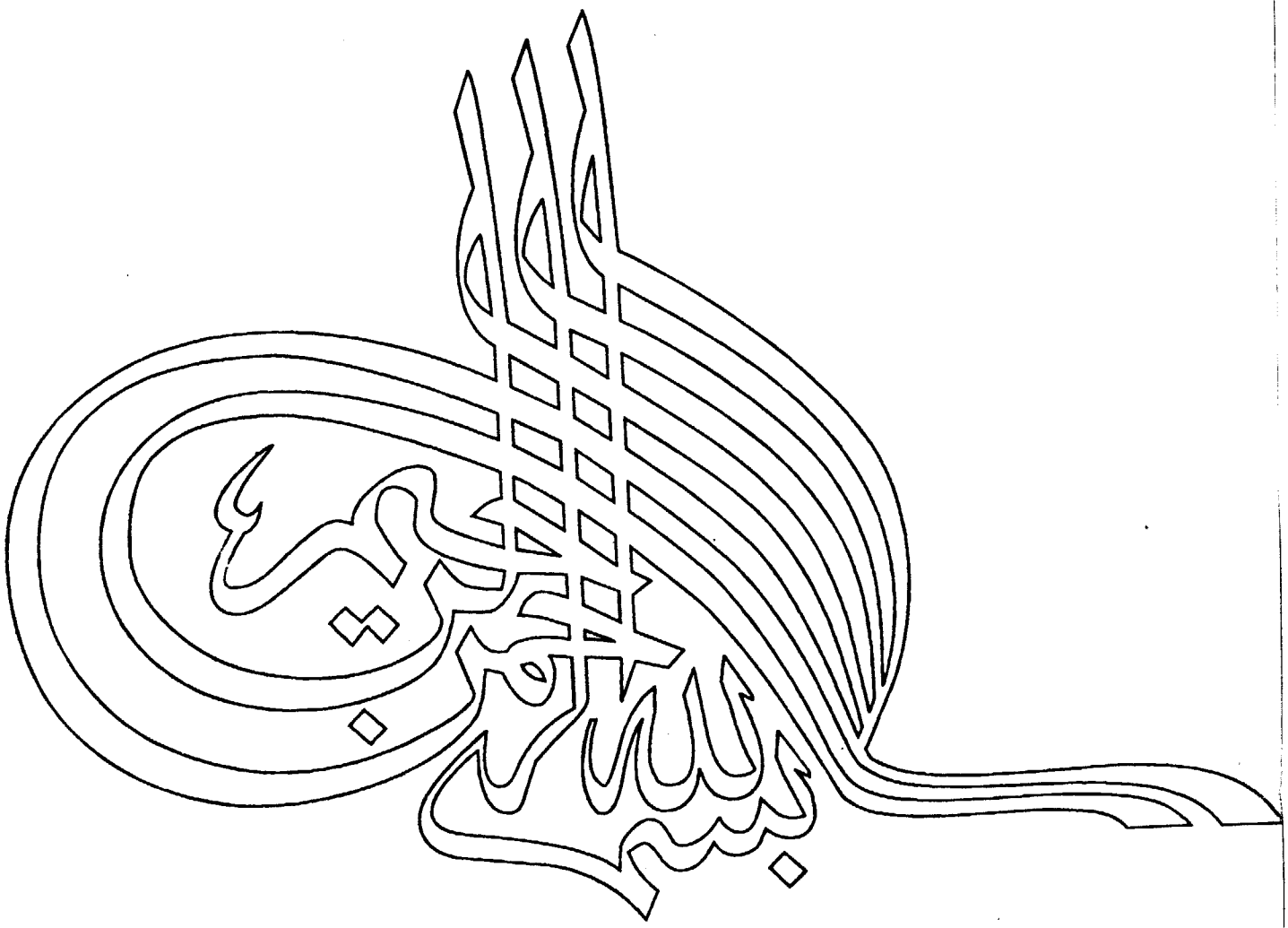


٢٦٣٣١

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

موضوع

بررسی عددی انتقال حرارت گذرا همراه با گرمایش آیرودینامیکی در دماغه موشک با اعداد ماخ بالا

توسط

سید ولی میراسماعیلی

استاد راهنما

دکتر حسین شکوهمند

زمستان ۱۳۷۷

۱۶۲۳۱

موضوع

بررسی عددی انتقال حرارت گذرا همراه با گرمایش آیرودینامیکی در دماغه موشک با اعداد ماخ بالا

توسط

سید ولی میراسماعیلی

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته : مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

از این پایان نامه در تاریخ ۷۷/۱۲/۲۶ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

۱۲۷۸ /۶/ ۸

3814/۲

محل امضاء

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی :

مدیر گروه آموزشی : دکتر احمد نوربخش

نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر منصور نیکخواه بهرامی

استاد راهنما : دکتر حسین شکوهمند

عضو هیئت داوران : دکتر محسن رحیمیان

عضو هیئت داوران : دکتر کیوان صادقی

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از جناب آقای دکتر حسین شکوهمند و جناب آقای دکتر حسن رحیمیان که راهنمایی این پروژه را قبول کردند کمال تشکر را دارم.
از جناب آقای دکتر کیوان صادقی نیز بخاطر شرکت در جلسه دفاعیه سپاسگذارم. همچنین لازم می دانم مراتب سپاس خود را از آقای مهندس نیازیان بخاطر راهنمایی های ارزنده ایشان و آقای عراقی بخاطر تایپ پروژه و سایر عزیزانی که در انجام پروژه اینجانب را یاری نمودند ابراز دارم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده

فصل اول ـ ایجاد شبکه دو بعدی ۱

۱ـ۱ مقدمه ۲

۲ـ۱ـ آشنایی با روشهای تولید شبکه ۳

۱ـ۲ـ۱ـ روشهای جبری ۳

۲ـ۲ـ۱ـ روشهای کلاسیک ۳

۳ـ۲ـ۱ـ روشهای معادله دیفرانسیل ۴

۳ـ۱ـ شبکه سازی به روش بیضوی ۴

۴ـ۱ـ تولید شبکه با استفاده از معادلات لاپلاس ۶

۵ـ۱ـ تولید شبکه با استفاده از معادلات پواسون ۸

۶ـ۱ـ توابع کنترلی ۱۰

۷ـ۱ـ عمود بودن خطوط شبکه برروی مرزهای $\eta = \eta_{max}, \eta = 0$ ۱۲

۸ـ۱ـ ایجاد تعامد در مرزهای $\eta = \eta_{max}, \eta = 0$ ۱۶

۹ـ۱ـ معادلات انفصال جهت ایجاد شبکه ۱۷

فصل دوم ـآنالیز تحلیلی انتقال حرارت هدایتی‌دردماغه ۲۳

۱ـ۲ـ مقدمه ۲۴

۲ـ۲ـ معادلات حاکم بر مسئله ۲۴

۲۶ ..... ۲ـ۳ـ مرزهای مجازی
۲۸ ..... ۴ـ۲ـ شرط مرزی در مرز مشترک B, A
۲۸ ..... ۵ـ۲ـ شرط مرزی در نقطه O_1
۲۹ ..... ۶ـ۲ـ شرایط مرزی

۳۰ ..... **فصل سوم ـ آنالیز عددی انتقال حرارت‌هدایتی‌دردماغه**
۳۱ ..... ۱ـ۳ـ مقدمه
۳۲ ..... ۲ـ۳ـ تبدیل معادلات
۳۵ ..... ۳ـ۳ـ تعیین معادلات در ناحیه محاسباتی
۳۷ ..... ۴ـ۳ـ شرایط مرزی در ناحیه محاسباتی
۳۹ ..... ۱ـ۴ـ۳ـ شرط مرزی در سطوح خارجی
۳۹ ..... ۲ـ۴ـ۳ـ شرط مرزی در سطح پائینی
۴۰ ..... ۵ـ۳ـ حل عددی معادله انتقال حرارت
۴۰ ..... ۱ـ۵ـ۳ـ روش صریح
۴۱ ..... ۲ـ۵ـ۳ـ روش ضمنی
۴۴ ..... ۶ـ۳ـ فرم عددی معادلات حاکم بر مسئله
۴۶ ..... ۷ـ۳ـ فرم عددی شرایط مرزی
۴۶ ..... ۱ـ۷ـ۳ـ شرط مرزی در بالای دماغه
۴۸ ..... ۲ـ۷ـ۳ـ شرط مرزی در جلوی دماغه
۵۰ ..... ۳ـ۷ـ۳ـ شرط مرزی در سطح پائینی

۵۱ ..... **فصل چهارم ـ آنالیز تحلیل گرمایش آئرودینامیکی بر دماغه**
۵۲ ..... ۱ـ۴ـ مقدمه

۲ـ۴ـ گرمایش آئرودینامیکی ۵۳
۳ـ۴ـ لایه مرزی حرارتی ۵۴
۴ـ۴ـ معادلات اساس و تقریب لایه مرزی ۵۹
۵ـ۴ـ معادلات حاکم ۵۹
۶ـ۴ـ تقریب لایه مرزی ۶۱
۷ـ۴ـ معادلات پیوستگی ۶۱
۸ـ۴ـ معادلات ممنتوم ۶۱
۹ـ۴ـ معادله انرژی ۶۲
۱۰ـ۴ـ محاسبه گرمایش آئرودینامیکی ۶۷
۱۱ـ۴ـ جریان آرام ۶۸
۱۲ـ۴ـ جریان مغشوش ۶۹
۱۳ـ۴ـ ضریب اصطکاک پوسته ـ جریان آرام ۷۰
۱۴ـ۴ـ ضریب اصطکاک پوسته ـ جریان مغشوش ۷۱
۱۵ـ۴ـ ضریب اصطکاک پوسته ـ جریان لغزشی ۷۲
۱۶ـ۴ـ قانون مخروط ۷۳
۱۷ـ۴ـ انتقال حرارت از نقطه سکون ۷۳

فصل پنجم ـ جمع‌بندی نتایج ۷۶
۱ـ۵ـ بحث و نتیجه‌گیری ۷۷
۲ـ۵ـ کانتورهای دما ۸۴
فهرست مراجع .....
چکیده لاتین .....

چکیده:

هدف اصلی در این پروژه بررسی عددی توزیع درجه حرارت در دماغه یک موشک بالستیک است. در این راستا ابتدا باید شبکه‌ای مناسب برای محیط فیزیکی مورد بحث ایجاد کرد. این شبکه از حل معادلات دیفرانسیل بیضوی بدست می‌آید. برای اعمال شرایط تعامد و تمرکز خطوط شبکه در مرزهای جسم از توابع کنترلی نمائی استفاده شده است. بدین ترتیب با حل سیستم معادلات پواسون شبکه مورد نظر ایجاد می‌شود و سپس مسئله فوق از محیط فیزیکی به محیط محاسباتی منتقل شده و حل معادلات حرارتی در این میدان انجام می‌شود. سپس با تعیین نمودن متریکهای تبدیل می‌توان پارامترهای مورد نظر را در میدان فیزیکی بیان کرد.

حل معادلات با گسسته‌سازی آنها به روش ADI و فرم تفاضل محدود مناسب انجام گرفته است. استفاده از روش ADI می‌تواند تضمینی مناسب برای پایداری روش عددی باشد و سیستم معادلات قطری حاصل با استفاده از الگوریتم توماس حل می‌شوند. پس از حل معادلات فوق توزیع دما را در زمانها و ارتفاعات مختلف پرواز خواهیم داشت.

فصل اول

ایجاد شبکه دو بعدی

۱ـ۱ـ مقدمه

با توجه به عدم امکان استفاده از روشهای تحلیلی برای پاسخگویی به جمع کثیری از مسایل فیزیکی حاکم بر یک میدان حل دلخواه، در زمینه‌هایی چون مکانیک سیالات، انتقال حرارت و بسیاری موضوعات دیگر، عموماً روشهای عددی بعنوان بهترین راه حل اینگونه مسائل مطرح شده‌اند.
ضعف روشهای تفاضل محدود و احجام محدود در بررسی هندسه‌های پیچیده امروزه با بکارگیری تکنیکهای پیشرفته تولید گره تا حد بسیار زیادی برطرف شده است.
یکی از مسائل اصلی در حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی چگونگی ایجاد شبکه مناسب است. بطور کلی یک شبکه‌بندی خوب می‌تواند بطور قابل توجهی حل دستگاه معادلات دیفرانسیل جزئی را ساده کند در حالیکه شبکه‌بندی نامناسب باعث بوجود آمدن نتایج غیر مطلوب خواهد شد و گاهی اوقات نیز انتخاب نامناسب موقعیت گره‌ها باعث ناپایداری این روش و یا تضعیف در همگرایی می‌شود. لذا با استفاده از روشهای ایجاد شبکه می‌توان محیط فیزیکی را که غالباً از نظر هندسی پیچیده می‌باشند به یک محیط محاسباتی ساده تبدیل نمود بدین ترتیب سطوح جسم به مرزهای ناحیه محاسباتی تبدیل می‌شود که در این صورت به سادگی می‌توان شرایط مرزی را برروی آنها اعمال نمود. به وسیله روشهای ایجاد شبکه می‌توان محیط فیزیکی با هر شکل هندسی پیچیده را به یک شکل ساده نظیر مستطیل و یا مکعب مستطیل تبدیل نمود و سپس معادلات دیفرانسیل جزئی را در این ناحیه حل نمود.
علیرغم جوان بودن علم تولید شبکه، کوششهای بسیاری که در سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۵

صورت گرفت، (که عمدتاً مدیون تلاش محققینی چون Eiseman Thompson، Errikson، Smith ، Thomas و ... میباشد.) باعث رشد و شکوفائی سریع این علم گردید و اکنون ایجاد شبکه برای هندسه‌های پیچیده نظیر هواپیما، موشک و غیره امکان‌پذیر گردیده است.

۲ـ۱ـ آشنایی با روشهای تولید شبکه

۱) شبکه‌سازی به روش جبری
۲) شبکه‌سازی به روش کلاسیک
۳) شبکه‌سازی با استفاده از معادلات دیفرانسیل

۱ـ۲ـ۱ـ روشهای جبری

ساده‌ترین روش تولید شبکه، روش جبری است. بزرگترین حسن این روش، سرعت شبکه سازی است. در این روش از یک معادله جبری برای ایجاد ارتباط بین نقاط شبکه در محیط محاسباتی و نقاط نظیر در محیط فیزیکی استفاده می‌شود. این هدف با به کارگیری یک روش میانیابی برای ایجاد نقاط داخلی شبکه از نقاط مرزی معلوم حاصل می‌شود. بدیهی است که معادلات جبری (یا روشهای میانیابی) مختلفی را می‌توان برای این منظور بکار برد.

۲ـ۱ـ۲ـ روشهای کلاسیک

مبنای این روش استفاده از نگاشت همدیس [۱] جهت ایجاد گره میباشد تعدادی از این تبدیلات نظیر کارمن- ترفز-شوارتز و ... دارای حل تحلیلی میباشند. ولی اغلب تبدیلات برای حل در اشکال هندسی پیچیده، نیاز به روشهای عددی دارند. محدودیت مهمی که در این روش وجود دارد اینست که مبنای نگاشت همدیس، استفاده از متغیرهای مختلط می‌باشد که در دو بعد تعریف شده‌اند.

[۱] conformal mapping

لذا این تبدیلات برای مسائل دو بعدی میتواند مورد استفاده قرار گیرند. البته برخی تکنیکها برای استفاده از نگاشت همدیس در سه بعد نیز ابداع شده است که بیشتر برای حالت تقارن محوری کاربرد دارند. بعلاوه با استفاده از نگاشت همدیس، کنترل کمی بر روی توزیع گرههای تولید شده داریم. همچنین تولید گره توسط این روش در مقایسه با روشهای دیفرانسیلی یا جبری دارای مشکلات بیشتری میباشد. از طرف دیگر با استفاده از تبدیلات مختلط اولاً گرههائی که تولید می‌شوند متعامد میباشند و ثانیاً دارای نسبت یک میباشند بعبارت دیگر همدیس هستند. با ایجاد شبکه همدیس ساده‌ترین تبدیل معادلات از سیستم کارتزین به سیستم منحنی‌الخط انجام می‌شود. این مطلب باعث سادگی قابل توجهی در معادلات حاکم بر جریان و الگوریتم حل می‌شوند.

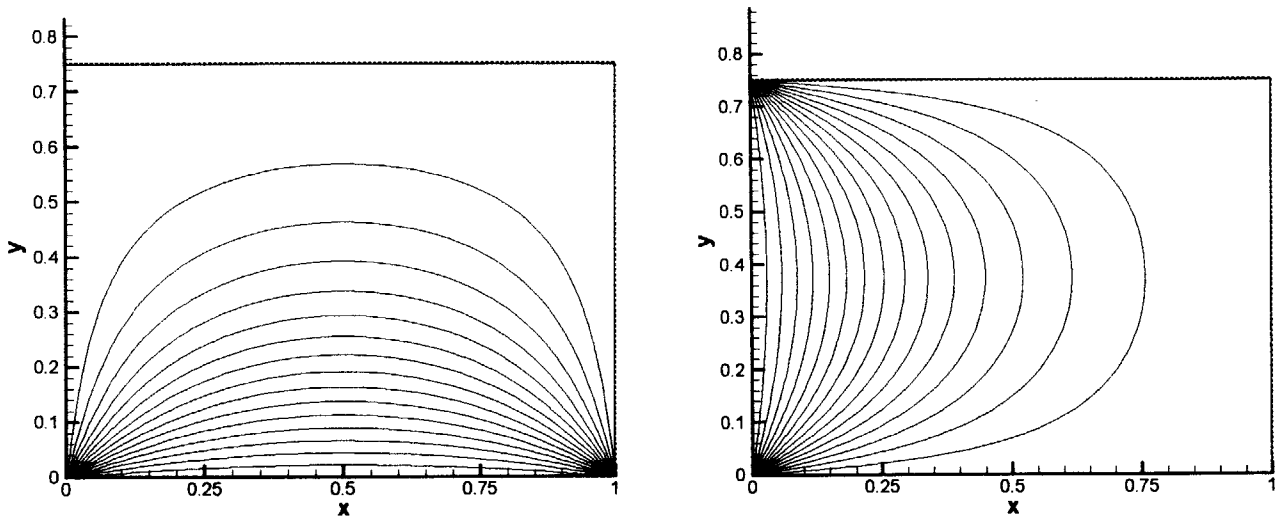
۳ـ۲ـ۱ـ روشهای معادله دیفرانسیل

روش شبکه‌سازی که در حال کسب معروفیت زیاد است، روش مبتنی بر معادله دیفرانسیل پاره‌ای است. در این روش یک دستگاه معادله دیفرانسیل پاره‌ای را حل می‌کنیم تا نقاط شبکه در محیط فیزیکی به دست آید، در حالی که محیط محاسباتی یک شبکهٔ مستطیلی با فواصل یکنواخت است این روش را به روشهای معادلات دیفرانسیل بیضوی، سهموی و هذلولی دسته‌بندی می‌کنیم. روش بیضوی تولید شبکه، روشی است که بیشتر توسعه یافته و روی آن کار شده است این روش معمولاً در مسائل دو بعدی بکار می‌رود، و به مسائل سه بعدی تعمیم داده شده است. روشهای سهموی و هذلولی به اندازه کافی توسعه نیافته، اما دارای نکات قابل توجهی است.

۳ـ۱ـ شبکه‌سازی به روش بیضوی

هرگاه مرزهای فیزیکی مشخص باشند، تولید بیضوی شبکه بسیار خوب عمل می‌کند. دستگاه معادلات دیفرانسیل بیضوی را بصورت معادله لاپلاس یا معادله پواسون معرفی می‌کنیم، که از حل آنها مختصات نقاط شبکه در فضای فیزیکی بدست می‌آید. برای حل معادله دیفرانسیل پاره‌ای

بیضوی از روشهای تکراری مانند گوس ـ سایدل یا روش PSOR[۲] و غیره استفاده می‌شود.
مزیت این روش را می‌توان انتقال یک به یک بین نواحی فیزیکی و محاسباتی بدون هیچگونه تداخل خطوط شبکه با یکدیگر و همواری ذاتی آنها که باعث عدم دخول نا پیوستگی‌های مرزی به داخل میدان حل می‌شود و همچنین قابلیت تولید شبکه برای هر نوع هندسه دلخواه نام برد.
موردی که می‌توان از آن بعنوان ضعف سیستم بیضوی نام برد، لزوم حل یک سیستم معادلات دیفرانسیل جزئی جهت تولید شبکه می‌باشد که مستلزم صرف وقت جهت برنامه نویسی و دستیابی به همگرایی می‌باشد. پیش از آغاز عملیات ریاضی، نخست به اصول نهفته در این مطلب می‌پردازیم. یادآور می‌شویم که معادلات هدایت حرارتی برای مسائل دو بعدی به معادله دیفرانسیل پاره‌ای بیضوی تبدیل می‌شود. اگر در یک شبکه مستطیلی، دما در مرزها معلوم باشد، توزیع دما در نقاط داخلی با استفاده از روشی تکراری به راحتی بدست می‌آید. حل این مساله، خطوط همدما را می‌دهد. دو نمونه از چنین حلهایی در شکل (۱ـ۱) نشان داده شده است.

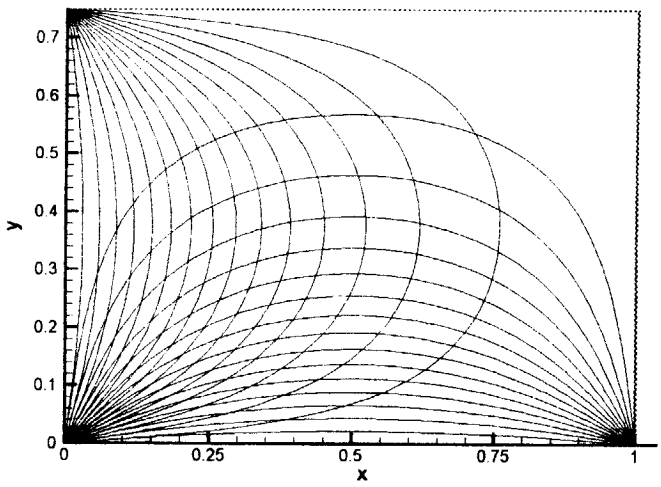


شکل (۱ـ۱) خطوط همدما برای دو ناحیه مستطیلی

[۲] Point Successive Over Relaxation

از جمع کردن دو حل فوق، حلی به صورت شکل (۲ـ۱) بدست می‌آید. چون معادلات حاکم خطی‌اند، جمع کردن جوابها مجاز است. اگر در داخل محیط منبع حرارتی وجود داشته باشد، خطوط همدما تغییر خواهند کرد و می‌توان آنها را به سمت منطقه خاصی سوق داد. حال باید به این سؤال پاسخ داد که آیا امکان دارد خواهد خطوط همدما خطوط شبکه را نشان دهد ؟ در واقع این اساس استفاده از معادلات دیفرانسیل پاره‌ای بیضوی در ایجاد شبکه است.

متغیرهای مستقل، مختصات نقاط **x** و **y** شبکه در فضای فیزیکی‌اند. بنابراین، در یک فضای بسته، توزیع نقاط روی مرزها مشخص می‌شود و از حل مجموعه‌ای از معادلات بیضوی توزیع نقاط داخلی بدست می‌آید.



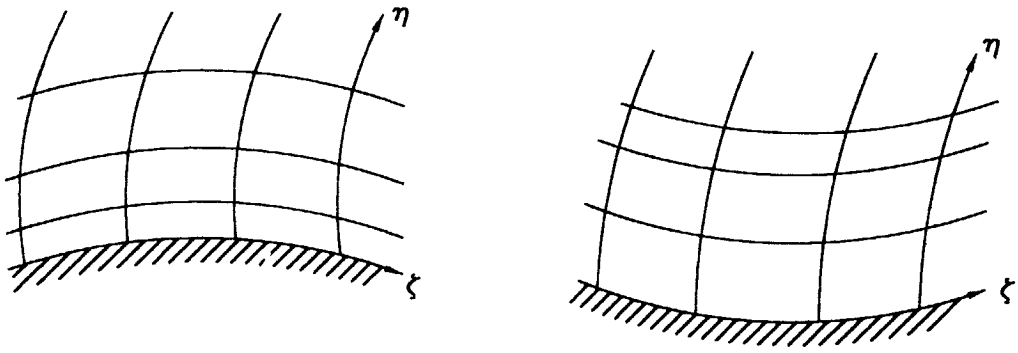
شکل (۲ـ۱) جوابهای منطبق بر هم در ناحیه مستطیلی

۴ـ۱ـ تولید شبکه با استفاده از معادلات لاپلاس

ساده‌ترین دستگاه معادلات دیفرانسیل با مشتق جزیی بیضوی که برای تولید گره از آن استفاده می‌شود معادله لاپلاس مقابل است.

$$\begin{cases} \xi_{xx} + \xi_{yy} = 0 \\ \eta_{xx} + \eta_{yy} = 0 \end{cases} \qquad (۱-۱)$$

این سیستم تولید گره، نگاشت یک به یک برای سیستم مختصات منحنی‌الخط منطبق بر مرز برای هر هندسه بسته‌ای را تضمین می‌کند. با این سیستم تولید گره، در صورت عدم وجود انحناء در روی مرز خطوط مختصات تمایل به ایجاد فواصل یکسان مابین یکدیگر دارند و علت آن نیز خاصیت هموار بودن قوی لاپلاسین است. از طرف دیگر در مرزهای محدب خطوط تمایل به نزدیک شدن به یکدیگر و در مرزهای مقعر تمایل به دور شدن از هم را دارند (شکل ۳ـ۱)



شکل (۳ـ۱) اثر تحدب و تقعر مرزها برروی خطوط شبکه

در شکل فوق بخاطر انحنای محدب مرز ξ ثابت (به طرف داخل)، $\xi_{xx} > 0$ است. بنابراین از معادله (۱ـ۱) نتیجه میشودکه باید $\eta_{yy} < 0$ باشد و لذا فاصله بین خطوط η ثابت با y باید افزایش یابد. در اینصورت خطوط η ثابت تمایل به داشتن فاصله کمتر نزدیک چنین مرزهای