخشی خروجی از سه جت متقارن را با مدل ARSM[۳۶]و مدل RSM [۳۷] مورد بررسی قرار دادند. وابر و ویسر[۳۸] [۳۰] در سال ۱۹۹۰ از مدل k-ε استاندارد، مدل ARSM و مدل RSM برای بررسی جریان های غیر چرخشی و جریان چرخشی با عدد چرخش ضعیف و قوی استفاده نمودند. نتایج حاصل، نشان دهنده پیش بینی بهتر مدل ARSM نسبت به مدل k-ε بود.

دیویدسون[۳۹] [۳۱] در سال ۱۹۹۰ مدل جبری جدیدی به صورت ترکیبی از مدل k-ε و مدل LRR جهت بررسی جریان های مغشوش پیشنهاد نمود. در این مدل برای بخش نیرو های وزنی از تانسور غیر ایزوتروپیک تنش رینولدز استفاده شد. او این مدل را برای تحلیل جریان داخل حفره بکار برد و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمود. آرمفیلد[۴۰] و همکارانش [۳۲] در سال ۱۹۹۰ اثر زاویه جریان ورودی در محفظه را با استفاده از مدل k-ε ومدل ARSM همراه با توابع دیواره مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده از این مدل توافق خوبی با داده های آزمایشگاهی داشت.

اسپزیالی و همکارانش [۳۳] در سال ۱۹۹۱ یک رابطه خطی جدیدی برای بیان کرنش فشار[۴۱] در معادلات انتقال رینولدز ارائه شده توسط رودی پیشنهاد نمودند. سپس آنها در سال ۱۹۹۳ با استفاده از این رابطه یک مدل جبری صریح (SSG)[۴۲] برای بیان معادلات انتقال تنش رینولدز ارائه دادند. پرزن[۴۳] و همکارانش[۳۴] در سال ۱۹۹۶ مدل k-ε و مدل جبری SSG و مدل RSM را برای جریان پشت پله بکار بردند. مقایسه نتایج نشان داد مدل جبری SSG توافق بیشتری با نتایج مدل RSM و داده های آزمایشگاهی دارد. زانگ[۴۴] و همکارانش [۳۵] در سال ۱۹۹۷ با استفاده از مدل جبری اصلاح شده، جریان چرخشی در داخل یک مجرای حلقوی را مورد بررسی قرار داد مقایسه نتایج حاصل این مدل با مدل k-ε و

---

[33] Implicit
[34] Chung
[35] Fu
[36] Algebraic Reynolds Stress Model
[37] Reynolds Stress Model
[38] Weber & Visser
[39] Davidson
[40] Armfield
[41] Pressure Strain
[42] Speziale , Sarkar and Gatski
[43] Perzon
[44] Zhang

داده های آزمایشگاهی نشان دهنده بهبود های عمده ای در پیش بینی تنش های رینولدز، سرعت های محوری و مماسی داشت.

والین و یوهانسن[۴۵] [۳۶] در سال ۱۹۹۶ رابطه جدیدی برای بدست آوردن نسبت تولید انرژی به اتلاف لزجت در جریان های دو بعدی بدست آوردند. سپس آنها در سال ۲۰۰۰ این رابطه را به جریان های سه بعدی تعمیم داده و مدل جبری صریح جدیدی (WJ) برای محاسبه تنش های رینولدز ارئه دادند [۳۷] . اسپیزالی و همکارانش [۳۸] در سال ۲۰۰۰ جریان سیال در درون یک لوله با چرخش محوری را با استفاده از مدل k-ε استاندارد مدل غیر خطی، مدل جبری ضمنی LRR و مدل جبری صریحSSG مورد بررسی قرار داده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند. نتایج حاصل نشان داد که مدل صریح SSG نسبت به سایر مدل ها بهترین توافق را با داده های آزمایشگاهی دارد بالحسین[۴۶] و همکارانش[۳۹] در سال ۲۰۰۲.یک مدل تنش جبری رینولدز صریح را برای شبیه سازی جریان تراکم ناپذیر در یک کانال سه بعدی بکار بردند، آنها نتایج خود را با نتایج حل دقیق و روش گردابه های بزرگ مقایسه نمودند. والین و یوهانسون [۴۰]در سال ۲۰۰۲ مجدداً مدلی را که در سال ۲۰۰۰ ارائه داده بودند، جهت پیش بینی بهتر جریان های با انحنای زیاد تصحیح کردند. سپس آنها به کمک گراندستام[۴۷] [۴۱]در سال ۲۰۰۵ یک مدل جبری تنش رینولدز صریح را بر اساس نرخ کرنش-فشار غیر خطی ارائه دادند، آنها مدل خود را برای یک جریان برشی همگن در حال دوران امتحان نمودند و به نتایج خوبی نسبت به داده های آزمایشگاهی دست یافتند.آنتونلو و ماسی[۴۸] [۴۲] در سال ۲۰۰۷ یک مدل صریح جبری برای تنش های رینولدز ارائه دادند،آنها در این مدل یک سازگاری ساده را برای نسبت جمله تولید به پخش توسعه دادند ومدل خود را برای جریان پشت پله و جریان داخل یک کانال خمیده بکار برند و نتایج خوبی را که با سرعت محاسباتی مناسب همراه بود بدست آوردند. گومز[۴۹] [۴۳] در سال ۲۰۰۹ یک مدل جبری تنش رینولدز را برای حل جریان تراکم پذیر ارائه داد که در آن قسمت سریع همبستگی کرنش فشار را به گونه ای بیان نمود که به عدد ماخ وابسته باشد.

۱-۳ کارهای انجام شده در این تحقیق

در این تحقیق مدل k-ε استاندارد و مدل جبری تنش رینولدز(SSG) برای بهبود پیش بینی کمیت های مختلف جریان با هم تلفیق شده اند.تلفیق به دو صورت باینری و فازی انجام شده است. در کد موجود تدوین شده توسط استاد

[45] Wallin & Johansson
[46] Belhoucine
[47] Grundestam
[48] Antonello & Masi
[49] Gomez

راهنما هر دو مدل k-ε استاندارد و مدل جبری تنش رینولدز موجود می باشد و مدل تلفیقی مناسب در آن در پژوهش جاری جای داده شده است. کارهای انجام شده در این تحقیق عبارتند از:

- تدوین الگوریتم تلفیق
- اعمال مدل در کد کامپیوتری موجود
- بررسی صحت مدل تلفیقی مورد نظر با استفاده از تحلیل جریان مغشوش هم دما در جریان پشت پله و یک حفره کم عمق.
- تحلیل جریان در یک سیکلون استاندارد به وسیله مدل تلفیقی مورد نظر و بحث در مورد نقاط قوت وضعف مدل ارائه شده.

روند ارائه مطالب در این تحقیق به صورت زیر می باشد:

- در فصل دوم معادلات حاکم بر جریان مغشوش ارائه می گردد.
- در فصل سوم انواع مدل های جریان مغشوش به صورت مشروح مورد بررسی قرار می گیرد.
- در فصل چهارم مدل تلفیقی جریان مغشوش و نحوه تلفیق ارائه خواهد شد.
- و در فصل پنجم نتایج بدست آمده برای سه حالت گوناگون جریان مغشوش ارائه گردیده است.

فصل دوم

معادلات حاکم بر جریان های مغشوش

۲-۱ معادلات حاکم در جریان تراکم ناپذیر

معادلات ناویر استوکس بیان کننده تغییرات سرعت و فشار در داخل میدان جریان سیال می باشند. چنانچه به فرم تراکم ناپذیر این معادلات در فرمول‌بندی کارتزین آنها توجه کنیم، خواهیم دید که معادلات بقای جرم در فرم اندیسی خود به صورت معادله(۲-۱) بیان می گردد:[۴۴]

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (۱-۲)$$

و همچنین معادله عمومی بقای مومنتوم نیز در فرم اندیسی به صورت معادله بقای (۲-۲) بیان می شود:[۴۴]

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = B_i - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_k \partial x_k} \qquad (۲-۲)$$

که در آن ν بیانگر ضریب ویسکوزیته سینماتیک(نسبت میان ویسکوزیته مولکولی به چگالی)،ρ بیانگر چگالی، u_i بیانگر i- امین مولفه بردار سرعت ، p بیانگر فشار و B_i بیانگر نیروی وزنی می باشد.