١٦٩٠٢

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

"گرایش حرارت و سیالات"

تحت عنوان:

حل جریان پتانسیل سه بعدی در مجاری با مقطع مستطیل شکل بروش عددی

زیر نظر:

دکتر محمد سعید سعیدی

توسط:

عباس مشیری

آبان ۱۳۶۸

۱۶۹۰۲

۲۸۰

" بسم الله الرحمن الرحیم"

پایان نامهٔ آقای عباس مشیری در جلسهٔ مورخ ۱۳۶۸/۸/۱۶ کمیتهٔ پایان نامه متشکل از اساتید ذیل مورد بررسی و تأیید قرار گرفت.

۱ ـ آقای دکتر محمدسعید سعیدی استاد راهنمای رساله

۲ ـ آقای دکتر مجید ملکی استاد کمیتهٔ تخصصی

۳ ـ آقای دکتر محمدسعیدسعیدی مسئول کمیتهٔ کارشناسی ارشد دانشکده

*** قـــدردانـــــی

با تشکروقدردانی فراوان ازآقای دکترمحمدسعید
سعیدی استادمحترم پروژه‌که‌همواره‌مشوق اینجانب
بوده‌ودرمراحل مختلف این پروژه‌مرا یاری‌کرده‌اند
وباقدردانی ازآقای مهندس رضوی که‌دربرنامه‌های
کامپیوتری این پروژه‌کمک بسیاری کرده‌انـــد.

*** خـــلاصـــــه

حل عددی جریان غیرلزج تراکم ناپذیروغیرچرخشی (جریان پتانسیل) ازداخل نازل باسطح مقطع مستطیل شکل هدف این پروژه است . این بررسی به‌دوروش صـــــورت پذیرفته است .

روش اول براساس تقریب اختلافهای محدود (Finite Difference) بـــر روی معادله لاپلاس است . دراین روش شبکه متعامدبوده و ۲۴ نوع نوع نقطه مختلف کـــه روابط پیوستگی متفاوتی دارنددرنازل ودوقسمت ثابت ابتدائی وانتهائی آن شناسائی شده است . پس ازاعمال روابط پیوستگی برای آنها وحل دستگاه معادلات جبری حاصله به روش گوس سایدل، تابع پتانسیل سرعت درنقاط مختلف کانال بدست آمده وازروی آن سرعت محاسبه شده است .

درروش دوم شبکه متعامدنیست بلکه به موازات جسم ومنطبق بربدنه است که دراین حالت بایک انتقال، هرسلول بصورت مکعب شکل درمی‌آید . دراین روش ۹ نوع نقطه کـــه یکی ازآنها داخلی وبقیه مرزی هستندشناسائی شده است . معادله پیوستگی برای نقـــاط مختلف کانال نوشته شده وبه روش گوس سایدل این معادلات باهم حل شده اندوتابـــــع پتانسیل سرعت وازروی آن سرعت درنقاط مختلف بدست آمده است .

نتایج حاصل ازاجرای برنامه نشان می‌دهد که روش دوم حتی باتعدادنقاط کمتری، قادربه‌نشان دادن ویژگیهای جریان بوده وبقاء جرم را با دقت بهتری ارضاء می‌کند .

* فهرست مطالب *

عنوان	صفحه
فصل اول : توضیحات مربوط به نازل	۱
۱-۱ : مقدمه	۱
۱-۲ : حل عددی	۲
۱-۳ : مقدمه طرح نازل	۵
۱-۴ : مطالعات تحلیلی	۷
فصل دوم : نازل با سطح مقطع مستطیل شکل (روش شبکه متعامد)	۱۰
۲-۱ : توضیح درمورد نوع شبکه و خلاصه روش	۱۰
۲-۲ : معادلات اختلاف محدود	۱۲
۲-۳ : شرح برنامه کامپیوتری	۴۲
فصل سوم : نازل با سطح مقطع مستطیل شکل (روش شبکه منطبق بر بدنه)	۴۶
۳-۱ : خلاصه روش	۴۶
۳-۲ : روش انتقال	۴۷
۳-۳ : ضرایب انتقال	۴۸
۳-۴ : روابط انتقال برای جریان سیال	۵۰
۳-۵ : روابط پیوستگی درسیستم انتقال یافته و برای نقاط داخلی	۵۳
۳-۶ : رابطه پیوستگی برای نقاط مرزی	۵۷
۳-۷ : شرح برنامه کامپیوتری	۶۸
فصل چهارم : بحث و نتیجه گیری و نتایج	۷۱
۴-۱ : نتایج محاسبات روش شبکه متعامد	۷۱
۴-۲ : نتایج محاسبات روش شبکه منطبق بر بدنه	۷۹
۴-۳ : بحث و نتیجه گیری	۸۰
ضمائم	۸۴
مراجع و مآخذ	۱۱۸

*** فصل اول

* توضیحات مربوط به نازل *

۱-۱ : مقدمه

براساس نظریه نیوتن جهت بررسی تجربی حرکت یک جسم درسیال دوروش وجود دارد. یکی اینکه جسم با سرعت درداخل سیال عبورکندویکی اینکه جسم ساکن باشدوسیال با همان سرعت ازروی آن عبورداده شود. اززمانی که اهمیت پی بردن به چگونگی و اثرات جریان سیالات حول اجسام احساس شد، بخصوص پیشبردفعالیتهای هوانوردی ، هر دوروش فوق درعمل بکارگرفته شده است.

بنیامین رابینزریاضیدان انگلیسی قرن هیجدهم، نخستین فردی بودکه با استفاده ازیک بازوی گردنده واتصال اشکال مختلف به نوک پره های آن درجهات متفاوت اثرات حرکت هوادرآنها را بررسی کرد. روش استفاده ازبازوهای گردنده تا پایان قرن نوزدهم جهت آزمایش مرسوم بود. رفته رفته با پیشرفت تکنیکهای ساخت واطلاعات علمی تونلهای بادنیزمتداول شدکه درآنها با ثابت نگه داشتن جسم موردآزمایش ، سیال را در سرعت موردنظربه حرکت درمی آورند. وپارامترهای موردنیاز (فشارها ، درجه حرارتها ، نیروهای ایرودینامیکی لیفت ، دراگ وممانهای اعمال شده روی جسم درجهات مختلف) را اندازه گیری می کنند.

قدیمی ترین تونل باد درسال ۱۸۷۱ توسط فرانک ون هام یعنی حدودسی سال قبل ازنخستین پروازهواپیما بوسیله برادران رایت ساخته شدوپس ازاینکه رینولدزازدانشگاه منچسترامریکا نشان دادکه ساختمان وشکل جریان هوادراطراف یک هواپیمای مدل (با شکل مشابه هواپیمای واقعی) عیناً مشابه جریان حول هواپیمای واقعی است ، برادران رایت موفق شدنددرسال ۱۸۹۹ نخستین ماشین پرنده را بسازندوایشان خیلی زوددریافتند

که نیاز به یک تونل باد دارند. اولین تونل باد آنها از یک محفظه مکعب مستطیل شکل تشکیل شده بود که با یک فن و دو عضو تنظیم کننده جریان مجهز بود. نتایج کاری این تونل بقدری برایشان مفید بود که یک نمونه کاملتر و بزرگتر آنرا ساختند و به کمک همین تونل باد بود که طرح اولین هواپیمای سرنشین دار را ارائه کردند. سپس در سالهای وقوع جنگ جهانی اول و پس از آن در اروپا و امریکا آزمایشگاههای متعددی در صنایع هوانوردی بکار گرفته شدند. بطوریکه در دهه ۴۰ قرن بیستم مسئله گذشتن سرعت هواپیما از سرعت صوت به میان آمد و تونلهای باد مناسب جهت آزمایش روی سرعتهای ما فوق صوت نیز بکار گرفته شد و در آغاز عصر فضا و فعالیتهای فضائی نیاز به بررسی راکتها و موشکها احساس شد و امروزه حرکت در سرعتهای ماوراء صوت و استفاده از تونلهای بادی که قادر به تأمین چنین سرعتهائی باشند امری عادی می‌باشد.

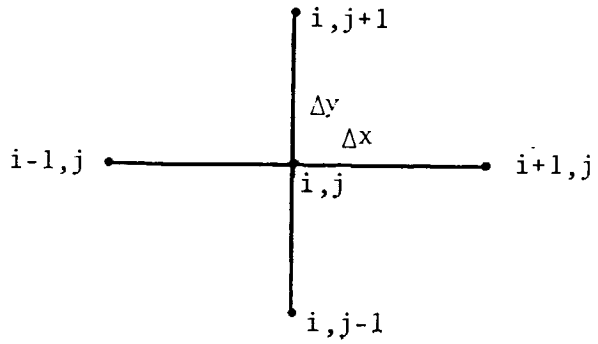
استفاده از تونلهای باد به دلیل توانائی استفاده از مدلها، یک روش آزمایش سریع، اقتصادی و دقیق برای تحقیقات ایرودینامیک می‌باشد. لذا امروزه تونلهای باد یکی از پر اهمیت ترین وسائل آزمایشگاهی در زمینه ایرودینامیک هستند که جهت استخراج اثرات جریان یک سیال همچون هوا روی هواپیماها، موشکها، ساختمانها، پلها، دکلهای انتقال برق، کشتی‌ها، زیردریائیها، دودکشها، آنتنهای رادار، پرواز پرندگان و .... استفاده می‌گردد و به همین جهت در آزمایشگاههای تحقیقاتی مراکز دانشگاهی، نظامی و صنعتی انواع مختلف تونلهای باد را می‌توان یافت که بسته به نوع کاربرد، قیمت، دقت مورد نیاز و تکنولوژی ساخت متنوع می‌باشند.

۲-۱ : حل عددی (Finite difference)

تکنیک اختلاف محدود برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حدود یک قرن است که توسط ریاضیدانان مورد بحث قرار گرفته است. ولی تا موقعی که کامپیوترهای دیجیتال ساخته

نشده بود حلهای اختلاف محدود عملی نشده بود. امروزه روش اختلاف محدود در دینامیک سیالات عددی کاربرد وسیعی دارد. حلهای اختلاف محدود برای جریان سیالات مختلف امروزه در صنعت و در مورد تحقیقات مدرن ایرودینامیکی مورد استفاده قرار گرفته است. مخصوصاً این حلها انقلابی در تحلیل جریان تراکم پذیر بوجود آورده اند.

تکنیک اختلاف محدود، اختلافهای جبری هستند که مشتقهای جزئی مختلف را که در معادلات دیفرانسیل حاکم برحرکت سیال وارد می‌شوند بیان می‌کنند. برای مثال شبکه مستطیلی را که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است در نظر بگیرید. نقاط مختلف شبکه توسط اندیس i در جهت x و اندیس j در جهت y مشخص شده اند. اگر نقطه (i,j) را در نظر بگیریم نقطه سمت راست آن (i+1,j) و نقطه سمت چپ آن (i-1,j) و همینطور نقطه بالای (i,j)، (i,j+1) و نقطه در سمت پائین آن (i,j-1) می‌باشد. فاصله بین نقاط در جهت x با Δx و در جهت y با Δy نشان داده می‌شود. در حال حاضر با شبکه‌ای سروکار داریم که در آن Δx ها و Δyهای مختلف در آن با هم برابر نبود $\Delta x \neq \Delta y$.



شکل ۱-۱ : نمایش یک شبکه مستطیلی

یک بسط سری تیلور برای مؤلفه افقی سرعت حول نقطه (i,j) در جهت x در نظر می‌گیریم.

$$u_{i+1,j} = u_{i,j} + (\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j} \Delta x + (\frac{\partial^2 x}{\partial x^2})_{i,j} \frac{(\Delta x)^2}{2}$$

از معادله ۱-۱ در حال حاضر به این نتیجه می‌رسیم که معادله از دقت درجه دوم می‌باشد، چون عبارات $(\Delta x)^3$ و $(\Delta x)^4$ کوچک فرض شده و حذف شده اند. اگر فقط دقت درجه اول مورد

نظر باشد ، معادله بصورت زیر درمی‌آید :

$$u_{l+1,j} = u_{i,j} + (\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j} \Delta x + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

با حل معادله برای $\frac{\partial u}{\partial x}$ داریم :

$$(\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\Delta x}$$

رابطه ۳ـ۱ یک اختلاف جبری است (از دقت درجه اول) مشتق جزئی $(\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j}$ را ارائه می‌دهد . این شکل خاص معادله ۳ـ۱ اختلاف روبه‌جلو (Forward difference) نامیده می‌شود .

مشابه رابطه ۱ـ۱ اگربرای Δx منفی نوشته‌شود ، خواهیم داشت :

$$u_{i-1,j} = u_{i,j} + (\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j}(-\Delta x) + (\frac{\partial^2 x}{\partial x^2})_{i,j}(\frac{\Delta x^2}{2})$$

که‌برای دقت درجه اول بصورت زیرنوشته می‌شود :

$$u_{i-1,j} = u_{i,j} - (\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j} \Delta x$$

اگررابطه‌بالارا برای $\frac{\partial u}{\partial x}$ حل کنیم ، بدست خواهیم آورد :

$$(\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j} = \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\Delta x}$$

رابطه ۶ـ۱ یک اختلاف روبه‌عقب (Rearward difference) برای مشتق را نشان می‌دهد . دورابطه ۳ـ۱ و ۵ـ۱ ارائه‌اختلاف محدودبرای مشتق $\frac{\partial u}{\partial x}$ درنقطه i,j هستند . آنها هردوازدقت درجه‌اول هستند . یک اختلاف محدودازدقت درجه‌دوم می‌توانندبا کم‌کردن دورابطه ۱ـ۱ و ۴ـ۱ بدست بیاید .

$$u_{i+1,j} - u_{i-1,j} = 2(\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j}$$

که‌با حل کردن برای $\frac{\partial u}{\partial x}$ بدست می‌آید :

$$(\frac{\partial u}{\partial x})_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x}$$

رابطه ۸ـ۱ را اختلاف مرکزی می‌نامند . وازدقت درجه‌دوم است‌چون ازدورابطه با دقت درجه‌دوم بدست‌آمده‌است .

به‌همین ترتیب برای مشتق اول درجهت y بدست می‌آید :

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{i,j} = \begin{cases} \dfrac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta y} & \text{اختلاف رو به جلو} \\ \dfrac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\Delta y} & \text{اختلاف رو به عقب} \\ \dfrac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2\Delta y} & \text{اختلاف مرکزی} \end{cases}$$

مشتق دوم سرعت درنقطه i,j بصورت زیربدست می‌آید. با بدست‌آوردن $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ از رابطه ۱-۱ داریم :

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)_{i,j} \frac{\Delta x^2}{2} = u_{l+1,j} - u_{i,j} - \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \Delta x$$

با قراردادن بجای $\frac{\partial u}{\partial x}$ از رابطه ۱-۸ به‌رابطه‌زیرمی‌رسیم :

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)_{i,j} \frac{\Delta x^2}{2} = u_{i+1,j} - u_{i,j} - \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x}$$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2}$$

برای جهت y به‌رابطه مشابهی می‌رسیم :

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)_{i,j} = \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2}$$

۱-۳ : مقدمه‌طرح نازل

اصولا" شتاب‌گرفتن‌جریانی که‌واردنازل می‌گردد بخاطراهداف زیرمی‌باشد :

۱- کاهش غیریکنواختیهای جریان متوسط جهت ایجادیکنواختی درپروفیل سرعت ورودی به‌قسمت آزمایش تونل باد.

۲- کاهش سطح اغتشاش نسبی(Relative turbulence)

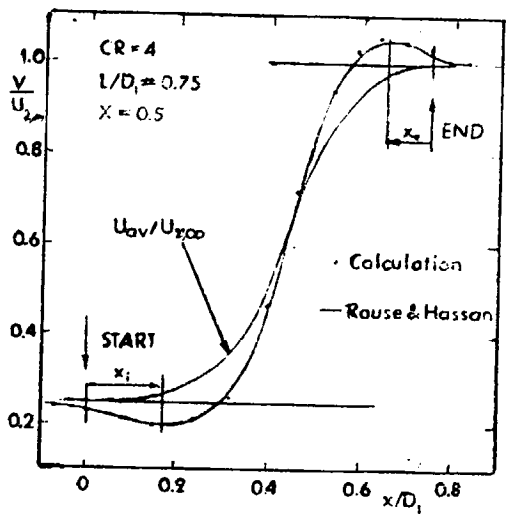
۳- کاستن ازبارها وتلفات دینامیکی درصافیهای تونل باد.

مهمترین پارامترها برای تعیین دامنه‌اثرات فوق نسبت‌تراکم (CR) یعنی نسبت‌سطح مقطع ورودی به‌خروجی نازل می‌باشد. با مشخص‌شدن CR دوپارامترمهم دیگر وجودداردکه‌عبارتنداز‌شکل وطول نازل که‌این پارامترها کنترل کننده‌یکنواختی

پروفیل سرعت خروجی ورشدلایه مرزی می باشند . فضای اشغالی وهزینه‌ساخت نیزدرانتخاب ابعادنازل درنظرگرفته می‌شوند .

یکنواختی سرعت وخروجی :

می‌توان نشان دادکه‌حتی با انتقال ملایم دیواره‌نازل به‌قسمت آزمایش ، درهمه نازلهای با طول محدودسرعت درنزدیکی دیواره‌بصورت یکنواختی زیادنمی‌شود بلکه‌دارای یک مینیمم موضعی درنزدیکی ناحیه‌ورودی ویک ماکزیمم موضعی درنزدیکی مجرای خروجی می‌باشد . این روندرنازلهای باجریان مادون صوت مشاهده‌می‌شود زیرا معادلات حاکم برجریان بیضوی بوده لذاتراکم خطوط جریان برناحیه‌مستقیم بالادست جریان‌اثر گذاشته‌وآنها را مجبوربه انحنا می‌کندواین انحناء خط جریان ، یک پروفیل سرعت غیریکنواخت را درناحیه‌مستقیم فراهم می‌کند . درنتیجه‌یک کاهش درنزدیکی ابتدای نازل ویک افزایش درنزدیکی دیواره‌انتهای نازل را به‌همراه‌دارد . داشتن مینیمم و ماکزیمم سرعت سبب ایجادنواحی باگرادیان فشارمعکوس ($\frac{\partial P}{\partial x} > 0$) می‌کندکه می‌تواند منجربه‌جدائی جریان شود . همچنین درنتیجه‌توزیع سرعت نشان داده‌شده‌درشکل ۲-۱ در



شکل۲-۱ : توزیع سرعت روی‌دیواره‌وتوزیع سرعت یک بعدی [۴]

نزدیکی دیواره ودرخروجی نازل پروفیل سرعت خروجی همیشه غیریکنواخت می باشد و در نازلهای با طول کوتاه این غیریکنواختیها ممکن است به ۱۰% برسدکه البته دریک تونل بادکاملا" غیرقابل قبول می باشد. البته جریان درپائین دست نازل یکنواخت خواهدشد. ولی این به مفهوم این است که یک قسمت از ناحیه آزمایش جهت انجام آزمایش نامناسب می باشد.

احتمال بروزجدائی درنازل به این دلیل اهمیت فراوان داردکه جدائی موضعی سبب افزایش ضخامت لایه مرزی میگردد. جدائی درمقیاس وسیع ممکن است باعث ناپایداری جریان گردد. افزایش فشار وگرادیان فشار دردرطول دیواره ها مطمئنا" با افزایش طول نازل قابل کم شدن می باشد ولی این طول بوسیله عوامل همچون فضا وهزینه ساخت محدود میگردد. همچنین ضخامت زیادلایه مرزی درانتهای نازل بیش ازیک اندازه بلند نامطلوب می باشدوباید درنظرگرفته شود.

مسئله طراحی مطلوب ومناسب نازلهای تونل بادموضوع بسیاری ازتحقیقات تئوری بوده است که دراکثرکارهائی که دراین زمینه انجام گرفته بیشترین توجه به تحلیل مسائل با استفاده ازجریان سیال غیرلزج شده است وکمتربه بررسی اثرویسکوزیته درچنین جریانهائی پرداخته شده است. آنچه که دراین گزارش دنبال میگردد استفاده ازنتایج بدست آمده ازحل جریان غیرلزج وپرداختن به حل جریان غیرلزج می باشد.

۴-۱ : مطالعات تحلیلی

وقتی دریک نازل جدائی رخ ندهد، مطالعه جریان را می توان توسط معادله لاپلاس بیان کرد. که این معادله خطی برای اشکال هندسی ساده درمقایسه با معادلات ناویراستوکز نسبتا" براحتی قابل حل می باشد. درنتیجه حلهای تحلیلی بسیاری برای جریانهای پتانسیل با تقارن محوری وجریان دوبعدی پتانسیل درداخل نازل پیشنها دشده است.

درمواردی که‌جریان دوبعدی درنظرگرفته‌شده‌است ، اغلب ازصفحه‌هودوگراف سرعت استفاده‌گردیده‌است [۲]. به‌این نحوکه‌یک مسیردرصفحه‌هودوگراف به‌نحوی انتخاب‌می‌گردد که‌سرعت درطول دیواره‌نازل را بدست دهد. وشکل دیواره‌نازل برای توزیع سرعت انتخاب شده‌با یک تبدیل به‌صفحه‌فیزیکی حاصل می‌گردد.

راه‌حلهای متعددی برای محاسبه‌جریان ازداخل نازل متقارن وجوددارد‌که‌بیشتر اینها برای نازلهای باطول نامحدودکه‌برای آنها منطقه‌باگرادیان فشارمعکوس وجود ندارد ، می‌باشند. یک روش تقریبی توسط وایت‌هید [۳](Whitehead) ارائه‌شده‌که درآن جریان ازمیان نازل دوبعدی باهمان شکل دانسته‌شده‌است . مورل[۴] جریان از یک سری نازل که‌شکل دیواره‌آنها بصورت دومنحنی درجه‌سوم بودآنالیزکرد. با استفاده ازشرط جدائی استراتفورد او توانست قیدهای موجوددرطراحی‌را بدست بیاوردکه شامل اندازه‌سرعت خروجی وغیریکنواختی درمقطع خروجی بودند. نتایج اصلی بدست‌آمده از کاراوعبارت بودنداز :

۱ـ نسبت سطح مقطعهای بزرگ درنازل یک نوسان درسرعت‌خروجی خودبخاطرشتاب زیاد سیال دارد اما اگراین نسبت از ۵ کمترباشد بیشترتوجه‌بایدبه‌وجودجدائی بشود.

۲ـ حتی اگرسرعت درمقطع خروجی یکنواخت‌باشد ، جدائی نازل وجوددارد.

یک حل نیزبرای نازلهای باتقارن محوری براساس‌حل سری معادله‌لاپلاس برای تابع پتانسیل ویاحل معادله‌استوکس بلترامی برای تابع جریان ، باتوجه‌به‌یک توزیع سرعت مشخص درطول خط محورمی‌باشد. این حل تعدادنامحدودی سطح جریان را ایجادمی‌کندودورترین این سطوح جریان (که‌کوتاهترین تراکم رانتیجه‌می‌دهد) با گرادیان فشارمناسب به‌عنوان شکل دیواره‌نازل انتخاب می‌گردد.

روشهای فوق الذکراطلاعات کمی درموردیک طرح بهینه‌برای شکل نازل وطول آن بدست می‌دهد وحلهای فوق فقط ابزاری ریاضی هستندکه‌برای تحلیل جریان بکاربرده می‌شوند. کاربرداین ابزاربرای طرح نازل محتاج به‌این است‌که‌طرح ابتدامقادیری

پیشنهادی داشته باشد و سپس با سعی و خطا شکل مطلوب و طول نازل را بدست آورد.

مسئله دیگری که در مورد طرح نازل با تقارن محوری باید در نظر داشت این است که حلهای ارائه شده در این مورد فقط برای نازلهای با طول نامحدود که در دو انتهای آن بصورت اکسپرانسیلی کاهش پیدا می کند معتبر می باشد. بنا براین طراح با یک مشکل اضافی که تسطیح زوایای نازل از محل مناسبی در طول نازل می باشد مواجه است ولی می توان امیدوار بود که این روش لااقل بصورت تقریبی برای با طول محدود مفید باشد. به دلیل اشکالات ذکر شده در حلهای تحلیلی طراحان اغلب روشهائی در طراحی را انتخاب می کنند که زیاد پیچیده نباشد.