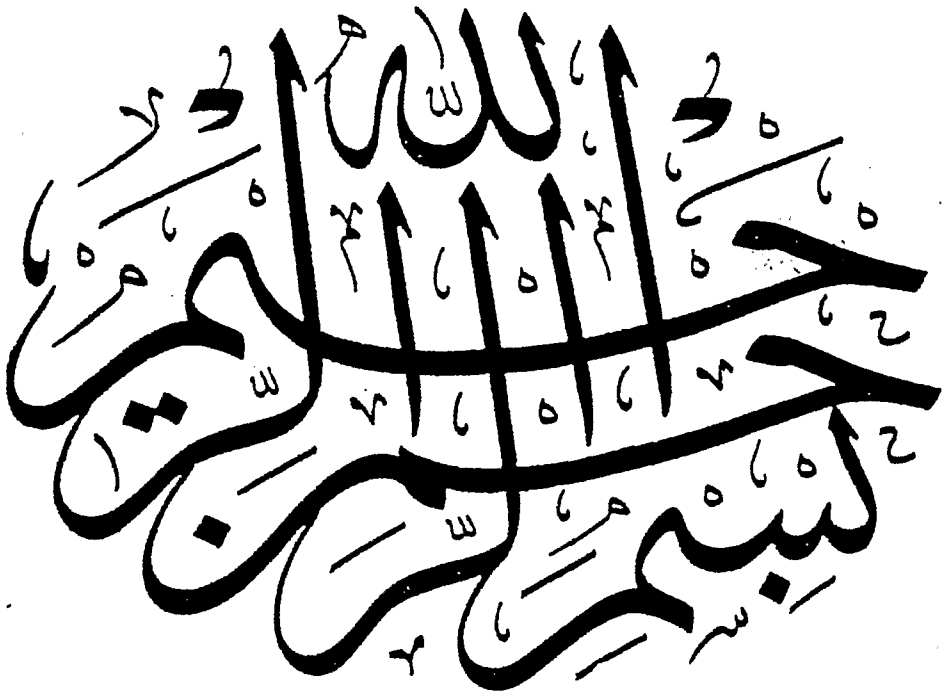

بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

با حمد و ستایش ایزد یکتا

که هر آغاز و پایانی بسته به نظرولطف اوست

و با سپاس وتشکرازمحضرپدرومادرم

که رنج وزحمات رشدم رابه جان خریدند

و همواره دعای خیرشان راهی این حقیر بوده است

و باعرض تشکر ازهمسرم

که همواره محبتهایش موجبات دلگرمی

اینجانب درمسیرتحصیل بوده است

ویا یادی ازامام عزیز(ره)وشهدای گلگون کفن انقلاب اسلامی

بنام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش طراحی جامدات

تحلیل تنش و کرنش درصفحات مدور باتعدادی حفره تحت اثر میدان فشار و دما

توسط:
رسول میرصالحیان

زیرنظر:
دکترمحمود سلیمی

خردادماه ۱۳۷۱

۱۶۹۲۰

بسم الله الرحمن الرحیم

پایان نامه آقای رسول میرصالحیان درجلسه مورخ ۷۱/۳/۱۲ کمیته تخصصی پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مکانیک متشکل از اساتید ذیل مورد بررسی وتائید قرار گرفت :

۱ ـ آقای دکتر محمود سلیمی استاد راهنمای پایان نامه

۲ ـ آقای دکتر قریبرز قهرمانی استاد کمیته تخصصی

۳ ـ آقای دکتر حسن خادمی زاده استاد کمیته تخصصی

۴ ـ آقای دکتر محمود سلیمی مسئول کمیته کارشناسی ارشد دانشکده

قدردانـــــی

با استعانت از درگاه خداوند متعال

با راهنمائی و نظارت آقای دکتر محمود سلیمی و با مشاورت آقایان دکتر فریبرز قهرمانی و دکتر حسن خادمی‌زاده این رساله تهیه و تنظیم گردید ، امید آنکه این مجموعه ناچیـــــــز بتواند در مسیر علوم رشد یابنده کشور اسلامیمان منشاء اثر و مفید فایده قرار گیرد .

بر خود فرض می‌دانم

که به درگاه خداوند تبارک و تعالی

شکـــر گذاری

و از اساتید فوق‌الذکر و دیگر اساتید محترمی که در طول دوران تحصیل از آنان بهره علمی برده‌ام تشکر و قدردانـــی نمایم .

همچنین در اینجا فرصت را غنیمت شمرده و از دیگر مسئولین دانشکده نیز مراتب تشکر خود را ابراز می‌دارم .

با امید به آنکه همگی با اتحاد و درک مسئولیت‌های خطیرمان در قبال انقلاب اسلامی و خون شهیـدان توفیق یابیم ضمن خودسازی ، در سنگر علم و آگاهی گامهای سازنده‌تری برداریم و شاهد پیشرفـــــت و آبادانی ایران اسلامی باشیم .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل اول : مبانی نظری تغییر شکل الاستیک صفحات	
۱ - ۱ - مقدمه	۵
۱ - ۲ - سینماتیک تغییر شکل صفحات	۶
۱ - ۳ - معادلات تعادل	۹
۱ - ۴ - شرایط مرزی	۱۵
فصل دوم : کاربرد روش اجزاء محدود برای تغییر شکل صفحات	
۲ - ۱ - مقدمه	۱۷
۲ - ۲ - ملاحظات اساسی روش اجزاءمحدود	۲۲
۲ - ۳ - تئوری کلی مربوط به روش تغییر مکان (استخراج ماتریس سختی)	۲۵
۲ - ۴ - سیستم مختصات کلی و موضعی	۲۸
۲ - ۵ - استخراج روابط اجزاءمحدود برای تغییر شکل الاستیک صفحات	۳۱
۲ - ۵ - ۱ - اجزاء محدود برای صفحات	۳۱
۲ - ۵ - ۲ - معادلات اجزاء محدود صفحات	۳۴
۲ - ۵ - ۳ - مشخصات میدان تغییر مکان المان و توابع شکل	۴۰
فصل سوم : کاربرد روش تحلیلی برای تحلیل مسئله صفحه سوراخدار	
۳ - ۱ - روابط ریاضی حاکم بر مسئله خمش صفحه سوراخدار	۴۴
۳ - ۲،۳ - شرایط مرزی حاکم بر مسئله	۴۷
۳ - ۴ - شکل کلی تابع تغییر مکان	۴۷
۳ - ۵ - اعمال شرایط مرزی	۵۰
۳ - ۶ - روابط ریاضی حاکم بر مسئله انبساط حرارتی صفحه	۵۸

فصل چهارم : بررسی و تفسیر نتایج

۴ ـ ۱ ـ مقدمه ۶۱

۴ ـ ۲ ـ اثر مشخصه‌های هندسی حفره‌ها بر میدان تنش و کرنش ۶۲

۴ ـ ۲ ـ ۱ ـ ناشی از خمش صفحه (میدان فشار) ۶۲

۴ ـ ۲ ـ ۲ ـ ناشی از تنش‌های ممبران (میدان حرارت) ۷۰

۴ ـ ۲ ـ ۳ ـ کانتورهای هم تنش مربوط به تنش‌های اصلی ۷۶

مجموعه شکلهای فصل چهارم ۷۹

ضمیمه : آشنائی کلی با نرم افزار سوپرسپ جهت تحلیل اجزاء محـــدود ۱۰۵

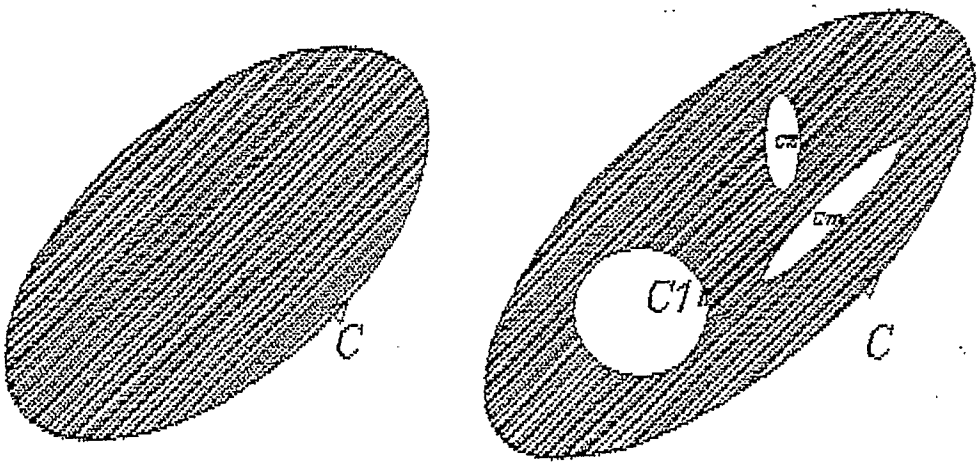
ـ مجموعه شکلهای ضمیمه مربوط به مدل اجزاء محدود صفحه سوراخدار ۱۱۴

مراجع ۱۲۵

چکیده انگلیسی ۱۲۶

مقدمه

نوع تقسیم بندی کلی در زمینه مسائل تئوری الاستیسیته شامل این موضوع می‌شود که ناحیه اشغال شده توسط جسم الاستیک چگونه حوزه‌ای می‌باشد ، چنانچه تمامی نقاط درون ناحیه جزیی از جسم باشند آنرا حوزه هم بندساده[۱] گویند و چنین حوزه‌ایی فقط دارای یک کانتور بسته می‌باشد، در غیر این صورت حوزه را هم بند چندگانه[۲] گویند چنین حوزه‌ایی از کانتورهای بسته $C, C_1, C_2, .. C_m$ تشکیل شده است که کانتورهای C_1 تا C_m بمنزله کانتورهای داخلی بوده و در خارج یکدیگر قرار دارند و کانتور C همه آنها را در بر می‌گیرد (مطابق شکل الف) .



شکل (الف) :

1- simply connected region

2- multiple connected region

در عمل ، تحلیل مسائل حوزه هم بند ساده بسیار آسانتر از مسائلی می‌باشد که دارای نواحی چند گانه می‌باشند ، چرا که بیان شرایط مرزی در یک سیستم مختصات امکان‌پذیر بوده و نیازی به تبدیل مختصات نمی‌باشد بالعکس در اجسامی که شامل مرزهای جدا از هم می‌باشند ارضاء شرایط مرزی روی مرزهای داخلی و خارجی کاری است مشکل ، که البته با روشهای مختلف سعی می‌گردد این بیان ساده تر گردد اگر چه در بعضی مواقع این امر محتاج عملیات پیچیده و مفصل می‌باشد . (حل بعضی از اجسام با حوزه‌های چند گانه که دارای مرزهای داخلی و خارجی با محور تقارن یکسان باشند از سهولت بیشتری برخوردار است) نمونه‌ایی از مسائل با حوزه‌های چندگانه ، تحلیل تنش و کرنش در صفحاتی می‌باشد که شامل تعدادی سوراخ باشند . که موضوع بررسی شده در این پایان نامه می‌باشد، بمنظور آنکه تحلیل از یک زمینه کاربردی برخوردار باشد ایده اولیه بوسیله یکی از مراکز صنعتی- نظامی تعریف گردیدو بعدا" با اصلاحاتی به شکل موضوع پایان نامه در آمد. شکل (ب)،در این تحلیل اثرات ناشی از یک میدان بار فشاری نرمال بر سطح یک صفحه مدّور که حاوی حفره مدّور می‌باشد و تواما" تحت یک بار حرارتی صفحه ایی یکنواخت نیز واقع شده است بررسی می‌گردد . این تحلیل بر مبنای دو روش اجزاء محدود و روش تحلیلی استوار خواهد بود و در آن بررسی تغییرات پارامترهای زیر بر تنش ها و کرنشها به صورت رسم مدلهای تغییر مکان یافته و منحنی های مختلف استخراج گردیده است .

۱ ـ اثرات سوراخها (مرزهای داخلی)

۱ ـ ۱ ـ از نقطه نظر هندسی

الف ـ ۱ ـ ۱ ـ موقعیت مکانی در صفحه ، ب ـ ۱ ـ ۱ ـ تعداد ، ج ـ ۱ ـ ۱ ـ اندازه

۱ ـ ۲ ـ از نقطه نظر فیزیکی

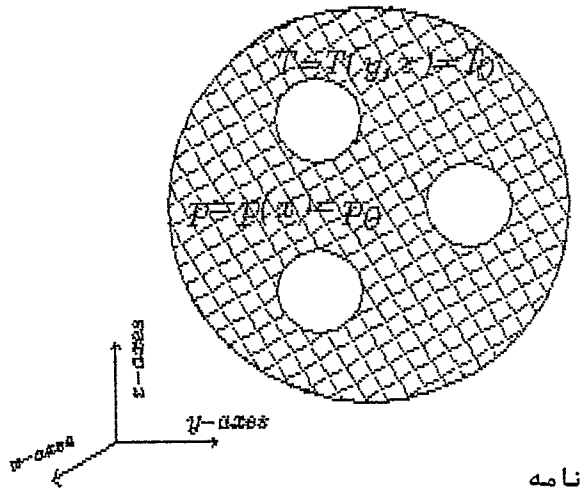
الف ـ ۲ ـ ۱ ـ تغییر شرایط مرزی ، ب ـ ۲ ـ ۱ ـ تغییر جنس مصالح محدوده‌سوراخها ، ج ـ ۲ ـ ۱ تغییر ضخامت سوراخها

۲ ـ شرایط مرزی (مرزهای خارجی)

۱ ـ حالت درگیری به صورت تکیه گاه ساده[1]

۲ ـ " " " گیـــــــردار[2]

۳ ـ تغییر جنس مصالح لبه‌های خارجی



شکل (ب) :

موضوع مورد بررسی پایان نامه

در فصل اول این پایان نامه ابتدا" به مبانی نظری تغییر شکل الاستیک صفحات اشاره می‌شـــود و معادلات دیفرانسیلی تغییر شکل به همراه شرایط مرزی استخراج می‌گردد ، در فصل دوم که مربـــوط به کاربرد روش اجزاء محدود برای تحلیل مسئله می‌باشد ابتدا" به یکسری ملاحظات نظری در ایـــن روش اشاره شده و سپس روابط اجزاء محدود برای تغییر شکل صفحات با استفاده از روش کار مجـــازی و روش انرژی استخراج می‌گردد که منجر به مشخص نمودن ساختار ماتریسهای سختی ، نیرو ، توابـــع شکل و ..... می‌گردد برای حل اجزاء محدود مسئله از یک نرم افزار قوی و نسبتا" جدید در تحلیـــل استفاده شده است این نرم افزار ، ALGOR - SUPPRSAP می‌باشد و دارای توانایی هـــــای گرافیکی قوی برای رسم مدل و مدلهای تغییر شکل یافته ، منحنی های هم تنش و هم کرنش و ..... می‌باشد در قسمت ضمیمـــــــــــه توضیحات کلی بر چگونگی روند تحلیل مسئله با ایـــــن نرم افزار داده شده است هر چند این بخش برای کار با نرم افزار فوق ناکافی بوده و خواننده باید بـــه

1- simply support 2- clampe

کتاب راهنمای آن مراجعه نماید .

فصل سوم ، به کاربرد یک روش تحلیلی و در عین حال تقریبی برای مسئله اشاره دارد . و به تفضیل روابط مربوطه استخراج می‌گردد این روش با استفاده از کارهای هالند[1] [۱۹۳۴] برروی تعریف توابع پتانسیل با یک مختصه پریودیک و کراس[2] [۱۹۶۲] برای مسئله خمش صفحات مدور با تعدادی حفره انجام پذیرفته است در این روش ، تحلیل با استفاده از برهم نهی[3] سه سیستم تغییر مکان که برای بیان شرایط مرزی داخلی و خارجی تعریف می‌شوند انجام می‌پذیرد و سیستم تغییر مکان کلی به صورت یک سری تشکیل می‌شود . و با محاسبه ضرائب این سری با استفاده از شرایط مرزی تابع تغییر مکان سیستم به صورت کامل معین می‌شود .

1- Howland

2- Kraus

3- superposition

فصـــل اول :

مبانی نظری تغییر شکل الاستیک صفحات

۱ـ۱ـ مقـدمـــــه

از نقطه نظر هندسی صفحه به اجسامی اطلاق می‌شود که محدودهٔ آنها توسط سطوحی مستـــــوی تشکیل شده باشد با این ویژگی که ابعاد این سطوح در مقایسه با فاصله آنها از هم بزرگتر باشد. خواص خمشی یک صفحه بستگی زیادی به میزان ضخامت آن در مقایسه با سایر ابعاد دارد، ما در این بحـــث با تئوری صفحات نازک با تغییر مکانهای کوچک[1] کار خواهیم نمود ولی تئوری کامل صفحات دوحالت دیگر، صفحات نازک با تغییرمکانهای زیاد و صفحات ضخیم را نیز در بر می‌گیرد .

در این تئوری فرضیات زیر همواره برقرار می‌باشد :

۱ ـ تغییر مکان صفحه که بعد از این با W نمایش می‌دهیم در مقایسه با ضخامت صفحه h که یکنواخت در نظر گرفته می‌شود کوچک می‌باشد .

۲ ـ کوچکترین بعد صفحه L بسیار بزرگتر از ضخامت صفحه h می‌باشد .

۳ـ هیچگونه کرنشی در سطح میانی صفحه[2] رخ نمی‌دهد و این سطح به صورت خنثی باقی می‌ماند .

۴ـ نقاطی از صفحه که عمود بر سطح میانی صفحه می‌باشند پس از تغییر شکل همچنان عمود باقـــــی می‌مانند .

1- small deformation of thin plate theory

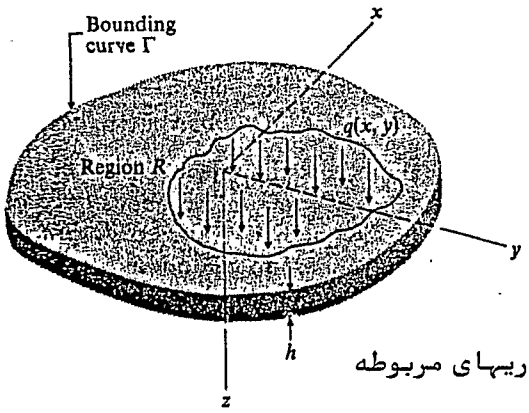
2- middle surface of plate

۵ ـ تنش های عمودی در امتداد عمود بر صفحه صرفنظر می‌شوند .

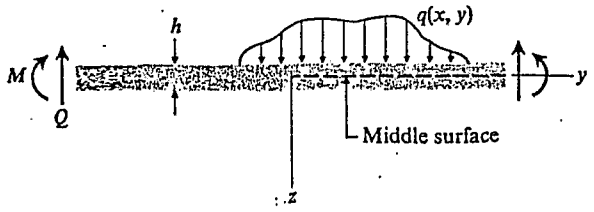
با این فرضیات می‌توانیم در این تئوری تمام مؤلفه‌های تنش را بر حسب تابع تغییر مکان W که تابعی از دو مختصهٔ (x,y) در مختصات کارتزین ویا (r, θ) در مختصات قطبی می‌باشد را به دست آوریم . این تابع معادله دیفرانسیل پاره‌ای خطی موسوم به معادلهٔ بایهارمونیک[1] را ارضاء می‌کند و بوسیله شرایط مرزی تابع W کاملا" مشخص می‌شود بنابراین حل این معادله تمام اطلاعات ضروری برای محاسبه تنش ها در هر نقطه از صفحه را می‌دهد .

۱ـ ۲ـ سینماتیک تغییر شکل صفحات

در شکل (۱ ـ ۱) قسمتی از یک صفحه به ضخامت h نشان داده شده است صفحه مختصاتی xy بر سطح میانی صفحه در هندسه اولیه (هندسه تغییر شکل نیافته) منطبق می‌باشد . سطح بالایی صفحه تحت اثر بار گسترده q(x,y) می‌باشد هنگامیکه در لبه ها نیروی برشی توزیعی Q و ممان خمشی M توزیع شده است . توجه می‌کنیم که منحنی مرزی در امتداد محور z با Γ نمایش داده شده است و ناحیه داخلی بوسیله R تعریف شده است .



شکل ۱ ـ ۱ ـ نمایش صفحه با بارگذاریهای مربوطه



1- biharmonic equation

در قدم اول تحلیل مسئله توجه می‌کنیم که برروی یک سطح بموازات سطح میانی صفحه در هندسه اولیه (سطح xy) در این حالت می‌توان دو بخش تغییر شکل را در نظر گرفت اولین آنها مربوط به اثرات اتساعی (کشش یا فشار سطحی)[1] ناشی از بارهای اعمالی در لبه‌های صفحه و یا بارهای موازی با سطح میانی صفحه می‌باشد، برای این بخش مولفه‌های تغییر مکان $(u_1)_S$ و $(u_2)_S$ تعریف می‌شوند . فرض می‌کنیم که هر نقطه در موقعیت (x_1, x_2, x_3) برای نقاط متناظر نسبت به سطح میانی صفحه دارای مؤلفه‌های تغییر مکان یکسان باشند ، بنابراین :

$$[u_1(x_1, x_2, x_3)]_s = [u(x,y)]_s \qquad (۱-۲-۱)$$

$$[u_2(x_1, x_2, x_3)]_s = [v(x,y)]_s \qquad (۱-۲-۲)$$

که $(u)_S$ و $(v)_S$ اثر اتساعی سطح می‌باشد . بنابراین خطوط اتصال دهنده سطوح صفحه و عمود برسطح xy در هندسهٔ اولیه در اثر اتساع به صورت افقی انتقال می‌یابند.[2]

بخش دوم همخش میباشد ، در مورد اثرات خمشی روی سطوح مطابق فرضیات‌ای که اشاره شد، خطوط عمود بر سطح میانی در هندسه اولیه عمود بر این سطح در هندسه تغییر شکل یافته باقی می‌مانند برای توضیح بیشتر در شکل (۱ - ۲) ملاحظه می‌شود ، خطوطی دلخواه همچون (ab) که سطوح صفحه را بهم متصل می‌کنند و در هندسهٔ اولیه عمود بر سطح xy می‌باشد پس از خمش به صورت یک خط صلب در امتداد عمودی منتقل می‌شود بعلاوه در اثر این خمش این خطوط همچون یک المان صلب نسبت به حالت اولیه می‌چرخد (a'b')

تغییر مکان در امتدادهای x,y در نتیجهٔ اثر خمش بوسیله $(u_1)_B, (u_2)_B$ نشان داده می‌شود و از شکل مشخص است که می‌توان نوشت :

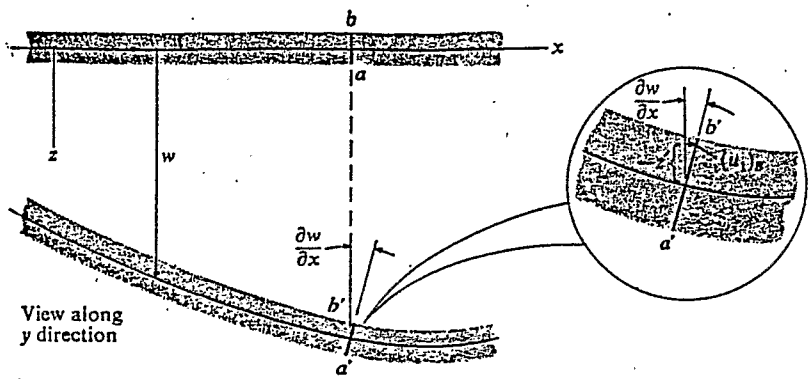
$$[u_1(x_1, x_2, x_3)]_B = -z' \frac{\partial w(x,y)}{\partial x} \qquad (۱-۲-۳)$$

$$[u_2(x_1, x_2, x_3)]_B = -z' \frac{\partial w(x,y)}{\partial y} \qquad (۱-۲-۴)$$

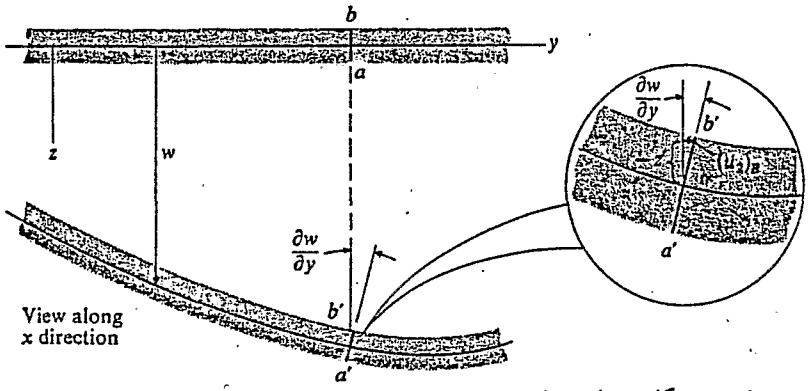
حال با توجه به صلبیت خطوطی همچون ab و با توجه به فرضیات ابتدای بحث که خود را به تغییر مکانهای کوچک محدود نمودیم می‌توانیم z' را در هندسه تغییر شکل یافته با z در هندسهٔ

1- stretching actions

2- translate horizontaly



(a)



(b)

شکل ۱ ـ ۲ ـ نمایش تغییر مکان و انحنای صفحه در دو امتداد مختلف

اولیه یکسان بگیریم و بنویسیم :

$$[u_1(x_1,x_2,x_3)]_B = -z\frac{\partial w(x,y)}{\partial x} \qquad (۱-۲-۵)$$

$$[u_2(x_1,x_2,x_3)]_B = -z\frac{\partial w(x,y)}{\partial y} \qquad (۱-۲-۶)$$

اکنون می‌توانیم میدان تغییر مکان کلی صفحه را از ترکیب تغییر مکانهای بالا به دست آوریم :

$$u_1 = u_s(x,y) - z\frac{\partial w(x,y)}{\partial x} \qquad (۱-۲-۷)$$

$$u_2 = v_s(x,y) - z\frac{\partial w(x,y)}{\partial y} \qquad (۱-۲-۸)$$

$$u_3 = w(x,y)$$

با استفاده از میدان تغییر مکان (u_1,u_2,u_3) میدان کرنش را محاسبه می‌کنیم :

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u_s}{\partial x} - z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \qquad (۱-۲-۹)$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\partial v_s}{\partial y} - z\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \qquad (۱-۲-۱۰)$$

$$\epsilon_{xy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_s}{\partial y} + \frac{\partial v_s}{\partial x}\right) - z\frac{\partial^2 w}{\partial x\,\partial y} \qquad (۱-۲-۱۱)$$