

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

بررسی عملکرد و طراحی دینامیک دو بعدی
تحت اثر جریانهای تراکم ناپذیر

استاد راهنما: آقای دکتر امیر خوشنویس

دانشجو: قاسم عزیزی

تیر ماه ۸۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به:

روح بزرگ معمارانقلاب اسلامی ایران حضرت امام خمینی (ره)

و

ولی امر مسلمین جهان حضرت آیت الله العظمی خامنه ای

و

تمامی شهدای والامقام

با تشکر و سپاس فراوان از کلیه اساتید محترم دانشکده مکانیک

و

آقای دکتر اردکانی و آقای دکتر فرزانه

و

مخصوصاً جناب آقای دکتر خوشنویس

که حقیر را در این مسیر یاری نمودند.

چکیده

دیفیوزر وسیله ای است که در مسیر جریان سیال قرار می گیرد و باعث کاهش سرعت جریان و افزایش فشار استاتیک آن می شود، بنابراین می توان گفت که اساس کار دیفیوزرها در این است که فشار را بازیافت نمایند، و چون در دیفیوزرها به خاطر وجود تلفات، که بیشتر ناشی از دو عامل اصطکاک سطحی جریان و جدایش جریان می باشد، فشار سکون نمی تواند ثابت باقی بماند، لذا باید طوری آنها را طراحی کرد که حتی الامکان کاهش فشار سکون به حداقل مقدار خود برسد. بر این اساس، طبق رابطه ضریب فشار، هر چه مقدار ضریب فشار بزرگتر باشد، بازیافت فشار بهتر انجام می شود و در نتیجه دیفیوزر عملکرد بهتری دارد. در واقع مشکل اصلی در کار با یک دیفیوزر، مسأله جدایش جریان و تلفات ناشی از آن است.

بعد از مقدمه ای که در فصل اول این تحقیق آمده است، مطالبی در مورد انواع رژیمهای جریان در دیفیوزرهای دوبعدی و مسأله جدایش جریان و کاربردهای آن در فصل دوم آورده شده است. سپس در فصل سوم با نوشتن معادلات حاکم بر جریان در دیفیوزرها، و نیز نوشتن روابط هندسی در آنها، ضریب فشار و پارامترهای لایه مرزی را برای پنج نوع دیفیوزر در حالت دوبعدی، در رژیمهای جریان وامانده (گذرا و کاملاً توسعه یافته) و غیر وامانده، محاسبه کرده ایم و از روی آنها عملکرد این دیفیوزرها را در بهترین حالت هندسی بدست آورده ایم. این پنج نوع دیفیوزر شامل دیفیوزر دووجهی با دیواره های مستقیم، مخروطی با دیواره های مستقیم، حلقوی با دیواره های مستقیم، دووجهی با دیواره های خمیده و مخروطی با دیواره های خمیده می باشد. و بالاخره در فصل چهارم و پنجم، نتایج بدست آمده را مورد بررسی قرار داده ایم و آنها را با بعضی نتایج تجربی مقایسه نموده ایم.

علائم و نشانه ها

A : کسر انسداد لایه مرزی جریان δ^* / δ

A_e : سطح مقطع مؤثر در دیفیوزر

A_r : نسبت سطح دیفیوزر A_2 / A_1

B : نیمه انسداد لایه مرزی δ^* / W

C_f : ضریب اصطکاک روی دیواره

C_p : ضریب بازیافت فشار جریان

d : قطر دیفیوزرهای مخروطی با دیواره مستقیم

d_c : قطر دیفیوزرهای مخروطی با دیواره خمیده

d_N : قطر مؤثر در دیفیوزرهای مخروطی خمیده

E : نرخ بی بعد تداخلی

h : ضریب شکل لایه مرزی

H : مقدار کاهش ضریب شکل لایه مرزی $(h - 1) / h$

k : ثابت فون کارمن (۰/۴۱)

L : طول دیواره در دیفیوزرهای مستقیم

N : طول خط مرکزی دیفیوزرهای خمیده

N_c : فاصله محوری دیفیوزر با دیواره خمیده

P : فشار جریان

p_0 : فشار سکون جریان

Q : دبی جریان

R : شعاع متوسط در دیفیوزر حلقوی

R_c : شعاع انحنای دیواره در دیفیوزرهای خمیده

Re: عدد رینولدز جریان

Re^* : عدد رینولدز بر اساس ضخامت جابجایی

u : سرعت متوسط جریان

V_T : سرعت برشی بی بعد

W : عرض دیفیوزر دووجهی مستقیم

W_c : عرض دیفیوزر دووجهی خمیده

X : طول دیواره دیفیوزرهای مستقیم در هر مقطع

X_N : طول دیواره دیفیوزر خمیده

δ : ضخامت لایه مرزی جریان

δ^* : ضخامت جابجایی جریان

2θ : زاویه واگرایی کل دیفیوزرهای دووجهی

$2\theta_{eff}$: زاویه واگرایی کل مؤثر برای دیفیوزرهای خمیده

ρ : جرم حجمی سیال

ν : لزجت سیال

ϕ_i : زاویه واگرایی دیواره داخلی دیفیوزر حلقوی

ϕ_o : زاویه واگرایی دیواره خارجی دیفیوزر حلقوی

γ : زاویه واگرایی متوسط دیفیوزر حلقوی $\frac{\phi_i + \phi_o}{2}$

τ_w : تنش برشی روی دیواره

ξ : ضریب تصحیح انحنای خط جریان (۰/۰۱۵)

β : زاویه انحنای دیواره دیفیوزر خمیده

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
تقدیم	یک
تشکر	دو
چکیده	سه
علائم و نشانه ها	چهار

فصل اول

مقدمه	۱
-------	---

فصل دوم

مروری بر مطالعات انجام شده	
۱-۲- تاریخچه	۴
۲-۲- رژیمهای جریان در دیفیوزرهای مستقیم	۴
۳-۲- رژیمهای جریان در دیفیوزرهای خمیده	۹
۴-۲- تشریح رژیمهای جریان در دیفیوزرهای دو بعدی مستقیم	۱۲
۵-۲- تشریح رژیمهای جریان در دیفیوزرهای خمیده	۱۷
۶-۲- جدایش جریان در دیفیوزرها	۲۰
۷-۲- روشهای جلوگیری از جدایش جریان در دیفیوزرها	۲۳
۱-۷-۲- استفاده از پره های منحرف کننده جریان	۲۸
۲-۷-۲- استفاده از تولید کننده های ورتکس	۲۸
۳-۷-۲- استفاده از مکش	۳۲
۴-۷-۲- استفاده از فینهای هدایت کننده جریان	۳۶
۸-۲- کاربردهای دیفیوزر	۳۷
۱-۸-۲- موتور جت	۳۸
۲-۸-۲- تونل باد فرا صوت و مادون صوت	۳۹
	۴۰

فصل سوم

معادلات اساسی	۴۳
---------------	----

۴۳	۱-۳- معادلات حاکم بر جریان در دیفیوزرها
۴۷	۲-۳- مدل جریان مرکزی
۴۹	۳-۳- روابط هندسی
۵۴	۴-۳- برنامه کامپیوتری
۵۴	۱-۴-۳- ساختار برنامه
۵۶	۲-۴-۳- داده های ورودی
۵۸	۳-۴-۳- داده های خروجی

فصل چهارم

۶۵	بحث و بررسی
۶۶	۱-۴- دیفیوزر دووجهی با دیواره های مستقیم
۷۲	۲-۴- دیفیوزر مخروطی با دیواره های مستقیم
۷۸	۳-۴- دیفیوزر دووجهی با دیواره های خمیده در امتداد خط مرکز مستقیم
۸۸	۴-۴- دیفیوزر مخروطی با دیواره های خمیده در امتداد خط مرکز مستقیم
۹۵	۵-۴- دیفیوزر حلقوی با دیواره های مستقیم

فصل پنجم

۱۱۰	نتیجه گیری
۱۱۳	مراجع

فصل اول

مقدمه

دیفیوزر وسیله ای است که در مسیر جریان سیال قرار می گیرد و باعث کاهش سرعت جریان و افزایش فشار استاتیک آن می شود. به عبارت دیگر دیفیوزر باعث بازیافت فشار جریان می شود. متناسب با اینکه جریان ورودی به دیفیوزر مادون صوت یا مافوق صوت باشد، مجرای دیفیوزر واگرا یا همگرا خواهد بود، ولی در اغلب کاربردها بخصوص در سیالات تراکم ناپذیر به علت پایین بودن سرعتها و داشتن جریانهای مادون صوت، با مجاری واگرا سروکار داریم .

دیفیوزرها نقش مهمی را در جهان صنعتی ایفا می کنند و در بسیاری از سیستمهای مهندسی مکانیک مثل کمپرسورها، پمپها، ونتوری مترها، سیستمهای مجرای و... که در آنها به نحوی با سیال سروکار دارد استفاده می شوند که متناسب با کاربرد آنها، در اشکال و اندازه های مختلف طراحی و ساخته می شوند .

همچنین در بعضی سیستمهای مهندسی از دیفیوزرها برای تبدیل فشار دینامیک به استاتیک استفاده می شود بطوریکه در حالت ایده آل فشار سکون در طول دیفیوزر ثابت بماند، ولی عواملی مثل جدایش جریان، اغتشاشات در ورودی، تغییرات خواص سیال، اصطکاک و تغییرات سطح مقطع، باعث ایجاد تلفات و در نتیجه کاهش فشار سکون می شود. با توجه به اینکه کار دیفیوزر افزایش فشار جریان در طول مجرا می باشد، ولی همین افزایش فشار در طول دیفیوزر یک گرادبان نامطلوب و

مخالف برای جریان محسوب می شود که باعث شکسته شدن لایه های مرزی لزج و جدا شدن آنها از روی دیواره ها و در نهایت کاهش عملکرد و کارایی دیفیوزر به مقدار زیادی می شود.

دیفیوزرها بر اساس شکل هندسی به گروههایی تقسیم می شوند. دیفیوزرهای با مقطع مربعی، مستطیلی، دایره ای، بیضوی و حلقوی از آن جمله اند که هر کدام از اینها می توانند دارای دیواره های مستقیم یا خمیده (با انواع انحنای لگاریتمی) باشند. دیفیوزرهای خمیده بر اساس اینکه دارای خط مرکز مستقیم یا منحنی باشند خود به دو نوع تقسیم بندی می شوند که از میان اینها دیفیوزرهای خمیده با خط مرکز منحنی از اهمیت بیشتری برخوردارند. مسأله اصلی که در کار با دیفیوزرهای خمیده (و یا حتی مستقیم) برای جریان سیال گذرنده از آن وجود دارد، موضوع جدایش جریان می باشد که به شدت بر عملکرد دیفیوزر تأثیر دارد. جدایش ممکن است ناشی از توزیع غیر یکنواخت جریان و تلفات بیش از اندازه، زبری سطح و یا زاویه واگرایی بیش از حد باشد که می بایست به هر روشی که ممکن است از جدایش جریان جلوگیری شود. در واقع جریانهای ثانویه قوی و پرتابی که بر اثر ناپایداری نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار شعاعی بوجود می آید باعث ایجاد توزیع جریان غیر یکنواخت و در نتیجه تلفات می شود که در نهایت باعث جدایش جریان در دیفیوزرهای خمیده می شود. در دیفیوزرهای مستقیم نیز جدایش جریان ممکن است بیشتر ناشی از واگرایی بیش از حد آن در زوایای بزرگ باشد.

خروجی اصلی و اساسی یک دیفیوزر که بر اساس آن عملکرد دیفیوزر ارزیابی می شود، ضریب بازیافت فشار است که می تواند از رابطه برنولی تعریف شود. ضریب فشار برابر یک نشان دهنده بازدهی صد در صد دیفیوزر است. هر چه این ضریب به مقدار یک نزدیکتر باشد، عملکرد دیفیوزر بهتر و کارایی آن بیشتر است.

آنالیز ابعادی یک دیفیوزر دووجهی با دیواره های مستقیم نشان می دهد که ضریب فشار تا حد زیادی وابسته به پارامترهای زیر است:

۱- پارامترهای هندسی دیفیوزر شامل نسبت سطح، زاویه واگرایی و نسبت طول به عرض ورودی.

۲- عدد رینولدز ورودی.

۳- عدد ماخ ورودی.

۴- انسداد گذرگاه در ورودی.

۵- نسبت ظاهری دیفیوزر (نسبت طول به عرض مقطع ورودی در دیفیوزرهای دووجهی).

البته موارد دیگری، مثل آشفته‌گی‌های ورودی، پروفیل سرعت ورودی، اغتشاشات، گرفتگی در پایین دست جریان و گردابه‌های ورودی، که همگی در عمل وجود دارند، بر روی ضریب فشار تأثیرات مهمی دارند که معمولاً از وجود آنها چشم‌پوشی می‌کنند.

فصل دوم

مروری بر مطالعات انجام شده

۱-۲- تاریخچه

از جمله کارهایی که در مورد انواع دیفیوزر تا کنون به صورتهای مختلف انجام شده است را می توان بطور خلاصه به شرح زیر آورد :

استفاده از پره های تخت کوچک در طراحی دیفیوزرها می تواند وسایل مفیدی باشد برای تهیه و ساخت دیفیوزرهای زیر صوت دو بعدی با زاویه واگرایی به اندازه کافی بزرگ، چرا که آنها می توانند تا حدود زیادی باعث جلوگیری از جدایش جریان یا به تعبیر دیگر باعث به تأخیر انداختن جدایش شوند. [۱]

در مورد اثرات ضخامت لایه مرزی جریان در ورودی روی کارایی دیفیوزرهای دو بعدی با دیواره های مستقیم چنین بدست آمده که افزایش ضخامت لایه مرزی اثراتی روی رژیمهای جریان می گذارد و می تواند به کارایی دیفیوزرها آسیب برساند و باعث کاهش آن شود. [۲]

اسپرنجر^۱ [۳] اثر تغییرات سطح مقطع و تغییر ضخامت لایه مرزی ورودی دیفیوزر را روی عملکرد جریانهای عبوری از دیفیوزرهای خمیده با مقاطع دایره ای و بیضوی بررسی کرد. او در مورد دیفیوزرهای خمیده با زوایای صفر و ۱۵ و ۳۰ درجه تحقیق کرد و نشان داد که افزایش ضخامت لایه مرزی ورودی و همچنین افزایش زاویه خمیدگی باعث کاهش کارایی دیفیوزر می شوند.

^۱ - Sprenger

جدایش ابتدا در خروجی دیفیوزر مشاهده می شود، ولی با افزایش در نسبت سطح این جدایش به سوی دیگر نقاط حرکت می کند. همچنین گزارش شده است که کاهش عدد ماخ ممکن است تغییراتی در جدایش بوجود آورد، ولی این تغییرات ناچیز و بی اهمیت است و می توان از آن صرف نظر کرد.

اکرت [۸] و فوریه^۶ [۹] از مکش لایه مرزی در ورودی دیفیوزر به عنوان روشی برای جلوگیری از جدایش جریان استفاده کردند و موفق شدند از این طریق، کارایی بالایی برای دیفیوزرهای مخروطی و دوبعدی با زاویه واگرایی بزرگ، بدست آورند. ولی از معایب این روش این است که به خاطر لازم بودن توان و انرژی جهت انجام فرآیند مکش کاربرد خیلی محدودتری دارد.

اسپرنجر [۳]، والنسی [۶] و کارول^۷ [۱۰] توانستند با استفاده از تیغه هایی که می توانست در جریان، تولید گردابه کند (تیغه های مولد ورتکس)، کارایی دیفیوزر را افزایش دهند، هر چند که آزمایشهای آنها فقط برای دیفیوزرهای خاصی انجام شده است. همچنین این تیغه ها به شکل موفقیت آمیزی در دیواره واگرای یک تونل باد، جهت جلوگیری از جدایش جریان استفاده شدند [۱۱]. از مطالعات وسیعی که روی مولدهای ورتکس انجام شده است، نتایج خوبی بدست آمده، که از آنها برای طراحی در حالت های واقعی جریانهای خارجی به شکل موفقیت آمیزی استفاده شده است. علاوه بر اینها مشاهده شده است که مولدهای ورتکس بر مکانیزم انتقال حرارت نیز مؤثر می باشند و باعث افزایش آن می شود. [۱۲]

فاکس و کلاین^۸ [۱۳] الگوهای مختلف جریان را از نظر جدایش جریان برای زوایای خمیدگی صفر تا ۹۰ درجه که با گام ۱۰ درجه افزایش می یابد، برای حالت های وامانده^۹ (ناپایدار) و غیر وامانده

^۶-Ackeret , Furuya

^۷-Sprenger , Valentine , Carrol

^۸- Fox , Kline

^۹-stall

(پایدار)، در دیفیوزرهای خمیده ای که خط مرکزی آنها به صورت کمان دایره ای و توزیع سطح آنها بطور خطی تغییر می کرد، توسعه دادند و نتایج آنرا بدست آوردند .

ساجی و جانسون^{۱۰} [۱۴] کار آنها را ادامه و توسعه دادند و در نتیجه موفق شدند روشی برای طراحی دیفیوزرهای دووجهی خمیده که دارای نسبت سطح ۱/۵ تا ۲/۵ و نسبت طول به عرض گلوگاه ۴ تا ۱۰ و زاویه خمیدگی ۳۰ تا ۹۰ درجه است بدست آورند.

پارسون و هیل^{۱۱} [۱۵] توانستند بوسیله اثرات انحنای خطوط جریان، روش استانی [۱۶] را مورد بررسی و اصلاح قرار دهند و به این ترتیب مقایسه ای بین نتایج تجربی و تئوری برای دیفیوزرهای خمیده بدست آورند .

فریبرگ و دورموی^{۱۲} [۱۷] رفتار جریان را در یک دیفیوزر خمیده زانویی شکل با انحنای ۹۰ درجه و نسبت سطحی برابر ۲ ، تحت شرایط ورودی با ماکهای مختلف، بطور تجربی مورد مطالعه و بررسی قرار دادند .

میلان^{۱۳} [۱۸] با کار تجربی روی دیفیوزرهایی با زاویه انحنای ۴۰ درجه و نسبت طول به عرض گلوگاه ۳ و نسبت سطح ۱/۳۲ و نسبت ظاهری ۱/۵ ، توانست اندازه گیریهای دقیقی برای جریان درهم با سرعتهای پایین بدست آورد. او مشاهده کرد بین دو صفحه موازی که مشرف بر رفتار جریان است دو حرکت ثانویه گردابی که جهت چرخش آنها خلاف جهت یکدیگر است بوجود می آید.

سیجنکر^{۱۴} [۱۹] نشان داد که برای یک دیفیوزر خمیده با هندسه مشخص ، اندازه ضریب بازیافت فشار با افزایش عدد رینولدز ، افزایش و با افزایش در زاویه خمیدگی دیفیوزر ، کاهش می یابد. سولری^{۱۵} [۲۰] بیان کرد که برای یک دیفیوزر مستقیم معادل در مقایسه با یک دیفیوزر خمیده با زاویه انحنای ۵۵ درجه و نسبت سطح ۱/۵۶ و نسبت ظاهری ۰/۸ بدست آوردن ضریب

¹⁰-Sagi , Johnston

¹¹-Parson , Hill

¹²-Friberg , Dormoy

¹³-Mcmillan

¹⁴-Sajanikar

بازیافت فشار بالاتر امکان پذیر است. او این افزایش بازیافت فشار را به رشد افزوده لایه مرزی در طول دیواره محدب نسبت داد، که در واقع باعث کاهش نسبت سطح مؤثر دیفیوزر می شود.

روجاس^{۱۶} [۲۱] داده های وسیعی در مورد دیفیوزرهای خمیده به شکل C و S که دارای مقاطع مستطیلی و نسبت سطح ۱/۵ بودند را بدست آورد. او سه مؤلفه جریان یعنی سرعت، توزیع فشار دیواره و همبستگی مقاطع (برای حالت مغشوش) را در طول بازیافت فشار اندازه گیری کرد. تحقیق مفصل جریان برای یک دیفیوزر خمیده با زاویه انحنای ۹۰ درجه و نسبت سطح ۲ و نسبت ظاهری ۰/۶ نیز بوسیله مجومدر^{۱۷} [۲۲] انجام شد. او خصوصیات جریانهای سه بعدی مخلوط را در بخش پایین دست جریان بدست آورد .

مطالعه و تحقیق در مورد دیفیوزرهای خمیده ای که دارای نسبت سطحی پایین هستند (کمتر از ۲) بوسیله مایلر و کومپایلد^{۱۸} [۲۳] انجام شد. بعد از او آگراوال و سینگ^{۱۹} [۲۴] اولین کسانی بودند که در مورد دیفیوزرهای با نسبت سطح بزرگ تحقیق کردند. آنها شکل جریان را در یک دیفیوزر خمیده با نسبت سطح بزرگ و با زاویه انحنای ۹۰ درجه، بوسیله نمایش خطوط بیضوی نشان دادند. خصوصیات مفصلتر جریان در مورد همان دیفیوزر توسط مجومدر^{۱۷} [۲۵] تشریح شد و یک ارزیابی برای بازیافت فشار پایین و تلفات بالا در مقایسه با دیفیوزرهای مخروطی با همان نسبت سطح، نشان داده شد .

همچنین مجومدر^{۱۷} [۲۶] با استفاده از پیشنهادات دیگران با نصب چهار پره شکافنده جریان به صورت مایل در ورودی دیفیوزر، برای دیفیوزرهای یکسان، کارهای قبلی دیگران را اصلاح کرد .

¹⁵-Sullery

¹⁶-Rojas

¹⁷-Majumdar

¹⁸- Mille , Compiled

¹⁹-Agraval , Singh

۲-۲- رژیمهای جریان در دیفیوزرهای مستقیم

علاوه بر پیچیدگی فرآیند جدایش لایه مرزی، یک موضوع دیگر، متغیر بودن شدید الگوهای جریان در دیفیوزرها می باشد که موضوعی مبهم و پیچیده است و تا سال ۱۹۵۵ بصورت مرموز و غیرقابل پیش بینی در نظر گرفته می شد، تا اینکه کلاین در این سال ساختار این الگوها را با تکنیکهای مشاهده جریان در یک کانال ساده آب معلوم کرد. و بالاخره دیاگرام کاملی از پایداری این الگوها در سال ۱۹۶۲ توسط فاکس و کلاین بدست آمد. [۱۳]

مور و کلاین^{۲۰} شرح دادند که رژیمهای جریان در یک دیفیوزر ساده تا اندازه مهمی به پارامترهای زیر بستگی دارد:

الف) زاویه واگرایی کل دیفیوزر (2θ).

ب) نسبت طول دیواره دیفیوزر به عرض گلوگاه ($\frac{L}{W_1}$).

ج) اغتشاش جریان آزاد در ورودی دیفیوزر.

در مجموع می توان این نتیجه را هم گرفت که تغییرات عدد رینولدز در عرض گلوگاه دیفیوزر اثر نا چیز روی انواع رژیمهای جریان دارد و حتی اینطور می توان گفت که بکلی بی اثر است.

طبیعت جریان در دیفیوزرها با شرایط ورودی جریان و شکل هندسی آنها تغییر می کند برای حالت دو بعدی، نوع جریان در دیفیوزرهای دووجهی با دیواره های مستقیم به ۴ رژیم تقسیم می شود که مفصلاً توسط مور و کلاین و همچنین فاکس و کلاین بررسی شده است [۲۷، ۱۳]. بطور خلاصه می توان گفت که اگر نسبت طول دیفیوزر به عرض ورودی آنرا ثابت نگه داریم و بتوانیم تا حدودی از اغتشاشات جریان در ورودی چشم پوشی کنیم، مطابق با افزایش زاویه واگرایی دیفیوزر، رژیمهای جریان به ترتیب زیر در دیفیوزر ظاهر می شوند:

²⁰- Moor, Kline

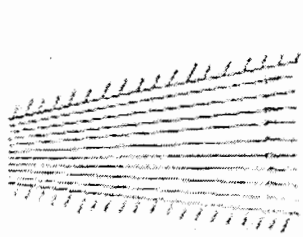
الف : رژیم غیر وامانده محسوس: این رژیم مطابق با شکل (۲-۱-الف) است که در آن یک جریان لزج پایدار داریم و جدایش جریان وجود ندارد. دیفیوزر در این ناحیه، دارای عملکرد نسبتاً خوبی است. این نکته را باید توجه داشت که حتی برای دیفیوزرهای خیلی کوتاه، اگر زاویه واگرایی کل بزرگتر از ۲۰ درجه باشد، جریان به حالت واماندگی می رسد و جدایش رخ خواهد داد.

ب: رژیم وامانده گذرا: این رژیم مطابق شکل (۲-۱-ب) است که در آن غیر از یک لایه مرزی جدا شده ، بقیه سیال بطور پیوسته باقی می ماند. در این ناحیه، جریان به سمت ناپایداری، متغیر و بی ثبات شدن در حرکت است. بهترین عملکرد یا به عبارتی بالاترین ضریب فشار دیفیوزر در این ناحیه اتفاق می افتد.

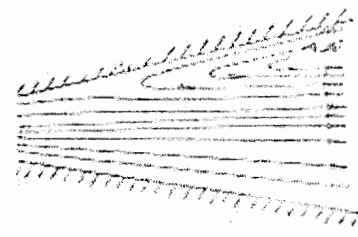
ج: رژیم وامانده کاملاً توسعه یافته: این رژیم مطابق شکل (۲-۱-ج) است که در آن لایه مرزی جدا شده در رژیم قبلی ، توسعه یافته و تبدیل به یک ناحیه گردابه ای بزرگ می شود. در این ناحیه، الگوی واماندگی ممکن است از روی یک دیواره به دیواره دیگر منتقل شود که این باعث کاهش عملکرد دیفیوزر می شود.

د: رژیم جریان جت: این رژیم مطابق شکل (۲-۱-د) است که در آن جدایش از روی دیواره ها فراگیر می شود و جریان اصلی از روی دیواره ها کاملاً جدا می شود. در این ناحیه، کاهش عملکرد دیفیوزر به حداکثر میزان خود می رسد.

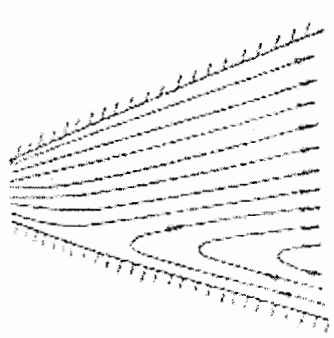
رابطه بین ضریب فشار و زاویه واگرایی برای یک مقدار طول به عرض ورودی $(\frac{L}{W_1})$ مشخص در شکل (۲-۲)، همراه با مرزبندی رژیمهای جریان، بصورت شماتیک نشان داده شده است. برای طراحی دیفیوزرها باید قادر به پیش بینی عملکرد آنها باشیم که در اینجا برای این منظور فرضیاتی برای جریان در نظر گرفته شده است. از جمله اینکه فرض می شود جریان مرکزی دیفیوزر غیر لزج است و می توان آنرا بصورت یک بعدی و جریان پتانسیل تقریب زد. همچنین خط مرکز دیفیوزر را مستقیم و جریان را تراکم ناپذیر در نظر می گیریم.



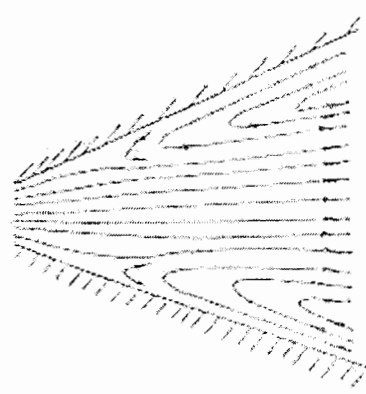
الف) غیر وامانده محسوس



ب) وامانده گذرا

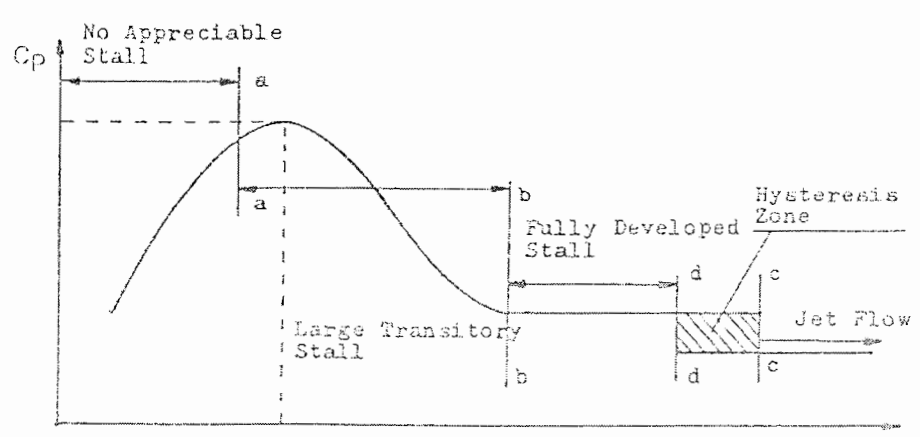


ج) وامانده کاملاً توسعه یافته



د) جریان جت

شکل ۱-۲- رژیمهای جریان در دیفیوزرهای مستقیم



2θ

شکل ۲-۲- نمودار شمانیک تغییرات ضریب فشار در رژیمهای مختلف جریان

۳-۲- رژیمهای جریان در دیفیوزرهای خمیده

در این قسمت اثر خمیدگی یا همان انحنای دیواره های دیفیوزر روی رژیمهای جریان بررسی شده است. در ابتدا اشاره ای به هندسه این نوع دیفیوزرها داشته باشیم. طراحی شکل هندسی برای مجراهای واگرایی خمیده یا همان دیفیوزرهای خمیده (مطابق شکل ۳-۲) خیلی مشکلتر از حالت مربوط به دیفیوزرهای مستقیم است، چرا که طول دیواره های داخلی و خارجی در این نوع دیفیوزرها ضرورتاً متفاوت است، بنابراین شعاع انحنای هر دو دیواره نیز متفاوت خواهد بود و بطور کلی تعریف دقیقی از جریان در یک مقطع خاص نیز کار دشواری است .

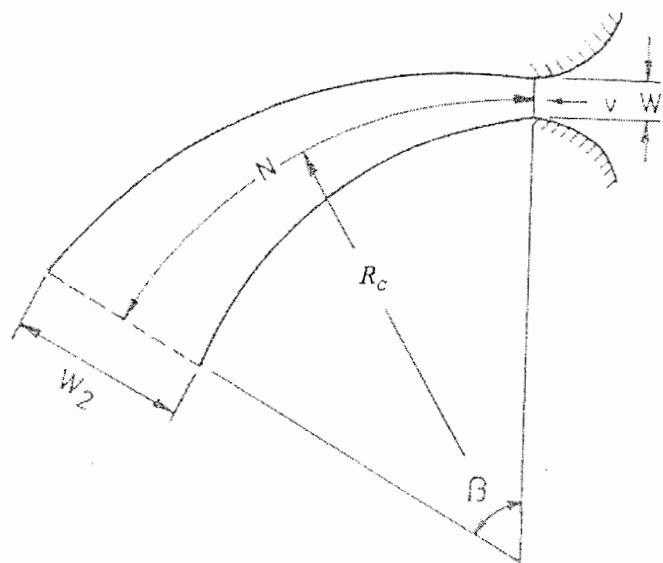
راه منحصر بفرد و مشخصی برای تعیین هندسه دیفیوزرهای خمیده وجود ندارد، ولی در نظر

گرفتن دو موضوع ، راه را برای انتخاب یک روش مناسب هموار می کند :

- سادگی نصب، تنظیم و امکان ساخت آنها.

- شرایط مطلوب برای داشتن یک دیفیوزر مستقیم مطابق با حدود هندسی هر گروه از دیفیوزرهای

خمیده. بنابراین می توان یک مقایسه مستقیمی با دیفیوزرهای مستقیم انجام داد .



شکل ۳-۲- شماییک دیفیوزرهای خمیده

در هندسه دیفیوزر خمیده در حالت عمومی تغییری در اندازه $\frac{N}{W_1}$ (نسبت طول خط مرکزی دیفیوزر به عرض گلوگاه) بوسیله تغییر در W_1 بدست می آید و N به عنوان یک ثابت انتخاب شده است و بالاخره شعاع خط مرکزی که بصورت منحنی و قسمتی از کمان دایره ای می باشد، بر حسب تابعی از زاویه خمیدگی دیفیوزر تعیین شده است و می توان آنرا با رابطه زیر بیان کرد:

$$R_c = \frac{360}{\beta} \cdot \frac{N}{2\pi} \quad (1-3-2)$$

که برای مقادیر $\frac{N}{W_1} \geq 6$ ، $N = 24$ اینچ و برای مقادیر $\frac{N}{W_1} \leq 6$ ، $N = 12$ اینچ می باشد.

پس می توان گفت که برای یک مقدار β مشخص چون N ثابت می باشد پس R_c مستقل از W_1 است. بنابراین در حالتی که زاویه خمیدگی دیفیوزر صفر باشد ($\beta = 0$) مقدار شعاع انحنای به سمت بینهایت میل می کند و در واقع مجراهای خمیده به سمت مجراهایی با دیواره های مستقیم میل می کنند.

کارهای تجربی که روی دیفیوزرهای خمیده انجام شده است، در حالتی بوده است که مقدار $\frac{N}{W_1}$ در محدوده $3 \leq \frac{N}{W_1} \leq 24$ و مقدار زاویه خمیدگی β در محدوده $0 \leq \beta \leq 90$ و بصورت تغییرات ۱۰ درجه ای بوده است. تعاریف رژیمهای جریان در مورد این نوع دیفیوزرها با تعاریفی که در مورد دیفیوزرهای مستقیم بکار برده شده، یکسان می باشند، فقط در مورد موقعیت جریان جت باید گفت که حتی برای زوایای خمیدگی کوچک نتیجه ای بدست نیامده است و می توان گفت که این رژیم فقط در دیفیوزرهای مستقیم مشاهده شده است. بیشترین تلاش و کوشش برای بدست آوردن موقعیت پیدایش اولین واماندگی (ناپایداری) محسوس و اولین واماندگی کاملاً توسعه یافته انجام شده است.

پارامترهای حاکم در دیفیوزرهای خمیده عبارتند از $A_{1r} = \frac{W_2}{W_1}$ (نسبت سطح)، $\frac{N}{W_1}$ و β و

اینها در حقیقت مقادیری هستند که در آزمایشها بطور مستقیم تغییر می کنند، در صورتیکه در

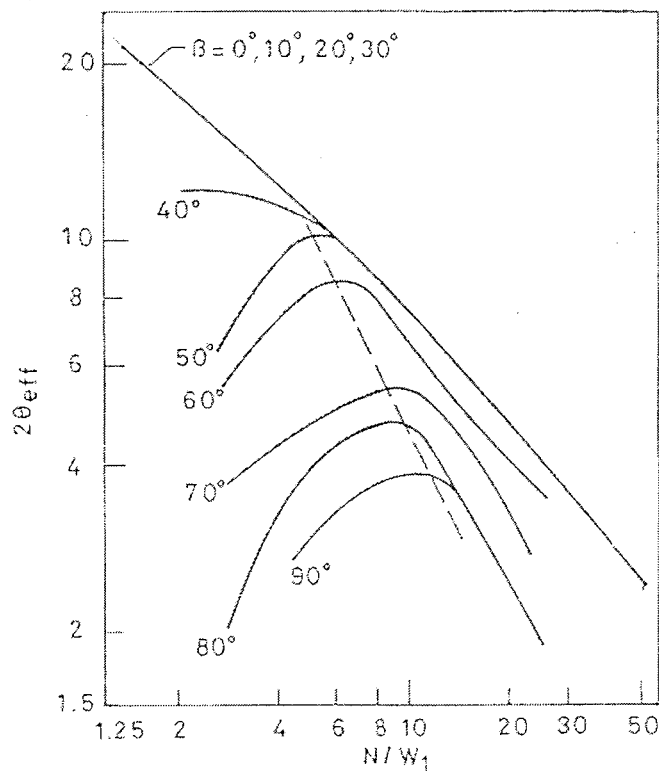
دیفیوزرهای مستقیم، تغییر دادن پارامترهای 2θ و $\frac{N}{W1}$ برای انجام آزمایش و رسم داده ها مناسب تر است. برای دیفیوزرهای خمیده 2θ مؤثر به عنوان زاویه واگرایی استفاده می شود و بصورت $2\theta_{eff}$ معرفی شده است که در واقع از لحاظ فیزیکی معنای یکسانی با حالت دیفیوزر مستقیم، تنها برای حالت $\beta = 0$ دارد. در واقع $2\theta_{eff}$ زاویه واگرایی دیفیوزر مستقیمی است که دارای عرض ورودی و خروجی و طولی معادل با دیفیوزر خمیده دارد و بصورت رابطه زیر بیان شده است:

$$Ar = 1 + 2\left(\frac{N}{W}\right)\tan\theta_{eff} \quad (2-3-2)$$

با اینکه $2\theta_{eff}$ زاویه بین دیواره ها در همه نقاط نیست، ولی می تواند بیان کننده زاویه واگرایی دیفیوزر باشد.

رژیمهای جریان بعد از مشاهده و ثبت بصورت تابعی از Ar و $\frac{N}{W1}$ برای یک مقدار β مشخص بدست آمده است. اگر مقدار $2\theta_{eff}$ از معادله فوق بدست آید، می توان تمام داده ها را روی نمودار $2\theta_{eff}$ در مقابل $\frac{N}{W1}$ برای مقادیر مختلف و مشخص β رسم کرد و می توان از این نمودارها برای طراحی دیفیوزرها، و برای اهداف مختلف استفاده کرد. برای طراحی یک دیفیوزر خمیده باید روند زیر را طی کرد:

از روی نمودار ظهور اولین واماندگی جریان در دیفیوزر خمیده که در شکل (۲-۴) آمده است، برای یک مقدار زاویه خمیدگی β مشخص، مقدار ماکزیمم $2\theta_{eff}$ و مقدار $\frac{N}{W1}$ مطابق آنرا می خوانیم. از این مقادیر، به کمک رابطه (۲-۳-۲)، نسبت سطح Ar را محاسبه می کنیم. مقدار شعاع خط مرکز دیفیوزر را نیز می توان از رابطه (۱-۳-۲) محاسبه کرد. حال با توجه به اینکه سطح دیفیوزر بصورت عمود بر خط مرکز می باشد، و اینکه افزایش سطح از ورودی تا خروجی بطور خطی تغییر می کند، می توان با اطلاعات بدست آمده فرآیند طراحی را انجام داد.



شکل ۲-۴- ظهور اولین واماندگی در دیفیوزرهای خمیده با خط مرکز منحنی

رژیمهای جریان در دیفیوزرهای خمیده با آنچه که در دیفیوزرهای مستقیم مشاهده شده یکسان است با این تفاوت که در این نوع دیفیوزرها تنها سه رژیم جریان وجود دارد و می توان گفت همان سه رژیم جریان اولیه مشاهده شده در دیفیوزرهای مستقیم است، زیرا همانطور که گفته شد رژیم جریان جت در این نوع دیفیوزرها، حتی برای زوایای خمیدگی کوچک نیز وجود ندارد. اگر همه شرایط ورودی جریان، طول خط مرکزی و عرض گلوگاه بصورت ثابت نگاه داشته شود، مطابق با افزایش نسبت سطح (افزایش زاویه 2θ)، رژیمهای جریانی به ترتیب زیر در دیفیوزرهای خمیده مشاهده می شود:

۱- رژیم غیر وامانده و پایدار که در آن جریان اصلی بصورت دائمی است و جدایش جریان

وجود ندارد. دیفیوزر در این ناحیه از جریان، دارای عملکرد نسبتاً خوبی است.

۲- رژیم وامانده گذرا که در آن قسمت کوچکی از لایه مرزی از روی دیواره جدا شده ولی بقیه سیال بطور پیوسته باقی می ماند. در این ناحیه، جریان به شدت غیردائم، متغیر و بی ثبات است.

۳- رژیم وامانده کاملاً توسعه یافته که آن قسمت از لایه مرزی که در رژیم قبلی از روی دیواره جدا شده بود، توسعه یافته و تبدیل به یک ناحیه گردابه ای بزرگتر می شود. در این ناحیه که جریان نسبتاً یکنواخت و پیوسته است و در طول دیواره ادامه دارد، الگوی واماندگی ممکن است از روی یک دیواره به دیواره دیگر منتقل شود و باعث کاهش عملکرد دیفیوژر شود.

تأثیر خمیدگی مجرا روی جریان عبوری از آن، در بوجود آوردن حرکت‌های ثانویه قوی و پرنرژی در راستای عمود بر مسیر جریان است که در راستای طولی مجرا گسترش می یابد. نیروی بوجود آورنده این حرکت‌های ثانویه، همان عدم توازن میان نیروی گریز از مرکز و نیروی حاصل از گرادیان فشار شعاعی است. زیرا همانطور که می دانیم در یک مجرای زانویی شکل اگر رابطه اولر در راستای عمود بر مسیر جریان که همان راستای افزایش شعاع زانویی می باشد، نوشته شود، مقدار گرادیان فشار شعاعی مثبت بدست می آید و این نشان می دهد که در راستای افزایش شعاع، فشار نیز افزایش می یابد که این گرادیان فشار باعث هدایت سیال به سمت دیواره پایینی (دیواره با شعاع کمتر یا همان دیواره محدب) می شود. از طرفی بواسطه انحنای مسیر جریان و سرعت سیال، یک نیروی گریز از مرکزی به سیال وارد می شود که باعث هدایت سیال به سمت دیواره بالایی (دیواره با شعاع بیشتر یا همان دیواره مقعر) می شود. از آنجا که راستای این دو نیرو خلاف جهت هم می باشند و نیروی گریز از مرکز غالب بر نیروی حاصل از گرادیان فشار شعاعی است، پس به اجمال می توان گفت که برآیند آنها که همان عامل اصلی ایجاد حرکت‌های ثانویه در راستای عمود بر مسیر جریان است، روی سیالی که به آرامی در راستای دیواره های بالایی و پایینی مجرای خمیده حرکت می کند اثر کرده و آنرا در راستای دیواره ها، به سمت دیواره بالایی جابجا می کند.

حال با توجه به آنچه گفته شد، این نکته را باید در نظر داشت که در مجراهای خمیده لازم است اثر جریانهای ثانویه در محدوده مرکز جریان به حداقل مقدار خود برسد، چرا که باعث کاهش عملکرد دیفیوزر می شود. برای کاهش اثرات جریانهای ثانویه و افزایش کارایی دیفیوزر راههای مختلفی وجود دارد که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد. به عنوان مثال می توان از پره هایی که عرضی برابر یک سوم (۱/۳) عرض مجرا دارند استفاده کرد و با نصب آنها روی دیواره های خمیده و در راستای مجرا، تا حدود زیادی اثر جریانهای ثانویه را تعدیل کرد و از بوجود آمدن آنها جلوگیری کرد.

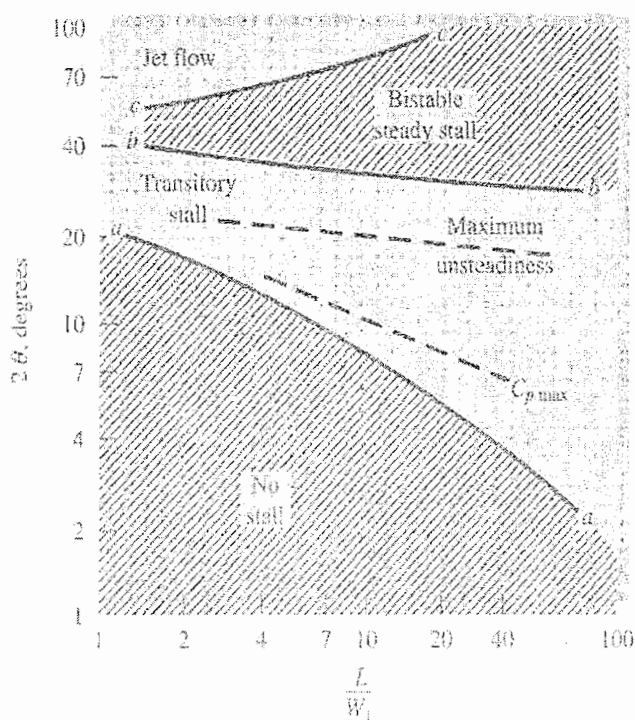
۲-۴- تشریح رژیمهای جریان در دیفیوزرهای دو بعدی مستقیم

مادامیکه جریان در یک دیفیوزر دو بعدی مستقیم با مقدار $\frac{N}{W_1}$ ثابت، عبور می کند، چنانچه زاویه واگرایی کل یعنی 2θ از مقدار صفر افزایش پیدا کند، متناسب با پیدایش رژیمهای جریان، می توان در مورد آنها بطور جداگانه بحث کرد. معیاری که ما در اینجا برای تشریح خطوط تحول میان رژیمهای جریان استفاده می کنیم، نمودار شکل (۲-۵) می باشد، در این نمودار چهار ناحیه اصلی وجود دارد که با سه خط از یکدیگر تفکیک شده است و بصورت زیر آمده است :

ناحیه اول زیر خط $a-a$ قرار دارد که شامل یک جریان پایدار لزج، بدون جدایش، و عملکرد نسبتاً خوبی می باشد. همانطور که از روی نمودار هم دیده می شود، این نکته را باید در نظر داشت که یک دیفیوزر، حتی با طول خیلی کوتاه، به شرطی که زاویه کل واگرایی آن بزرگتر از ۲۰ درجه باشد، باز هم دچار جدایش، یا به عبارتی واماندگی خواهد شد. بنابراین می توان گفت که خط $a-a$ بر اساس موقعیت اولین واماندگی محسوس و قابل ارزیابی تعریف و ترسیم شده است. به بیانی دیگر این خط مکان هندسی نقاطی می باشد که در آن نقاط، دیفیوزر شروع به جدایش یا واماندگی می کند. با توجه به اینکه شیب خط $a-a$ منفی می باشد، این خط نشان می دهد که مثلاً برای طراحی دیفیوزری با دیواره های راست و داشتن جریانی در ناحیه غیروامانده، مختصات طول و زاویه واگرایی

آن، باید زیر این خط قرار گیرد، یعنی هر چقدر طول را بزرگتر انتخاب می کنیم می بایست از زاویه واگرایی کوچکتری در طراحی استفاده کنیم، و بر عکس در طولهای کوچکتر می توان زوایای واگرایی بزرگتر را انتخاب کرد، و اینکه چه طول با چه زاویه ای مورد نیاز است به راحتی می توان از روی نمودار شکل (۲-۵)، دیفیوزرهای مستقیم را طراحی کرد.

دومین ناحیه زیر خط $b-b$ قرار دارد که شامل ناحیه وامانده گذرا، همراه با جریان شدیداً ناپایدار می باشد. به عبارتی چون خط $b-b$ مرز بین انتقال جریان، از حالت وامانده گذرا به حالت وامانده کاملاً توسعه یافته می باشد، بنابراین این خط مکان هندسی نقاطی می باشد که در آن نقاط، دیفیوزر وارد جریان ناپایدار کاملاً توسعه یافته شده و در پایین دست دچار جدایی و برگشت جریان می شود. نکته مهم این است که بهترین عملکرد دیفیوزر و به تعبیری بالاترین مقدار ضریب فشار C_p در این ناحیه اتفاق می افتد.



شکل ۲-۵- رژیمهای جریان در دیفیوزرهای مستقیم دوبعدی

سومین ناحیه بین خطوط $b-b$ و $c-c$ قرار دارد و مربوط به جریان وامانده یکنواخت یا کاملاً توسعه یافته است، که این الگوی واماندگی تنها روی یک دیواره است و البته ممکن است از روی یک دیواره به دیواره دیگر منتقل شود که همین امر باعث کاهش عملکرد دیفیوزر می شود.

چهارمین ناحیه بالای خط $c-c$ قرار دارد و شامل جریان جت می شود. در واقع این خط مکان هندسی نقاطی می باشد که در آن نقاط جریان سیال از روی هر دو دیواره دیفیوزر جدا می شود و فرآیند جریان از میان دیفیوزر مثل یک جت آزاد می شود. این نکته مهم را باید در نظر داشت که عملکرد دیفیوزر در این ناحیه به شدت کاهش می یابد و به کمترین مقدار خود می رسد.

حال با توجه به نمودار شکل (۲-۵) و کارهای انجام شده، نکاتی را بصورت زیر می توان بیان کرد:

افزایش اغتشاش جریان در ورودی دیفیوزر می تواند باعث تأثیر در جابجایی خط $b-b$ شود، که این مسأله بوسیله داده های مور [۲۷] نیز تأیید شده است. در واقع نتایج [۲۷] نشان می دهد که اغتشاش در ورودی، یک اثر قوی و مؤثر روی خط $b-b$ می گذارد. این امر باعث افزایش زاویه شروع واماندگی کاملاً توسعه یافته برای کلیه مقادیر $\frac{L}{W1}$ آزمایش شده می شود.

نتایج بدست آمده در مرجع [۲] نیز بیان می کند که طراحی دیفیوزر با مقادیر بزرگ $\frac{L}{W1}$ ظاهراً هیچ مزیتی ندارد و بنابراین عملکرد بهتر را می توان با مقادیر متوسط و متعادل تر $\frac{L}{W1}$ بدست آورد. می توان گفت که حالت $N = 0$ در دیفیوزر مطابق با یک جت آزاد است که تمایل به جدایش ناگهانی در گوشه ها دارد و طبق تعریف تمایل دارد که در رژیم جریان جت باشد.

حالت هندسی $2\theta = 180^\circ$ و $L \neq 0$ را حالت انبساط ناگهانی در دیفیوزر گویند.

ابوت^{۲۱} [۲۸] نشان داد که برای انبساط ناگهانی در دیفیوزرها، اگر $\frac{L}{W1} > 0.5$ و $2\theta = 180^\circ$

باشد، دو واماندگی طولی نا برابر در مجرا بوجود می آید و باعث اتصال بین این واماندگیها می شود.

²¹-Abbott

این مطابق با وجود عدم تقارن در ناحیه وامانده کاملاً توسعه یافته برای مقادیر بزرگ $\frac{L}{W1}$ در جریانهای دیفیوزر است. برای حالت $\frac{L}{W1} < 0.5$ واماندگی روی دیواره های مربوط به انبساط ناگهانی از حالت جفت بودن خارج شده و از نظر اندازه با هم برابر می شوند. در این حالت جریان اصلی به سمت پایین مرکز کانال عمل می کند. این رژیم جریان در واقع مطابقت دارد با رژیم جریان جت که در شکل (۵-۲) نشان داده شد. بخشهای مفصلتر این الگوهای جریان در مرجع [۲۸] آمده است.

۵-۲- تشریح رژیمهای جریان در دیفیوزرهای خمیده

در اینجا می خواهیم اثرات انحنای دیفیوزرها را روی رژیمهای جریان بررسی کنیم، با در نظرگرفتن این نکته که تنها تفاوت رژیمهای جریان در دیفیوزرهای خمیده با دیفیوزرهای مستقیم، در این است که در اینجا حتی برای زوایای کوچک انحنای دیفیوزر، موقعیت رژیم جریان جت وجود ندارد.

اگر خطوط $a-a$ و $b-b$ را که قبلاً در رژیمهای جریان تعریف کردیم، به عنوان معیاری در نظر بگیریم، جابجایی در این خطوط بر حسب تابعی از زاویه انحنای β در شکل (۴-۲) و (۶-۲) نشان داده شده است. همانطور که از شکل (۴-۲) دیده می شود، تغییرات زاویه خمیدگی برای زوایای 30° درجه و کمتر از آن، تأثیر چندان مهمی روی خط $a-a$ ندارد. برای زاویه $\beta = 40^\circ$ ، این خط برای مقادیر خیلی کوچک $\frac{N}{W1}$ ، به اندازه خیلی جزئی به سمت پایین می آید. این نشان می دهد که محدوده رژیم جریان پایدار و غیر وامانده که مربوط به زیر خط $a-a$ می باشد، برای دیفیوزرهای خمیده با $\frac{N}{W1}$ کوچک و $\beta = 40^\circ$ محدودتر شده است. به عبارتی برای این نوع دیفیوزرها، همانطور که از شکل هم پیداست، شروع نقطه ناپایداری، برای $\frac{N}{W1}$ برابر ۲ الی ۳، در زاویه واگرایی کل ۱۲ درجه اتفاق می افتد، در حالیکه برای $\beta \leq 30^\circ$ این محدوده تا $2\theta = 20^\circ$ ادامه دارد. اگر باز هم زاویه

خمیدگی را زیاد کنیم، میزان پایین آمدن خطوط در سمت چپ، بیشتر می شود و تبدیل به منحنی های قله مانند می شوند. با افزایش بیشتر انحنای نقاط ماکزیمم این منحنی ها به سمت راست جابجا می شود. البته این را نیز باید دانست که برای محدوده $50^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ تعیین دقیق اثرات از روی داده های حاضر مشکل است.

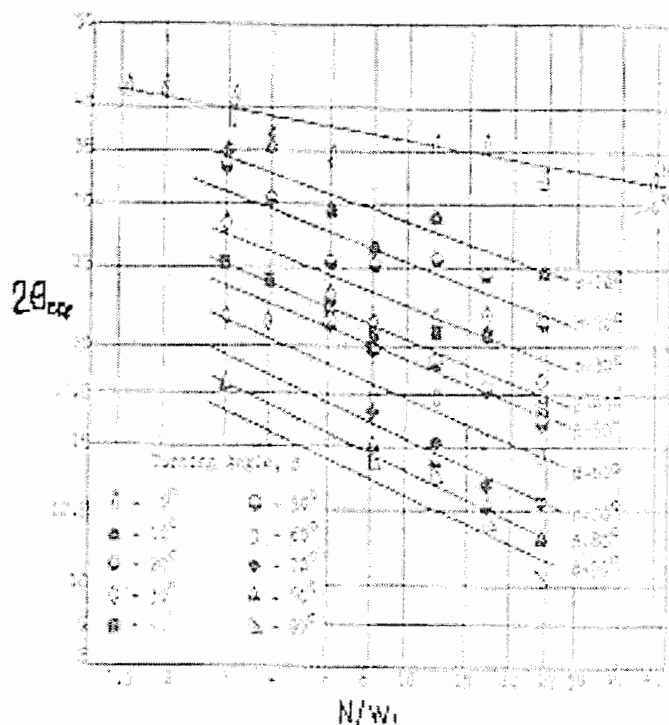
خط پیوسته ای که نقاط ماکزیمم این منحنی ها را به هم وصل می کند، در شکل (۲-۴) بصورت خط نقطه چین نشان داده شده است. این خط تقریباً به خطی که در آن نسبت سطح دیفیوزر ثابت است، نزدیک می باشد و دارای شیب تقریبی $1/2$ - است. نسبت سطح در طول این خط بین مقادیر $1/8$ تا $1/9$ در تغییر است. در واقع اگر بخواهیم تعریف دقیقی از این خط داشته باشیم باید بگوییم این خط ماکزیمم پخش را برای مینیمم $\frac{N}{W1}$ ، برای یک β مشخص، در یک مجرای بدون واماندگی بیان می کند.

در شکل (۲-۶) نیز موقعیت تحول به ناحیه وامانده کاملاً توسعه یافته، یعنی جابجایی در خط $b-b$ برای انحنای مختلف دیفیوزر دیده می شود که با افزایش در زاویه خمیدگی، این خطوط به موازات هم به سمت پایین جابجا می شوند.

حال با توجه به آنچه گفتیم ذکر این نکته لازم است که بطورکلی در دیفیوزرهای خمیده، اختلاف اساسی در الگوهای جریان، تنها در نقطه شروع اولین واماندگی محسوس، یعنی الگوی جریان در خط $a-a$ می باشد.

در مورد گرادیان فشار در دیفیوزرهای خمیده باید گفت که جدا شدن و نزول خط $a-a$ در مقادیر کوچک $\frac{N}{W1}$ که در هندسه دیفیوزرهای خمیده و در سمت چپ خط نقطه چین از شکل (۲-۴) مشاهده می شود، به نظر می رسد که بخاطر وجود گرادیان فشار معکوس روی دیواره داخلی، (که ناشی از انحنای مسیر جریان می باشد) در پایین دست گلوگاه دیفیوزر باشد. این گرادیان فشار، برای دیفیوزرهای خمیده، به دلیل همان انحنای مسیر، بزرگتر است از آنچه در دیفیوزرهای مستقیم

معادل با مشخصات هندسی Ar و $\frac{N}{W_1}$ و 2θ یکسان وجود دارد. همانطور که از روی شکل (۲-۴) هم پیداست، اگر از روی ابتدای یک منحنی دلخواه با β مشخص، به طور افقی در 2θ ثابت به سمت راست حرکت کنیم و به خط نقطه چین نزدیک شویم، تا رسیدن به $\frac{N}{W_1}$ های متوسط، مرتب از خط مربوط به اولین واماندگی جریان فاصله می گیریم، یعنی شرایط جریان در دیفیوزر بهتر می شود. علت این امر این است که در واقع برای یک دیفیوزر با زاویه خمیدگی ثابت، هر چه طول را زیاد کنیم، شعاع خط مرکز دیفیوزر کمتر می شود، و هر چه انحنای مجرا کمتر شود، اثر گرادیان فشار معکوس روی دیواره کمتر می شود و منجر به بهتر شدن شرایط جریان می شود. این نکات در طراحی مجراهای غیر مستقیم مهم است و می بایست در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۶- موقعیت جابجایی در خط $b-b$ بر حسب تابعی از زاویه خمیدگی β

۲-۶- جدایش جریان در دیفیوزرها

یکی از عوامل محدود کننده عملکرد انواع مختلف دستگاهها و ماشینهای سیال، مسأله جدایش جریان و تلفات ناشی از آن و کم شدن کارایی آنها می باشد. بنابراین در مهندسی سیالات لازم و ضروری است برای نقاطی که ممکن است جدایش جریان در آن رخ دهد، روشی برای پیش بینی عملکرد تعیین گردد تا بتوان حتی الامکان از این پدیده جلوگیری کرد.

بطور عمومی معیارهای جدایشی که برای لایه های مرزی دو بعدی و تراکم ناپذیر دائم استفاده شده اند به سه گروه تقسیم شده اند: گروه اول براساس مقدار ضریب اصطکاک روی دیواره است. با توجه به اینکه در لحظه شروع جدایش اندازه تنش برشی صفر و در جریان برگشتی مقدار آن منفی می شود، همچنین با توجه به رابطه مستقیمی که بین تنش برشی و ضریب اصطکاک وجود دارد، می توان گفت که مقدار ضریب اصطکاک در نقطه جدایش صفر و در جریان برگشتی منفی می باشد. گروه دوم بر اساس توزیع فشار در جریان آزاد، بنا شده است. و بالاخره گروه سوم بر اساس پارامترهای شکل می باشد که پروفیل سرعت را در لایه مرزی توصیف می کند. برای تعیین و ارزیابی پارامترهای شکل، روشهای مختلفی وجود دارد، ولی ساده ترین روشی که دامنه استفاده از آن بیشتر از روشهای دیگر است، روش ضریب شکل $h = \frac{\delta^*}{\theta}$ است که مربوط به وان دان هاف^{۲۲} [۲۹] می باشد. شکل (۲-۷) حدود ضریب شکل را برای جریان آرام و شکل (۲-۸) حدود آنرا برای جریان درهم نشان می دهد.

از طرفی سندبورن^{۲۳} [۳۰] نشان داد که معیار جدایش بر اساس دو پارامتر است. یکی ضریب

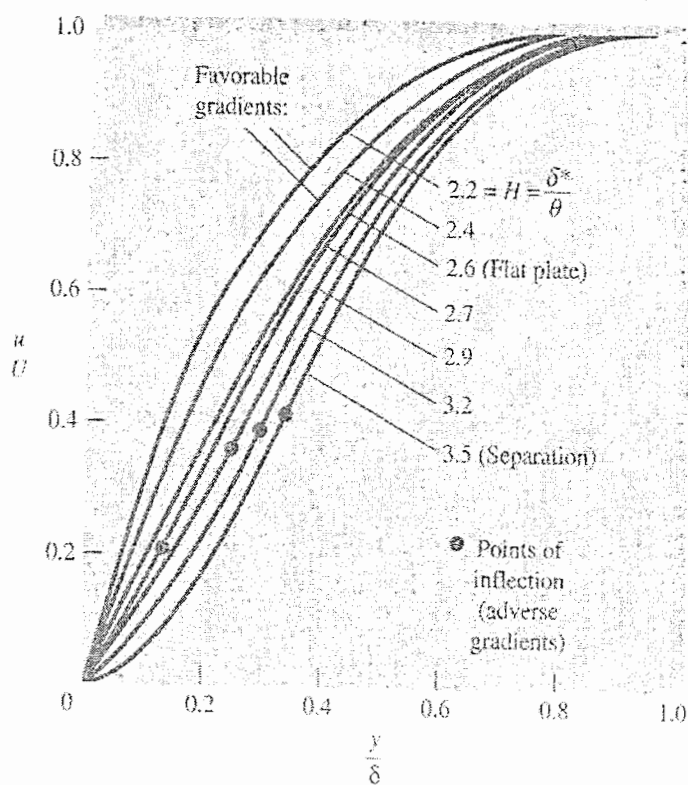
شکل h و دیگری پارامتر گرادیان فشار یعنی $(\frac{du}{dx})(\frac{\theta^2}{\nu})$. هر یک از این معیارها، محل نقطه جدایش

را برای جریانهای خارجی، تقریباً با صحت یکسانی پیش بینی می کند. معمولاً مفاهیم قراردادی برای

^{۲۲}- Von doenhoff-teter vin

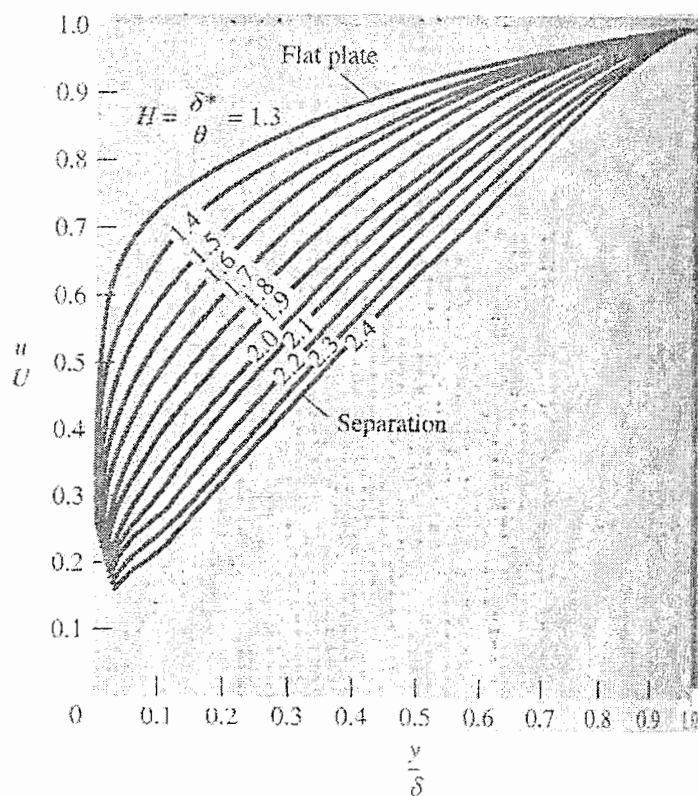
^{۲۳}- Sand born

لایه های مرزی جریانهای داخلی که همراه با جدایش جریان می باشند نامناسب و غیر قابل اجراست. نزدیک نقطه جدایش، گرادیان فشار طبیعی بسوی دیواره، بی اهمیت و ناچیز نیست و تنشهای برشی نزدیک دیواره در این نقطه متفاوت از حالت لایه های مرزی مغشوش معمولی است. پدیده جدایش جریان اغلب غیر دائمی است و با اتلاف انرژی همراه است.



شکل ۲-۷- حدود ضریب شکل برای جریان آرام

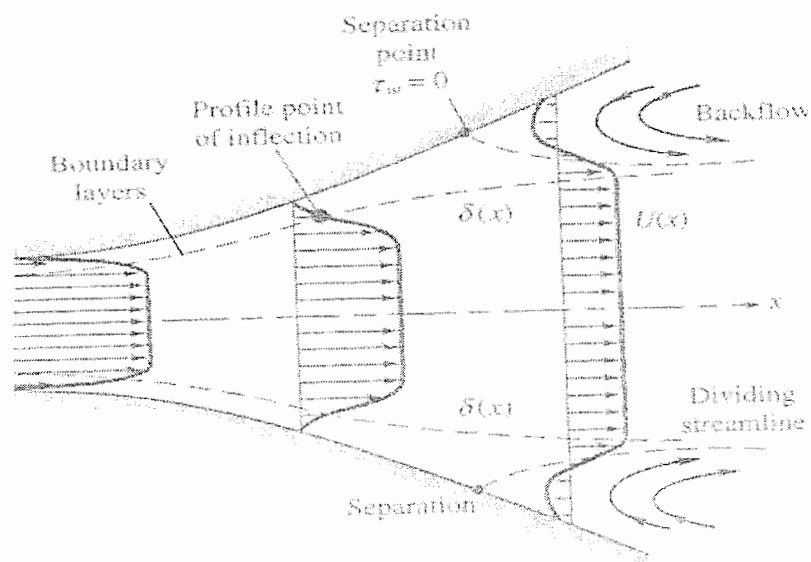
طبق رابطه تنش برشی، گرادیان سرعت بطور مستقیم با تنش برشی متناسب است. یعنی وقتی در نقطه جدایش مقدار تنش برشی صفر می شود، نشان از این است که مقدار گرادیان سرعت در آن



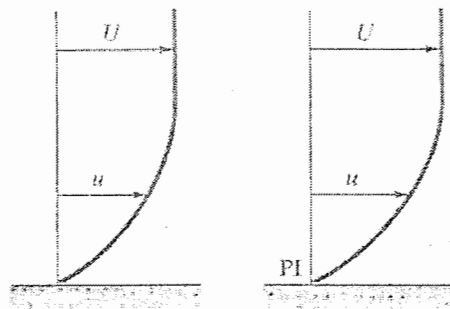
شکل ۲-۸- حدود ضریب شکل برای جریان درهم

نقطه صفر است. شکل‌های (۲-۹) و (۲-۱۰) به ترتیب شروع جدایش را داخل یک دیفیوزر و روی یک صفحه تخت نشان می‌دهد. همانطور که از این شکلها نیز پیداست، قبل از رسیدن به نقطه جدایش گرادیان سرعت و در نتیجه تنش برشی مثبت است. با نزدیک شدن به نقطه شروع جدایش، گرادیان سرعت به سمت صفر نزدیک می‌شود و یا به عبارتی شیب پروفیل سرعت به سمت بینهایت میل می‌کند و در نتیجه مقدار تنش برشی روی دیواره نیز صفر می‌شود و می‌توان گفت که سیال بطور تقریبی از روی سطح جدا می‌شود. بعد از نقطه جدایش، معمولاً پدیده بازگشت جریان، یا جریان برگشتی بوجود می‌آید، که در این حالت مقدار گرادیان سرعت و به تبع آن تنش برشی منفی می‌شود و می‌توان گفت که شیب پروفیل سرعت نیز منفی است.

اگر بخواهیم در مورد عوامل پدیده جدایش بحث کنیم باید گفت که این پدیده بطور کلی بر اثر دو عامل و یا ترکیب آنها بوجود می آید: یکی گرادیان فشار معکوس و دیگری بر اثر انحنای مسیر جریان (مسیر محدب). اثر انحنای مسیر در دیفیوزرهای خمیده نسبت به عامل گرادیان فشار معکوس اهمیت بیشتری دارد و می بایست برای جلوگیری از جدایش جریان و تلفات ناشی از آن، روشهایی را در نظر گرفت. چرا که تلفات ناشی از جدایش جریان در دیفیوزرها باعث کاهش کارایی و عملکرد آنها می شود. روشهای مختلفی برای جلوگیری از این پدیده وجود دارد که استفاده از هر کدام از این روشها بستگی به شرایط طراحی و کاربرد دیفیوزر دارد. ما در اینجا به تعدادی از این روشها اشاره ای می کنیم.

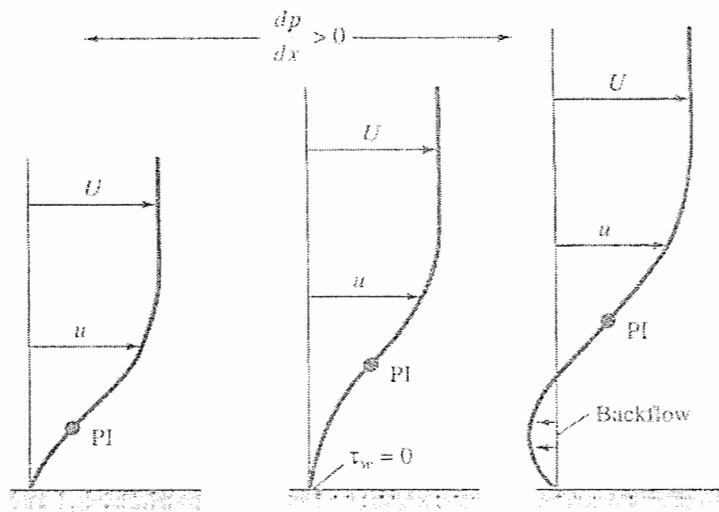


شکل ۹-۲- شکل پروفیل سرعت در شروع جدایش جریان داخل دیفیوزر



(a) Favorable gradient:
 $\frac{dU}{dx} > 0$
 $\frac{dp}{dx} < 0$
 No separation,
 PI inside wall

(b) Zero gradient:
 $\frac{dU}{dx} = 0$
 $\frac{dp}{dx} = 0$
 No separation,
 PI at wall



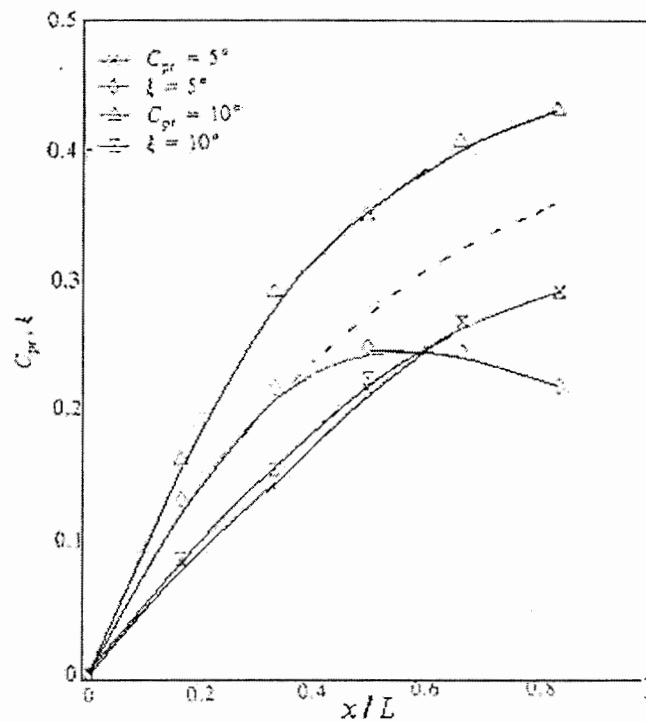
(c) Weak adverse gradient:
 $\frac{dU}{dx} < 0$
 $\frac{dp}{dx} > 0$
 No separation,
 PI in the flow

(d) Critical adverse gradient:
 Zero slope at the wall:
 $\tau_w = 0$
Separation

(e) Excessive adverse gradient:
 Backflow at the wall.
 Separated flow region

شکل ۲-۱۰- شکل پروفیل سرعت در شروع جدایش جریان روی صفحه

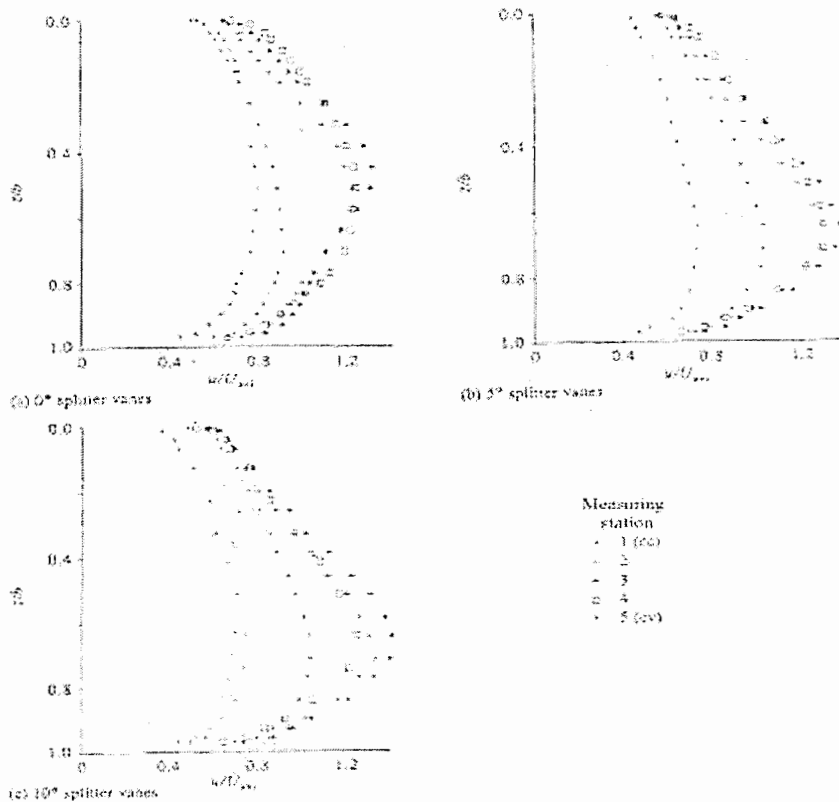
دیفیوزر می شود. در واقع پره ها، طوری تحت زاویه، و در مسیر جریان قرار گرفته اند که جریان را به سوی دیواره محدب دیفیوزر هدایت می کنند و می توان گفت که با نیروی گریز از مرکز ناشی از انحنا دیفیوزر مقابله می کنند و به همین علت باعث جلوگیری از جدایش جریان و افزایش عملکرد دیفیوزر می شوند.



شکل ۲-۱۱- مقایسه بازیافت فشار استاتیک و ضریب اتلاف فشار کل

شکل (۲-۱۲) تأثیر زاویه پره را در دیفیوزر خمیده با سیال هوا و نسبت سطح $3/4$ و زاویه چرخش 90° بر پروفیل‌های سرعت ورودی، برای پنج مقطع مشخص و سه جهت مختلف پره های شکافنده نمایش می دهد. این پره ها در جهت ساعتگرد با زاویه های صفر و 5° و 10° طوری قرار گرفته اند که جریان را به سوی دیواره محدب دیفیوزر هدایت می کند. در شکل (۲-۱۲-ا) پروفیل‌های سرعت متقارن می باشند که مربوط به حالتی است که پره ها تحت زاویه صفر باشند. برای حالت‌های

۵ و ۱۰ درجه، حداکثر سرعت، کمی به سوی دیواره پایینی جابجا شده است، که این تغییرات ممکن است ناشی از منحرف شدن جریان توسط پره ها باشد.



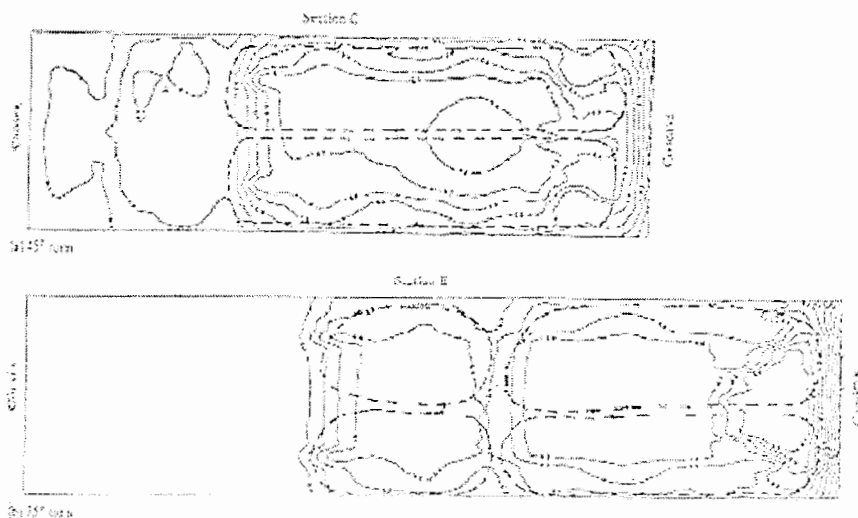
شکل ۲-۱۲- تأثیر زاویه پره بر پروفیل سرعت ورودی در دیفیوزر خمیده

در شکلهای (۲-۱۳) تا (۲-۱۵) کانتورهای سرعت در دو مقطع ۴۵ و ۷۵ درجه دیفیوزر و سه حالت نصب پره ها در زاویه های صفر و ۵ و ۱۰ درجه نشان داده شده است. شکل (۲-۱۳) نشان می دهد که جریان سرعت بالا تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز به سمت دیواره مقعر حرکت می کند. این جریانهای ثانویه، سیال با انرژی پایین را، از دیواره مقعر به سمت دیواره محدب، در طول دیواره های موازی حرکت می دهد. تأثیر وجود پره های شکافنده در کانتورهای سرعت مخصوصاً در شکل (۲-۱۵-ا) کاملاً واضح است.

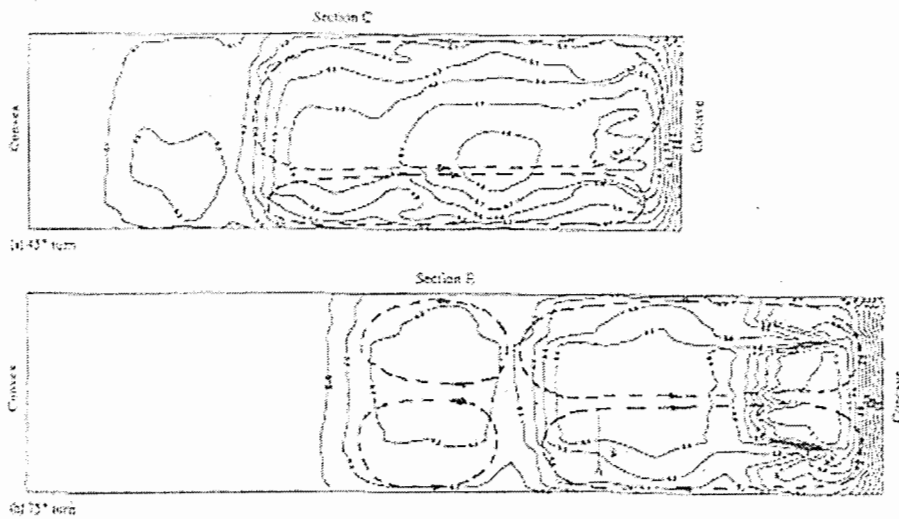
همانطور که از روی شکل کانتورهای سرعت مشخص است، حرکت سیال بسوی دیواره های مقعر، باعث بوجود آمدن حرکت‌های گردابی می شود، که جهت چرخش آنها خلاف جهت یکدیگر است، و در طول مدت زمانی که این گردابه ها تولید می شوند، بخاطر اتلاف انرژی، کارایی دیفیوزر رو به کاهش می رود. بطور کلی می توان گفت که اتلاف انرژی ناشی از جریانهای گردابی، به همراه اتلاف ناشی از جدایش جریان، باعث کاهش کارایی عملکرد دیفیوزر می شود.

شکل (۲-۱۴) نشان می دهد که حضور پره های شکافنده جریان در حالت ۵ درجه، تأثیر چندانی در توزیع جریان در مجرای دیفیوزر، در مقایسه با حالت صفر درجه ندارد. به عبارتی، توزیع جریان برای این دو حالت تقریباً یکسان است .

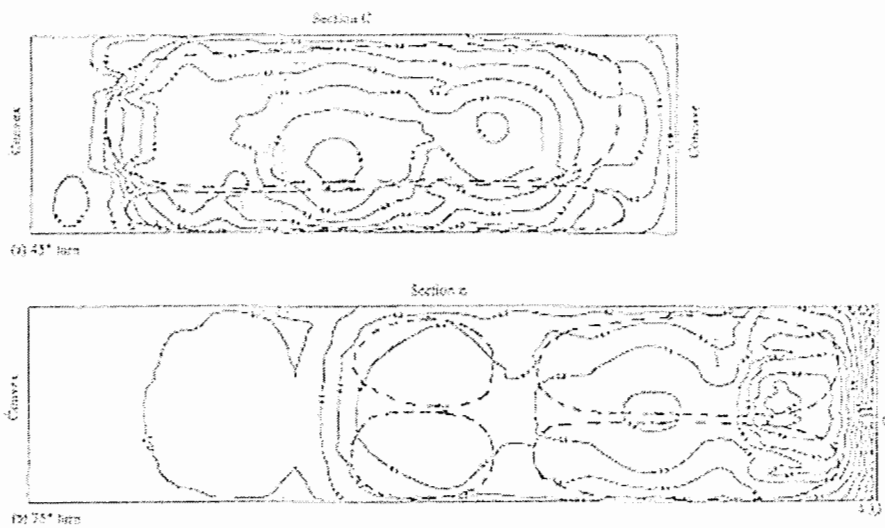
شکل (۲-۱۵-a) نشان می دهد که توزیع جریان نزدیک دیواره محدب در مقایسه با حالت‌های صفر و ۵ درجه اصلاح شده است. به عبارتی در این شکل، منطقه ای که در آن سیال کم انرژی، نزدیک دیواره محدب قرار دارد، کوچکتر شده است. همچنین این شکل بیان می کند که نصب پره ها تحت زاویه ۱۰ درجه، قادر است جریان را تا مقطع ۴۵ درجه خمیدگی بعد از ورودی، بسوی دیواره محدب منحرف کند .



شکل ۲-۱۳- کانتورهای سرعت در حالت نصب پره ها تحت زاویه صفر درجه



شکل ۲-۱۴- کانتورهای سرعت در حالت نصب پره ها تحت زاویه ۵ درجه



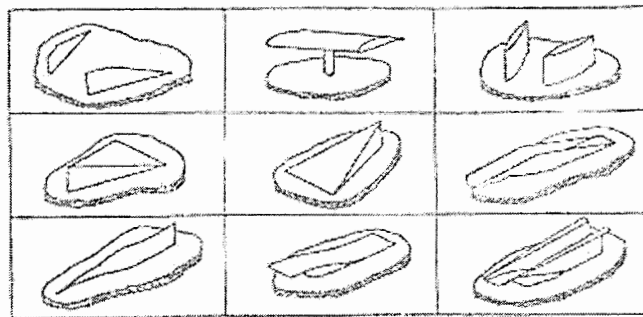
شکل ۲-۱۵- کانتورهای سرعت در حالت نصب پره ها تحت زاویه ۱۰ درجه

۲-۷-۲- استفاده از مولدهای ورتکس^{۲۶}

مولدهای ورتکس که شامل تیغه های کوچکی می باشند، وسیله های ممکن دیگری هستند که برای جلوگیری از جدایش جریان بیشتر در دیفیوزرهای مستقیم استفاده می شوند. مولدهای

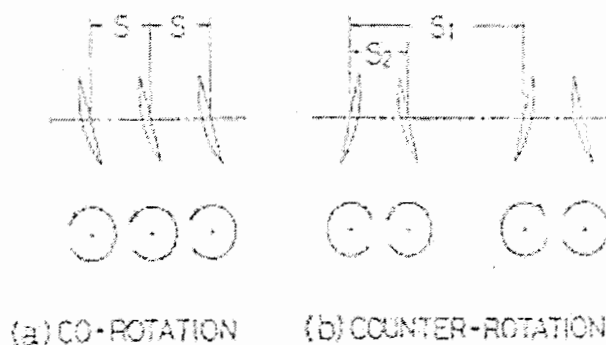
²⁶- Vortex generators

ورتکس در واقع شامل مجموع زیادی از جفت تیغه ها می باشد که در شکل (۲-۱۶) انواع مختلف آنها نشان داده شده است. اگر مولدهای ورتکس، در یک جریان، روی دیواره نصب شوند، بواسطه قرارگرفتن آنها در مقابل جریان، یک خط اثر گردابه ای بوجود می آید. اگر گردابه ها در مقطع پایین دست جریان، نزدیک دیواره باقی بمانند، مؤلفه های سرعت ایجاد شده که عمود بر دیواره هستند، با یک مکانیزم مفید و کارآمد، باعث حرکت لایه مرزی از روی دیواره می شود و به جریان نزدیک دیواره، نیرویی وارد می کند و به این ترتیب باعث به تأخیر انداختن و یا جلوگیری از جدایش لایه مرزی از روی دیواره، در گرادیان فشار معکوس می شوند. همچنین می توان گفت که مولدهای ورتکس در افزایش میزان انتقال حرارت نیز مؤثرند.



شکل ۲-۱۶- شکل هندسی انواع مختلف تیغه ها

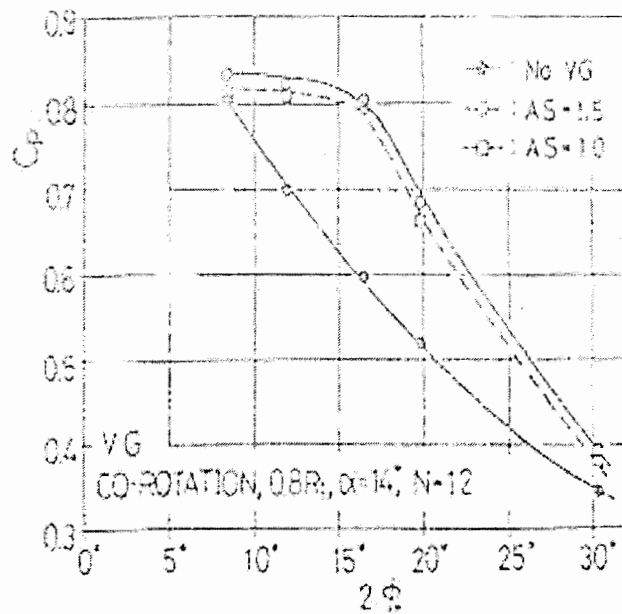
شکل (۲-۱۷) دو نوع متفاوت ترتیب قرارگیری تیغه ها را نشان می دهد. یکی نوع هم جهت که شامل تیغه های با فواصل برابر است و دیگری نوع غیر هم جهت که در آن دو تیغه مجاور، بصورت متقارن قرار گرفته اند. مولدهای ورتکس شامل مجموع زیادی از جفت تیغه ها می باشد. از آزمایشها اینطور بدست آمده که یکی از بهترین حالات برای استفاده از مولدهای ورتکس به این صورت است که تعداد تیغه ها ۱۲ عدد، زاویه کارگذاری تیغه ها ۱۴ درجه نسبت به محور لوله و محل نصب آنها در بالاست جریان، در مقطعی با قطر ۸-۳ برابر قطر ورودی و تیغه ها بصورت هم جهت باشد.



شکل ۲-۱۷- حالات قرار گیری تیغه ها

تأثیر مولدهای ورتکس روی دیفیوزرهای مخروطی، برای پنج حالت مختلف، با زاویه واگرایی ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۳۰ درجه آزمایش و بررسی شده است [۳۱]. در تمامی حالتها نسبت سطح برای هر دیفیوزر برابر ۴ است. در واقع، در این آزمایش، اثر عوامل مختلفی چون ترتیب قرارگیری تیغه ها، ضخامت لایه مرزی، محل قرار گیری مولدهای ورتکس و تعداد آنها، روی ضریب بازیافت فشار بررسی شده است.

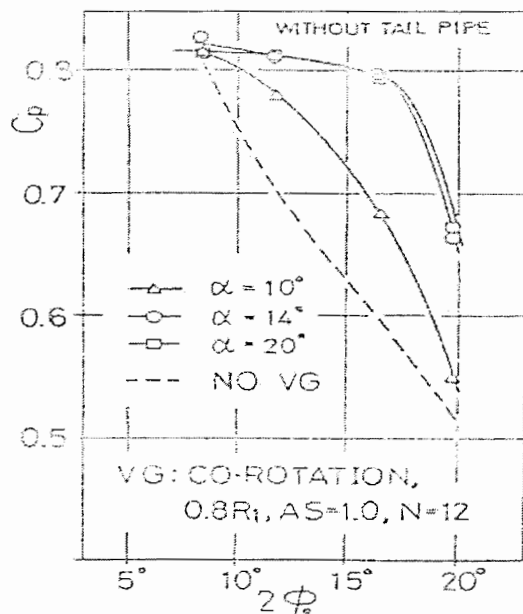
نتایج آزمایش برای بازیافت فشار استاتیک دیفیوزر در دو حالت وجود و عدم وجود تیغه های مولد ورتکس در شکل (۲-۱۸) با هم مقایسه شده است. این شکل به خوبی نشان می دهد که مقدار بازیافت فشار، در حالتی که مولدهای ورتکس وجود دارد بیشتر از حالت دیگر است. از روی شکل بدست می آید که حتی مقدار ضریب فشار برای دیفیوزرهایی با مولدهای ورتکس و زاویه واگرایی ۱۶ درجه، به بزرگی حالتی است که دیفیوزر، بدون تیغه های مولد ورتکس و با زاویه واگرایی ۸ درجه عمل می کند. همچنین نتایج آزمایش نشان می دهد که با استفاده از مولدهای ورتکس، حتی تا زاویه واگرایی ۱۶ درجه نیز، جریان در دیفیوزر دچار جدایش نمی شود.



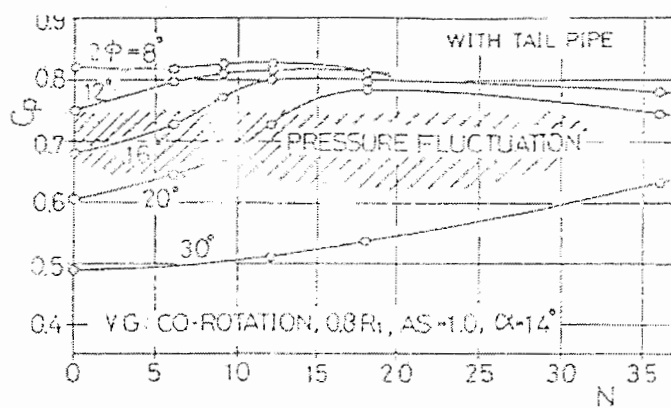
شکل ۲-۱۸- بازیافت فشار استاتیک در دو حالت وجود و عدم وجود تیغه ها

تأثیر زاویه قرارگیری تیغه ها در بازیافت فشار، برای دیفیوزرهای مخروطی، با زاویه های واگرایی مختلف، در شکل (۲-۱۹) نشان داده شده است. در این شکل نتایج استفاده از تیغه ها در سه راستای مختلف، نسبت به محور دیفیوزر، برای حالت های ۱۰، ۱۴ و ۲۰ درجه آمده است و به خوبی واضح است که با افزایش در زاویه نصب تیغه ها، تا زاویه ۲۰ درجه، مقدار ضریب فشار نیز افزایش می یابد. نتایج برای دو حالت زاویه نصب ۱۴ و ۲۰ درجه تقریباً بر هم منطبق است.

تأثیر تعداد تیغه ها در ضریب بازیافت فشار نیز در شکل (۲-۲۰) آمده است. همانطور که از این شکل پیداست، برای زاویه واگرایی ۸ درجه، استفاده از مولدهای ورتکس، اثر چندانی در بازیافت فشار ندارد، ولی برای زوایای واگرایی بالاتر، همراه با افزایش شدید بازیافت فشار است، تا آنجا که مقدار آن تقریباً برابر مقدار ضریب بازیافت فشار مربوط به حالت زاویه واگرایی ۸ درجه می شود. با زیاد تر شدن تعداد تیغه ها، بازیافت فشار با یک کاهش جزئی مواجه می شود، که شاید علت آنرا بتوان در این دانست که افزایش بیش از حد تعداد تیغه ها، مانعی در مقابل عبور جریان می شود.



شکل ۲-۱۹- اثر زاویه کارگذاری تیغه ها نسبت به محور دیفیوزر



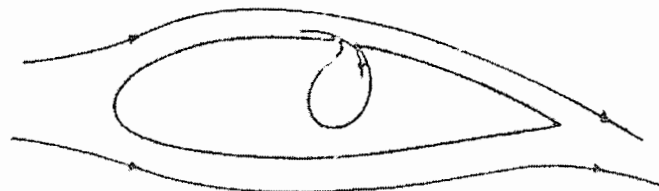
شکل ۲-۲۰- اثر تعداد تیغه های مولد ورتکس

۲-۷-۳- استفاده از مکش^{۲۷}

استفاده از مکش جریان برای کنترل لایه مرزی، روش دیگری می باشد که می توان برای جلوگیری از جدایش جریان استفاده کرد. این روش بیشتر در جریان های خارجی و بخصوص در

²⁷- suction

جریان های عبوری از روی ایروفویلها کاربرد دارد و همانطور که از شکل (۲-۲۱) هم واضح است می توان برای کنترل لایه مرزی، روی یک ایرفویل مفید و کارآمد باشد. در این روش با ایجاد سوراخهای بسیار ریز روی سطح مورد نظر، با استفاده از یک مکنده می توان یک مکش پیوسته ای روی سطح ایجاد کرد. این سطح مکش، لایه مرزی را به سمت خود می کشد و می تواند به راحتی مانع جدا شدن سیال از روی سطح شود و حتی قادر است جدایش لایه مرزی را تا انتهای سطح به تأخیر اندازد. همین کار را می توان برای دیفیوزرها نیز انجام داد. با توجه به اینکه در دیفیوزرهای خمیده، جریان به خاطر سرعت بالا و نیروهای گریز از مرکز حاصل از انحنای مسیر، معمولاً متمایل به سمت دیواره مقعر است و روی دیواره محدب عموماً جدایش جریان رخ می دهد، بنابراین می توان با ایجاد یک سطح مکش روی دیواره محدب، جریان را به سمت این دیواره کشاند و جدایش را تا حدی به تأخیر انداخت. محدودیتی که در این روش وجود دارد و دامنه استفاده از این روش را کاهش می دهد، توان لازمی است که برای ایجاد این مکش باید تولید شود و فراهم کردن این توان نیز خود محدودیتهایی دارد.



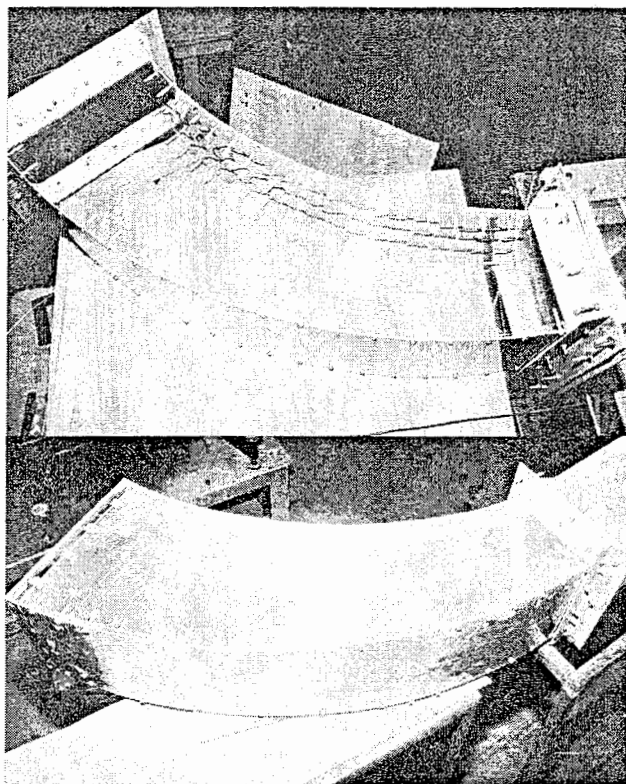
شکل ۲-۲۱- جلوگیری از جدایش با استفاده از مکش لایه مرزی

۲-۷-۴- استفاده از فینهای^{۲۸} هدایت کننده جریان

فینهای هدایت کننده جریان نیز از وسایل مفیدی هستند که جهت افزایش کارایی و جلوگیری از جدایش جریان، بیشتر در دیفیوزرهای خمیده استفاده می شوند. همانطور که از شکل (۲-۲۲) دیده می شود، فینها صفحات خمیده و باریکی هستند که روی دیواره های محدب و مقعر، در

²⁸- Fins

پایین و بالا، به فاصله کمی از کف و سقف دیفیوزر نصب می شوند و از ورودی تا خروجی دیفیوزر ادامه دارند و به راحتی می توانند جریان را در راستای مجرای دیفیوزر هدایت کنند.



شکل ۲-۲۲- اثر فینهای هدایت کننده جریان و مقایسه آن با حالت بدون فین [۳۵]

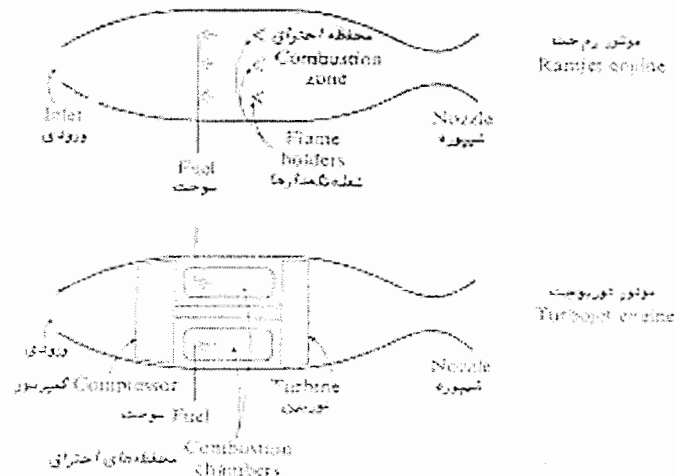
۲-۸- کاربردهای دیفیوزر

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، دیفیوزرها نقش مهمی را در جهان صنعتی ایفا می کنند. از آنها در بسیاری از سیستمهای مهندسی مکانیک مثل کمپرسورها، پمپها، ونتوری مترها، سیستمهای مجرایبی و... که در آنها به نحوی با سیال سروکار دارد استفاده می شود و متناسب با کاربرد آنها، در اشکال و اندازه های مختلف طراحی و ساخته می شوند. در اینجا به دو نمونه از کاربردهای آن اشاره ای می کنیم.

۲-۸-۱- موتور جت

در یک موتور با پیش برندگی جت که هوا وارد آن می شود، نیروی پیش برنده به جلو، از طریق شتاب دادن به جریان هوا تأمین می شود. در توربو جت و رم جت، ابتدا هوا متراکم می شود و انرژی حاصل از احتراق یک سوخت، به آن افزوده می شود و محصولات از طریق یک شیبوره همگرا-واگرا در خروجی موتور شتاب داده می شود و در سرعت زیاد دفع می شود، که شکل (۲-۲۳) شماتیک آنرا نشان می دهد.

در واقع از دیفیوزر به عنوان ورودی یک موتور جت استفاده می شود که باید هوای ورودی به موتور را که سرعت زیادی دارد، قبل از ورود به کمپرسور محوری (در توربو جت) و یا اتاق احتراق (در رم جت) آهسته و فشرده نماید. مقدار افزایش فشار استاتیک که از آهسته کردن جریان در دیفیوزر حاصل می شود، در عملکرد موتور جت نقش تعیین کننده ای دارد، چرا که فشار هوای ورودی به شیبوره تا حد زیادی تعیین کننده مقدار سرعت در خروجی شیبوره است. در مجموع می توان گفت که هرگونه افت انرژی (یا افت فشار سکون) در دیفیوزر یا هر قسمت دیگری از موتور، اثرات زیانباری روی کارکرد موتور دارد.

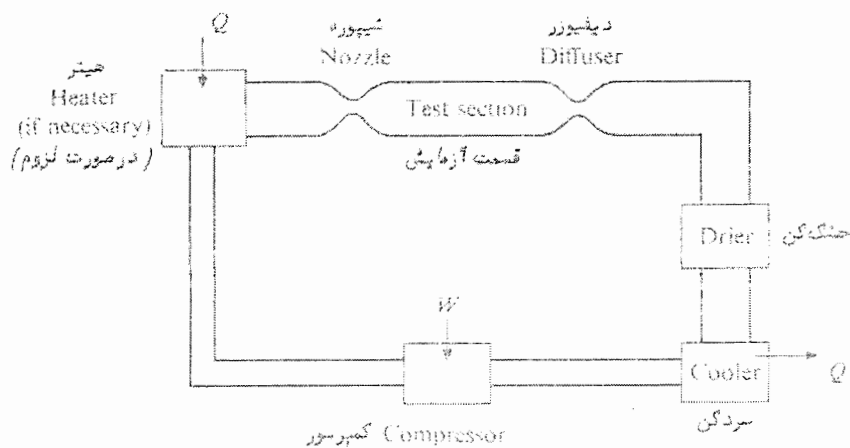


شکل ۲-۲۳- شکل شماتیک توربو جت و رم جت

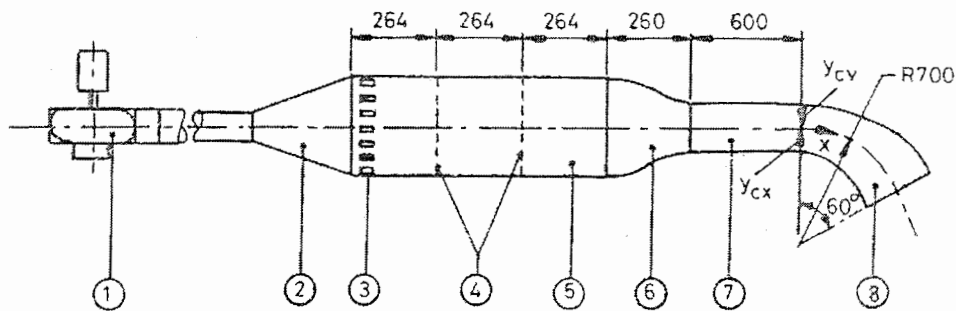
۲-۸-۲- تونل باد فرا صوت و مادون صوت

در تونل باد هدف این است که یک قطعه آزمایشی را در شرایط جریانی که در پرواز واقعی متحمل خواهد شد، قرار دهیم. بوجود آوردن یک جریان فرا صوت یکنواخت در قسمت آزمایش و تداوم این جریان به مدت کافی مستلزم بکارگیری قدرت زیادی است. در این حالت می توان از یک دیفیوزر فرا صوت به منظور بازیابی فشار سیال، بعد از قسمت آزمایش استفاده کرد. این دیفیوزر باعث بهبود عملکرد و نیز کاهش قدرت مورد نیاز در تونل باد خواهد شد. در یک تونل باد با سیکل بسته پیوسته، می توان شرایط آزمایش را تقریباً بطور نامحدودی تأمین کرد. در واقع برای تقویت فشار که بعد از قسمت آزمایش تا حدی کاهش یافته است و رساندن آن تا فشار سکون ورودی، از کمپرسور استفاده می شود. طبیعی است که هرچه بازیافت فشار بعد از قسمت آزمایش بیشتر باشد قدرت مورد نیاز کمپرسور کمتر خواهد بود.

در شکل (۲-۲۴) شماتیک یک تونل باد فراصوت با سیکل بسته و پیوسته نشان داده شده است. از دیفیوزر، در تونل باد مادون صوت نیز استفاده می شود که نمونه ای از آن با ذکر جزئیات، در شکل (۲-۲۵) آمده است که برخلاف تونل باد فراصوت، دارای سیکل باز است.



شکل ۲-۲۴- تونل باد فرا صوت با سیکل بسته



1. Centrifugal Blower 2. Diffuser 3. Honey Comb 4. Nylon Screen
5. Settling Chamber 6. Contraction 7. Test section 8. Curved Diffuser

شکل ۲-۲۵- شماتیک تونل باد مادون صوت با سیکل باز

چون در ساخت تونل باد افت فشار مهم است و از طرفی استفاده از دیفیوزر در تونل باد الزامی است، لذا می بایست در طراحی دیفیوزر، طول و زاویه آن طوری محاسبه شود که مقدار افت فشار به کمترین مقدار خود برسد. معمولاً افت فشار در دیفیوزر بر اثر دو عامل بوجود می آید :

الف : افت طولی ناشی از اصطکاک سطحی جریان.

ب : افت ناشی از جدایی جریان که در اثر تغییر در گرادیان فشار، ناشی از تغییر تدریجی

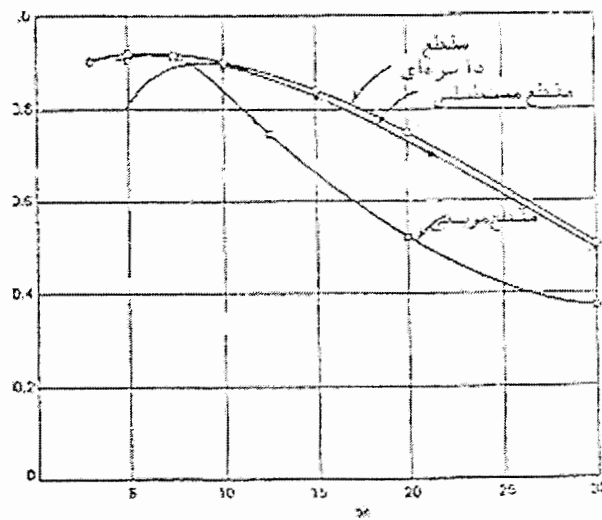
سطح مقطع بوجود می آید.

افت فشار ناشی از جدایی جریان مهمتر از افت طولی می باشد که آنرا می توان با کنترل زاویه واگرایی دیفیوزر به حداقل رساند . یک زاویه کوچک واگرایی مستلزم طول بزرگ و در نتیجه یک افت زیاد ناشی از طول می باشد و از طرفی طول کوتاه مستلزم زاویه واگرایی بزرگ و در نتیجه افت شدید ناشی از جدایش جریان است. بنابراین باید بین طول کوتاه و زاویه کوچک، حالت بهینه ای طراحی شود تا کمترین میزان افت فشار حاصل شود .

با توجه به عملکرد دیفیوزر که بر حسب زاویه واگرایی در شکل (۲-۲۶) آمده است، واضح

است که مثلاً اگر بخواهیم از دیفیوزری با مقطع مربعی در تونل باد استفاده کنیم، عملکرد

ماکزیمم در زاویه $2\theta = 7^\circ$ بدست می آید. بنابراین در دیفیوزرهای با مقطع مربعی، زاویه واگرایی $\theta = 3.5^\circ$ نسبت به بقیه زوایا مناسبتر است. لازم به ذکر است که عواملی چون ضخامت لایه مرزی در مقطع ورودی دیفیوزر بر عملکرد آن اثر خواهد گذاشت. از طرفی طول دیفیوزر را هم می بایست با توجه به فضایی که داریم محاسبه کنیم.



شکل ۲-۲۶- عملکرد تئوری دیفیوزر بر حسب زاویه واگرایی

فصل سوم

معادلات اساسی

۳-۱- معادلات حاکم بر جریان در دیفیوزرها

برای تشریح جریان در دیفیوزرها از دو معادله پیوستگی و پروفیل سرعت کولیس و همچنین دو معادله دیفرانسیل انتگرالی مومنوم و تداخلی استفاده شده است. متغیرهای وابسته اصلی در این معادلات عبارتند از انسداد گذرگاه ($B = \delta^* / W$) و کسر انسداد لایه مرزی ($A = \delta^* / \delta$). همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، دیفیوزرها بر اساس شکل هندسی به انواع مختلفی تقسیم شده اند که ما در اینجا پنج نوع آنرا مورد بررسی قرار می دهیم و معادلات جریان را برای آنها حل می کنیم. این پنج نوع دیفیوزر عبارتند از:

- ۱- دیفیوزر دوبعدی یا دووجهی (مقطع مستطیلی) با دیواره هایی مستقیم.
 - ۲- دیفیوزر مخروطی (مقطع دایره ای) با دیواره هایی مستقیم.
 - ۳- دیفیوزر حلقوی شکل (مقطع به شکل یک حلقه دایره ای) با دیواره هایی مستقیم.
 - ۴- دیفیوزر دوبعدی یا دووجهی (مقطع مستطیلی) با دیواره های منحنی و خط مرکز مستقیم.
 - ۵- دیفیوزر مخروطی (مقطع دایره ای) با دیواره های منحنی و خط مرکز مستقیم.
- مطابق با آنچه که لایر و باردینا^{۲۹} بدست آوردند، معادله انتگرالی مومنوم و معادله تداخلی را برای لایه های مرزی، می توان به فرم خلاصه زیر نشان داد: [۳۲]

²⁹- Lyrio , Bardina

$$a_{11} \frac{dB}{dx} + a_{12} \frac{dA}{dx} = b_{11} \quad (1-1-3)$$

$$a_{21} \frac{dB}{dx} + a_{22} \frac{dA}{dx} = b_{21} \quad (2-1-3)$$

که ضرایب a_{11} ، a_{12} ، a_{21} ، a_{22} ، b_{11} ، b_{21} بستگی به نوع دیفیوزر دارد و مقادیر آن برای پنج نوع

دیفیوزر فوق در جدول (۱-۳) آمده است. از حل معادلات فوق می توان مقادیر $\frac{dB}{dx}$ و $\frac{dA}{dx}$ را به

صورت زیر بدست آورد.

$$\frac{dB}{dx} = \frac{a_{22}b_{11} - a_{12}b_{21}}{a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}} \quad (3-1-3)$$

$$\frac{dA}{dx} = \frac{a_{21}b_{11} - a_{11}b_{21}}{a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22}} \quad (4-1-3)$$

در اینجا مقدار ضریب اصطکاک C_f ، به فرم زیر محاسبه می شود:

$$C_f/2 = (kV_T)^2$$

که k ثابت فون کارمن و مقدار آن برابر 0.41 می باشد. همچنین V_T سرعت برشی بی بعد و توسط رابطه زیر داده شده است:

$$V_T = 0.44(1 - 2A)^{0.885} \left(\frac{Re^*}{A}\right)^{-0.115} \quad (5-1-3)$$

که در رابطه فوق Re^* عدد رینولدز است که بر حسب δ^* یعنی ضخامت جابجایی تعریف می شود.

از حل معادلات (۳-۱-۳) و (۴-۱-۳) می توان متغیرهای A و B را بدست آورد، که برای روش

حل از روش پیشروی جلو برنده به کمک روش رانج کوتای مرتبه چهارم استفاده شده است.

همچنین E نرخ تداخلی است که برای محاسبه آن چندین روش وجود دارد که هر کدام نسبت

به دیگری مزیتی دارد. در اینجا سعی شده است تا معادله پیشنهادی لایر به خاطر دقت و سادگی آن

مورد استفاده قرار گیرد. این معادله به فرم زیر است:

$$E = 0.0083(1 - A)^{-2.5} \quad (6-1-3)$$

نرخ تداخلی بوسیله سه عامل، محدود می شود، چرا که اولاً در ناحیه جدایش، همبستگی میان لایه

مرزی و جریان پتانسیل همیشه دقیق نیست و ثانیاً مجموع ضخامت‌های لایه مرزی نمی تواند از عرض دیفیوزر تجاوز کند. اگر نرخ تداخلی در ناحیه جدایش خیلی بزرگ باشد، باعث کاهش ضریب شکل و افزایش ضریب اصطکاک از مقدار منفی به مقدار صفر می شود و جریان جدا شده بطور غیر نرمال، دوباره با دیواره تماس می گیرد. از طرفی اگر نرخ تداخلی خیلی پایین باشد ممکن است جریان شتاب بگیرد و باعث کاهش ضریب فشار شود. در واقع این محدودیتها باعث جلوگیری از پیدایش احتمالات نامطلوب می شود. این محدودیتها عبارتند از:

الف : حد پایین تر نرخ تداخلی که در نظر گرفتن آن باعث جلوگیری از شتاب گرفتن جریان می شود. نرخ تداخلی در این حد از رابطه زیر بدست می آید:

$$E = a_{21} \frac{1-A}{A} W \frac{dB}{dx} \quad (7-1-3)$$

و هنگامی استفاده می شود که $\frac{dW}{dx} > 0$ است. از مقادیر بدست آمده از دو معادله (3-1-6) و (3-1-7)

مقدار بزرگتر، قابل قبول است. هنگامیکه این حد فعال است داریم:

$$\frac{dB}{dx} = \frac{1-2B}{2} \frac{1}{W} \frac{dW}{dx} \quad (8-1-3)$$

$$\frac{dA}{dx} = \frac{1-H}{C_1 B} \frac{1}{2W} \frac{dW}{dx} \quad (9-1-3)$$

ب : حد بالاتر نرخ تداخلی که در نظر گرفتن آن باعث جلوگیری از برگشت نادرست و غیرنرمال جریان جدا شده به سمت دیواره می شود. نرخ تداخلی در این حد از رابطه زیر بدست می آید:

$$E = (a_{21} \frac{dB}{dx} - a_{22} \frac{dA}{dx}) \frac{(1-A)}{A} BW \quad (10-1-3)$$

و نیز هنگامی استفاده می شود که $\frac{dW}{dx} > 0$ است. از مقادیر بدست آمده از دو معادله (3-1-6) و

(3-1-10) مقدار بزرگتر، قابل قبول است. هنگامیکه این حد فعال است داریم:

$$\frac{dB}{dx} = \frac{b_{11}}{a_{11}} \quad (11-1-3)$$

$$\frac{dA}{dx} = (a_{11} \frac{dB}{dx} - b_{11}) / C_1 \quad (12-1-3)$$

ج: حد سوم را به این صورت تعریف می کنند که مجموع ضخامت لایه های مرزی نمی تواند از عرض

دیفیوزر بزرگتر باشد. این حد که در همه جا باید در نظر گرفته شود، بصورت زیر بیان می شود:

$$\frac{\delta^*}{W} \leq \frac{\delta^*}{2\delta} \quad \text{or} \quad 2B \leq A \quad (13-1-3)$$

جدول ۱-۳- مقادیر ضرایب موجود در معادلات

ضریب	نوع دیفیوزر	معادلات
a_{11}	۴،۳،۱	$1 - H + c_2 + 2B(2 - H + \xi / A) / B(1 - 2B)$
a_{11}	۵،۲	$1 - H + c_2(hB) + B(5 - 3H + 2\xi / A) / B(1 - 2B)$
a_{12}	۵،۴،۳،۲،۱	$-C_1$
a_{21}	۴،۳،۱	$\frac{1}{B(1 - 2B)}$
a_{21}	۵،۲	$\frac{1 + B}{B(1 - B)}$
a_{22}	۵،۴،۳،۲،۱	$-\frac{1}{A(1 - A)}$
b_{11}	۴،۳،۱	$\frac{C_f / 2}{BW} + (2 - H + \xi / A) \frac{1}{W} \frac{dW}{dx}$
b_{11}	۵،۲	$\frac{C_f}{Bd} + (4 - 2H + 2\xi / A + C_2) \frac{1}{d} \frac{d(d)}{dx}$
b_{12}	۴،۳،۱	$\frac{EA}{BW(1 - A)}$
b_{12}	۵،۲	$\frac{2EA}{Bd(1 - A)}$

که در جدول فوق ضرایب C_1 و C_2 به ترتیب عبارتند از:

$$C_1 = 1.5 - 0.321 \frac{V_r^2}{A} + \frac{(0.115 - 2A)}{A} * (0.179 + 0.642 \frac{V_r}{A}) (0.3 + 0.4A) (R_e^*)^{-0.115}$$

$$C_2 = 0.115 V_r (0.179 + 0.642 \frac{V_r}{A})$$

و ξ مربوط به تصحیح انحنای خط جریان است و مقدار آن برابر 0.15 می باشد.

۲-۳- مدل جریان مرکزی

برای حل معادلات قبل فرض می کنیم که جریان مرکزی در دیفیوزر، یک جریان پتانسیل (بدون لزجت) باشد که می تواند رفتاری شبیه رفتار جریان چشمه شعاعی و یک بعدی داشته باشد. برای یک جریان دائم، تراکم ناپذیر و یک بعدی، دبی جریان بوسیله رابطه زیر تعیین می شود:

$$Q = u.A_e \quad (1-2-3)$$

که A_e سطح مؤثر است و به ترتیب برای دیفیوزرهای دووجهی، مخروطی و حلقوی بصورت زیر تعریف می شود:

$$\begin{aligned} A_e &= (W - 2\delta^*) . D \\ A_e &= \pi(d - 2\delta^*)^2 / 4 \\ A_e &= 2\pi R(W - 2\delta^*) \end{aligned} \quad (2-2-3)$$

که D در رابطه اولی عمق دیفیوزر دووجهی می باشد. شرط پیوستگی جریان مستلزم این است که دبی جریان ثابت باشد. همچنین اگر لایه های مرزی متقارن باشند و نسبتهای ظاهری دیفیوزر به اندازه کافی بزرگ باشد، (مقدار عمق دیفیوزر نسبت به عرض آن بزرگ باشد) می توان از اثرات لایه های مرزی انتهای دیواره های جانبی چشم پوشی کرد.

با توجه به اینکه وظیفه اصلی یک دیفیوزر بازیافت فشار می باشد، بنابراین برای ارزیابی دیفیوزرها نسبت به یکدیگر از مقدار ضریب بازیافت فشار استفاده می کنیم. ضریب فشار بالاتر نشان از عملکرد بهتر دیفیوزر می دهد.

ضریب فشار دیفیوزر بصورت زیر تعریف می شود:

$$C_p = \frac{p - p_1}{\frac{1}{2} \rho u_1^2} = 1 - \left(\frac{u}{u_1}\right)^2 \quad (3-2-3)$$

بنابراین لازم است که مقدار $\frac{u}{u_1}$ را برای پنج نوع دیفیوزر مورد نظر به کمک معادله پیوستگی بدست

آوریم.

چون Q در طول جریان ثابت است ، معادله پیوستگی به فرم ساده زیر نوشته می شود:

$$\frac{u}{u_1} = \frac{A_{e_1}}{A_e} \quad (4-2-3)$$

با جایگذاری معادلات (3-2-2) در معادله (3-2-4) می توانیم برای دیفیوزرهای مختلف مقدار $\frac{u}{u_1}$ را

بر حسب پارامترهای هندسی بدست آوریم.

برای دیفیوزرهای دوجبهی خواهیم داشت :

$$\frac{u}{u_1} = \frac{(W_1 - 2\delta_1^*)}{(W - 2\delta^*)} = \frac{1}{W_N} \cdot \frac{1 - 2B_1}{1 - 2B} \quad (5-2-3)$$

که در آن $B = \frac{\delta^*}{W}$ و $W_N = \frac{W}{W_1}$ می باشد.

برای دیفیوزرهای مخروطی خواهیم داشت :

$$\frac{u}{u_1} = \frac{(d_1 - 2\delta_1^*)^2}{(d - 2\delta^*)^2} = \left(\frac{1}{d_N} \frac{1 - 2B_1}{1 - 2B}\right)^2 \quad (6-2-3)$$

که در آن $B = \delta^* / d$ و $d_N = d / d_1$ می باشد.

و بالاخره برای دیفیوزرهای حلقوی مطابق شکل (3-3) خواهیم داشت :

$$R = \left(x \cos \frac{\theta}{2} + \frac{R_1}{\sin \gamma}\right) \sin \gamma \quad (7-2-3)$$

که در رابطه بالا $\theta = \phi_o - \phi_i$ و $\gamma = \frac{\phi_o + \phi_i}{2}$ است.

$$\frac{u}{u_1} = \frac{2\pi R_1 \left(\frac{W_1}{2} - 2\delta_1^*\right)}{2\pi R \left(\frac{W}{2} - 2\delta^*\right)} = \frac{1}{R_r} \frac{W_1 - 4\delta_1^*}{W - 4\delta^*} = \frac{1}{R_r} \frac{1}{W_N} \frac{1 - 4B_1}{1 - 4B} \quad (8-2-3)$$

که $W_N = \frac{W}{W_1}$ و $B = \frac{\delta^*}{W}$ و همچنین:

$$R_r = \frac{R}{R_1} = \left(\frac{x_N}{R_1 / W_1} \cos \frac{\theta}{2} + \frac{1}{\sin \gamma}\right) \sin \gamma \quad (9-2-3)$$

۳-۳- روابط هندسی

برای حل معادلات و بدست آوردن ضرایب در معادله انتگرالی مومنوم لازم است که ابتدا مقدار عرض دیفیوزر (W) و مشتق آن نسبت به فاصله پایین دست جریان (dW/dx) محاسبه شود که برای این کار از روابط هندسی دیفیوزر برای حالات مختلف کمک می‌گیریم.

الف: دیفیوزرهای دووجهی با دیواره‌های مستقیم: با توجه به شکل (۱-۳) عرض دیفیوزرهای

دووجهی مستقیم را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

$$W = 2\theta(X + X_0) = 2\theta\left(X + \frac{W_1}{2\sin\theta}\right) \quad (1-3-3)$$

اگر رابطه فوق را با W_1 بی‌بعد کنیم خواهیم داشت:

$$W_N = \frac{W}{W_1} = \theta\left(2X_N + \frac{1}{\sin\theta}\right) \quad (2-3-3)$$

که همان مقدار بی‌بعد عرض دیفیوزر است و در آن $X_N = \frac{X}{W_1}$ است.

با مشتق‌گیری از رابطه (۲-۳-۳) نسبت به X_N می‌توانیم مقدار مشتق بی‌بعد را بدست آوریم:

$$\frac{dW_N}{dX_N} = 2\theta \quad (3-3-3)$$

ب: دیفیوزرهای مخروطی با دیواره‌های مستقیم: با توجه به شکل (۲-۳) عرض دیفیوزرهای

مخروطی مستقیم را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

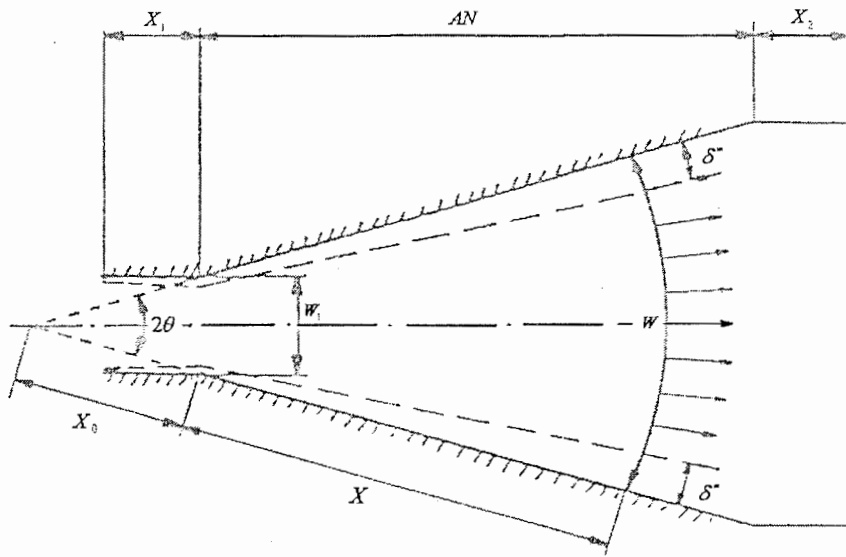
$$d = 2\theta(x + x_0) = 2\theta\left(x + \frac{d_1}{2\sin\theta}\right) \quad (4-3-3)$$

اگر رابطه فوق را بوسیله d_1 بی‌بعد کنیم خواهیم داشت:

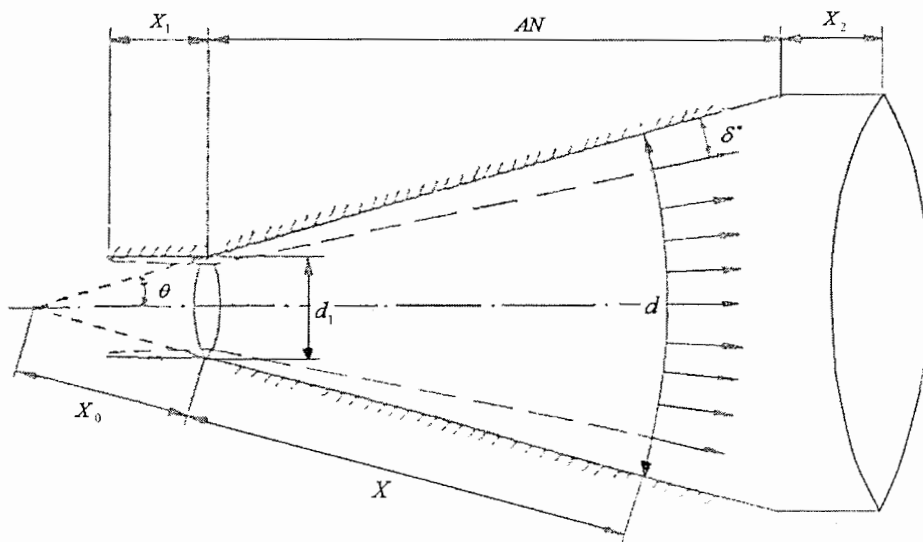
$$d_N = \frac{d}{d_1} = \theta\left(2x_N + \frac{1}{\sin\theta}\right) \quad (5-3-3)$$

و سرانجام با مشتق‌گیری از رابطه فوق خواهیم داشت:

$$\frac{d(d_N)}{dx_N} = 2\theta \quad (6-3-3)$$



شکل ۱-۳- دیفیوزر دووجهی با دیواره های مستقیم



شکل ۲-۳- دیفیوزر مخروطی با دیواره های مستقیم

ج: دیفیوزرهای حلقوی با دیواره های مستقیم: با توجه به شکل (۳-۳) عرض دیفیوزرهای حلقوی مستقیم را می توان بصورت زیر بیان کرد:

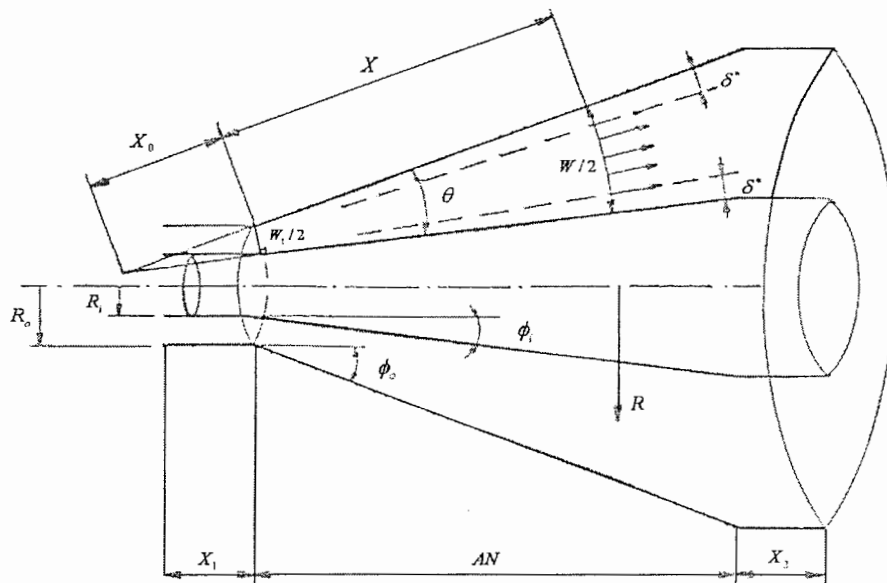
$$\frac{W}{2} = \theta \left(x + \frac{W_1}{2 \sin \theta} \right) \quad (7-3-3)$$

اگر رابطه فوق را بوسیله W_1 بی بعد کنیم خواهیم داشت:

$$W_N = \theta \left(2x_N + \frac{1}{\sin \theta} \right) \quad (8-3-3)$$

و سرانجام با مشتق گیری از رابطه فوق خواهیم داشت:

$$\frac{dW_N}{dx_N} = 2\theta \quad (9-3-3)$$



شکل ۳-۳- دیفیوزر حلقوی با دیواره های مستقیم

د: دیفیوزرهای دووجهی با دیواره های منحنی در امتداد خط مرکز مستقیم: شکل (۴-۳) یک دیفیوزر با دیواره های خمیده را نشان می دهد که برای این حالت، دیفیوزر با مقدار عرض آن در هر نقطه (W_c) که بر حسب تابعی از فاصله در امتداد خط مرکز (N_c) مشخص شده است بیان می شود. از شکل (۴-۳) می توان عرض مؤثر در مدل جریان چشمه ای (W_N) را بصورت زیر بدست آورد.

با توجه به رابطه $W_N = 2\beta \cdot N_C$ و رابطه $N_C = \frac{W_C / 2}{\sin \beta}$ و ترکیب آنها خواهیم داشت:

$$W_N = 2\beta \frac{W_C / 2}{\sin \beta} \quad (10-3-3)$$

که β شیب خط مماس بر انحنای دیواره در هر نقطه می باشد و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tan \beta = \frac{dW_C}{dN_C} = \frac{dW_C}{dx_N} / \frac{dN_C}{dx_N} \quad (11-3-3)$$

اگر دیواره منحنی شکل دیفیوزر را به قسمتهای کوچکتر که طول هر کدام Δx_i باشد، تقسیم کنیم، بطوریکه هر قسمت را بتوان بطور تقریبی یک خط راست فرض کرد، آنگاه فاصله در طول دیواره دیفیوزر (x_N) را می توان برابر مجموع اندازه این تقسیمات کوچک در نظر گرفت. یعنی:

$$x_N = \sum \Delta x_i \quad (12-3-3)$$

اگر هر قسمت از طول دیواره را بین دو نقطه i و $i+1$ بصورت یک خط راست تقریب بزنیم، طول آن برابر رابطه زیر می شود:

$$\Delta x_i = \sqrt{a^2 + b^2} + \sqrt{a^2 + c^2} \quad (13-3-3)$$

مشتق عرض دیفیوزر نسبت به x_N را می توان با یک روش اختلاف مرکزی، با دقت کافی بصورت زیر بدست آورد:

$$\frac{dW_{N,i}}{dx_N} = \frac{W_{N,i+\Delta\xi} - W_{N,i-\Delta\xi}}{2\Delta\xi} \quad (14-3-3)$$

که $W_{N,i+\Delta\xi}$ و $W_{N,i-\Delta\xi}$ به ترتیب عرض نقاط $i+\Delta\xi$ و $i-\Delta\xi$ می باشد. $\Delta\xi$ نیزگام مورد استفاده

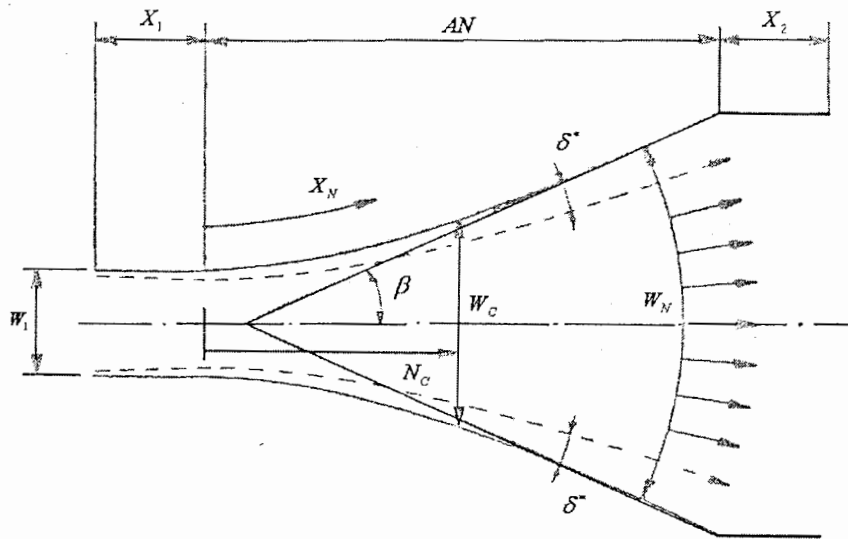
$$\Delta\xi = \frac{1}{256}$$

در روش رانج کوتاه می باشد و بزرگی آن برابر است با:

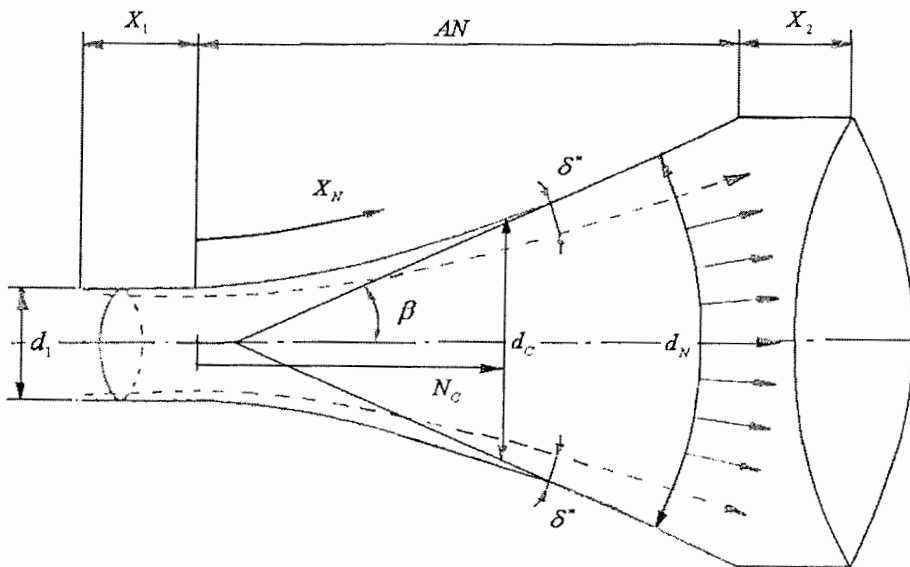
ه: دیفیوزرهای مخروطی با دیواره های منحنی در امتداد خط مرکز مستقیم: روش محاسبات

در این نوع دیفیوزرها دقیقاً شبیه دیفیوزرهای دوجهبی با دیواره های منحنی در امتداد خط مرکز

مستقیم می باشد با این تفاوت که در روابط به جای عرض دیفیوزر می بایست از قطر استفاده کرد.



شکل ۳-۴- دیفیوزر دووجهی با دیواره های خمیده



شکل ۳-۵- دیفیوزر مخروطی با دیواره های خمیده

بنابراین محاسبات را با توجه به شکل (۳-۵) و روابط هندسی دیفیوزر مخروطی می توان بصورت زیر

نوشت.

با توجه به رابطه $d_N = 2\beta.N_C$ و رابطه $N_C = \frac{d_c/2}{\sin \beta}$ و ترکیب آنها خواهیم داشت:

$$d_N = 2\beta \cdot \frac{d_c/2}{\sin \beta} \quad (15-3-3)$$

که β شیب خط مماس بر انحنای دیواره در هر نقطه می باشد و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tan \beta = \frac{d(d_c)}{dN_C} = \frac{d(d_c)}{dx_N} / \frac{dN_C}{dx_N} \quad (16-3-3)$$

باز هم مشتق قطر دیفیوزر نسبت به x_N را می توان مثل قبل با یک روش اختلاف مرکزی، با دقت کافی بصورت زیر بدست آورد:

$$\frac{d(d_{N,i})}{dx_N} = \frac{d_{N,i+\Delta\xi} - d_{N,i-\Delta\xi}}{2\Delta\xi} \quad (17-3-3)$$

که $d_{N,i+\Delta\xi}$ و $d_{N,i-\Delta\xi}$ به ترتیب قطر نقاط $i+\Delta\xi$ و $i-\Delta\xi$ می باشد.

۳-۴- برنامه کامپیوتری

ساختار برنامه ای که در اینجا مورد استفاده قرار گرفته است، بر اساس معادلاتی است که در این فصل گفته شد، و قادر است، پنج نوع دیفیوزری را که در این فصل ارزیابی شد، حل کند. در این بخش توضیحی در مورد ساختار و داده های ورودی و خروجی این برنامه ارائه می شود.

۳-۴-۱- ساختار برنامه

این برنامه علاوه بر یک کد اصلی دارای چهارده زیر برنامه می باشد که به زبان فورترن نوشته شده است. رابطه بین این زیر برنامه ها در شکل (۳-۶) و همچنین فلوجارت کل برنامه در شکل (۳-۷) آمده است. توابع هر کدام از این زیر برنامه ها و عملکرد آنها بصورت زیر است:

readin : این زیر برنامه، داده های ورودی را می خواند و مقادیر اولیه بعضی متغیرهایی که در میان برنامه استفاده می شوند را با فرا خواندن زیربرنامه valset مرتب می کند. همچنین readin زیر برنامه cordin، که مختصات دیواره دیفیوزرهای خمیده را می خواند، فرا خوانی می کند.

outpt : این زیر برنامه داده های محاسبه شده را برای خروجی تولید می کند.

zero : این زیر برنامه در ابتدای محاسبات به جای متغیرها مقدار صفر را بازنشانی می کند.

rkm44 : این زیر برنامه از معادلات دیفرانسیل معمولی به روش رانج کوتا انتگرال گیری می کند.

cordin : این زیر برنامه مختصات دیواره را هنگامیکه دیفیوزر از نوع خمیده باشد، می خواند.

valset : این زیر برنامه مقادیری که در طول یک عملیات محاسباتی ثابت می باشند، مثل داده های ورودی، را محاسبه و یا مرتب می کند.

fp : این زیر برنامه مقادیر $\frac{dA}{dx}$ و $\frac{dB}{dx}$ ، که مورد نیاز زیر برنامه rkm44 هستند را محاسبه می کند. همچنین ضریب بازیافت فشار توسط این زیر برنامه محاسبه می شود.

matcoe : این زیر برنامه ضرایب a_{11} ، a_{12} ، a_{21} ، a_{22} ، b_{11} ، b_{21} را که مورد استفاده زیر برنامه fp می باشد، محاسبه می کند.

sknshp : این زیر برنامه مقادیر ضرایب اصطکاک، شکل و ضخامت ممنتوم و همچنین دو ضریب c_1 و c_2 را که برای محاسبه $\frac{dA}{dx}$ و $\frac{dB}{dx}$ لازم است، محاسبه می کند.

geomry : این زیر برنامه مقدار عرض دیفیوزر و مشتق آنرا نسبت به فاصله از پایین دست جریان محاسبه می کند.

xncal : این زیر برنامه فاصله در امتداد دیواره دیفیوزر خمیده، مطابق با معادله (۳-۳-۱۲) را محاسبه می کند.

entmnt : این زیر برنامه نرخ تداخلی را محاسبه می کند.

Speval , spline : این زیر برنامه ها به کمک روش اسپلاین مربعی، یک خم مناسب برای دیواره دیفیوزرهای خمیده بدست می آورند.

برای این برنامه سیزده نوع داده ورودی لازم است که این داده ها توسط زیر برنامه readin

دریافت می شود. این داده های ورودی عبارتند از:

۱- نوع دیفیوزر (*idiff*) که انتخاب هر کدام با شماره های ۱ تا ۵ مشخص می شود.

- دیفیوزر دوبعدی یا دووجهی (مقطع مستطیلی) با دیواره هایی مستقیم. (۱)

- دیفیوزر مخروطی (مقطع دایره ای) با دیواره هایی مستقیم. (۲)

- دیفیوزر حلقوی شکل (مقطع به شکل یک حلقه دایره ای) با دیواره هایی مستقیم. (۳)

- دیفیوزر دوبعدی یا دووجهی (مقطع مستطیلی) با دیواره های منحنی و خط مرکز مستقیم. (۴)

- دیفیوزر مخروطی (مقطع دایره ای) با دیواره های منحنی و خط مرکز مستقیم. (۵)

۲- زاویه کل واگرایی (2θ). این ورودی تنها برای دیفیوزرهای نوع اول و دوم که دارای دیواره های

مستقیم است، بر حسب درجه داده می شود.

۳- عدد رینولدز ورودی بر اساس عرض یا قطر دیفیوزر (RW_1) که بصورت زیر تعریف می شود:

$$RW_1 = \frac{u_1 w_1}{\nu} \quad \text{برای دیفیوزرهای دووجهی و حلقوی} :$$

$$RW_1 = \frac{u_1 d_1}{\nu} \quad \text{برای دیفیوزرهای مخروطی} :$$

که در روابط بالا u_1 سرعت خط مرکزی در ورودی دیفیوزر، ν لزجت سینماتیکی سیال، w_1 عرض

ورودی و d_1 قطر ورودی دیفیوزر می باشد.

۴- نیمه انسداد گذرگاه در ورودی (B) که بر اساس معادلات زیر بیان می شود:

$$B = \delta_1^* / w_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای دووجهی و حلقوی} :$$

$$B = \delta_1^* / d_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای مخروطی} :$$

که δ_1^* ضخامت جابجایی در ورودی دیفیوزر است.

۵- کسر انسداد لایه مرزی در ورودی دیفیوزر (A) که با رابطه زیر بیان می شود:

$$A_1 = (\delta^* / \delta)_1$$

۶- طول بی بعد کانال در ورودی $(X_1 W_1)$ که با روابط زیر بیان می شود:

$$X_1 W_1 = X_1 / W_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای دووجهی و حلقوی} :$$

$$X_1 W_1 = X_1 / d_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای مخروطی} :$$

۷- طول بی بعد دیفیوزر (ANW_1) . این ورودی تنها برای دیفیوزرهای نوع اول، دوم و سوم داده می شود و بصورت زیر تعریف می شود:

$$ANW_1 = AN / W_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای دووجهی و حلقوی} :$$

$$ANW_1 = AN / d_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای مخروطی} :$$

۸- طول بی بعد کانال در خروجی $(X_2 W_1)$ که با روابط زیر بیان می شود:

$$X_2 W_1 = X_2 / W_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای دووجهی و حلقوی} :$$

$$X_2 W_1 = X_2 / d_1 \quad \text{برای دیفیوزرهای مخروطی} :$$

۹- زاویه واگرایی دیواره داخلی (ϕ_{ii}) . این ورودی تنها برای دیفیوزر حلقوی و بر حسب درجه داده می شود.

۱۰- زاویه واگرایی دیواره خارجی (ϕ_{io}) . این ورودی نیز تنها برای دیفیوزر حلقوی و بر حسب درجه داده می شود.

۱۱- شعاع متوسط و بی بعد در ورودی $(R_1 W_1)$. این ورودی تنها برای دیفیوزر حلقوی لازم است و بصورت زیر تعریف شده است:

$$R_1 W_1 = \left(\frac{R_o + R_i}{2w} \right)_1$$

که R_o و R_i به ترتیب شعاع دیواره های داخلی و خارجی در ورودی دیفیوزر حلقوی می باشد.

۱۲- گام خروجی (dxn) که فاصله میان خروجیهای متوالی است. نتایج خروجی در موقعیتهایی که با رابطه زیر بیان می شود، محاسبه می شوند:

$$XN_i = -X_1 W_1 + dxn.i \quad (i = 1, 2, 3, \dots)$$

۱۳- مختصات دیواره برای دیفیوزر با دیواره های خمیده که بصورت زیر داده می شود.

$npoint$: تعداد نقاط دیواره که در هندسه شکل مشخص شده است.

$anc(j)$: فاصله بی بعد در طول خط مرکز دیفیوزر. ($j = 1, \dots, npoint$)

$wnc(j)$: عرض یا شعاع هندسی بی بعد برای دیفیوزرهای دووجهی یا مخروطی. ($j = 1, \dots, npoint$)

این ورودی فقط برای دیفیوزرهای خمیده لازم است. مختصات $anc(j)$ و $wnc(j)$ همان طول و عرض دیواره منحنی شکل دیفیوزر می باشد که بوسیله عرض یا قطر ورودی (w_1 یا d_1) بی بعد شده اند و بصورت ($wnc(j)$ ، $anc(j)$) وارد می شوند.

برای برنامه در ابتدا لازم است که نوع دیفیوزر مشخص شود و سپس ورودیهای لازم برای آن نوع دیفیوزر خاص وارد شود.

۳-۴-۳- داده های خروجی

این برنامه دارای ۹ داده خروجی است که در موقعیتهای مشخص از دیفیوزر داده شده اند. این

خروجیها عبارتند از:

۱- فاصله بی بعد در طول دیواره دیفیوزر (X/W_1).

۲- فاصله بی بعد در طول محور دیفیوزر (NC).

۳- انسداد لایه مرزی کل (BL) که برای هر مقطع با روابط زیر بیان می شوند:

$BL = 2\delta^* / w$ برای دیفیوزرهای دووجهی:

$BL = 2\delta^* / R$ برای دیفیوزرهای مخروطی:

$BL = 4\delta^* / w$ برای دیفیوزرهای حلقوی:

۴- کسر انسداد لایه مرزی ($lamb$) و برای هر مقطع بصورت زیر تعریف می شود:

$$lamb = \delta^* / \delta$$

۵- ضریب اصطکاک (C_f).

۶- ضخامت جابجایی بی بعد (dst/w_1).

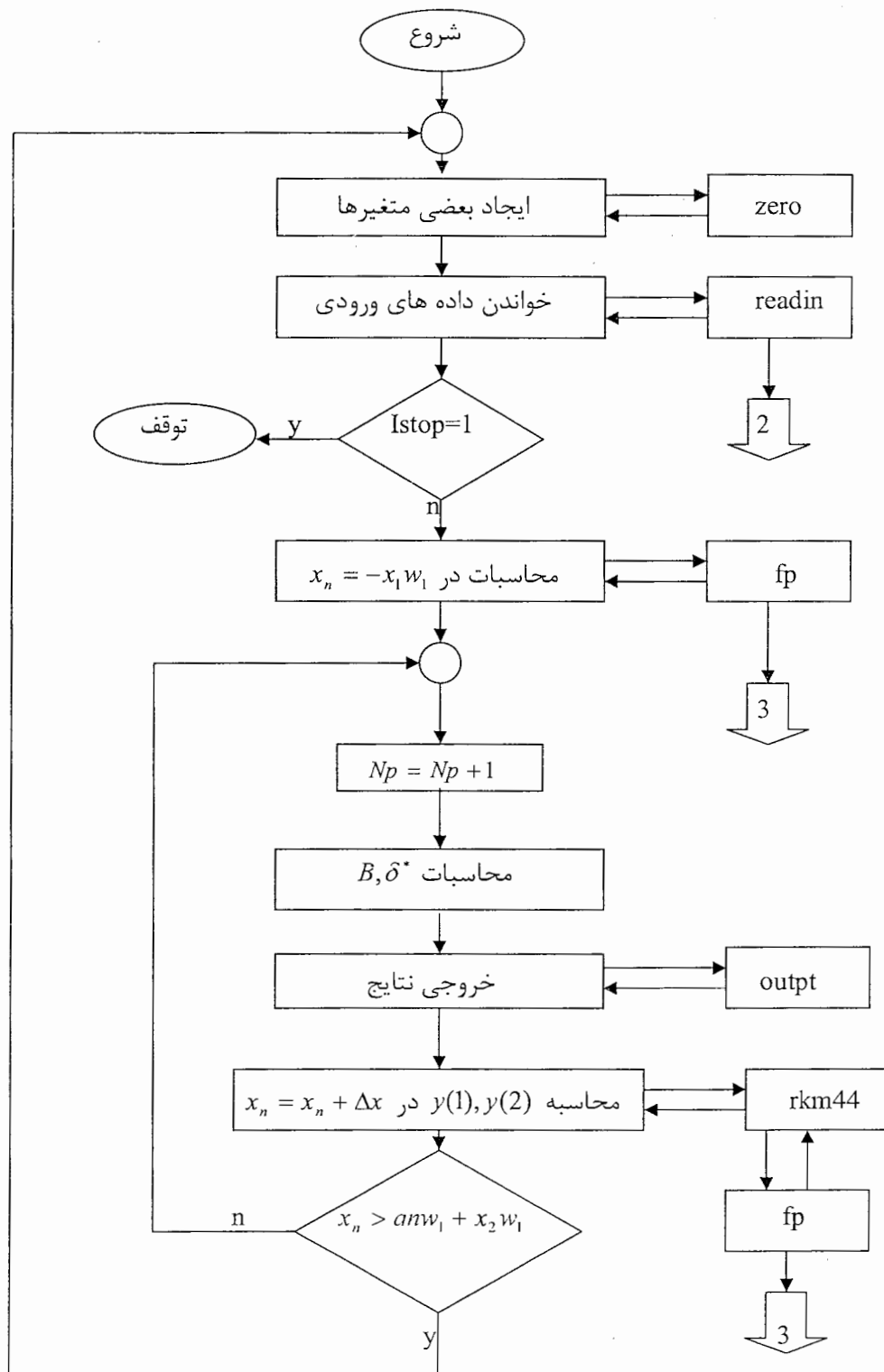
۷- ضخامت ممنتوم بی بعد ($theta/w_1$).

۸- ضریب شکل لایه مرزی (h) که برای هر مقطع بصورت زیر بیان می شود:

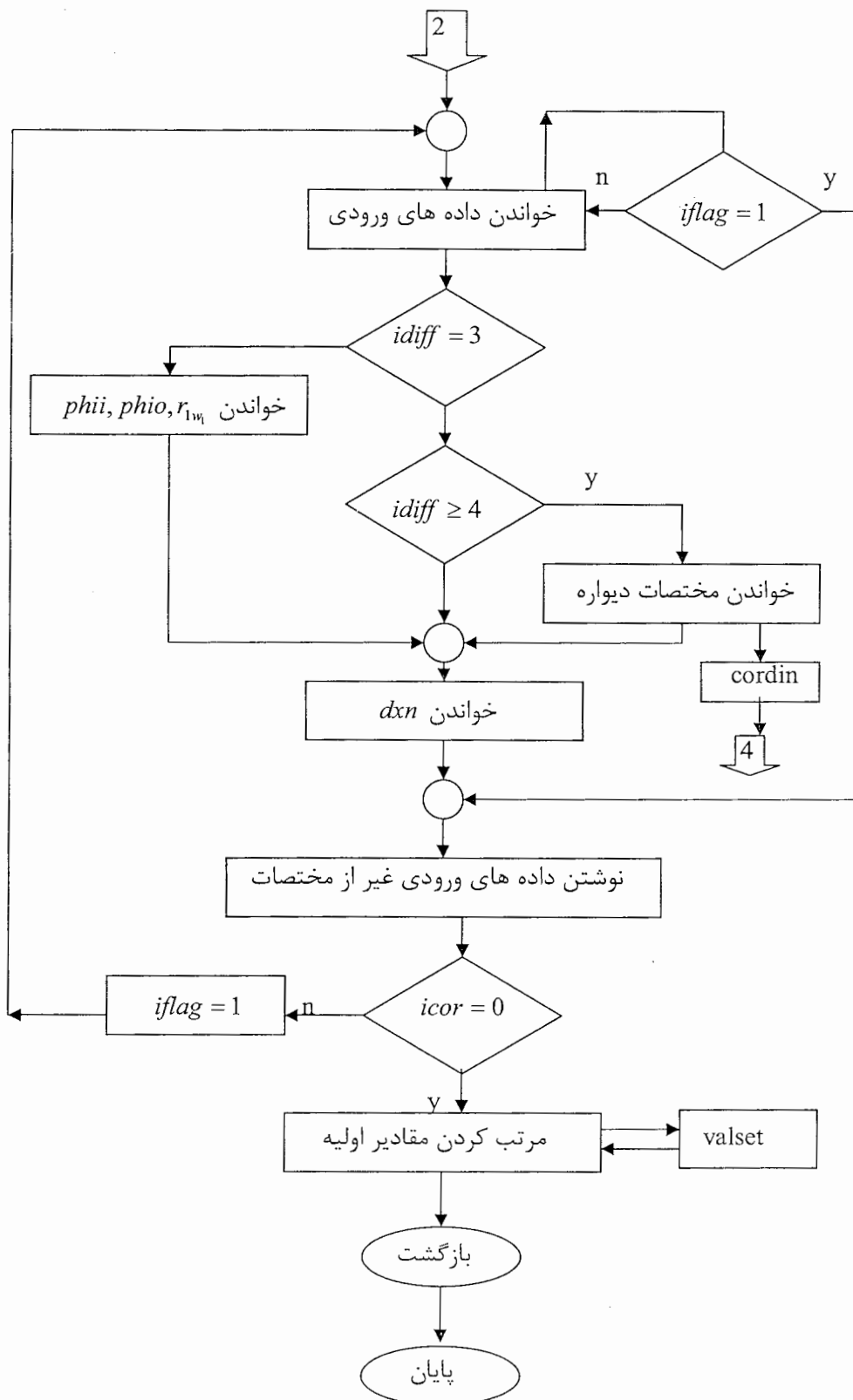
$$h = \delta^* / \theta$$

۹- ضریب بازیافت فشار (C_p) که بصورت رابطه زیر تعریف می شود:

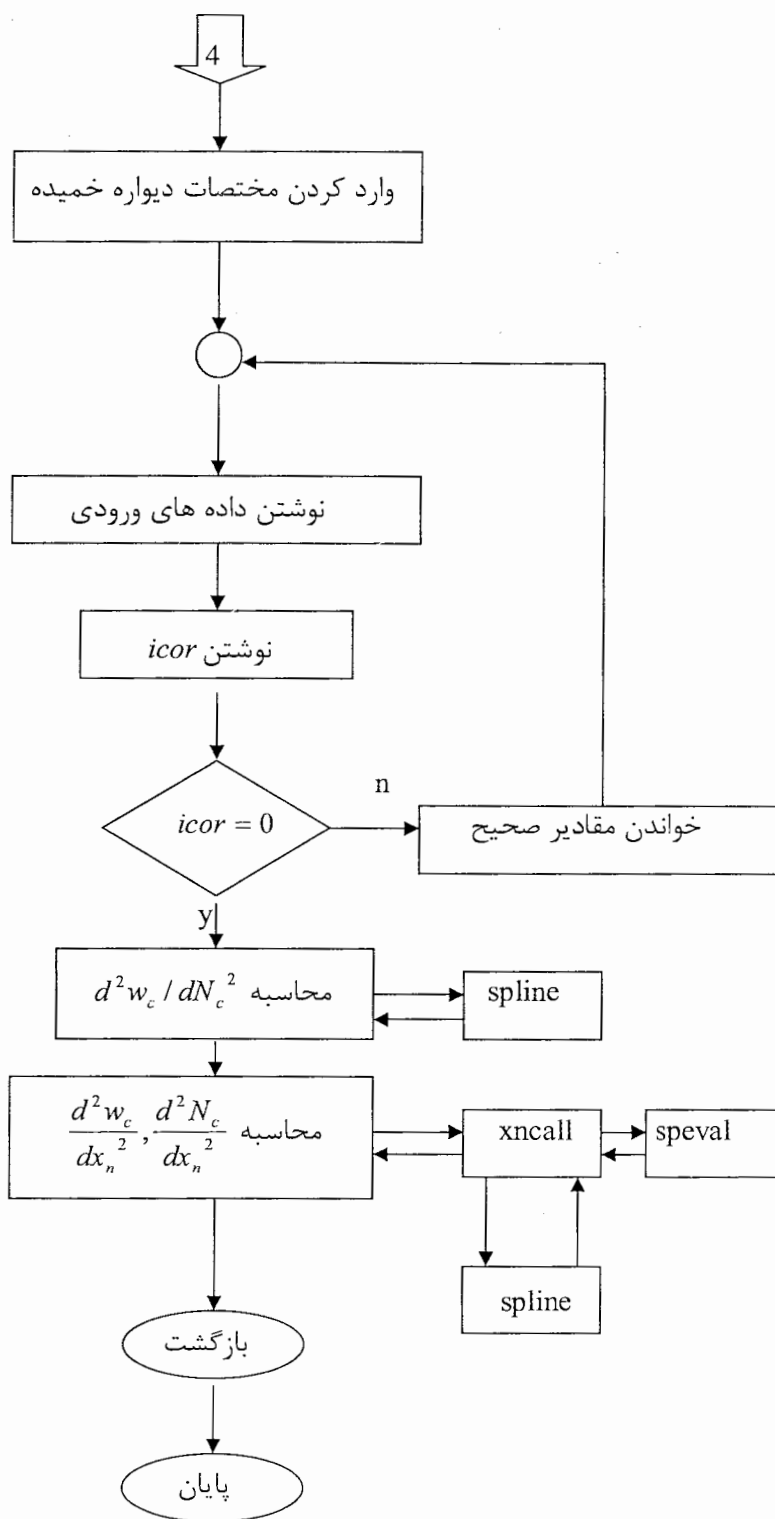
$$C_p = 1 - \left(\frac{u}{u_1}\right)^2$$



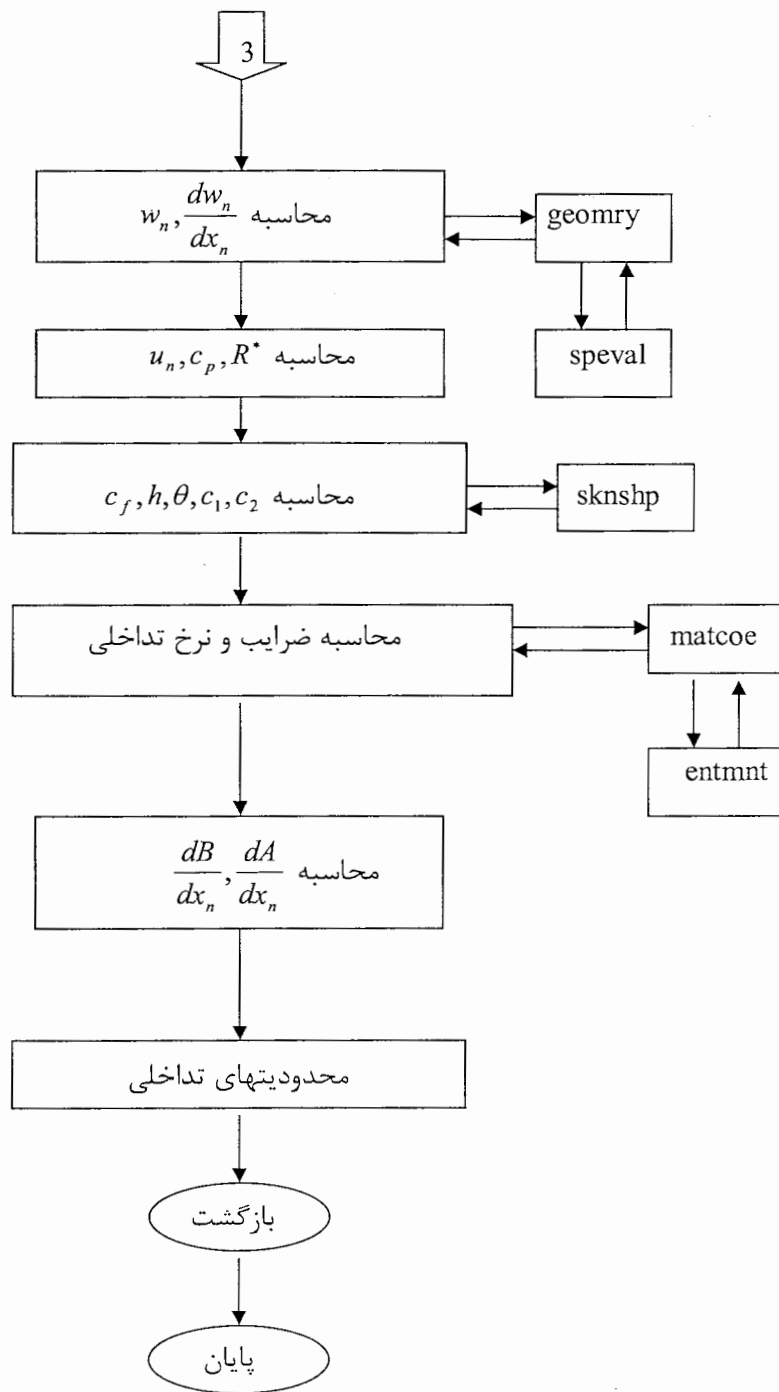
شکل ۳-۷- الف- فلوجارت برنامه



شکل ۳-۷-ب- فلوجارت برنامه



شکل ۳-۷-ج- فلوچارت برنامه



شکل ۳-۷-۵- فلوجارت برنامه

فصل چهارم

بحث و بررسی

خروجی اصلی یک دیفیوزر، ضریب بازیافت فشار است که بصورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$c_p = \frac{P_2 - P_1}{P_{01} - P_1}$$

رابطه برنولی با چشم پوشی از تلفات برای جریان تراکم ناپذیر بصورت زیر است:

$$P_{01} = P_1 + \frac{1}{2} \rho U_1^2 = \text{const}$$

بنابراین رابطه ضریب فشار را می توان بصورت زیر نوشت:

$$c_p = \frac{P_2 - P_1}{\frac{1}{2} \rho U_1^2}$$

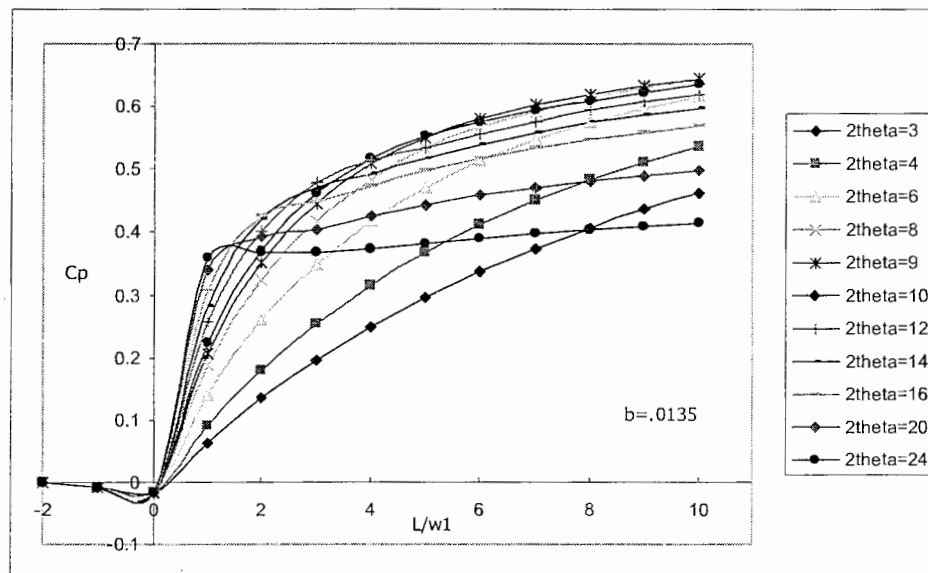
که زیرنویسهای ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به ورودی و خروجی دیفیوزر می باشد. ضریب فشار بالاتر به معنی عملکرد بهتر دیفیوزر است. با توجه به معیار قرار دادن c_p عملکرد دیفیوزرهای مختلف را تحت شرایط متفاوت بدست می آوریم و با یکدیگر مقایسه می کنیم.

یکی از عوامل مهمی که در عملکرد دیفیوزر تأثیر دارد جدایش جریان و محل شروع آن است که می توان برای پیش بینی آن از مقادیر ضریب اصطکاک (c_f) و ضریب شکل (h) استفاده کرد. می دانیم که در لحظه شروع جدایش لایه مرزی از روی سطح، مقدار تنش برشی به صفر می رسد و هنگامیکه جریان شروع به برگشت می کند و به اصطلاح جریان برگشتی بوجود می آید، مقدار تنش برشی منفی می شود. حال با توجه به رابطه $c_f = \frac{\tau_w}{1/2 \rho U^2}$ می توان گفت که $c_f = 0$ نشان از محل شروع جدایش و $c_f < 0$ نشان از وجود جریان برگشتی در دیفیوزر می دهد. همچنین طبق

نمودارهایی که در شکل‌های (۶-۲) و (۷-۲) آمده، محدوده ضریب شکل به ترتیب برای جریان آرام و درهم نشان داده شده است. از روی این نمودارها پیداست که مقدار ضریب شکل در لحظه جدایش، در جریان آرام و درهم به ترتیب برابر $h = 3.5$ و $h = 2.4$ می باشد.

۱-۴- دیفیوزر دووجهی با دیواره های مستقیم

نمودار ضرایب فشار در مقاطع مختلف برای دیفیوزر دووجهی مستقیم با نسبت طول به عرض ورودی $L/w_1 = 10$ و نیمه انسداد گذرگاه $b = 0.0135$ و رینولدز ورودی $Re_1 = 225000$ برای زوایای واگرایی کل ۳ تا ۲۴ درجه در شکل (۱-۴) رسم شده است.



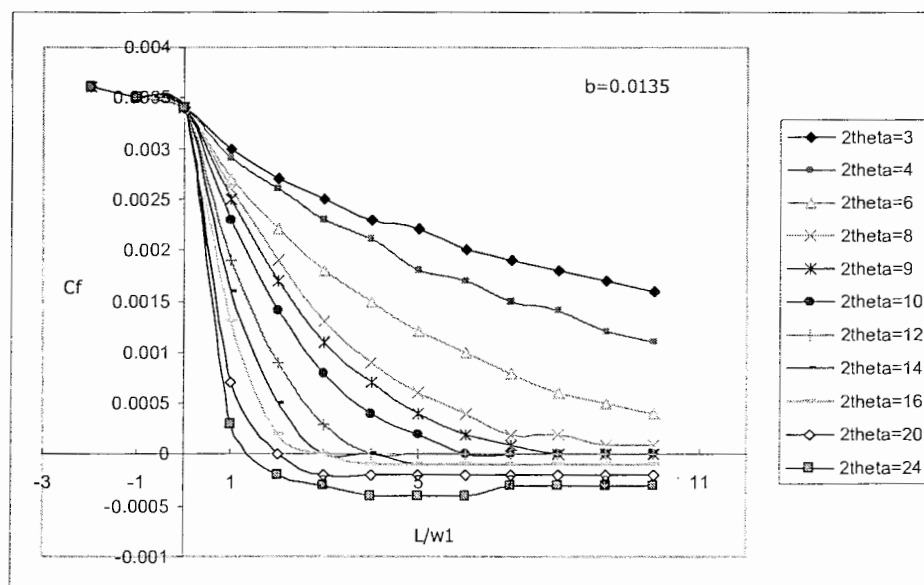
شکل ۱-۴- ضریب فشار برای دیفیوزر دووجهی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.0135$

همانطور که قبلاً نیز گفته شد زاویه واگرایی یکی از عوامل مهم تأثیر گذار بر عملکرد دیفیوزرها می باشد. از روی نمودار فوق این موضوع را به خوبی می توان نشان داد. با افزایش زاویه واگرایی، در طول ثابت، تا مقدار $2\theta = 9^\circ$ مقدار C_p و در نتیجه عملکرد دیفیوزر نیز افزایش و از آن به بعد

کاهش می یابد. این نشان می دهد که عملکرد بهینه برای یک دیفیوزر دوجبهی مستقیم، در زاویه $2\theta = 9^\circ$ رخ می دهد که مقدار ضریب فشار آن برابر $c_p = 0.6458$ می باشد.

در واقع می توان چنین گفت که برای زوایای واگرایی کوچکتر از $2\theta = 9^\circ$ اثر واگرایی دیفیوزر چنان نیست که بتواند فشار را به خوبی بازیافت کند و برای زوایای بزرگتر از $2\theta = 9^\circ$ نیز به علت واگرایی بیش از اندازه، به راحتی پدیده جدایش جریان رخ می دهد و باعث کاهش عملکرد می شود.

شکل (۲-۴) نمودار مقادیر مربوط به ضرایب اصطکاک را نشان می دهد. از این شکل پیداست که هیچکدام از منحنیهای مربوط به زاویه های واگرایی کوچکتر از $2\theta = 9^\circ$ محور افقی را قطع نمی کند، یعنی هیچ اثری از جدایش جریان در این زوایا وجود ندارد و شروع این پدیده تقریباً از زاویه $2\theta = 9^\circ$ در موقعیت $L/w_1 = 8$ آغاز و با افزایش زاویه واگرایی دیفیوزر به سمت دهانه ورودی حرکت می کند، بطوریکه در $2\theta = 24^\circ$ به موقعیت $L/w_1 = 2$ می رسد. همچنین از حالت هندسی $2\theta = 14^\circ$ به بعد نیز پدیده جریان برگشتی رخ می دهد که منجر به کاهش ضریب فشار می شود.



شکل ۲-۴- ضریب اصطکاک برای دیفیوزر دوجبهی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.0135$

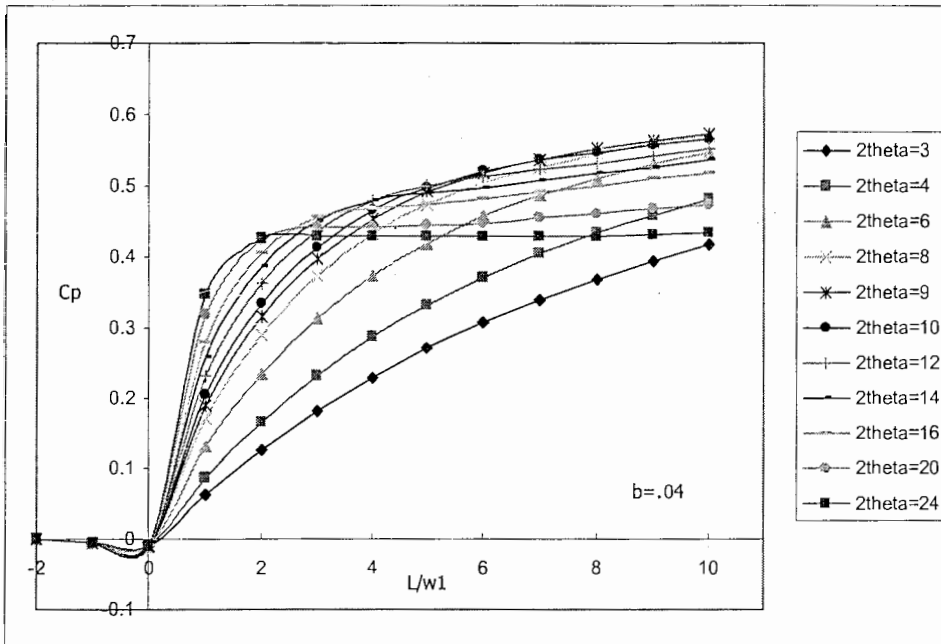
همچنین مقادیر مربوط به ضرایب شکل لایه مرزی در جدول (۴-۱) آمده است. از این جدول، با توجه به موقعیتهای جدایش از روی نمودار ضریب اصطکاک، معلوم می شود که حدود ضریب شکل برای شروع جدایش مقدار تقریبی $h = 3.3$ است و با توجه به اینکه این مقدار در محدوده جریان آرام می باشد، می توان اینطور گفت که افزایش زاویه واگرایی و کاهش سرعت و به تبع آن آرام شدن جریان، از عواملی است که باعث پدیده جدایش و برگشت جریان می شود.

از عوامل مهم دیگری که در عملکرد دیفیوزر اثر دارد مقدار انسداد گذرگاه در ورودی دیفیوزر است که به صورت $b = \delta_1^* / w_1$ تعریف می شود. نمودار ضریب فشار در مقاطع مختلف برای دیفیوزر دوجهی مستقیم با نسبت $L / w_1 = 10$ و نیمه انسداد گذرگاه $b = 0.04$ و رینولدز ورودی $Re_1 = 279000$ برای زوایای واگرایی کل ۳ تا ۲۴ درجه در شکل (۴-۳) رسم شده است.

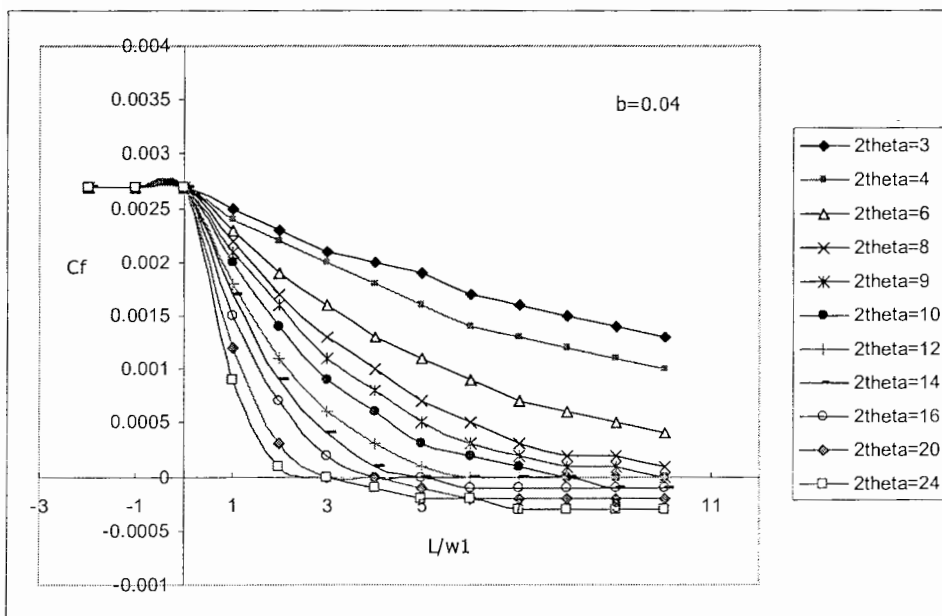
این شکل نشان می دهد که در این حالت، باز هم عملکرد بهینه در هندسه $2\theta = 9^\circ$ رخ می دهد، ولی در این حالت مقدار ضریب فشار ماکزیمم برابر $c_p = 0.5739$ می باشد که نسبت به حالت قبل که برابر $c_p = 0.6458$ است به اندازه تقریباً یازده درصد کاهش یافته است که این کاهش در مقابل افزایش صد و نود و شش درصدی انسداد می باشد. در واقع می توان چنین گفت که با توجه به رابطه انسداد، هر چه انسداد گذرگاه بزرگتر باشد مقدار ضخامت جابجایی بزرگتر است و با توجه به اینکه ضخامت لایه مرزی تابعی از ضخامت جابجایی می باشد، باعث افزایش ضخامت لایه مرزی می شود و همین رشد لایه مرزی باعث کاهش کارایی دیفیوزر می شود.

همچنین نمودار ضرایب اصطکاک برای حالتی که $b = 0.04$ است، در شکل (۴-۴) و مقادیر ضرایب شکل آن در جدول (۴-۲) آمده است.

از عوامل دیگری که می توان گفت اثری در عملکرد دیفیوزر دارد، طول آن است. شکل (۴-۵) مقایسه نمودارهای ضریب فشار را برای دیفیوزر دوجهی مستقیم با هندسه $2\theta = 9^\circ$ برای دو حالت

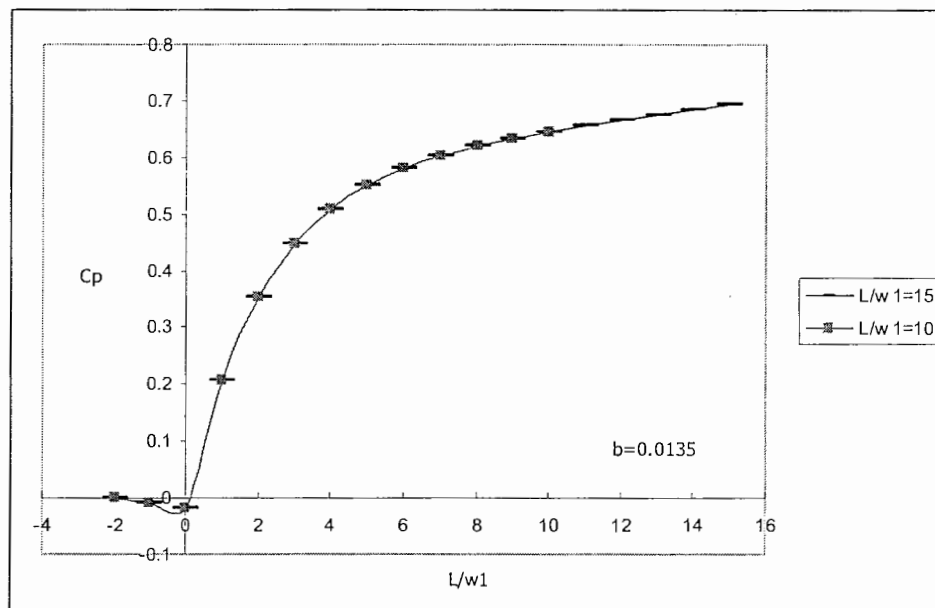


شکل ۳-۴- ضریب فشار برای دیفیوزر دوجبهی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.04$



شکل ۴-۴- ضریب اصطکاک برای دیفیوزر دوجبهی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.04$

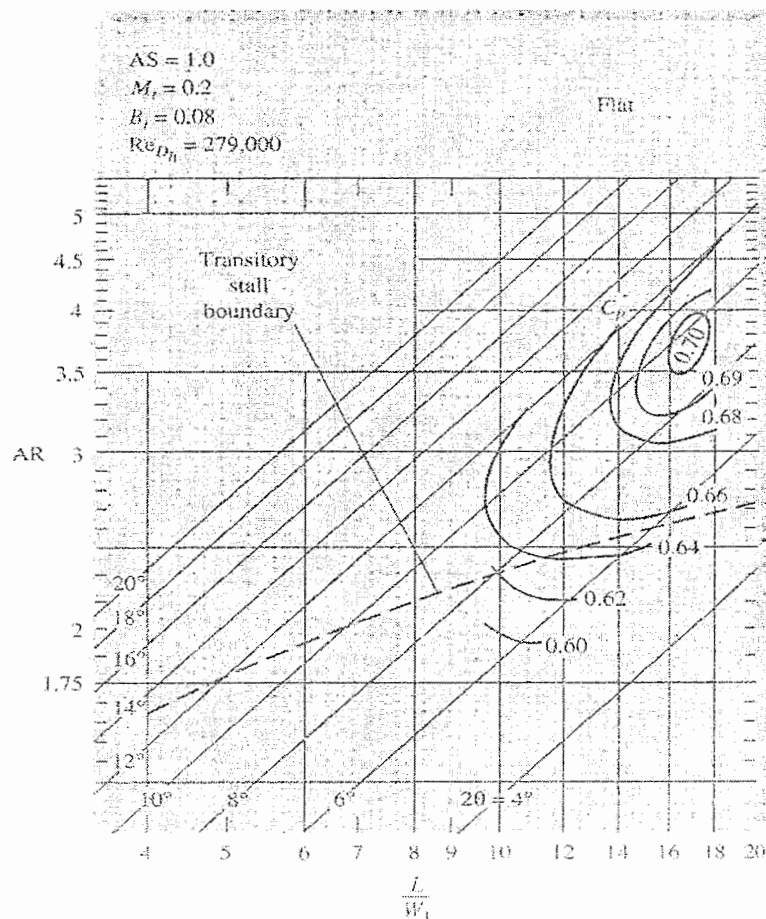
می باشد. این مقایسه نشان می دهد که با افزایش طول دیفیوزر به اندازه پنجاه درصد، مقدار ضریب فشار و در نتیجه عملکرد دیفیوزر به اندازه تقریباً هفت درصد افزایش می یابد. البته افزایش طول دیفیوزر تا حد مشخصی می تواند باعث عملکرد بهتر دیفیوزر شود و اگر مقدار آن طوری شود که تلفات ناشی از اصطکاک سطحی جریان بر تلفات ناشی از جدایش جریان غلبه کند، باعث کاهش عملکرد دیفیوزر می شود.



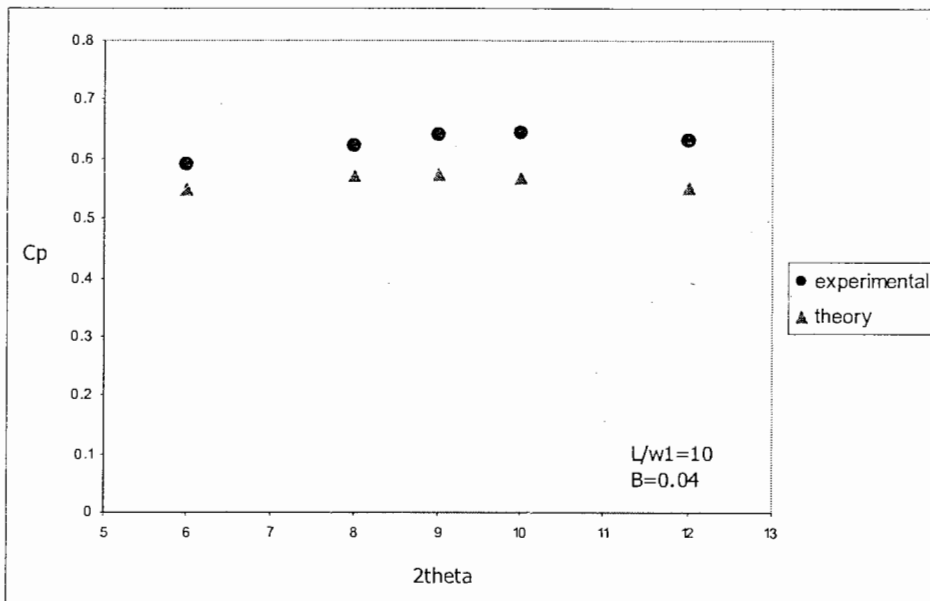
شکل ۴-۵- مقایسه ضریب فشار برای دیفیوزر دوجوهی مستقیم با $L/w_1 = 10$ و $L/w_1 = 15$

نتایج بدست آمده فوق را می توان با نتایج تجربی موجود در نمودار شکل (۴-۶) مقایسه کرد. [۳۴] این شکل نتایج ضریب فشار مربوط به دیفیوزر دوجوهی مستقیم را با انسداد گذرگاه کل $b = 0.08$ و به عبارتی نیمه انسداد $b = 0.04$ و رینولدز ورودی $Re_1 = 279000$ ، در حالات هندسی مختلف نشان می دهد. نتایج این نمودار نشان می دهد که مقدار ضریب فشار ماکزیمم در $L/w_1 = 10$ تقریباً در زاویه واگرایی $2\theta = 10^\circ$ و در طولهای بزرگتر دقیقاً در $2\theta = 9^\circ$ رخ می دهد.

مقدار ضریب فشار بدست آمده در اینجا در $2\theta = 9^\circ$ و $L/w_1 = 10$ ، برابر $c_p = 0.5739$ است که نسبت به نتیجه در این نمودار که برابر $c_p = 0.64$ می باشد، به اندازه ده درصد کاهش یافته است. این مقایسه برای $L/w_1 = 10$ و $b = 0.04$ برای زاویه های واگرایی ۶، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۲ در شکل (۷-۴) آمده است و نشان می دهد که برای این پنج حالت کمترین خطا ۷ درصد و بیشترین خطا ۱۲/۲ درصد می باشد. علت این خطا ممکن است به خاطر فرض دوبعدی باشد که در عمل نمی توان چنین فرضی داشت و از اثرات لایه های مرزی نمی توان چشم پوشی کرد.



شکل ۷-۴- عملکرد دیفیوزر دووجهی مستقیم در هندسه های مختلف



شکل ۴-۷- مقایسه نتایج با نتایج تجربی برای دیفیوزر دووجهی مستقیم

۴-۲- دیفیوزر مخروطی با دیواره های مستقیم

نمودارهای ضرایب فشار در مقاطع مختلف برای دیفیوزر مخروطی با دیواره های مستقیم با نسبت $L/d_1 = 20$ برای زوایای واگرایی کل ۲ تا ۱۲ درجه در شکل‌های (۴-۸) و (۴-۹) رسم شده است که در اولی مقدار نیمه انسداد گذرگاه $b = 0.0173$ و رینولدز ورودی $Re_1 = 500000$ و در دومی $b = 0.045$ و $Re_1 = 120000$ می باشد.

در این نوع دیفیوزر نیز، همانطور که از روی شکلها پیداست، با افزایش زاویه واگرایی، در طول ثابت، تا مقدار $2\theta = 4.5^\circ$ مقدار C_p و در نتیجه عملکرد دیفیوزر افزایش، و از آن به بعد کاهش می یابد و این نشان می دهد که عملکرد بهینه برای یک دیفیوزر مخروطی با دیواره های مستقیم، در زاویه $2\theta = 4.5^\circ$ رخ می دهد.

همچنین با مقایسه این دو شکل به خوبی واضح است که با افزایش مقدار انسداد گذرگاه در ورودی دیفیوزر، مقدار ضریب فشار کاهش یافته و در نتیجه کارایی دیفیوزر کم شده است. ضریب

فشار ماکزیمم برای حالتی که $b = 0.0173$ است، برابر $c_p = 0.7717$ ، و برای حالت $b = 0.045$ برابر $c_p = 0.6984$ می باشد، یعنی در مقابل افزایش ۱۶۰ درصدی انسداد، ضریب فشار به اندازه ۹/۵ درصد کاهش یافته است و نشان دهنده تأثیر زیاد تغییرات انسداد ورودی بر ضریب فشار است.

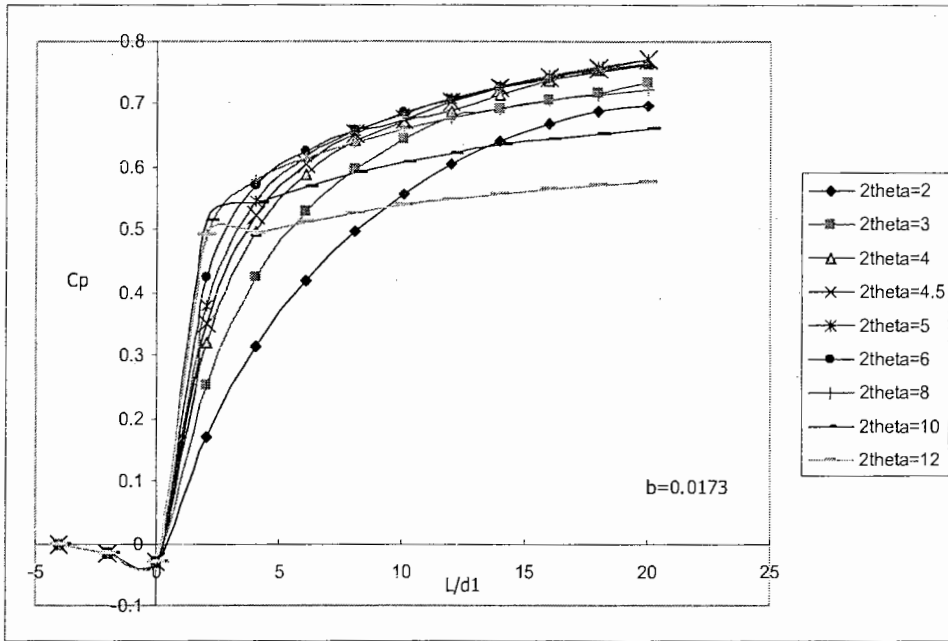
نمودار ضرایب اصطکاک مربوط به این دو حالت، به ترتیب در شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) آمده است. برای حالتی که $b = 0.0173$ است، پیداست که اولین اثرات جدایش جریان در زاویه واگرایی $2\theta = 3^\circ$ پدید آمده است ولی هنوز هیچ اثری از جریان برگشتی وجود ندارد و شروع این پدیده تقریباً از زاویه $2\theta = 6^\circ$ به بعد است که در میانه دیفیوزر رخ می دهد و با افزایش زاویه واگرایی به دهانه ورودی نزدیک می شود، بطوریکه در $2\theta = 12^\circ$ پدیده جریان برگشتی در موقعیت $L/d_1 = 4$ از ورودی دیفیوزر رخ می دهد. در حالتی که $b = 0.045$ است، اولین اثرات جدایش جریان در زاویه واگرایی $2\theta = 2^\circ$ و اولین اثرات جریان برگشتی در زاویه واگرایی $2\theta = 5^\circ$ و هر دو تقریباً در انتهای دیفیوزر رخ داده است.

مقادیر ضریب شکل برای این دو حالت نیز در جداول (۴-۳) و (۴-۴) آمده است.

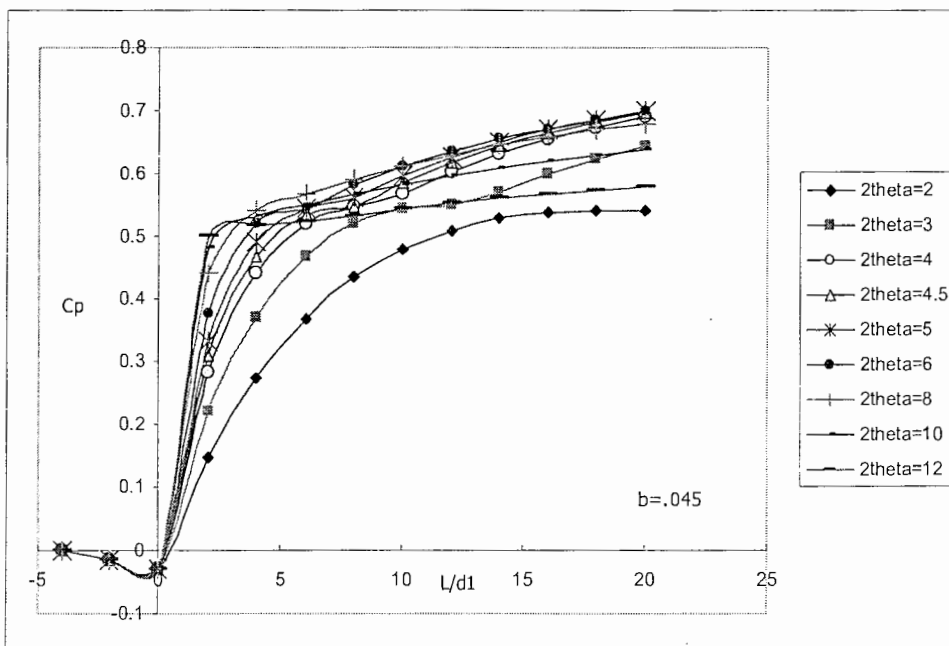
همچنین شکل (۴-۱۲) مقایسه نمودار ضریب فشار را برای دیفیوزر مخروطی مستقیم با هندسه $2\theta = 4.5^\circ$ برای دو حالت $L/d_1 = 20$ و $L/d_1 = 30$ ، برای حالتی که $b = 0.0173$ است، نشان می دهد که برای اولی $c_p = 0.7717$ و برای دومی $c_p = 0.8115$ می باشد که تأثیر افزایش پنجاه درصدی طول را در افزایش تقریباً پنج درصدی ضریب فشار نشان می دهد.

نتایج بدست آمده فوق با نتایج تجربی موجود در نمودار شکل (۴-۱۳) مقایسه شده است. [۲۴]

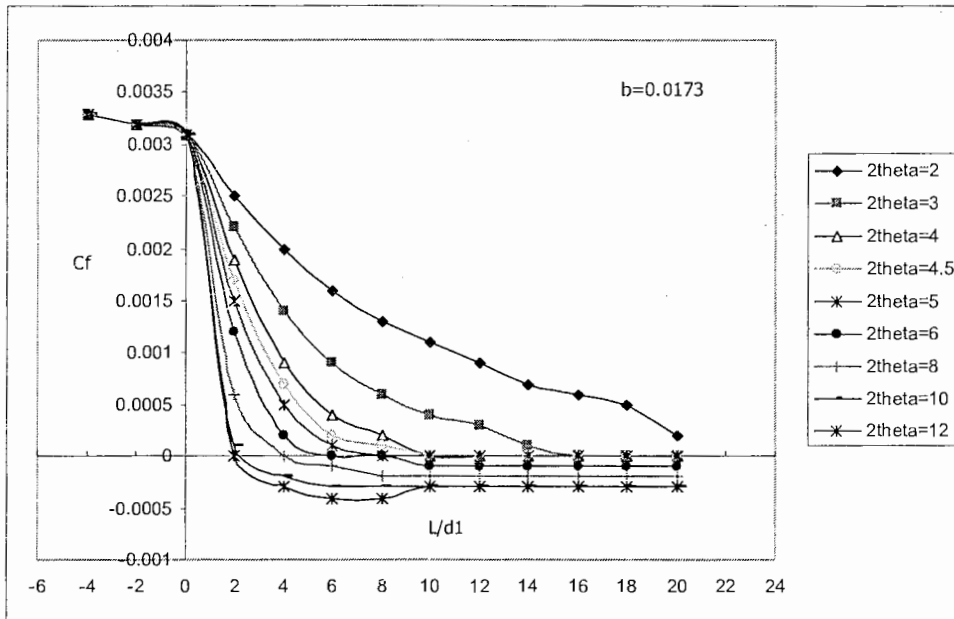
این شکل نتایج ضریب فشار مربوط به دیفیوزر مخروطی مستقیم را با انسداد گذرگاه کل $b = 0.09$ و به عبارتی نیمه انسداد $b = 0.045$ و رینولدز ورودی $Re_1 = 120000$ ، در حالات هندسی مختلف نشان می دهد. نتایج این نمودار نشان می دهد که مقدار ضریب فشار ماکزیمم در $L/d_1 = 20$ در زاویه واگرایی $2\theta = 4.5^\circ$ رخ می دهد.



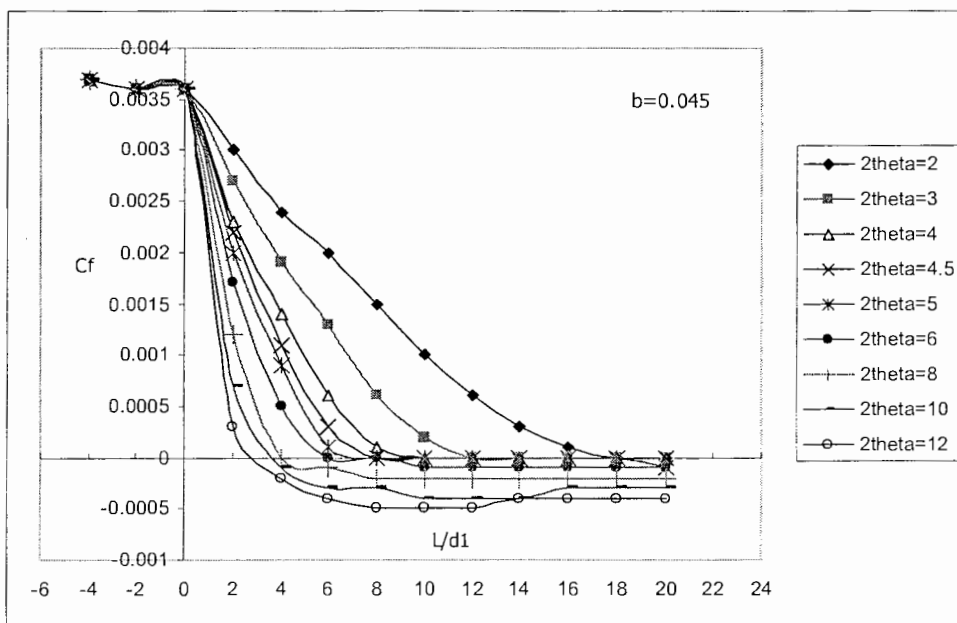
شکل ۴-۸- ضریب فشار برای دیفیوزر مخروطی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.0173$



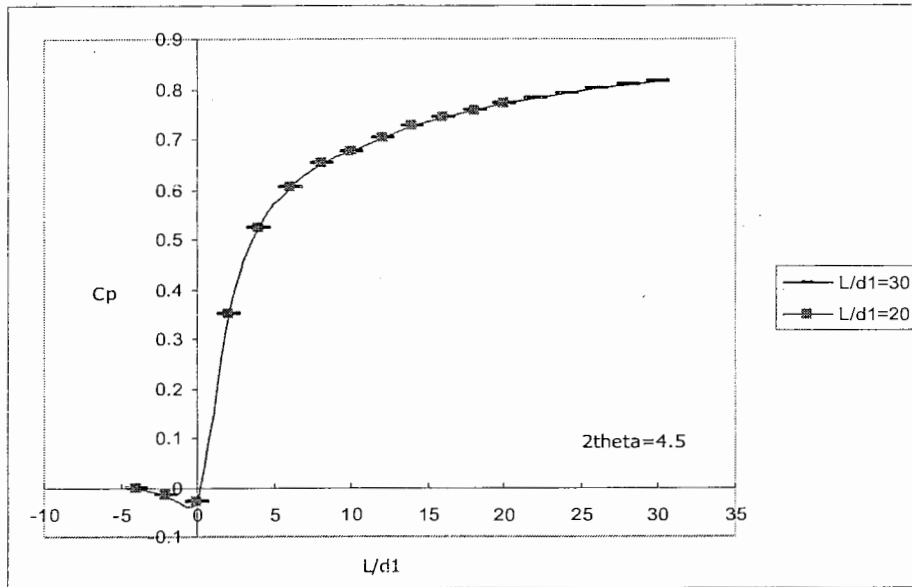
شکل ۴-۹- ضریب فشار برای دیفیوزر مخروطی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.045$



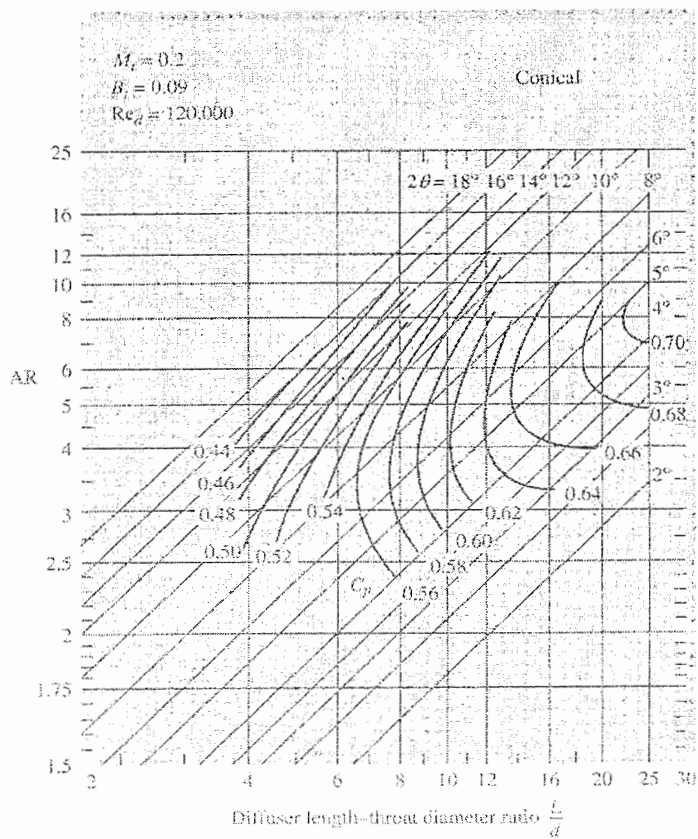
شکل ۴-۱۰- ضریب اصطکاک برای دیفیوزر مخروطی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.0173$



شکل ۴-۱۱- ضریب اصطکاک برای دیفیوزر مخروطی مستقیم در زوایای واگرایی مختلف با $b = 0.045$



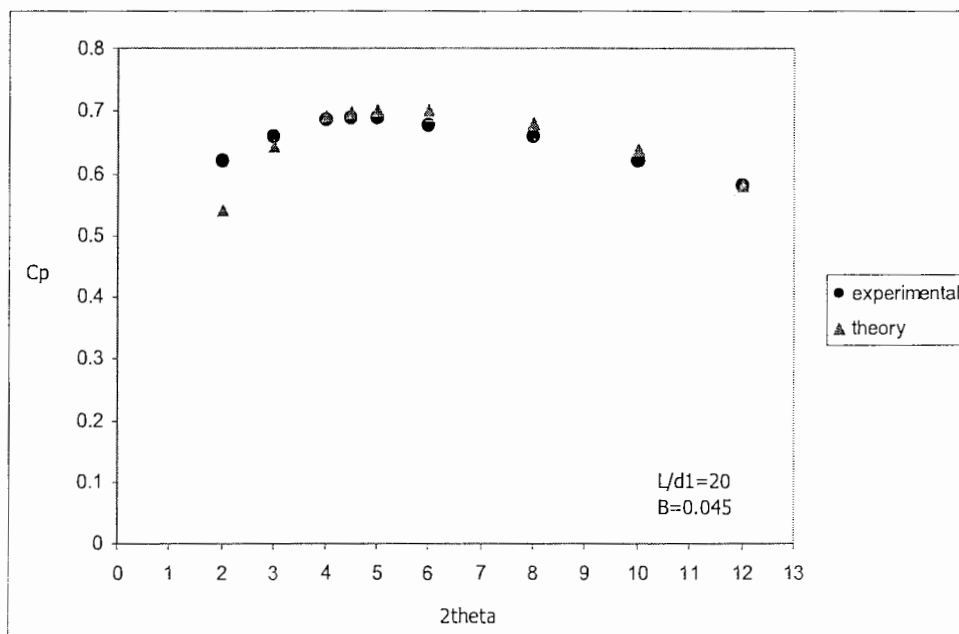
شکل ۴-۱۲- مقایسه ضریب فشار برای دیفیوزر مخروطی مستقیم با $L/d_1 = 30$ و $L/d_1 = 20$



شکل ۴-۱۳- عملکرد دیفیوزر مخروطی مستقیم در هندسه های مختلف

مقدار ضریب فشار بدست آمده در اینجا در $2\theta = 4.5^\circ$ و $L/d_1 = 20$ برابر $c_p = 0.6984$ است که نسبت به نتیجه در نمودار شکل (۴-۱۲) که تقریباً برابر $c_p = 0.685$ می باشد، به اندازه دو درصد بیشتر است.

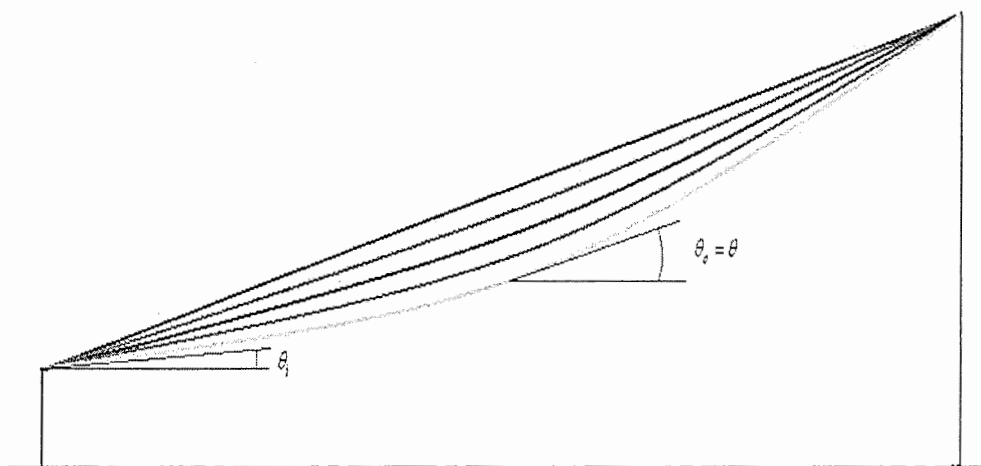
این مقایسه برای $L/d_1 = 20$ و $b = 0.045$ برای زاویه های واگرایی ۲، ۳، ۴، ۴/۵، ۵، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ درجه در شکل (۴-۱۴) آمده است و نشان می دهد که برای این نه حالت کمترین خطا تقریباً صفر و بیشترین خطا ۱۲/۷ درصد می باشد. همانطور که از روی شکل هم مشخص است، خطای بدست آمده برای دیفیوزر مخروطی در مقایسه با دیفیوزر دوجبهی کمتر است. علت این خطای کمتر به خاطر این است که فرض دوبعدی بودن در دیفیوزرهای مخروطی به واقعیت نزدیکتر است و جریان در این نوع دیفیوزرها کاملاً محصور است و لایه های مرزی متقارن می باشند.



شکل ۴-۱۴- مقایسه نتایج با نتایج تجربی برای دیفیوزر مخروطی مستقیم

۳-۴- دیفیوزر دوجوهی با دیواره های خمیده در امتداد خط مرکز مستقیم

باتوجه به اینکه از دو نقطه می تواند بینهایت دایره یا کمان با شعاعهای متفاوت عبور کند، بنابراین در این نوع دیفیوزرها حالتیهای مختلف هندسی را می توان بررسی کرد. اگر این دو نقطه را مطابق شکل (۴-۱۵) نقاط ابتدایی و انتهایی دیواره بالای دیفیوزر فرض کنیم با توجه به اینکه در دیفیوزر، شیب مماس بر منحنی دیواره بالای در نقطه ابتدایی باید بزرگتر از صفر باشد، می توان با ثابت گرفتن طول وتر دیواره و تغییر دادن شیب مماس بر نقطه اولیه، منحنی های مختلفی را با شعاعهای متفاوت تولید کرد و آنها را با حالتیهای دیفیوزر مستقیمی که شیب دیواره آنها برابر شیب وتر دیواره منحنی در دیفیوزرهای خمیده است مقایسه کرد. در اینجا چهار حالت هندسی، که در آنها شیب وتر دیواره بالای دیفیوزر به ترتیب ۳، ۴/۵، ۶ و ۸ درجه است را بررسی و سپس آنها را به ترتیب با دیفیوزرهای مستقیم با زوایای واگرایی $2\theta = 6^\circ$ ، $2\theta = 9^\circ$ ، $2\theta = 12^\circ$ و $2\theta = 16^\circ$ مقایسه کرده ایم.



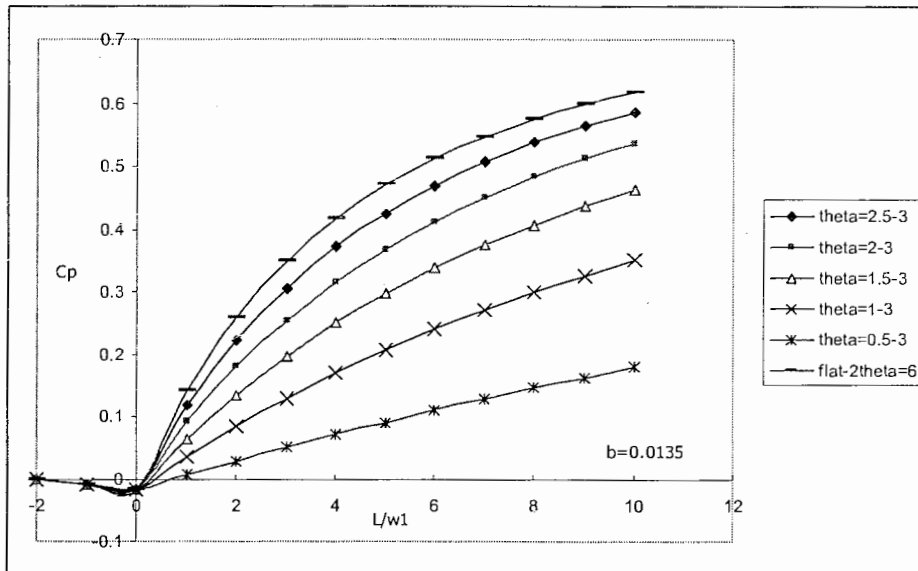
شکل ۴-۱۵- چگونگی بدست آوردن انحنای مختلف برای دیواره دیفیوزر خمیده

شکل (۴-۱۶) نمودار ضرایب فشار را برای حالتی نشان می دهد که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر ۳ درجه می باشد. نیمه انسداد گذرگاه در اینجا برابر $b = 0.0135$ ، رینولدز ورودی $Re_1 = 225000$ و نسبت طول به عرض آن $L/w_1 = 10$ می باشد. در اینجا با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی از مقدار $0/5$ تا $2/5$ درجه، به پنج انحنای پنج شعاع مختلف رسیده ایم که ضرایب فشار برای هر کدام از آنها در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده و با حالت دیفیوزر دووجهی مستقیم با همان طول و انسداد و $2\theta = 6^\circ$ مقایسه شده است. هر چه شیب نقطه ابتدایی بیشتر باشد شعاع انحنای دیواره هم بیشتر است. در اینجا نسبت شعاع انحنای دیواره به عرض ورودی دیفیوزر از مقدار $R_c/w_1 = 114.59$ تا مقدار $R_c/w_1 = 572.98$ تغییر می کند که به ترتیب مربوط به حالتی است که شیب نقطه ابتدایی دیواره در آن برابر $0/5$ و $2/5$ درجه است.

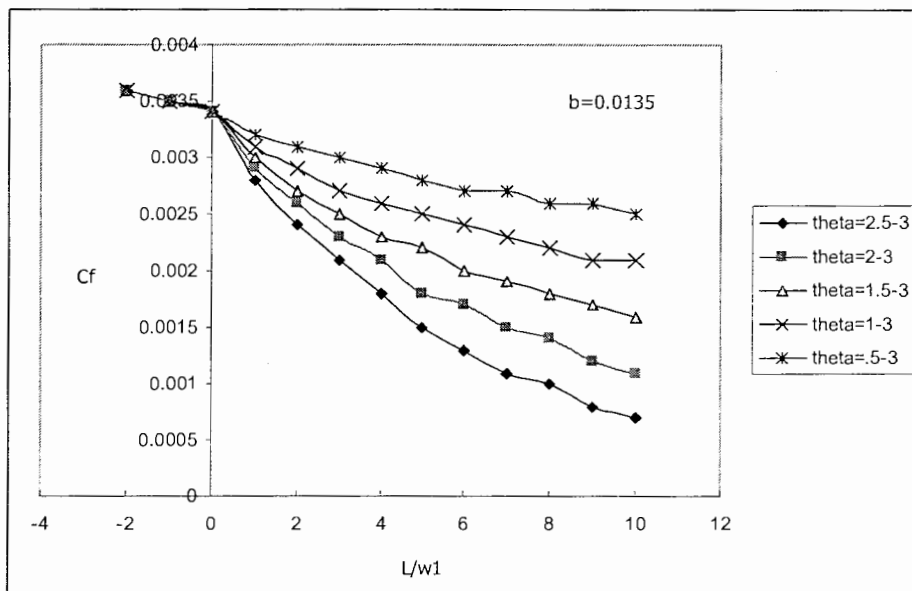
همانطور که از روی نمودارهای شکل (۴-۱۶) پیداست، هر چه شعاع انحنای دیواره کمتر می شود، مقدار ضریب فشار و در نتیجه عملکرد دیفیوزر کمتر می شود. در حالتی که شیب نقطه ورودی $2/5$ درجه است، مقدار ضریب فشار ماکزیمم، و برابر $c_p = 0.5865$ است. بنابراین در این حالت بهترین عملکرد زمانی اتفاق می افتد که شعاع انحنای دیواره، به سمت بینهایت میل کند. یعنی دیفیوزر خمیده به دیفیوزر مستقیم تبدیل گردد. همچنین این شکل نشان می دهد که مقادیر ضریب فشار برای تمام انحنای دیفیوزر خمیده از مقدار مربوط به دیفیوزر مستقیم که برابر $c_p = 0.6176$ است کمتر می باشد، یعنی عملکرد دیفیوزر مستقیم در این هندسه بالاتر از دیفیوزر خمیده است.

نمودار ضریب اصطکاک برای حالتی هندسی فوق در شکل (۴-۱۷) آمده و نشان می دهد که در هیچ کدام از حالتها جدایش جریان رخ نداده است. همچنین مقادیر ضریب شکل نیز در جدول (۴-۵) آمده است.

اگر برای حالتی فوق با همان شرایط، نتایج را با $b = 0.04$ بدست آوریم، با توجه به افزایش صد و نود و شش درصدی انسداد، مقادیر ضرایب فشار کاهش پیدا می کند، بطوریکه برای حالتی که



شکل ۴-۱۶- مقایسه ضریب فشار دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۳ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 6^\circ$



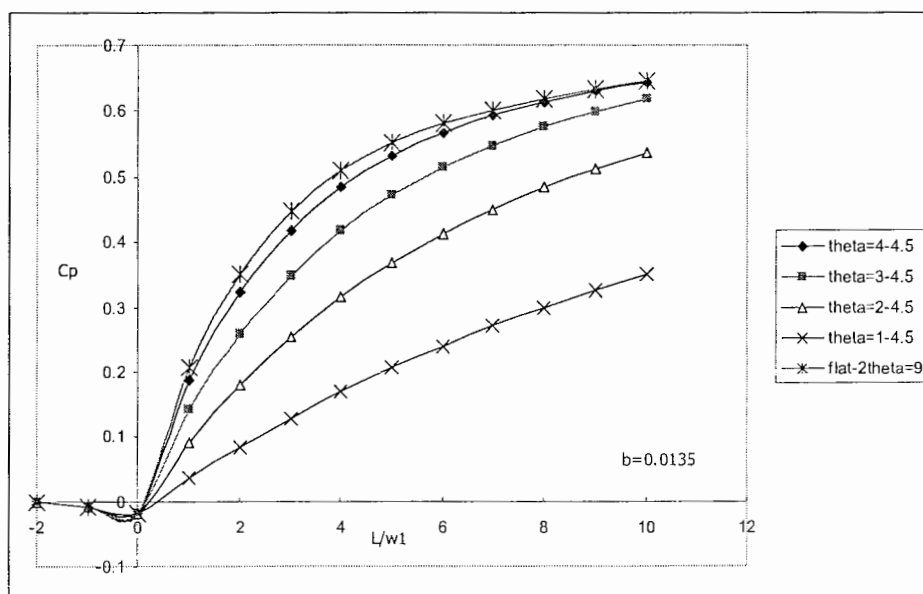
شکل ۴-۱۷- نمودار ضریب اصطکاک برای دیفیوزر دوجهی خمیده با شیب وتر ۳ درجه

شیب نقطه ورودی $2/5$ درجه است $c_p = 0.5222$ بدست می آید که نسبت به حالت قبل که برابر

$c_p = 0.5865$ است، تقریباً به اندازه یازده درصد کاهش پیدا کرده است.

این بار حالتی را در نظر می‌گیریم که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر $4/5$ درجه می‌باشد. نیمه انسداد لایه مرزی در اینجا نیز برابر $b = 0.0135$ و نسبت طول به عرض آن $L/w_1 = 10$ می‌باشد. در این حالت با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی از مقدار ۱ تا ۴ درجه، نتایج را برای چهار انحنا با چهار شعاع مختلف بدست آورده ایم. شکل (۴-۱۸) مقادیر ضرایب فشار را برای این حالت و حالت مربوط به دیفیوزر مستقیم با همان شرایط و با $2\theta = 9^\circ$ مقایسه کرده است.

در اینجا نسبت شعاع انحنا دیواره به عرض ورودی دیفیوزر از مقدار $R_c/w_1 = 81.85$ تا مقدار $R_c/w_1 = 572.98$ تغییر می‌کند که به ترتیب مربوط به حالت‌هایی است که شیب نقطه ابتدایی دیواره برابر ۱ و ۴ درجه است.



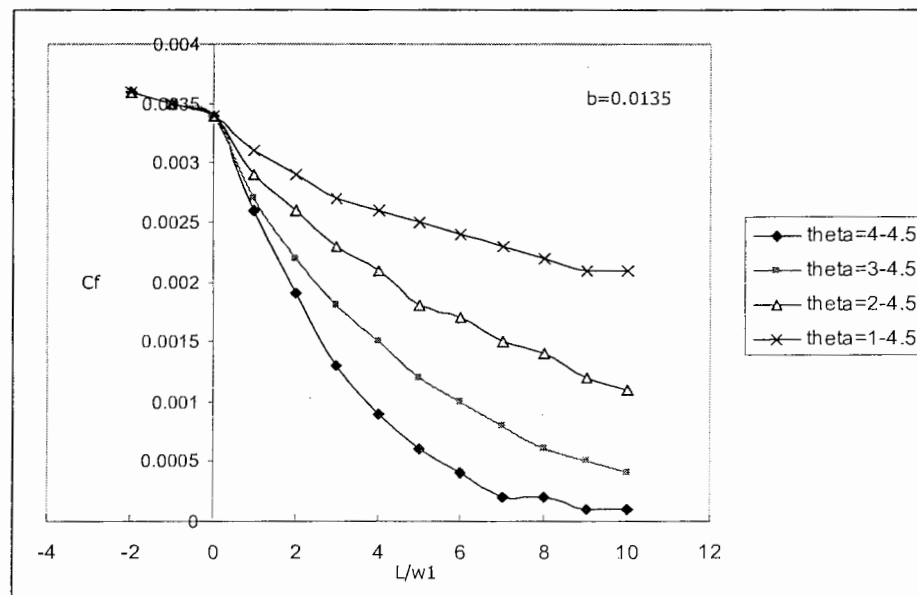
شکل ۴-۱۸ - مقایسه ضرایب فشار دیفیوزر خمیده با شیب وتر $4/5$ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 9^\circ$

شکل فوق نشان می‌دهد که باز هم مقادیر ضرایب فشار برای تمام انحنای دیفیوزر خمیده در این حالت از مقدار مربوط به دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 9^\circ$ که برابر $c_p = 0.6458$ است کمتر

می باشد. مقدار ضریب فشار ماکزیمم در این حالتها مربوط به حالتی است که شعاع انحنای دیواره بزرگتری دارد و مقدار آن نیز برابر $c_p = 0.6438$ می باشد. از روی نمودار فوق نیز پیداست که با بزرگتر شدن شعاع انحنای دیواره، منحنیهای ضریب فشار به سمت منحنی بالایی که مربوط به دیفیوزر مستقیم است میل می کند. یعنی در این هندسه هم، عملکرد دیفیوزر مستقیم بالاتر از دیفیوزر خمیده است.

نمودار ضریب اصطکاک برای حالتهای هندسی فوق در شکل (۴-۱۹) آمده و نشان می دهد که باز هم در هیچ کدام از حالتها جدایش جریانی رخ نداده است. البته باید توجه داشت که با بزرگ شدن شعاع انحنای دیواره منحنی ضریب اصطکاک به محور افقی نزدیک می شود که نشان دهنده نزدیکی جریان به شرایط جدایش می باشد. این نکته را نیز باید در نظر گرفت که در دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 9^\circ$ جریان در انتهای دیفیوزر در حال جدایش است.

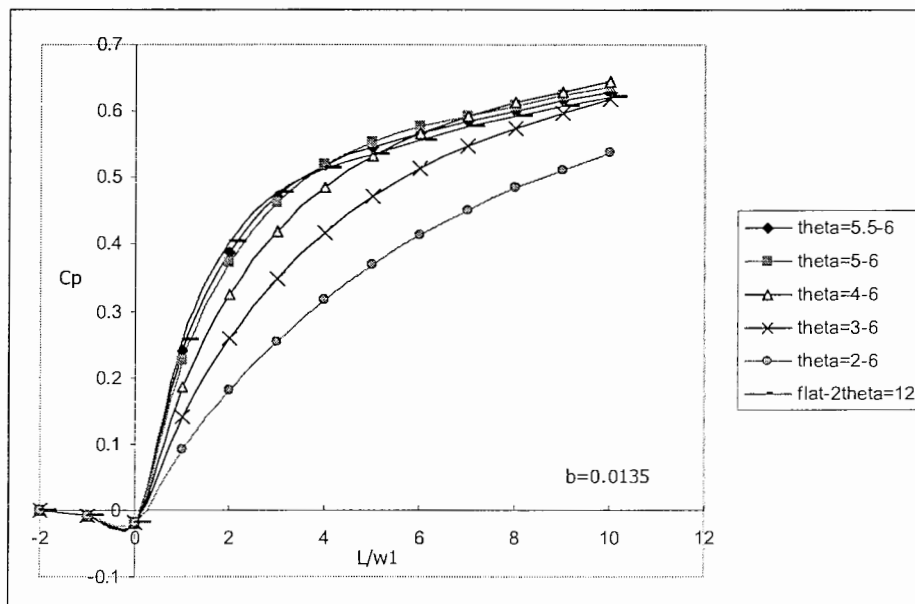
همچنین مقادیر ضرایب شکل نیز در جدول (۴-۶) آمده است.



شکل ۴-۱۹- نمودار ضریب اصطکاک برای دیفیوزر دوجبهی خمیده با شیب وتر ۴/۵ درجه

اگر برای حالت‌های فوق با همان شرایط، نتایج را با $b = 0.04$ بدست آوریم، با توجه به افزایش صد و نود و شش درصدی انسداد، مقادیر ضرایب فشار کاهش پیدا می‌کند، بطوریکه مقدار ضریب فشار برای حالتی که شعاع انحنای دیواره بزرگتر است (حالتی که شیب نقطه ورودی ۴ درجه است) برابر $c_p = 0.5715$ بدست می‌آید که نسبت به حالت قبل که برابر $c_p = 0.6438$ است، بیش از یازده درصد کاهش پیدا کرده است.

در این مرحله باز با فرض اینکه نیمه انسداد لایه مرزی برابر $b = 0.0135$ و نسبت طول به عرض $L/w_1 = 10$ است، حالتی را در نظر می‌گیریم که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر ۶ درجه می‌باشد، که با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی از مقدار ۲ تا ۵/۵ درجه، نتایج را برای پنج انحنا با پنج شعاع مختلف بدست آورده ایم. شکل (۴-۲۰) مقایسه بین مقادیر ضرایب فشار را برای این حالت و دیفیوزر مستقیم با همان شرایط و با $2\theta = 12^\circ$ نشان داده است.



شکل ۴-۲۰- مقایسه ضریب فشار دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۶ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 12^\circ$

در اینجا نسبت شعاع انحنای دیواره به عرض ورودی دیفیوزر از مقدار $R_c / w_1 = 71.69$ تا مقدار $R_c / w_1 = 572.98$ تغییر می کند که به ترتیب مربوط به حالت‌هایی است که شیب نقطه ابتدایی دیواره برابر ۲ و ۵/۵ درجه است.

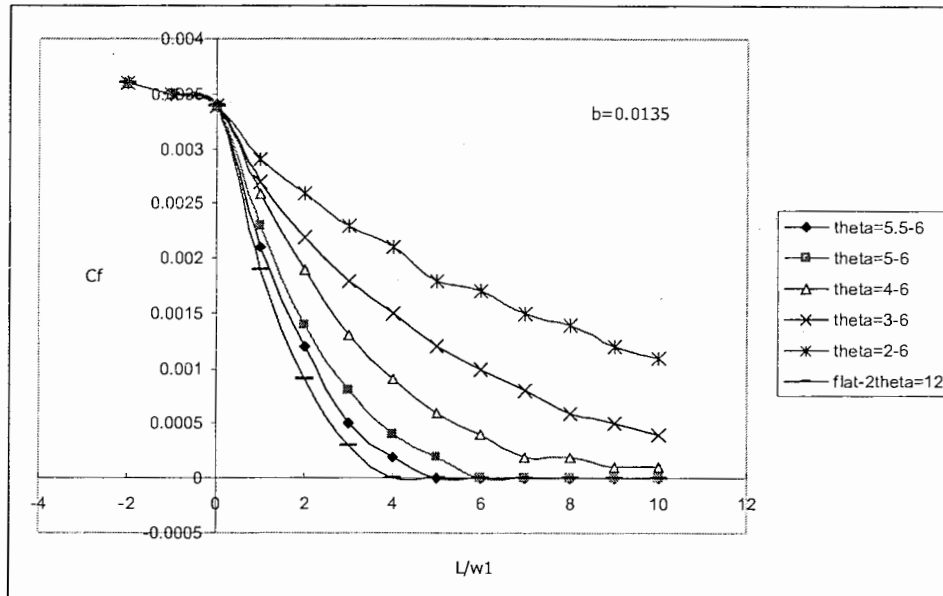
با توجه به شکل بالا مقدار ضریب فشار برای دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 12^\circ$ برابر $c_p = 0.6204$ است و حال آنکه مقادیر ضریب فشار برای برخی از انحنای دیفیوزر خمیده در این حالت، بیشتر از مقدار مربوط به مستقیم است. در شکل بالا پیداست، در سه حالتی که شیب نقطه ورودی ۵/۵، ۵ و ۴ است، مقادیر ضریب فشار به ترتیب $c_p = 0.6291$ ، $c_p = 0.6367$ و $c_p = 0.6438$ می باشد که مقدار بالاتر آن تقریباً ۳/۵ درصد بیشتر از مقدار مربوط به دیفیوزر مستقیم است و نشان می دهد که مقدار آن با کاهش شعاع انحنای افزایش یافته است. وقتی شعاع انحنای باز هم کاهش می یابد، یکباره مقدار ضریب فشار نیز کاهش پیدا می کند و به مقدار $c_p = 0.6176$ می رسد و این کاهش مرتب ادامه می یابد.

بنابراین می توان چنین گفت که در این حالت عملکرد دیفیوزر خمیده، تا وقتی که نسبت شعاع انحنای به عرض ورودی کمتر از $R_c / w_1 = 143.3$ باشد، بهتر از عملکرد دیفیوزر مستقیم متناظر با آن است.

در شکل (۴-۲۱) نمودار ضریب اصطکاک برای حالت‌های هندسی فوق و مقایسه آن با دیفیوزر مستقیم متناظر با آن آمده است. این شکل نشان می دهد که در حالتی که شیب نقطه ورودی برابر ۴ درجه و بهترین عملکرد را داریم هیچ جدایش جریانی نداریم. این نکته را نیز باید در نظر گرفت که در دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 12^\circ$ جریان تقریباً در میانه دیفیوزر در حال جدایش است. همچنین مقادیر ضرایب شکل نیز در جدول (۴-۷) آمده است.

اگر نتایج را با $b = 0.04$ برای حالت‌های فوق با همان شرایط بدست آوریم، با توجه به افزایش

صد و نود و شش درصدی انسداد، مقادیر ضرایب فشار نسبت به حالت قبل کاهش پیدا می کند، و

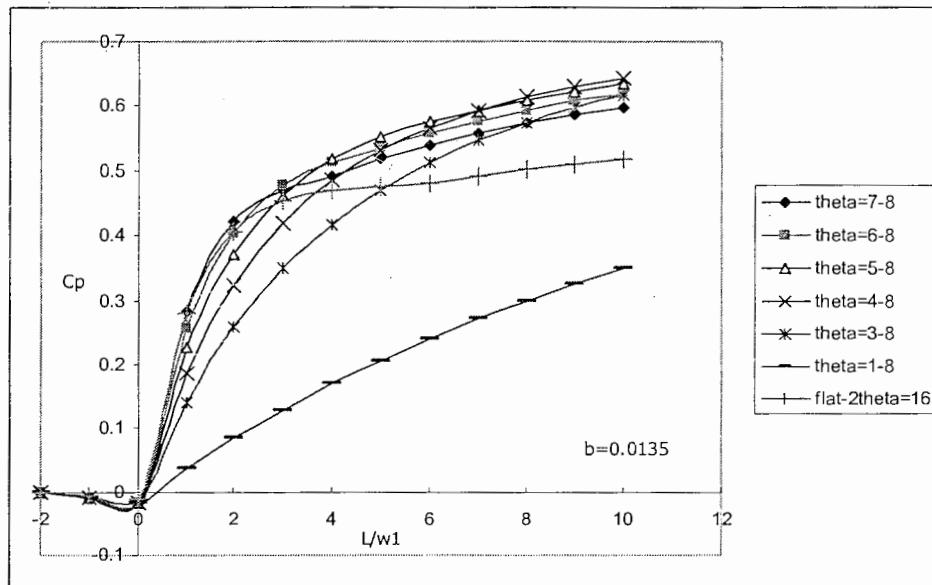


شکل ۴-۲۱- مقایسه ضریب اصطکاک برای دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۶ درجه و مستقیم با $2\theta = 12^\circ$

تقریباً به همان نتایج قبل می‌رسیم، بطوریکه مقدار ضریب فشار در حالت بهینه برابر $c_p = 0.5715$ و باز هم برای حالتی بدست می‌آید که شعاع انحنای دیواره در آن $R_c / w_1 = 143.3$ است. (حالتی که شیب نقطه ورودی ۴ درجه است). این مقدار نسبت به حالت قبل با $b = 0.0135$ که برابر $c_p = 0.6438$ است، بیش از یازده درصد کاهش پیدا کرده است.

به عنوان آخرین حالت برای دیفیوزر دوجوهی خمیده، باز با فرض اینکه نیمه انسداد لایه مرزی برابر $b = 0.0135$ و نسبت طول به عرض $L / w_1 = 10$ است، حالتی را در نظر می‌گیریم که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر ۸ درجه باشد، که با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی از مقدار ۱ تا ۷ درجه، نتایج را برای شش انحنا با شش شعاع مختلف بدست آورده ایم. شکل (۴-۲۲) مقایسه بین مقادیر ضرایب فشار را برای این حالت و دیفیوزر مستقیم با همان شرایط و با $2\theta = 16^\circ$ نشان داده است.

در اینجا نسبت شعاع انحنای دیواره به عرض ورودی دیفیوزر از مقدار $R_c / w_1 = 40.9$ تا مقدار $R_c / w_1 = 286.5$ تغییر می‌کند که به ترتیب مربوط به حالتیایی است که شیب نقطه ابتدایی دیواره



شکل ۴-۲۲- مقایسه ضریب فشار دیفیوزر خمیده با شیب و تر ۸ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 16^\circ$

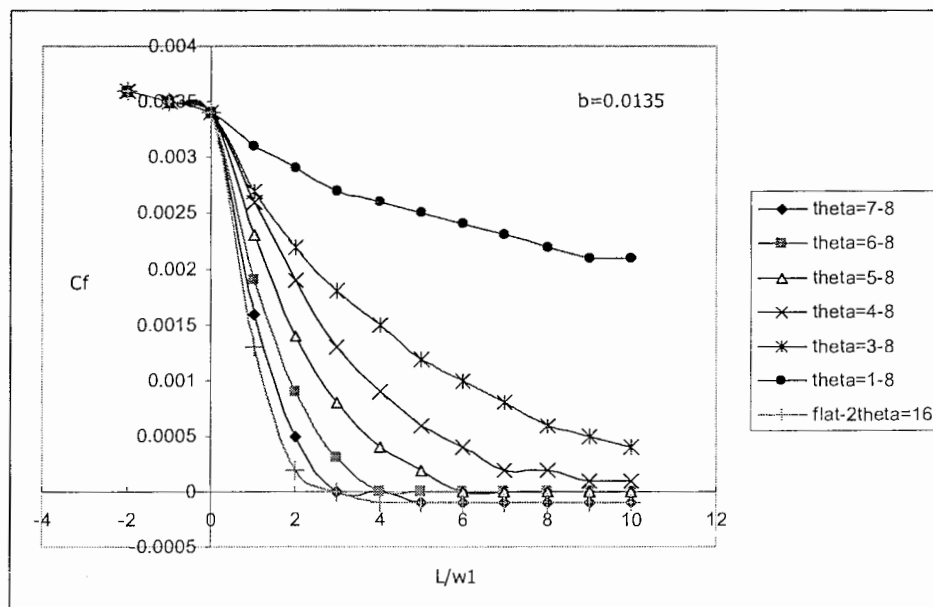
برابر ۱ و ۷ درجه است.

از شکل فوق کاملاً واضح است که در این حالت هندسی عملکرد دیفیوزر خمیده نسبت به دیفیوزر مستقیم خیلی بهتر است و فقط برای شعاعهای انحنای خیلی کوچک، مثل $R_c / w_1 = 40.9$ عملکرد این نوع دیفیوزرها پایین تر است. در اینجا عملکرد بهینه در حالتی رخ می دهد که دارای شیب نقطه ورودی برابر ۴ درجه و شعاع انحنای $R_c / w_1 = 71.62$ است و در این حالت $c_p = 0.6438$ می باشد که نسبت به دیفیوزر مستقیم متناظر آن که دارای $c_p = 0.5193$ است تقریباً به اندازه نوزده درصد بالاتر است.

بنابراین با توجه به اینکه عملکرد بهینه برای دیفیوزر دوجوهری مستقیم، در زاویه واگرایی $2\theta = 9^\circ$ رخ می دهد، می توان اینطور نتیجه گرفت که در دیفیوزر دوجوهری خمیده، اگر شیب وتر انحنای دیواره، کوچکتر از نصف زاویه واگرایی بهینه دیفیوزر مستقیم یعنی $4/5$ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر مستقیم بهتر از خمیده است، ولی اگر شیب وتر بزرگتر از $4/5$ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر خمیده در بعضی انحنایها بهتر است. همچنین هر چه شیب وتر بزرگتر باشد، درصد افزایش

عملکرد دیفیوزر خمیده نسبت به مستقیم بالاتر است. بنابراین در کاربردهایی که لازم است از دیفیوزر با زاویه های واگرایی بزرگتر از $2\theta = 9^\circ$ استفاده شود، برای رسیدن به عملکرد بهتری می بایست از طراحی با دیواره های منحنی استفاده کرد.

همچنین در شکل (۴-۲۳) نمودار ضریب اصطکاک برای حالت های هندسی فوق و مقایسه آن با دیفیوزر مستقیم متناظر با آن آمده است. این شکل نشان می دهد که به غیر از حالتی که شعاع انحنا ی دیواره زیاد است و در آن جریان برگشتی وجود دارد، در بقیه حالتها حتی جریان برگشتی هم وجود ندارد. باید دانست که در دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 16^\circ$ جریان تقریباً در اوایل دیفیوزر در حال جدایش و در میانه آن دارای جریان برگشتی است. همچنین مقادیر ضرایب شکل نیز در جدول (۴-۸) آمده است.



شکل ۴-۲۳- مقایسه ضریب اصطکاک برای دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۸ درجه و مستقیم با $2\theta = 16^\circ$

و بالاخره بدست آوردن نتایج با $b = 0.04$ برای حالت های فوق با همان شرایط، نشان می دهد

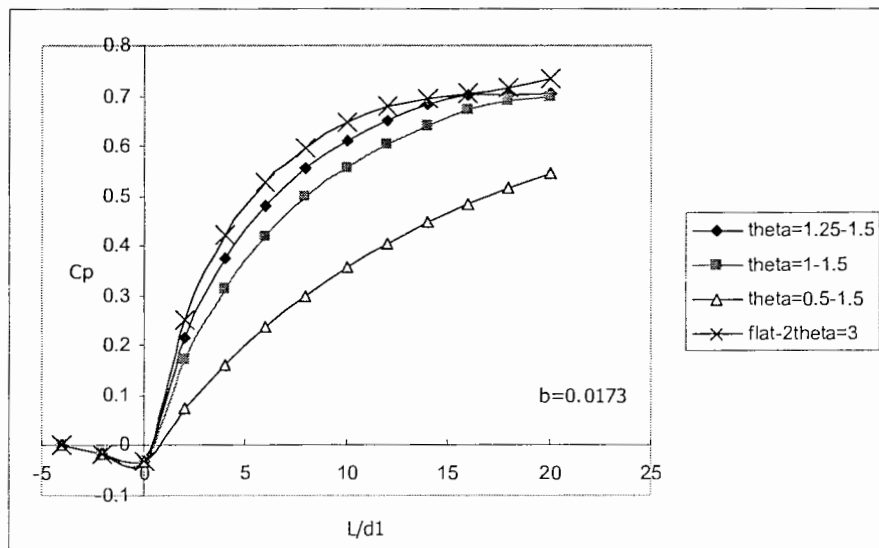
که مقادیر ضرایب فشار نسبت به حالت قبل کاهش پیدا می کند، بطوریکه مقدار ضریب فشار در حالت بهینه برابر $c_p = 0.5715$ و باز هم برای حالتی بدست می آید که شعاع انحنای دیواره در آن $R_c / w_1 = 71.62$ است (حالتی که شیب نقطه ورودی ۴ درجه است). این مقدار نسبت به حالت قبل با $b = 0.0135$ که برابر $c_p = 0.6438$ است، بیش از یازده درصد کاهش پیدا کرده است که در مقابل افزایش صد و نود و شش درصدی انسداد می باشد.

۴-۴- دیفیوزر مخروطی با دیواره های خمیده در امتداد خط مرکز مستقیم

باتوجه به توضیحی که در مورد دیفیوزر دوجهی خمیده ارائه شد، در اینجا نیز می توان، با همان استدلال حالت‌های مختلف هندسی را بررسی کرد. در اینجا سه حالت هندسی، که در آنها شیب وتر دیواره بالایی دیفیوزر به ترتیب $1/5$ ، $2/25$ و 3 درجه است را بررسی و سپس آنها را به ترتیب با دیفیوزرهای مخروطی مستقیم با زوایای واگرایی $2\theta = 3^\circ$ ، $2\theta = 4.5^\circ$ و $2\theta = 6^\circ$ مقایسه کرده ایم. شکل (۴-۲۴) نمودار ضرایب فشار را برای حالتی که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر $1/5$ درجه می باشد، نشان داده و آنرا با حالت مربوط به دیفیوزر مستقیم با همان شرایط و با $2\theta = 3^\circ$ مقایسه کرده است. نیمه انسداد گذرگاه در اینجا برابر $b = 0.0173$ ، رینولدز ورودی $Re_1 = 500000$ و نسبت طول به قطر ورودی دیفیوزر $L/d_1 = 20$ می باشد. در اینجا با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی دیواره دیفیوزر برای سه مقدار $1/5$ ، 1 و $2/25$ درجه، به سه انحنا با سه شعاع مختلف و رسیده ایم. هر چه شیب نقطه ابتدایی بیشتر باشد شعاع انحنای دیواره هم بیشتر است. در اینجا نسبت شعاع انحنای دیواره به قطر ورودی دیفیوزر برای این سه هندسه مقدار $R_c/d_1 = 573$ ، $R_c/d_1 = 1145.9$ و $R_c/d_1 = 2291.8$ می باشد که به ترتیب مربوط به حالت‌هایی است که شیب نقطه ابتدایی دیواره در آن برابر $1/5$ ، 1 و $2/25$ درجه است.

همانطور که از روی نمودارهای شکل (۴-۲۴) پیداست، هر چه شعاع انحنای دیواره کمتر می شود، مقدار ضریب فشار و در نتیجه عملکرد دیفیوزر کمتر می شود. در این شکل برای تمام انحنایها، مقدار ضریب فشار کمتر از مقدار حالت مستقیم است. در حالی که شیب نقطه ورودی $1/25$ درجه است، مقدار ضریب فشار ماکزیمم، و برابر $c_p = 0.7044$ است. این مقدار از ضریب فشار دیفیوزر مستقیم متناظر با آن، با همان طول و انسداد، با $2\theta = 3^\circ$ که برابر $c_p = 0.7344$ می باشد به اندازه $4/3$ درصد کمتر است. بنابراین بهترین عملکرد زمانی اتفاق می افتد که شعاع انحنای، به سمت بینهایت میل کند. به عبارتی، در این حالت عملکرد دیفیوزر مستقیم بهتر از خمیده است.

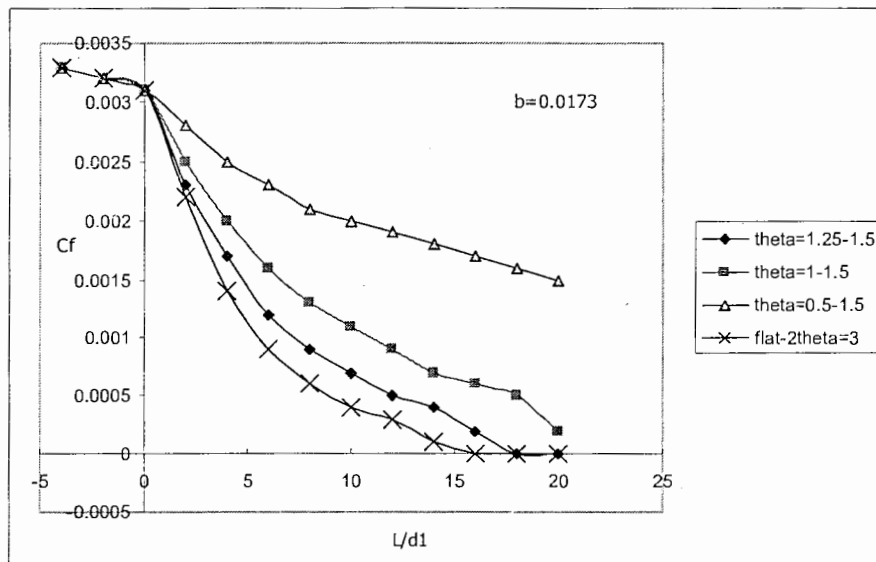
در شکل (۴-۲۵) نمودار ضریب اصطکاک برای حالت های هندسی فوق و مقایسه آن با دیفیوزر مستقیم متناظر با آن آمده است. همچنین مقادیر ضریب شکل نیز در جدول (۴-۹) آمده است.



شکل ۴-۲۴- مقایسه ضریب فشار دیفیوزر خمیده با شیب وتر $1/5$ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 3^\circ$

اگر نتایج فوق را با همان شرایط، یکبار هم برای $b = 0.045$ و $Re_1 = 120000$ بدست آوریم،

با توجه به افزایش صد و شصت درصدی انسداد، مقادیر ضرایب فشار کاهش پیدا می کند، بطوریکه



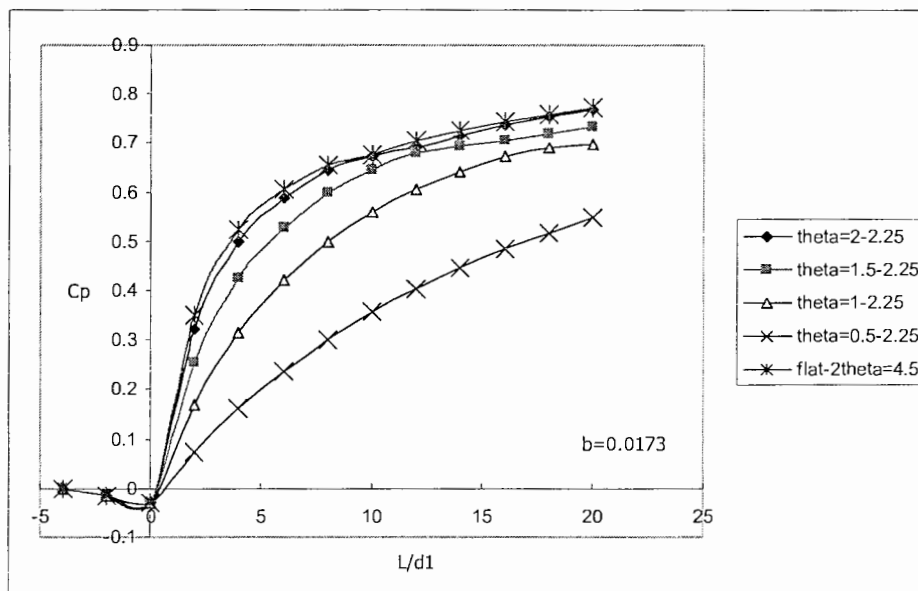
شکل ۴-۲۵- مقایسه ضریب اصطکاک دیفیوزر خمیده با شیب وتر $1/5$ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 3^\circ$

مقدار ضریب فشار برای حالتی که شعاع انحنای دیواره بزرگتر است (حالتی که شیب نقطه ورودی $1/25$ درجه است) برابر $c_p = 0.6009$ بدست می آید که نسبت به حالت قبل که برابر $c_p = 0.7044$ است، تقریباً پانزده درصد کاهش پیدا کرده است.

این بار حالتی را در نظر می گیریم که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر $2/25$ درجه می باشد. نیمه انسداد لایه مرزی در اینجا نیز برابر $b = 0.0173$ و نسبت طول به عرض آن $L/d_1 = 20$ می باشد. در این حالت با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی از مقدار $0/5$ تا 2 درجه، نتایج را برای چهار انحنا با چهار شعاع مختلف بدست آورده ایم. شکل (۴-۲۶) مقادیر ضرایب فشار را برای این حالت و حالت مربوط به دیفیوزر مستقیم با همان شرایط و با $2\theta = 4.5^\circ$ مقایسه کرده است. باید توجه داشت که عملکرد دیفیوزر مخروطی مستقیم در هندسه $2\theta = 4.5^\circ$ بهینه می باشد. در اینجا نیز نسبت شعاع انحنای دیواره به قطر ورودی دیفیوزر از مقدار $R_c/w_1 = 327.4$ تا مقدار $R_c/w_1 = 2291.8$ تغییر می کند.

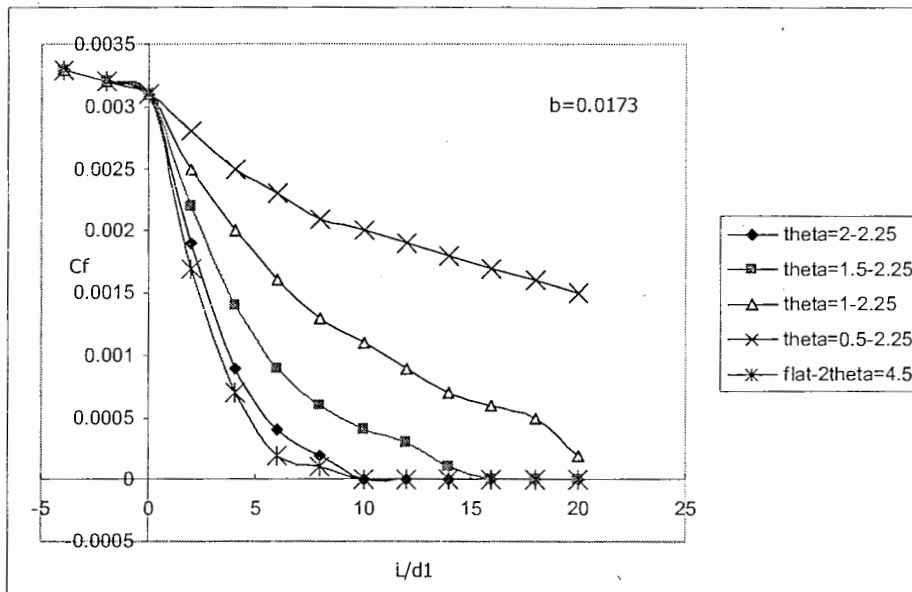
شکل (۴-۲۶) نشان می دهد که باز هم مقادیر ضریب فشار برای تمام انحنای دیفیوزر خمیده در این حالت از مقدار مربوط به دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 4.5^\circ$ که برابر $c_p = 0.7717$ است کمتر می باشد. مقدار ضریب فشار ماکزیمم در این حالتها مربوط به حالتی است که شعاع انحنای دیواره بزرگتری دارد و مقدار آن نیز برابر $c_p = 0.7675$ می باشد. بنابراین در این هندسه هم، عملکرد دیفیوزر مستقیم بالاتر از دیفیوزر خمیده است.

نمودار ضریب اصطکاک برای حالت‌های هندسی فوق در شکل (۴-۲۷) آمده و با حالت دیفیوزر مستقیم متناظر آن مقایسه شده است. همچنین مقادیر ضرایب شکل نیز در جدول (۴-۱۰) آمده است.



شکل ۴-۲۶- مقایسه ضریب فشار دیفیوزر خمیده با شیب وتر $2/25$ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 4.5^\circ$

و بالاخره مقدار ضریب فشار برای حالتی که شیب نقطه ورودی، 2 درجه است، با فرض $b = 0.045$ و $Re_1 = 120000$ برابر $c_p = 0.6917$ بدست می آید که نسبت به مقدار حالت قبل با $b = 0.0173$ که برابر $c_p = 0.7675$ است، تقریباً ده درصد کاهش پیدا کرده است که این کاهش در مقابل افزایش صد و شصت درصدی انسداد است.



شکل ۴-۲۷- مقایسه ضریب اصطکاک دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۲/۲۵ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 4.5^\circ$

برای آخرین بار حالتی را در نظر می‌گیریم که شیب وتر دیواره منحنی دیفیوزر برابر ۳ درجه می‌باشد. نیمه انسداد لایه مرزی در اینجا نیز برابر $b = 0.0173$ و نسبت طول به عرض آن $L/d_1 = 20$ می‌باشد. در این حالت با تغییر دادن شیب مماس در نقطه ورودی از مقدار ۱ تا ۲/۷۵ درجه، نتایج را برای پنج انحنای مختلف بدست آورده ایم. شکل (۴-۲۸) مقادیر ضرایب فشار را برای این حالت و حالت مربوط به دیفیوزر مستقیم با همان شرایط و با $2\theta = 6^\circ$ مقایسه کرده است. در اینجا نیز نسبت شعاع انحنای دیواره به قطر ورودی دیفیوزر از مقدار $R_c/w_1 = 286.5$ تا مقدار $R_c/w_1 = 2291.8$ تغییر می‌کند.

از این شکل کاملاً واضح است که در این حالت هندسی عملکرد دیفیوزر خمیده نسبت به دیفیوزر مستقیم بهتر است و فقط برای شعاعهای انحنای کوچک، (مثل $R_c/d_1 = 381.97$ و $R_c/d_1 = 286.5$ ، که به ترتیب مربوط به هندسه‌هایی است که شیب نقطه ورودی آنها ۱/۵ و ۱ درجه می‌باشد) عملکرد این نوع دیفیوزرها پایین‌تر از حالت مستقیم است. در اینجا عملکرد بهینه در حالتی رخ می‌دهد که دارای شیب نقطه ورودی برابر ۲/۵ درجه و شعاع انحنای $R_c/w_1 = 1145.9$

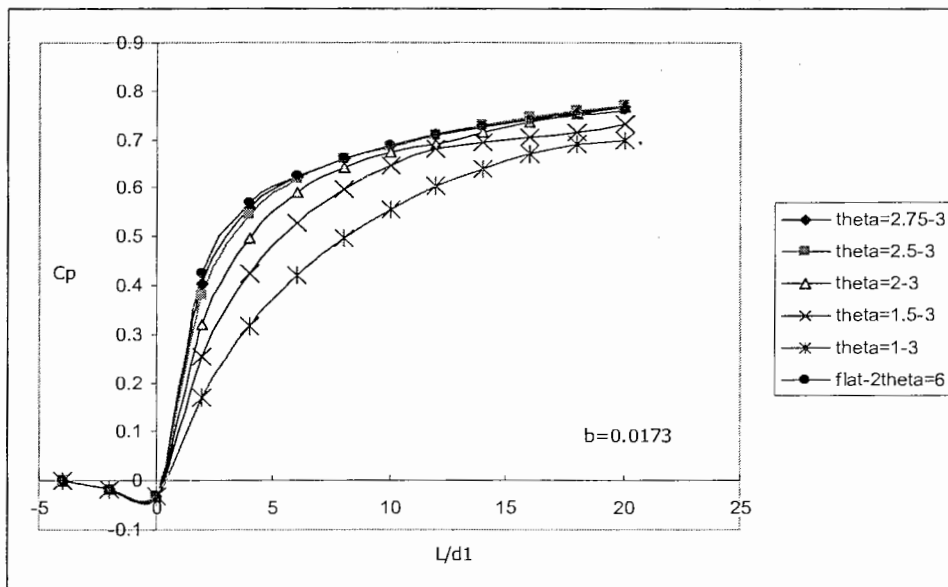
است و در این حالت $c_p = 0.7713$ می باشد که نسبت به دیفیوزر مستقیم متناظر آن که دارای $c_p = 0.7625$ است تقریباً به اندازه یک درصد بالاتر است.

بنابراین نتیجه کلی که مثل دیفیوزرهای دووجهی خمیده، در اینجا نیز می توان گرفت این است که در دیفیوزر مخروطی خمیده، اگر شیب وتر انحنای دیواره، کوچکتر از نصف زاویه واگرایی بهینه دیفیوزر مستقیم یعنی $2/25$ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر مستقیم بهتر از خمیده است، ولی اگر شیب وتر بزرگتر از $2/25$ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر خمیده در بعضی انحنایها بهتر است. همچنین هر چه شیب وتر بزرگتر باشد، درصد افزایش عملکرد دیفیوزر خمیده نسبت به مستقیم بالاتر است. بنابراین در کاربردهایی که لازم است از دیفیوزر با زاویه های واگرایی بزرگتر از $2\theta = 4.5^\circ$ استفاده شود، برای رسیدن به عملکرد بهتر می بایست از طراحی با دیواره های منحنی استفاده کرد ولی در کاربردهایی که لازم است از دیفیوزر با زاویه های واگرایی کوچکتر از $2\theta = 4.5^\circ$ استفاده شود، می بایست از طراحی با دیواره های مستقیم استفاده کرد.

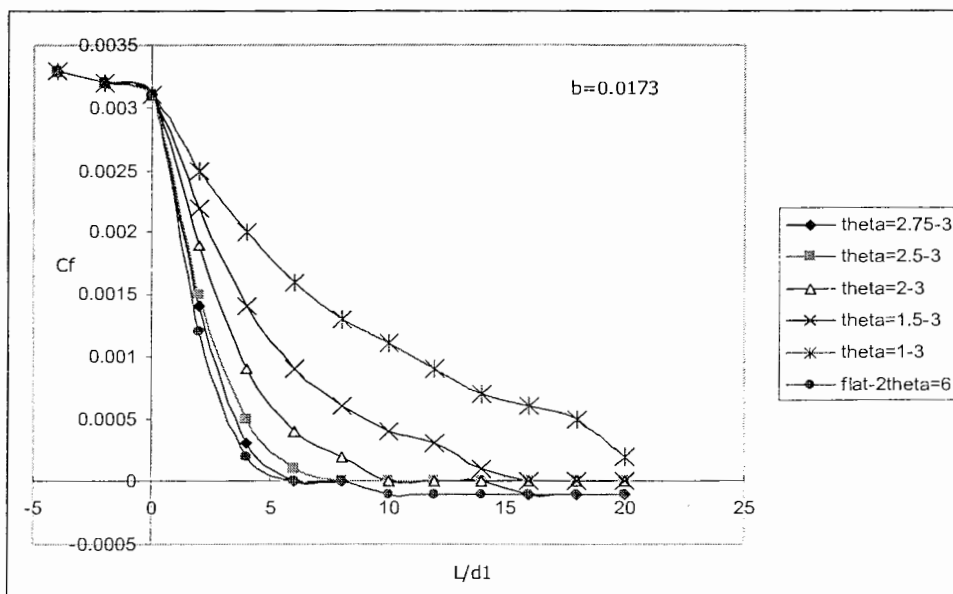
همچنین در شکل (۴-۲۹) نمودار ضریب اصطکاک برای حالت های هندسی فوق و مقایسه آن با دیفیوزر مستقیم متناظر با آن آمده است. این شکل نشان می دهد که به غیر از حالتی که شعاع انحنای دیواره زیاد است و در آن جریان برگشتی وجود دارد، در بقیه حالتها حتی جریان برگشتی هم وجود ندارد. باید دانست که در دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 6^\circ$ جریان تقریباً در اوایل دیفیوزر در حال جدایش و از میانه آن به بعد دارای جریان برگشتی است. همچنین مقادیر ضرایب شکل نیز در جدول (۴-۱۱) آمده است.

و بالاخره بدست آوردن نتایج با $b = 0.045$ برای حالت های فوق با همان شرایط، نشان می دهد که مقادیر ضرایب فشار نسبت به حالت قبل کاهش پیدا می کند، بطوریکه مقدار ضریب فشار در حالت بهینه برابر $c_p = 0.7011$ و باز هم برای حالتی بدست می آید که شعاع انحنای دیواره در آن $R_c / w_1 = 1145.9$ است (حالتی که شیب نقطه ورودی $2/5$ درجه است). این مقدار نسبت به حالت

قبل با $b = 0.0135$ که برابر $c_p = 0.7713$ است، که نشان می دهد با افزایش صد و شصت درصدی انسداد، ضریب فشار بیش از نه درصد کاهش پیدا کرده است.



شکل ۴-۲۸- مقایسه ضریب فشار دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۳ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 6^\circ$



شکل ۴-۲۹- مقایسه ضریب اصطکاک دیفیوزر خمیده با شیب وتر ۳ درجه و دیفیوزر مستقیم با $2\theta = 6^\circ$

۴-۵- دیفیوزر حلقوی با دیواره های مستقیم

با توجه به اینکه در دیفیوزر حلقوی، اندازه هر دو زاویه واگرایی دیواره داخلی و خارجی، می تواند تغییر کند، بنابراین در اینجا نتایج را برای حالت های مختلف هندسی بررسی کرده ایم. نمودار ضرایب فشار برای چهار حالت هندسی این نوع دیفیوزرها در شکل های (۴-۳۰) تا (۴-۳۳) نشان داده شده است. این چهار شکل مربوط به حالاتی است که در آن زاویه واگرایی دیواره داخلی به ترتیب ۲، ۴، ۶ و ۹ درجه می باشد. همچنین در هر کدام از حالتها، زاویه واگرایی دیواره خارجی نیز تغییر می کند. مقدار نیمه انسداد لایه مرزی در تمام حالتها برابر $b = 0.045$ و رینولدز برابر $Re_1 = 120000$ و نسبت طول به عرض دیفیوزر نیز ثابت و برابر $L/w_1 = 10$ فرض شده است.

این شکلها نشان می دهد که بهترین عملکرد در حالتی رخ می دهد که اختلاف بین زاویه واگرایی دیواره داخلی و خارجی کمترین مقدار باشد. هنگامیکه این اختلاف به ۲ درجه و یا بیشتر از آن می رسد، عملکرد به شدت کاهش می یابد، که این کاهش ضریب فشار مربوط به رشد بیش از اندازه لایه های مرزی روی دیواره ها مخصوصاً دیواره خارجی می باشد.

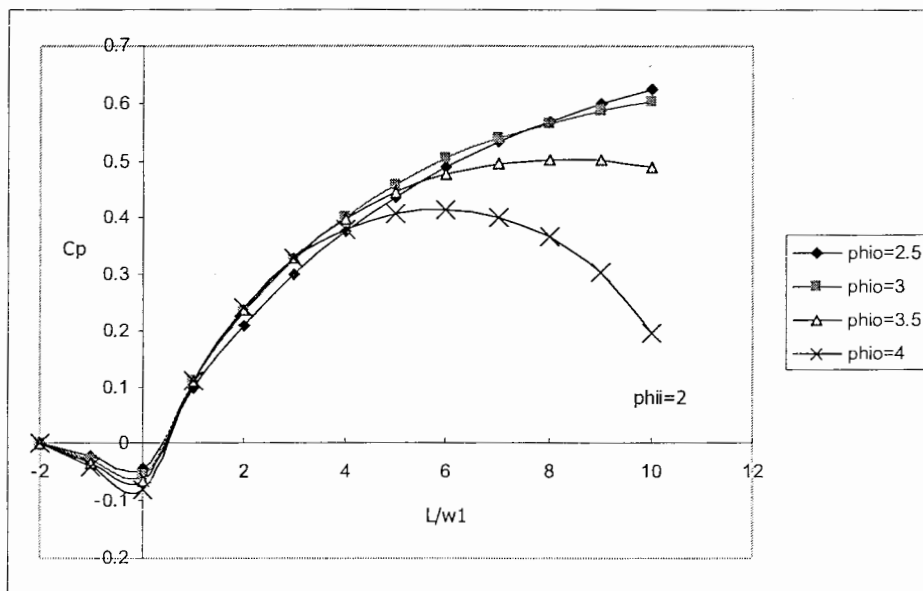
ضریب فشار ناکزیمم در حالتی که $\phi_i = 2^\circ$ است، برابر $c_p = 0.6254$ و در حالتی که $\phi_i = 9^\circ$ است، برابر $c_p = 0.9313$ می باشد. بنابراین می توان چنین گفت که با افزایش زاویه دیواره داخلی، عملکرد دیفیوزر نیز به شدت افزایش می یابد.

نمودار ضرایب اصطکاک برای این حالتها نیز در شکل های (۴-۳۴) تا (۴-۳۷) آمده است و نشان می دهد که در هیچ کدام از حالات هندسی فوق اثری از جدایش جریان مشاهده نمی شود.

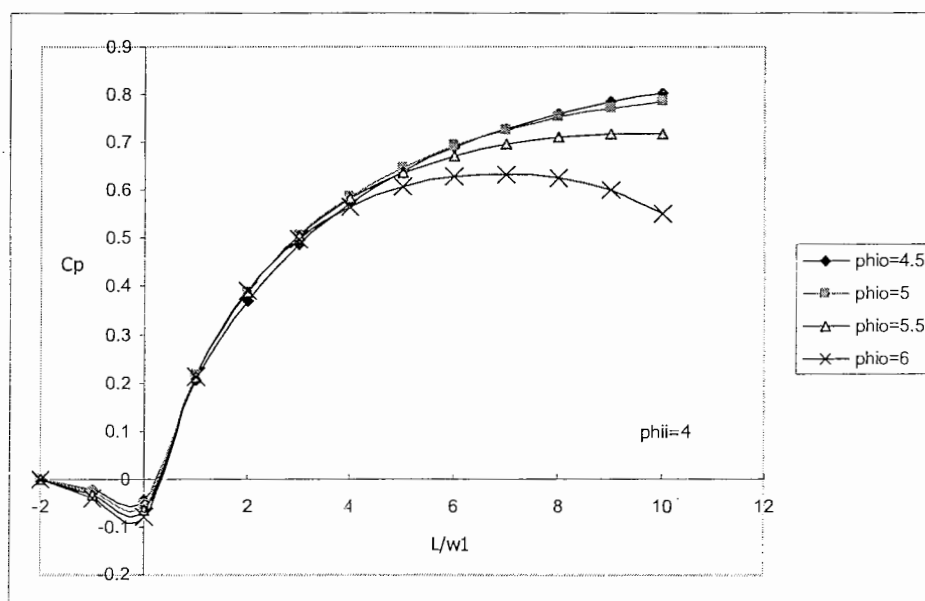
همچنین مقادیر ضرایب شکل این حالتها در جداول (۴-۱۲) تا (۴-۱۵) آمده است.

همچنین نتایج برای مقدار طول $L/w_1 = 15$ برای حالتی که $\phi_i = 6^\circ$ نشان می دهد که مقدار ضریب فشار در حالتیکه $\phi_o = 7^\circ$ برابر $c_p = 0.8916$ و در حالتیکه $\phi_o = 7.5^\circ$ است برابر $c_p = 0.7459$ می باشد. بنابراین افزایش طول، نشان از افزایش عملکرد در اختلافات کوچک زاویه

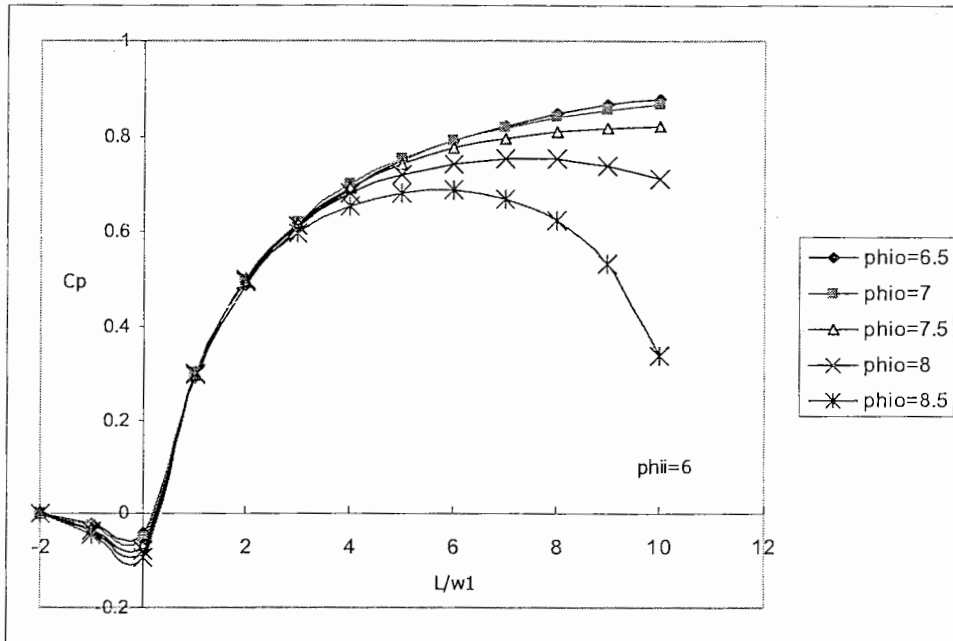
دیواره داخلی و خارجی می دهد، و اگر این اختلاف کمی بیشتر شود، با افزایش طول کاهش عملکرد را خواهیم داشت.



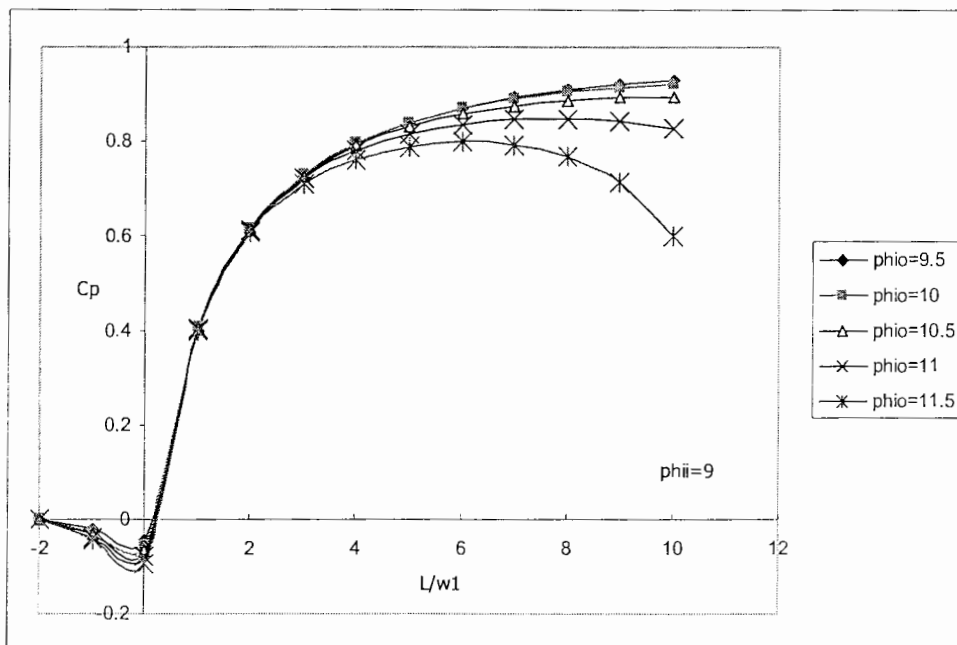
شکل ۴-۳۰- ضریب فشار دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 2^\circ$



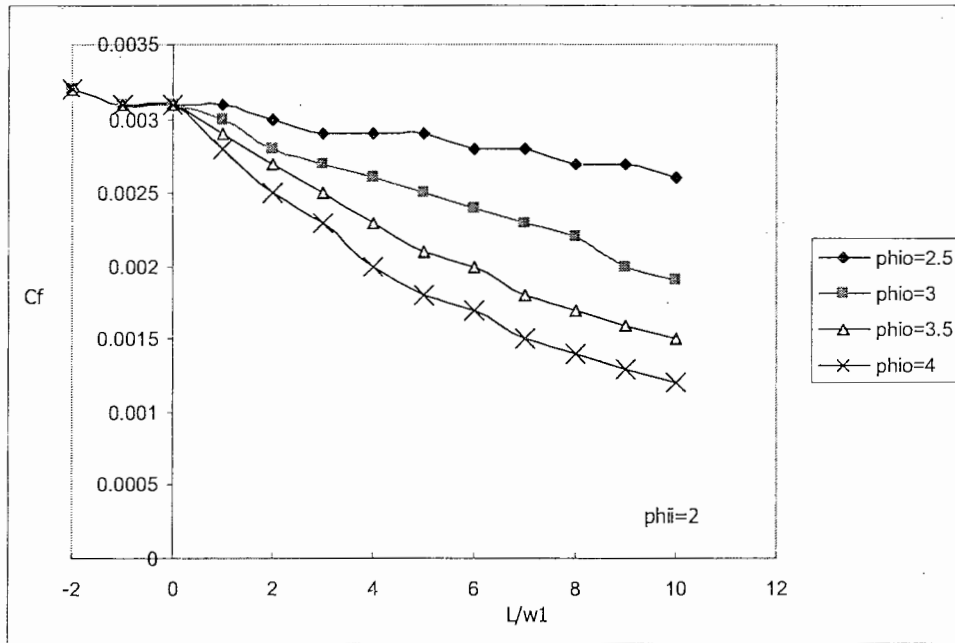
شکل ۴-۳۱- ضریب فشار دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 4^\circ$



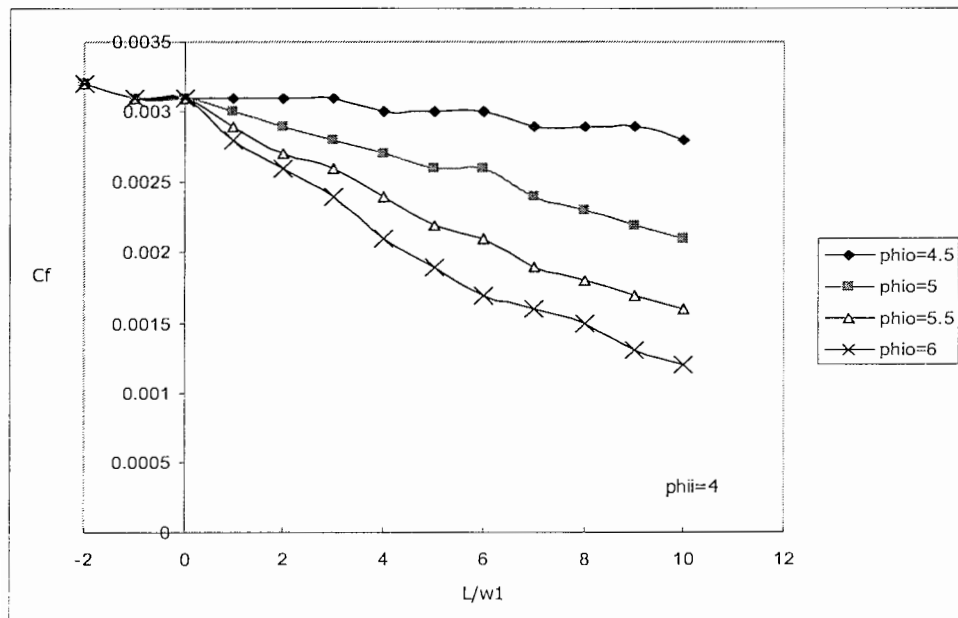
شکل ۴-۳۲- ضریب فشار دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 6^\circ$



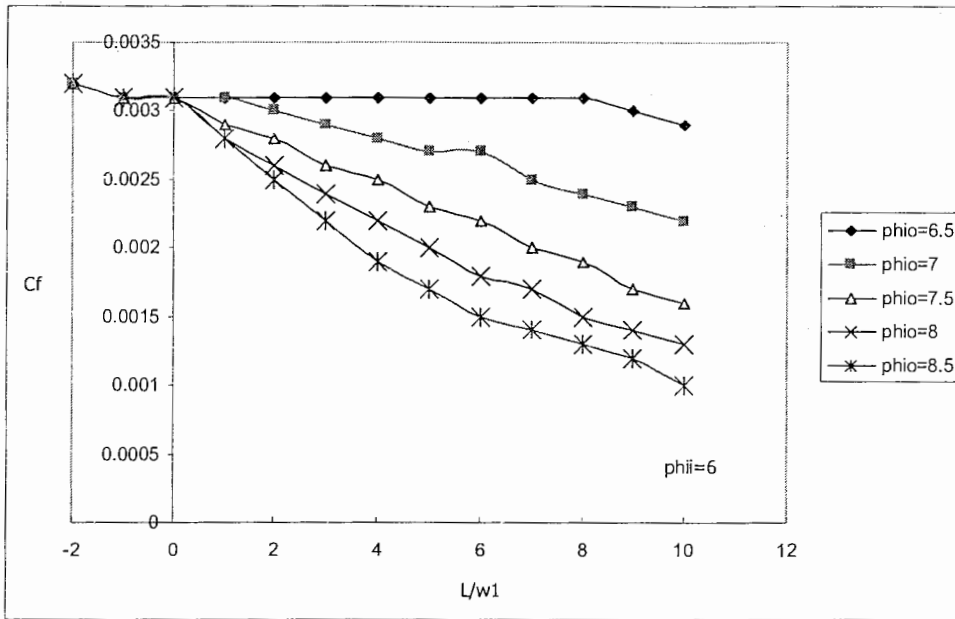
شکل ۴-۳۳- ضریب فشار دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 9^\circ$



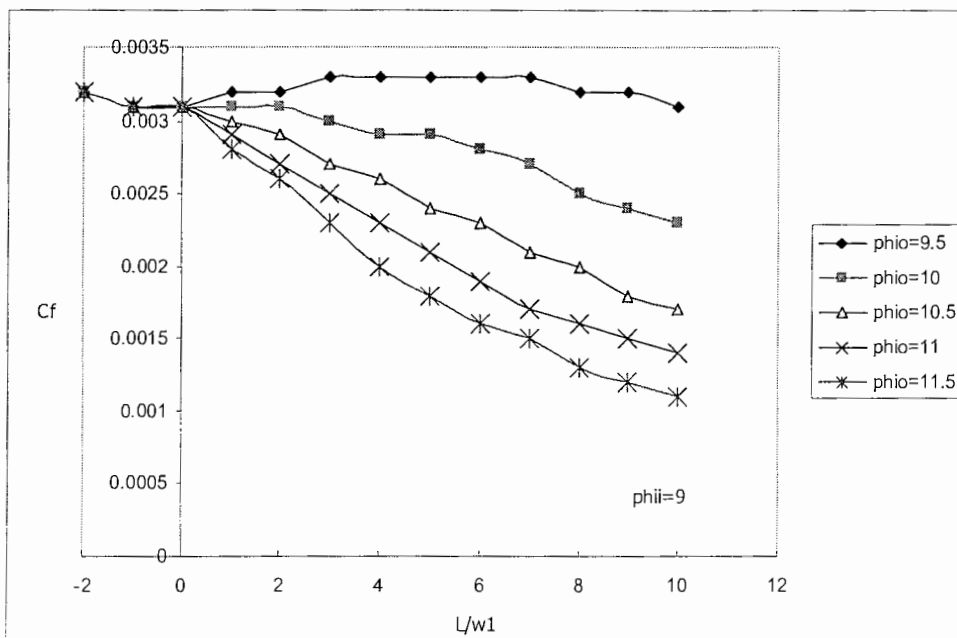
شکل ۳۴-۴- ضریب اصطکاک دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 2^\circ$



شکل ۳۵-۴- ضریب اصطکاک دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 4^\circ$



شکل ۴-۳۶- ضریب اصطکاک دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 6^\circ$



شکل ۴-۳۷- ضریب اصطکاک دیفیوزر حلقوی با $\phi_i = 9^\circ$

۱-۴- مقادیر ضریب شکل دینفورزر دووجهی مستقیم با نیمه استناد ۱۰/۱۳۵

X	2theta=3	2theta=4	2theta=6	2theta=8	2theta=9	2theta=10	2theta=12	2theta=14	2theta=16	2theta=20	2theta=24
-2	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486
-1	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497
0	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485
1	1.382	1.3953	1.4246	1.4575	1.4755	1.5102	1.5902	1.6857	1.8002	2.1122	2.6306
2	1.4124	1.4408	1.5075	1.5909	1.6405	1.7311	1.9678	2.3172	2.871	5.061	7.4435
3	1.4407	1.4851	1.5968	1.7508	1.8504	2.0294	2.5615	3.4974	4.8723	8.1297	12.5164
4	1.4673	1.5287	1.6923	1.938	2.109	2.413	3.3621	4.6766	5.9182	9.4278	16.2499
5	1.4927	1.5718	1.7929	2.1488	2.4085	2.8537	4.1149	5.2202	6.412	10.1157	18.3352
6	1.5173	1.6145	1.8973	2.3735	2.7256	3.2882	4.5119	5.5148	6.7114	10.557	19.6256
7	1.5411	1.6567	2.0033	2.5984	3.0301	3.6628	4.7346	5.7077	6.9202	10.8705	20.4993
8	1.5643	1.6983	2.1087	2.8106	3.2999	3.9603	4.8807	5.8484	7.0771	11.1073	21.1315
9	1.5869	1.7392	2.2113	3.0017	3.5271	4.1312	4.9873	5.9574	7.2006	11.2939	21.6123
10	1.609	1.7794	2.3095	3.1687	3.7137	4.2427	5.0702	6.0453	7.3008	11.4452	21.9912

۴-۲- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر دووجهی مستقیم با نیمه انبساط ۰/۴

X	2theta=3	2theta=4	2theta=6	2theta=8	2theta=9	2theta=10	2theta=12	2theta=14	2theta=16	2theta=20	2theta=24
-2	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329	1.3329
-1	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279	1.3279
0	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235	1.3235
1	1.3511	1.3627	1.3872	1.4138	1.4279	1.4476	1.49	1.5365	1.5871	1.7016	1.8365
2	1.3793	1.4042	1.4599	1.5248	1.561	1.6103	1.7227	1.8559	2.0138	2.4278	3.0355
3	1.4077	1.4474	1.5406	1.6558	1.7233	1.8145	2.0339	2.314	2.6743	3.7486	5.023
4	1.4362	1.4919	1.6282	1.8058	1.9141	2.0605	2.4279	2.9239	3.5954	5.3331	7.0336
5	1.4646	1.5373	1.7216	1.9723	2.1299	2.3429	2.8911	3.648	4.6021	6.8864	9.0527
6	1.4928	1.5833	1.8191	2.1509	2.3638	2.6498	3.389	4.3506	5.4152	8.1377	11.0798
7	1.5207	1.6294	1.9192	2.3363	2.6066	2.9646	3.8775	4.8909	6.0103	9.0668	13.1027
8	1.5482	1.6753	2.0201	2.5223	2.8477	3.2703	4.2736	5.2833	6.4362	9.7494	14.905
9	1.5752	1.7208	2.1201	2.7035	3.0784	3.5539	4.5667	5.5665	6.7444	10.2569	16.3872
10	1.6017	1.7655	2.2179	2.8752	3.2919	3.8072	4.782	5.7743	6.9728	10.6406	17.5989

۳-۴- مقادیر ضریب شکل دینفورز مخروطی مستقیم با نیمه استاندارد ۰/۱۷۳

X	2theta=2	2theta=3	2theta=4	2theta=4.5	2theta=5	2theta=6	2theta=8	2theta=10	2theta=12
-4	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439
-2	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381
0	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314
2	1.4175	1.4809	1.5597	1.6061	1.6583	1.7831	2.1519	2.918	4.6237
4	1.51	1.6743	1.9158	2.0774	2.2749	2.8106	4.7126	8.6483	15.287
6	1.6063	1.9005	2.3691	2.6912	3.0817	4.0805	7.0563	12.0643	21.3529
8	1.7037	2.1362	2.8172	3.2599	3.7672	4.9593	8.1723	13.3822	23.636
10	1.7988	2.3569	3.4355	4.0942	4.4118	5.4739	8.7255	14.0112	24.7138
12	1.8892	2.5484	4.108	4.2646	4.6628	5.7855	9.0426	14.3739	25.3314
14	1.973	3.1624	4.1146	4.3896	4.8338	5.9886	9.2463	14.6105	25.7343
16	2.0493	3.6755	4.141	4.4848	4.9569	6.1302	9.3885	14.7782	26.021
18	2.2193	4.0211	4.1733	4.5596	5.0493	6.234	9.4934	14.9042	26.2378
20	2.6198	4.0211	4.2058	4.6199	5.1215	6.3135	9.5744	15.0028	26.4089

۴-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر مخروطی مستقیم با نیمه انهدا ۴۵°

X	2theta=2	2theta=3	2theta=4	2theta=4.5	2theta=5	2theta=6	2theta=8	2theta=10	2theta=12
-4	1.3503	1.3503	1.3503	1.3503	1.3503	1.3503	1.3503	1.3503	1.3503
-2	1.3476	1.3476	1.3476	1.3476	1.3476	1.3476	1.3476	1.3476	1.3476
0	1.3445	1.3445	1.3445	1.3445	1.3445	1.3445	1.3445	1.3445	1.3445
2	1.424	1.4765	1.5377	1.5719	1.6086	1.6906	1.8937	2.183	2.5958
4	1.5131	1.6442	1.8127	1.9135	2.0269	2.3462	3.4418	5.1051	7.3754
6	1.6075	1.8484	2.2739	2.5709	2.9706	4.0695	5.5298	8.4972	13.6693
8	1.7495	2.2363	3.1679	3.9168	4.1731	4.8663	6.98	10.9476	18.3536
10	1.9619	2.8156	4.0334	4.2054	4.516	5.3839	7.898	12.403	21.1476
12	2.2337	3.7148	4.0857	4.3634	4.7431	5.7173	8.4655	13.2627	22.7901
14	2.5852	4.079	4.1365	4.4773	4.9003	5.9402	8.8295	13.7975	23.805
16	3.0485	4.0791	4.182	4.563	5.0142	6.0962	9.0751	14.1505	24.4709
18	3.6762	4.0791	4.2218	4.6298	5.1	6.2102	9.2482	14.3968	24.9336
20	4.4527	4.0792	4.2565	4.6832	5.1668	6.2966	9.3761	14.5763	25.2698

۴-۵- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر دووجهی خمیده با شیب وتر ۳ درجه و نیمه انسداد ۰/۰۱۳۵

X	theta=2.5-3	theta=2-3	theta=1.5-3	theta=1-3	theta=.5-3
-2	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486
-1	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497
0	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485
1	1.4095	1.3953	1.382	1.3693	1.3574
2	1.4723	1.4408	1.4124	1.3869	1.364
3	1.5367	1.4851	1.4407	1.4022	1.369
4	1.6027	1.5287	1.4673	1.416	1.373
5	1.67	1.5718	1.4927	1.4286	1.3764
6	1.7382	1.6145	1.5173	1.4404	1.3793
7	1.8068	1.6567	1.5411	1.4515	1.3819
8	1.8751	1.6983	1.5643	1.4622	1.3842
9	1.9422	1.7392	1.5869	1.4724	1.3865
10	2.0077	1.7794	1.609	1.4824	1.3886

۴-۶- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر دووجهی خمیده با شیب وتر ۴/۵ درجه و نیمه انسداد ۰/۰۱۳۵

X	theta=4-4.5	theta=3-4.5	theta=2-4.5	theta=1-4.5
-2	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486
-1	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497
0	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485
1	1.4575	1.4246	1.3953	1.3693
2	1.5909	1.5075	1.4408	1.3869
3	1.7508	1.5968	1.4851	1.4022
4	1.938	1.6923	1.5287	1.416
5	2.1488	1.7929	1.5718	1.4286
6	2.3735	1.8973	1.6145	1.4404
7	2.5984	2.0033	1.6567	1.4515
8	2.8106	2.1087	1.6983	1.4622
9	3.0017	2.2113	1.7392	1.4724
10	3.1686	2.3095	1.7794	1.4824

۴-۷- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر دووجهی خمیده با شیب وتر ۶ درجه و نیمه انسداد ۰/۱۳۵.

X	theta=5.5-6	theta=5-6	theta=4-6	theta=3-6	theta=2-6
-2	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486
-1	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497
0	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485
1	1.5485	1.5102	1.4575	1.4246	1.3953
2	1.8388	1.7311	1.5909	1.5075	1.4408
3	2.2598	2.0294	1.7508	1.5968	1.4851
4	2.8207	2.4129	1.938	1.6923	1.5287
5	3.4333	2.8536	2.1488	1.7929	1.5718
6	3.9666	3.2882	2.3735	1.8972	1.6145
7	4.2678	3.6627	2.5984	2.0033	1.6567
8	4.4441	3.9603	2.8106	2.1087	1.6983
9	4.5627	4.1312	3.0017	2.2113	1.7392
10	4.6502	4.2426	3.1686	2.3095	1.7794

۴-۸- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر دووجهی خمیده با شیب وتر ۸ درجه و نیمه انسداد ۰/۱۳۵.

X	theta=7-8	theta=6-8	theta=5-8	theta=4-8	theta=3-8	theta=1-8
-2	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486	1.3486
-1	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497	1.3497
0	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485	1.3485
1	1.6857	1.5902	1.5102	1.4575	1.4246	1.3693
2	2.3172	1.9677	1.7311	1.5909	1.5075	1.3869
3	3.4972	2.5614	2.0294	1.7507	1.5968	1.4022
4	4.6763	3.3619	2.4129	1.938	1.6922	1.416
5	5.2198	4.1147	2.8536	2.1488	1.7929	1.4286
6	5.5144	4.5117	3.2882	2.3735	1.8972	1.4404
7	5.7073	4.7345	3.6627	2.5983	2.0032	1.4515
8	5.848	4.8806	3.9602	2.8106	2.1086	1.4622
9	5.957	4.9871	4.1312	3.0017	2.2113	1.4724
10	6.0449	5.07	4.2426	3.1686	2.3095	1.4824

۹-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر مخروطی خمیده با شیب وتر ۱/۵ درجه و نیمه انسداد ۰/۰۱۷۳

X	theta=1.25-1.5	theta=1-1.5	theta=0.5-1.5
-4	1.3439	1.3439	1.3439
-2	1.3381	1.3381	1.3381
0	1.3314	1.3314	1.3314
2	1.4475	1.4175	1.3663
4	1.5844	1.51	1.3969
6	1.7359	1.6063	1.4245
8	1.8927	1.7036	1.4502
10	2.0445	1.7988	1.4744
12	2.1839	1.8892	1.4973
14	2.3071	1.973	1.5192
16	2.5872	2.0493	1.5401
18	3.326	2.2192	1.5601
20	4.1135	2.6197	1.5792

۱۰-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر مخروطی خمیده با شیب وتر ۲/۲۵ درجه و نیمه انسداد ۰/۰۱۷۳

X	theta=2-2.25	theta=1.5-2.25	theta=1-2.25	theta=0.5-2.25
-4	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439
-2	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381
0	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314
2	1.5597	1.4809	1.4175	1.3663
4	1.9158	1.6743	1.51	1.3969
6	2.3691	1.9004	1.6063	1.4245
8	2.8171	2.1361	1.7036	1.4502
10	3.4352	2.3568	1.7988	1.4744
12	4.1077	2.5481	1.8891	1.4973
14	4.1143	3.162	1.9729	1.5192
16	4.1405	3.6748	2.0492	1.5401
18	4.1728	4.0204	2.2191	1.5601
20	4.2053	4.0204	2.6196	1.5792

۱۱-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر مخروطی خمیده با شیب وتر ۳ درجه و نیمه انسداد ۰/۰۱۷۳

X	theta=2.5-3	theta=2-3	theta=1.5-3	theta=1-3
-4	1.3439	1.3439	1.3439	1.3439
-2	1.3381	1.3381	1.3381	1.3381
0	1.3314	1.3314	1.3314	1.3314
2	1.6583	1.5597	1.4809	1.4175
4	2.2748	1.9157	1.6743	1.51
6	3.0815	2.3689	1.9004	1.6063
8	3.7667	2.8168	2.136	1.7036
10	4.411	3.4347	2.3566	1.7988
12	4.6617	4.107	2.548	1.8891
14	4.8325	4.1136	3.1618	1.9729
16	4.9554	4.1399	3.6745	2.0492
18	5.0477	4.1722	4.0201	2.2191
20	5.1197	4.2047	4.0201	2.6195

۱۲-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر حلقوی مستقیم با $\phi_i = 2^\circ$ و نیمه انسداد ۰/۰۴۵

X	phio=2.5	phio=3	phio=3.5	phio=4
-2	1.3411	1.3411	1.3411	1.3411
-1	1.3371	1.3359	1.3346	1.3334
0	1.3332	1.3308	1.3284	1.326
1	1.3421	1.3469	1.3593	1.3671
2	1.3502	1.3654	1.3878	1.4051
3	1.3576	1.3822	1.4136	1.4394
4	1.3643	1.3974	1.4368	1.4851
5	1.3703	1.4112	1.4722	1.5294
6	1.3757	1.4269	1.507	1.5709
7	1.3807	1.4542	1.5405	1.6087
8	1.3851	1.4788	1.5721	1.6425
9	1.3948	1.5028	1.6017	1.6718
10	1.4139	1.5261	1.6289	1.6964

۱۳-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر حلقوی مستقیم با $\phi_i = 4^\circ$ و نیمه انسداد ۰/۰۴۵

X	phio=4.5	phio=5	phio=5.5	phio=6
-2	1.3411	1.3411	1.3411	1.3411
-1	1.3371	1.3359	1.3346	1.3334
0	1.3332	1.3308	1.3284	1.326
1	1.3429	1.3477	1.3601	1.3678
2	1.3518	1.3669	1.3891	1.4064
3	1.3599	1.3843	1.4155	1.4411
4	1.3672	1.4	1.4391	1.4872
5	1.3739	1.4143	1.4749	1.5318
6	1.3799	1.4304	1.5101	1.5735
7	1.3854	1.4582	1.5439	1.6116
8	1.3903	1.4832	1.5758	1.6456
9	1.4005	1.5077	1.6056	1.675
10	1.4202	1.5314	1.6331	1.6998

۱۴-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر حلقوی مستقیم با $\phi_i = 6^\circ$ و نیمه انسداد ۰/۰۴۵

X	phio=6.5	phio=7	phio=7.5	phio=8	phio=8.5
-2	1.3411	1.3411	1.3411	1.3411	1.3411
-1	1.3371	1.3359	1.3346	1.3334	1.3322
0	1.3332	1.3308	1.3284	1.326	1.3236
1	1.3437	1.3485	1.3608	1.3685	1.3756
2	1.3533	1.3682	1.3903	1.4075	1.4235
3	1.3619	1.3861	1.4171	1.4427	1.4777
4	1.3698	1.4023	1.4412	1.489	1.5327
5	1.3769	1.417	1.4772	1.5339	1.5832
6	1.3834	1.4335	1.5128	1.5758	1.6279
7	1.3893	1.4616	1.5468	1.6141	1.6659
8	1.3946	1.4869	1.579	1.6482	1.6968
9	1.4052	1.5117	1.609	1.6778	1.7203
10	1.4253	1.5357	1.6366	1.7026	1.7365

۱۵-۴- مقادیر ضریب شکل دیفیوزر حلقوی مستقیم با $\phi_i = 9^\circ$ و نیمه انسداد ۰/۰۴۵

X	phio=9.5	phio=10	phio=10.5	phio=11	phio=11.5
-2	1.3411	1.3411	1.3411	1.3411	1.3411
-1	1.3371	1.3359	1.3346	1.3334	1.3322
0	1.3332	1.3308	1.3284	1.326	1.3236
1	1.3448	1.3495	1.3618	1.3695	1.3765
2	1.3552	1.3701	1.392	1.4091	1.425
3	1.3647	1.3886	1.4194	1.4447	1.4796
4	1.3732	1.4053	1.4438	1.4914	1.5349
5	1.3809	1.4204	1.4803	1.5366	1.5856
6	1.3879	1.4373	1.5161	1.5788	1.6305
7	1.3942	1.4659	1.5505	1.6173	1.6687
8	1.4	1.4916	1.5829	1.6516	1.6996
9	1.411	1.5167	1.6132	1.6813	1.7231
10	1.4315	1.5411	1.6411	1.7062	1.7394

فصل پنجم

نتیجه گیری

الف- دیفیوزر دووجهی مستقیم:

نتایج ضریب فشار برای این نوع دیفیوزرها نشان می دهد که برای یک نسبت طول به عرض ثابت، عملکرد دیفیوزر با افزایش زاویه واگرایی، تا مقدار $2\theta = 9^\circ$ افزایش و از آن به بعد کاهش می یابد. به عبارتی عملکرد بهینه برای یک دیفیوزر دووجهی مستقیم، در هندسه $2\theta = 9^\circ$ رخ می دهد.

همچنین نتایج ضریب اصطکاک نشان می دهد که با افزایش زاویه واگرایی، تقریباً تا $2\theta = 8^\circ$ هیچ اثری از جدایش جریان دیده نمی شود و اولین اثرات آن در زاویه $2\theta = 9^\circ$ به بعد دیده می شود که در موقعیت انتهای دیفیوزر رخ می دهد.

همچنین نتایج برای تغییرات انسداد گذرگاه نشان می دهد که با افزایش این پارامتر، عملکرد دیفیوزر کاهش می یابد. نتایج برای افزایش ۱۹۰ درصدی نیمه انسداد، کاهش ۱۱ درصدی ضریب فشار را نشان می دهد.

ب- دیفیوزر مخروطی مستقیم:

نتایج ضریب فشار برای این نوع دیفیوزرها نشان می دهد که برای یک نسبت طول به عرض ثابت، عملکرد دیفیوزر با افزایش زاویه واگرایی، تا مقدار تقریبی $2\theta = 4.5^\circ$ افزایش و از آن به بعد

کاهش می یابد. به عبارتی عملکرد بهینه برای یک دیفیوزر دوجبهی مستقیم، در هندسه $2\theta = 4.5^\circ$ رخ می دهد.

همچنین نتایج ضریب اصطکاک نشان می دهد که با افزایش زاویه واگرایی، تقریباً تا $2\theta = 2^\circ$ هیچ اثری از جدایش جریان دیده نمی شود و اولین اثرات آن در زاویه $2\theta = 3^\circ$ به بعد دیده می شود که در موقعیت انتهای دیفیوزر رخ می دهد. البته با افزایش مقدار انسداد گذرگاه، هندسه شروع جدایش به سمت زوایای واگرایی کوچکتر از $2\theta = 3^\circ$ میل می کند.

همچنین نتایج برای تغییرات انسداد گذرگاه نشان می دهد که با افزایش این پارامتر، عملکرد دیفیوزر کاهش می یابد. نتایج برای افزایش ۱۶۰ درصدی نیمه انسداد، کاهش ۹/۵ درصدی ضریب فشار را نشان می دهد.

ج- دیفیوزر دوجبهی خمیده:

با توجه به اینکه عملکرد بهینه برای دیفیوزر دوجبهی مستقیم، در زاویه واگرایی $2\theta = 9^\circ$ رخ می دهد، نتایج ضریب فشار نشان می دهد که در دیفیوزر دوجبهی خمیده، اگر شیب وتر انحنا دیواره، کوچکتر از نصف زاویه واگرایی بهینه دیفیوزر مستقیم یعنی ۴/۵ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر مستقیم بهتر از خمیده است، ولی اگر شیب وتر بزرگتر از ۴/۵ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر خمیده در بعضی انحناها، که مربوط به شعاعهای خیلی بزرگ است، بهتر می باشد. همچنین هر چه شیب وتر بزرگتر باشد، درصد افزایش عملکرد دیفیوزر خمیده نسبت به مستقیم بالاتر است. بنابراین در کاربردهایی که لازم است از دیفیوزر با زاویه های واگرایی بزرگتر از $2\theta = 9^\circ$ استفاده شود، برای رسیدن به عملکرد بهتر می بایست از طراحی با دیواره های منحنی استفاده کرد.

همچنین نتایج برای تغییرات انسداد گذرگاه در اینجا دقیقاً با نتایج مربوط به دیفیوزر دوجبهی مستقیم یکسان است و برای افزایش ۱۹۰ درصدی نیمه انسداد، کاهش ۱۱ درصدی ضریب فشار را نشان می دهد.

د- دیفیوزر مخروطی خمیده:

با توجه به اینکه عملکرد بهینه برای دیفیوزر مخروطی خمیده، در زاویه واگرایی $2\theta = 4.5^\circ$ رخ می دهد، نتایج ضریب فشار نشان می دهد که در دیفیوزر مخروطی خمیده، اگر شیب وتر انحنای دیواره، کوچکتر از نصف زاویه واگرایی بهینه دیفیوزر مخروطی مستقیم یعنی $2/25$ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر مستقیم بهتر از خمیده است، ولی اگر شیب وتر بزرگتر از $2/25$ درجه باشد، عملکرد دیفیوزر خمیده در بعضی انحنایها بهتر است که مربوط به شعاعهای خیلی بزرگ است. همچنین هر چه شیب وتر بزرگتر باشد، درصد افزایش عملکرد دیفیوزر خمیده نسبت به مستقیم بالاتر است. بنابراین در کاربردهایی که لازم است از دیفیوزر با زاویه های واگرایی بزرگتر از $2\theta = 4.5^\circ$ استفاده شود، برای رسیدن به عملکرد بهتر می بایست از طراحی با دیواره های منحنی استفاده کرد ولی در کاربردهایی که لازم است از دیفیوزر با زاویه های واگرایی کوچکتر از $2\theta = 4.5^\circ$ استفاده شود، می بایست از طراحی با دیواره های مستقیم استفاده کرد.

همچنین نتایج برای تغییرات انسداد گذرگاه در اینجا تقریباً با نتایج مربوط به دیفیوزر مخروطی مستقیم یکسان است و برای افزایش 160 درصدی نیمه انسداد، کاهش 9 درصدی ضریب فشار را نشان می دهد.

ه- دیفیوزر حلقوی مستقیم:

نتایج ضریب شکل نشان می دهد که برای دیفیوزرهای حلقوی با دیواره های مستقیم و با یک طول ثابت، بهترین عملکرد در حالتی رخ می دهد که اختلاف بین زاویه واگرایی دیواره داخلی و خارجی کمترین مقدار باشد و هنگامیکه این اختلاف به 2 درجه و یا بیشتر از آن می رسد، عملکرد به شدت کاهش می یابد. همچنین با افزایش زاویه واگرایی دیواره داخلی، و ثابت بودن مقدار اختلاف زاویه دیواره داخلی و خارجی، عملکرد دیفیوزر نیز به شدت افزایش می یابد.

روشهای طراحی غیر مستقیم کانال برای مجراهای خمیده جریان بوسیله جانسون^۲ [۴]، استانی^۳ [۵] و والنسی^۴ [۶] و دیگران انجام شده است. در روشهای طراحی غیر مستقیم به این صورت عمل می شود که منابعی که باعث کاهش کارایی می شود را حذف می کنند و این روشها از این لحاظ سودمند خواهد بود. بیشتر این روشها بر اساس فرضیاتی مثل دو بعدی بودن، غیر لزج بودن، غیر قابل تراکم بودن و غیر چرخشی بودن جریان استوار است. برای بهتر نتیجه گرفتن از روشهای طراحی غیر مستقیم دو بخش از اطلاعات می بایست مشخص شود: اول یک توزیع فشار داخلی قابل تحمل و متوسط و دوم شکل مطلوب دیواره داخلی. این دو بخش از اطلاعات را معمولاً می توان با استفاده از یک روش محاسباتی تهیه کرد و بوسیله پیش بینی آنها، مجرای مطلوب را طراحی و آنرا ساخت. مشکل عمومی این روشها بطور ذاتی در تعیین و مشخص کردن یک توزیع فشار قابل تحمل روی دیواره داخلی است.

نیولندز^۵ [۷] دیفیوزرهای با زاویه خمیدگی ۹۰ درجه، با نسبت سطوح مختلف را، طراحی و آزمایش کرد. موضوع مطالعه او طراحی یک زانویی بر مبنای سرعتی که روی دیواره محدب عمل می کند و یا سطح مکشی که از ابتدای زانویی تا میانه آن ثابت است و از میانه زانویی تا انتهای آن (بدون اینکه تغییرات ناگهانی در کاهش سرعت ایجاد شود) بطور ملایم کاهش پیدا می کند، بود. همچنین در این آزمایش سرعت روی دیواره مقعر، یا سطح فشار، از نقطه شروع و ابتدای زانویی تا میانه آن بطور ملایم کاهش پیدا می کند و از نقاط میانی آن تا انتهای آن ثابت باقی می ماند. حتی با وجود مکش در لایه مرزی سطح، باز هم جدایش جریان در زانویی مشاهده می شود. برای گلوگاه ورودی به عرض ۲ اینچ ماکزیمم نسبت سطحی که می تواند بدست آید بطوری که جدایش رخ ندهد ۱/۳۳ خواهد بود. آزمایشها با هوا و در محدوده عدد ماخ ورودی ۰/۵۸ تا ۰/۴۲ انجام شده است.

^۲- Johnston

^۳- Stanits

^۴-Valentine

^۵-Newlands

1. D.L. Cochran and S.J. Kline, "The use of short flat vanes for producing efficient wide-angle two-dimensional subsonic diffusers" NACA TN 4309, September 1985
2. B.A Waitman , L.R. Reneau and S.J. Kline, "Effects of inlet condition on performance of two-dimensional diffusers" ASME, series D, vol 83, 1961
3. H. Sprenger, "Experimentelle untersuchungen an graden und gekrumnten diffusoren" Zurich 1959
4. J.P. Johnston, "Straight diffuser effectiveness data and its application to curved diffuser design employing the streamline curvature method" Ingersol-Rand Co. Technical note 13. September 1956.
5. J.D. Stanitz, "Design of two-dimensional channels with prescribed velocity distributions along the channel walls" NACA Report 1115, 1953
6. E.F. Valentine, "An approximate method for design or analysis of two-dimensional subsonic flow passages" NACA TN 4241, April 1958.
7. J.B Newlands, "Two-dimensional diffusing 90-degree flow turning passage : desin, analysis and tests," General electric Co. Aircraft necular propulsion Dept. December 1957.
8. Ackeret , L., "Grenzschichtabsaugung," Band 70, nr.35 1926.
9. Furuya, Y., Sato, T., and Kushada, t., "the loss of flow in the conical diffusers with suction at the entrance," JSME vol 9. no 33 , 1966.
10. Valentine, E.F., and carroll, R.B. "effects of several arrangements of rectangular vortex generators on the static pressure Rise through a short 2:1 diffuser" NACA RM L50104, 1951.
11. Taylor H.D., "Floud mixing by vortex generators." ASME 1958.
12. Jhonson T.R., and Joubert P.N., "The influence of vortex generators on the drag and heat transfer from the circula cylinder normal to an airstream" ASME vol.91 No.1 Feb 1969.
13. Fox R.W. and Kline S.J. " Flow regims in curved subsonic diffusers" ASME 1962
14. Sagi C.J. and Johnston J.P " The design and performance of two-dimensional curved diffusers" ASME 1967.
15. Parson D.J. and Hill P.G. "Effect of curvature on two-dimensional diffuser flow" ASME 1973.
16. Stanitz J.D. "Design of two-dimensional channels with prescribed velocity distributions along the channels walls" NACA 1953.
17. Friberg J. and Dormoy A. " Performance prediction for a curved diffuser" ALSTHOM 1978.
18. McMillan O.J. "Mean-flow mesurement of the flow field diffusing bend" NACA 1982.
19. Sajanikar M.B. Kar S. and Powel U.S. " Exprimental investigation of incompressible flow in curved diffusers" December 1982
20. Sullery R,K. Chandra B. and Muralidhar V. "Performance comparison of straight and curved diffusers" 1983.
21. RojasJ. Whitelaw J.H. and Yianneskis M. "Flow in sigmoid diffusers of moderate curvature" 1983

22. Majumdar B. Mohan. R, Singh S.N. and Agrawal D.P. " Exprimental study of flow in a high aspect ratio 90 deg curved diffuser" ASME 1994.
23. Miller D.W. "Internal flow" BHRA 1976.
24. Agrawal D.P. and Singh S.N. "Flow characteristics in a large area ratio curved diffuser" December 1991.
25. Majumdar B. Singh S.M. and Agrawal D.P. " Mean-flow measurement in a large area ratio curved diffuser" December 1992.
26. Majumdar B. Singh S.M. and Agrawal D.P. "Effectiveness of deflector plates in improving the performance of large area ratio curved diffuser" December 1993.
27. Moore C.A. and Kline S.J. " Some effects of vanes and of turbulence on two-dimentional Wide-angle subsonic diffusers" NACA Jan 1958.
28. Abbote D.E. " I. Theoretical and experimental investigation of flow over single and double backward facing steps II. Simple method for classification and construction of similarity solution of partial differential equation" 1961.
29. Von Denhoff A.E. and Tetervin N. "Determination of general relation for the behavior of turbulent boundary layer" NACA 1943.
30. Sandorm V.A. and kline S.J. " Flow models in boundary layer stall inception" ASME vol.83No.3 1961.
31. Senoo Y. and Nishi M. " Improvement of the performance of conical diffusers by vortex generators" ASME mar.1974.
32. Lyrio, A., J. H. Ferziger and S. J. Kline, "an hntegral method for the computation of steady and unsteady turbulent boundary layer flows including the transitory stall regime in a diffuser," Stanford univ. , 1981.
33. I. Shimomura and J. H. Ferziger "A program for prediction of diffuser performance in the unstalled and stalled flow regime" Stanford univ. , February 1983.
34. P. W. Runstadler, Jr., et al., "Diffuser data book" Hanover N. H: 1975
35. A. B. Khoshnevis , "Study of wake boundary layer intraction subjected to pressure gradient and convex or concave curvature" Ph.D Thesis, IITM, Channie. , Sep 2000.

۳۶. " دینامیک گازها " ترجمه مهندس احمد میرزنده دل . انتشارات دانشگاه امام حسین. پاییز ۷۰.