بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

۹۲٤۲۲٤٤۳

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش سازه

عنوان :

بررسی تحلیلی و عددی تنش های حرارتی در صفحات مستطیلی فولادی

استادراهنما:

دکترمجتبی لبیب زاده

استاد مشاور:

دکترایرج رسولان

نگارنده :

فریبرز سلیمانی محمدی

بهمن ماه سال ۱۳۹۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد)

پایان نامه آقای: فریبرز سلیمانی محمدی دانشجوی رشته: کارشناسی ارشد عمران گرایش: سازه دانشکده: مهندسی به شماره دانشجویی: ۹۰۴۲۲۰۶

با عنوان:

بررسی تحلیلی و عددی تنش های حرارتی در صفحات مستطیلی فولادی

جهت اخذ مدرک **کارشناسی ارشد** در تاریخ :**۱۳۹۲/۱۱/۲۸** توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه **عالی** تصویب گردید.

	رتبه علمی	امضاء
۱. **اعضا ی هیأت داوران :**		
استاد راهنما: دکترمجتبی لبیب زاده	استادیار	.....
استاد مشاور: دکترایرج رسولان	استادیار	.....
استاد داور : دکتر داوود پورویس	استادیار	.....
استاد داور : دکتر علی اکبر پیراسته	استادیار	.....
نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر کریم انصاری اصل	استادیار	.....
۲. مدیرگروه : **مهندس سید عبدالله حسینی دهدشتی**	مربی	.....
۳. **معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی**	استادیار	.....
۴. **مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکترمسعود قربانپور نجف آبادی**	استاد	.....

تقدیم به:

پدر دلسوز

مادر مهربان

و

برادران عزیزم

سپاسگزاری

از زحمات کلیه اساتید محترم خویش، جناب آقای دکتر لیب زاده و دکتر رسولان سپاسگزاری می نمایم.

از جناب آقای دکتر پورویس که همواره با راهنمایی های دلسوزانه و مشفقانه، راه گشای مشکلات اینجانب بوده اند نهایت سپاسگزاری و تشکر را دارم.

تشکر و قدردانی ویژه من از پدر و مادر عزیزم است که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

نام خانوادگی: سلیمانی محمدی	نام: فریبرز	شماره دانشجویی: ۹۰۴۲۲۰۶
عنوان پایان نامه: محاسبه‌ی تنش‌های حرارتی در صفحه‌ی مستطیلی فولادی با تکیه‌گاه‌های ساده تحت اثر گرادیان حرارتی متغیردرضخامت صفحه با استفاده از روش بدون المان گالرکین و روش حداقل مربعات‌وزن‌دار درتولید توابع شکل و مقایسه نتایج آن با نتایج تحلیلی تئوری صفحات و پوسته‌ها و نتایج تقریبی روش اجزاء محدود		
استاد راهنما: دکتر مجتبی لبیب زاده		
استاد مشاور: دکتر ایرج رسولان		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:مهندسی عمران**	**گرایش: سازه**
دانشگاه: شهید چمران اهواز	**دانشکده: مهندسی**	**گروه: عمران**
تاریخ فارغ التحصیلی : ۱۳۹۲/۱۱/۲۸تعداد صفحه:۱۱۸		
کلید واژه: تنش های حرارتی، روش اجزاء محدود، صفحه ی مستطیلی، تنش مسطح، فورترن		

تنشهای حرارتی از جمله عوامل مهم درتحلیل و طراحی سازه‌ها می باشند. صفحات بعنوان یکی از مهمترین المان‌های سازه‌ای ممکن است در معرض این تنشها قرار گیرند. در این تحقیق یک صفحه‌ی فولادی مستطیلی با تکیه‌گاه‌های ساده، درحالت تنش مسطح فرض شده و با مش‌های مختلف از المان‌های مستطیلی هشت گرهی تقسیم‌بندی گردیده و درهرگره از المان، یک دمای مشخص و دو درجه آزادی u وv درنظر گرفته شده است. در گام بعد بحث تغییر گرادیان حرارتی در ضخامت صفحه در نظر گرفته شده و درهر گره سه درجه آزادی(یک جابجایی و دو چرخش) منظور شده و باز هم مساله با مش‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است، همچنین نحوه‌ی فرمولاسیون روش بدون المان گالرکین و نیز روش حداقل مربعات در تولید توابع شکل توضیح داده شده است. جهت برنامه نویسی از زبان فورترن استفاده شده است. مشاهده ی نتایج نشان می‌دهد که با کوچکتر کردن مش المان‌ها تنش‌های حاصله به طرز مناسبی همگرا می شوند. با مقایسه‌ی نتایج با نتایج حاصل از حل تحلیلی مشاهده شده است که المان‌ها و درجه آزادی‌های انتخابی با دقت قابل قبولی تنش‌های حرارتی را محاسبه می کنند.

فهرست مطالب

تقدیم ..... ث

اهدانامه ..... ث

سپاسگزاری ..... ج

فهرست مطالب ..... ح

۱ فصل اول ۱

۱-۱معرفی صفحه ۱

۱-۲ دسته بندی صفحات ٤

۱-۳ رفتار معمول صفحات ۷

۱-۳-۱ کرنش ها و جابجایی ها ۹

۱-۳-۲ روابط کرنش- انحناء ۱۱

۱-۵ تعریف روشهای بی نیاز از شبکه اجزاء ۱۳

۱-٦ مفاهیم پایه در مورد حرارت ۱۸

۱-۵ اهداف پایان نامه ۱۸

۱-٦ روش انجام پایان نامه ۱۹

۱-۷ معرفی پایان نامه ۱۹

۲ فصل دوم ۲۰

۲-۱ محاسبه ی تنش های حرارتی با استفاده از سری های چندگانه ۲۰

۲-۲ محاسبه ی تنش ها به روش تقریبی ۲۵
۲-۳ تنش های حرارتی بر حسب سری های فوریه ۲۹
۲-٤ پیشینه ی روش های بدون المان ۳۵
۲-۵ سایر پژوهش ها ۳۵
۳ فصل سوم ۳۷
۳-۱ محاسبه ی تنش های حرارتی در حالت تنش مسطح ۳۷
۳-۱-۱ تنش های حرارتی بر اساس تئوری الاستیسیته در حالت تنش مسطح ۳۷
۳-۱-۲ روش اجزاء محدود برای حل مساله در حالت تنش مسطح ۳۸
۳-۱-۲-۱ المان هشت گرهی ایزوپارامتریک ٤۰
۳-۱-۲-۲ متغیرهای گرهی اصلی- جابجایی های کلی ٤۰
۳-۱-۲-۳ روابط کرنش-جابجایی ٤۲
۳-۱-۲-٤ معادلات تعادل-کار مجازی ٤۳
۳-۱-۲-۵ بار گسترده در مرزها(TRACTION) ٤۵
۳-۱-۲-٦ حالت تنش مسطح ٤٦
۳-۱-۲-۷ ویژگی های المان برای حالت تنش مسطح ٤۷
۳-۱-۲-۸ توابع شکل ٤۷
۳-۱-۲-۹ ماتریس ژاکوبین و مشتقات کارتزین توابع شکل ۵۱
۳-۱-۲-۱۰ ماتریس کرنش-B ۵۲
۳-۱-۲-۱۱ ماتریس ثابت های الاستیک –D ۵۳
۳-۱-۲-۱۲ ماتریس تنش (S) ۵٤
۳-۱-۲-۱۳ ماتریس سختی المان ۵۵
۳-۱-۲-۱٤ نیروهای معادل گرهی ۵٦
۳-۱-۲-۱۵ بارگذاری حرارتی جامدات تحت شرایط تنش مسطح ۵۷
۳-۱-۲-۱٦ حالت تنش مسطح ۵۷
۳-۱-۲-۱۷ حالت کرنش مسطح ۵۷
۳-۱-۲-۱۸ تنش های اولیه ی متناظر با کرنش های اولیه ۵۸
۳-۱-۲-۱۹ روش حل معادله ۵۹

۳-۱-۲-۲۰ توصیف کلی تکنیک فرونتال ٦٠
۳-۱-۲-۲۱ محاسبه ی تنش در المان ها ٦٠
۳-۱-۲-۲۲ فلوچارت حل برنامه ٦١
۳-۲ حالت صفحه با گرادیان دمایی متغیر در ضخامت صفحه ٦٢
۳-۲-۱ فرمول بندی تحلیلی ٦٢
۳-۲-۱-۱ معادلات ترموالاستیک صفحه ٦٣
۳-۲-۲ فرمول بندی اجزاء محدود برای متغیر بودن گرادیان حرارتی در ضخامت صفحه ٧٢
۳-۲-۲-۱توابع شکل و مشتقات کارتزین آنها ٧٤
۳-۲-۲-۲ ماتریس کرنش ٧٦
۳-۲-۲-۳ ماتریس صلبیت الاستیک D ٧٧
۳-۲-۲-٤ ماتریس تنش DB ٧٧
۳-۲-۲-٥ ماتریس سختی المان ٧٨
۳-۲-۲-٦ نیروهای معادل گرهی ٧٩
۳-۲-۲-۷ فلوچارت حل برنامه ٨٠
۳-۳ روش بدون المان ٨١
۳-۳-۱ مقدمه ٨١
۳-۳-۲ روش بدون شبکه گالرکین(EFG) ٨١
۳-۳-۳ درونیاب حداقل مربعات متحرک (MLS) ٨٦
۳-۳-٤ تابع وزنی ٩٢

٤ فصل چهارم ٩٦

٤-۱ مساله ی تنش مسطح حل شده ٩٦
٤-۱-۱ مدل سازی هندسی مساله ٩٧
٤-۱-۲ تعریف شرایط مرزی ٩٩
٤-۱-۳ مشخص کردن جنس مصالح صفحه و پارامترهای وابسته به آن ٩٩
٤-۱-٤ تعریف ماتریس سختی المان و پارامترهای وابسته به آن ٩٩
٤-۱-٥ تعیین نیروهای معادل گرهی در اثر گرادیان حرارتی ١٠٠
٤-۱-٦ محاسبه مقادیر جابجایی ها در هر گره از المان ها ١٠٠

٤-٢ محاسبه ی تنش های حرارتی ١٠٠
٤-٢-١ حل مساله در حالت تنش مسطح با استفاده از ٤ المان ١٠٠
٤-٢-٢ حل مساله در حالت تنش مسطح با استفاده از ٩ المان ١٠٢
٤-٣ مساله ی صفحه ی با گرادیان حرارتی متغیر در ضخامت ١٠٣
٤-٣-١ راستاهای مورد بررسی در حل مساله با مش‌های مختلف ١٠٤
٤-٣-٢ محاسبه ی خیز در تراز Y=3.0 ..... ١٠٥
٤-٣-٣ محاسبه ی تنش در راستای X ١٠٦
٤-٣-٤ محاسبه ی تنش در راستای Y ١٠٨
٤-٣-٥ محاسبه ی تنش برشی ١١٠
٤-٤ بحث در مورد نتایج ١١٢
٥-١ نتیجه گیری ١١٣
٥-٢ پیشنهادات ١١٤
منابع و ماخذ ١١٥

فهرست شکل ها

شکل۱-۱: کاربرد صفحات در دال ها[۱۷] ۲

شکل۱-۲: کاربرد صفحات در انباره ها[۱۷] ۳

شکل۱-۳: کاربرد صفحات در سد ها[۱۷] ۳

شکل۱-٤: رفتار صفحات سخت[۱۷] ۵

شکل۱-۵: رفتار صفحات غشایی[۱۷] ٦

شکل۱-٦: رفتار صفحات نسبتاً ضخیم[۱۷] ٦

شکل۱-۷: رفتار صفحات ضخیم[۱۷] ۷

شکل۱-۸: سطح میانی صفحه ی مستطیلی قبل و بعد از تغییرشکل[۱] ۸

شکل۱-۹: چسم الاستیک که جابجایی های صلب آن مقید شده[۱] ۹

شکل۱-۱۰: حالات تغییرشکل المان متوازی السطوح[۱] ۱۰

شکل۱-۱۱: یک مقطع از صفحه قبل و بعد از تغییرشکل[۱] ۱۲

شکل۲-۱: صفحه ی مستطیلی با تکیه گاه های ساده[٤] ۲۰

شکل۲-۲: صفحه ی مستطیلی در حالت تنش مسطح[۵] ۲۵

شکل۲-۳: صفحه تحت توزیع دمای اختیاری[٦] ۳۰

شکل۳-۱: المان ۸ گرهی ایزوپارامتریک[۲] ٤۰

شکل۳-۲ جسم با حالت تنش مسطح[۱۰] ٤٦

شکل۳-۳: توزیع تنش به صورت یکنواخت[۱۰] ٤۷

شکل۳-٤: شماره گذاری نقاط گرهی و نقاط گوسی در المان[۲] ٤۹

شکل۳-۵: فلوچارت حل برنامه در حالت تنش مسطح ٦۱

شکل۳-٦: نیروها و لنگرهای درون صفحه ای[۲] ٦٤

شکل ۳-۷: صفحه ی مستطیلی باتکیه گاه های ساده تخت گرادیان دمایی غیریکنواخت[۱] ٦۹

شکل ۳-۸: فلوچارت حل برنامه در حالت گرادیان دمایی متغیر درضخامت ۸۰

شکل ۳-۹: مثلث پاسکال ۸۸

شکل ۳-۱۰: هرم پاسکال ۸۸

شکل ۳-۱۱: تابع تقریب $u^h(x)$ و مقادیر گرهی u_I در تقریب MLS ۸۹

شکل ۳-۱۲: توابع وزنی، w1: اسپیلاین درجه سه، w2 اسپیلاین درجه چهار، w3 نمایی با α برابر ۰/۳ ، w4 : درجه چهار ارائه شده توسط جی. آر. لیو و همکاران ۹٤

شکل ۳-۱۳: مشتق اول توابع وزنی، w1: اسپیلاین درجه سه، w2 اسپیلاین درجه چهار، w3 نمایی با α برابر ۰/۳ ، w4 : درجه چهار ارائه شده توسط جی. آر. لیو و همکاران..... ۹٤
شکل ۳-۱٤: مشتق دوم توابع وزنی، w1: اسپیلاین درجه سه، w2 اسپیلاین درجه چهار، w3 نمایی با α برابر ۰/۳ ، w4 : درجه چهار ارائه شده توسط جی. آر. لیو و همکاران..... ۹۵
شکل٤-۱: تعریف محورهای مختصات بدون بعد برای المان[۲]..... ۹۷
شکل٤-۲: ابعاد صفحه ی مورد بررسی ۷۹
شکل٤-۳: المان بندی و شماره گذاری گره ها در حالت حل مساله با ٤ المان..... ۹۸
شکل٤-٤: المان بندی و شماره گذاری گره ها در حالت حل مساله با ۹ المان..... ۹۸
شکل٤-۵: مقایسه ی نموداری جواب های تحلیلی و جواب های عددی ۱۰۱
شکل٤-٦: مقایسه ی نموداری جواب های تحلیلی و جواب های عددی ۱۰۲
شکل ٤-۷ :نحوه ی تغییرات حرارت در ضخامت..... ۱۰۳
شکل٤-۸: راستاهای مورد بررسی در مش ۲*۲..... ۱۰٤
شکل ٤-۹: راستاهای مورد بررسی در مش ۳*۳..... ۱۰٤
شکل ٤-۱۰: راستاهای مورد بررسی در مش ٤*٤..... ۱۰۵
شکل ٤ -۱۱ : مقایسه ی نموداری خیزهای تحلیلی و عددی با ٤ المان و ۱٦ المان..... ۱۰٦
شکل ٤ -۱۲ : مقایسه ی نموداری تنش σ_x تحلیلی و عددی با مش ۲*۲ در تراز $x = 0.634$..... ۱۰۷
شکل ٤ -۱۳ : مقایسه ی نموداری تنش σ_x تحلیلی و عددی با مش ۳*۳ در تراز $x = 0.4226$..... ۱۰۷
شکل ٤ -۱٤ : مقایسه ی نموداری تنش σ_x تحلیلی و عددی با مش ٤*٤ در تراز $x = 0.317$..... ۱۰۸
شکل ٤ -۱۵ : مقایسه ی نموداری تنش σ_y تحلیلی و عددی با مش ۲*۲ در تراز $y = 0.634$..... ۱۰۹
شکل ٤ -۱٦ : مقایسه ی نموداری تنش σ_y تحلیلی و عددی با مش ۳*۳ در تراز $y = 0.4226$..... ۱۰۹
شکل ٤ -۱۷ : مقایسه ی نموداری تنش σ_y تحلیلی و عددی با مش ٤*٤ در تراز $y = 0.317$..... ۱۱۰
شکل ٤ -۱۸ : مقایسه ی نموداری تنش τ_{xy} تحلیلی و عددی با مش ۲*۲ در تراز $y = 2.366$..... ۱۱۱
شکل ٤ -۱۹ : مقایسه ی نموداری تنش τ_{xy} تحلیلی و عددی با مش ۳*۳ در تراز $y = 1.577$..... ۱۱۱
شکل ٤ -۲۰ : مقایسه ی نموداری تنش τ_{xy} تحلیلی و عددی با مش ٤*٤ در تراز $y = 1.183$..... ۱۱۲

فهرست جداول

جدول ۳-۱: مختصات و ضرایب وزنی نقاط گوسی ٦٥
جدول ٤-۱: نتایج حاصل از حل مساله با ٤ المان ۹۹
جدول ٤-۲: نتایج حاصل از حل مساله با ۹ المان ۱۰۰

فهرست علامت ها

D	ضریب صلبیت خمشی صفحه
E	مدول یانگ
N_T	**نیروی قائم معادل حرارتی**
$F(x , y)$	**تابع تنش ایری**
G	**مدول برشی**
P	**فشار جانبی وارد بر صفحه**
Δ	**بردار جابجایی**
N	**بردار توابع شکل**
B	**ماتریس کرنش**
$\mathbf{F^e}$	**بردار نیروهای گرهی المان**
σ^0	**تنش اولیه**
ε^0	**کرنش اولیه**
K^e	**ماتریس سختی المان**
T	**بار گسترده روی مرزها**
Z	**مختصات بدون بعد**
H	**مختصات بدون بعد**
J	**ماتریس ژاکوبین**
L	**عملگر دیفرانسیل جابجایی**
I	**ماتریس همانی**
a_I	**ضریب وزنی**
H	**ضخامت صفحه**

L	طول صفحه
σ_x	تنش نرمال در جهت x
σ_y	تنش نرمال در جهت y
σ_z	تنش نرمال در جهت z
τ	تنش برشی
T	گرادیان حرارتی
U	مولفه جابجایی در جهت x
V	مولفه جابجایی در جهت y
W	مولفه جابجایی در جهت z
t	زمان
ε_x	مولفه کرنش در جهت x
ε_y	مولفه کرنش در جهت y
ε_z	مولفه کرنش در جهت z
A	ضریب انبساط حرارتی
M_T	لنگر حرارتی
N	نسبت پواسون
N_x	نیروی درون صفحه ای در جهت x
N_y	نیروی درون صفحه ای در جهت y
N_{xy}	نیروی درون صفحه ای در جهت y و عمود بر x
M_x	لنگر درون صفحه ای در جهت x
M_y	لنگر درون صفحه ای در جهت y
M_{xy}	لنگر درون صفحه ای در جهت y و عمود بر x
ϑ_x	شیب مماس بر امتداد سطح میانی در صفحه oxz
ϑ_y	شیب مماس بر امتداد سطح میانی در صفحه oyz

فصل اول

مقدمه

تغییرات حرارت همانند بار های خارجی میتواند باعث ایجاد تنش در سازه گردد، عوامل زیادی میتوانند سبب ایجاد تغییرات حرارتی در سازه گردند به عنوان مثال: جوشکاری، وقوع تغییرات آب و هوایی و ... .شدت تنش های ایجاد شده به شدت کنش عامل ایجاد کننده‌ی آن بستگی دارد. از آنجاییکه آنالیز تنش جزء نخستین ملزومات جهت یک طراحی مناسب و بهینه می باشد، بررسی و محاسبه ی تنش های حرارتی در سازه ها امری ضروری و غیر قابل اجتناب بنظر می رسد. صفحات بعنوان یکی از مهمترین المان های سازه ای نیز از این امر مستثنی نبوده و بایستی تنش های مذکور در آنها محاسبه گردد و ملاک طراحی قرار گیرد.

۱-۱ معرفی صفحه

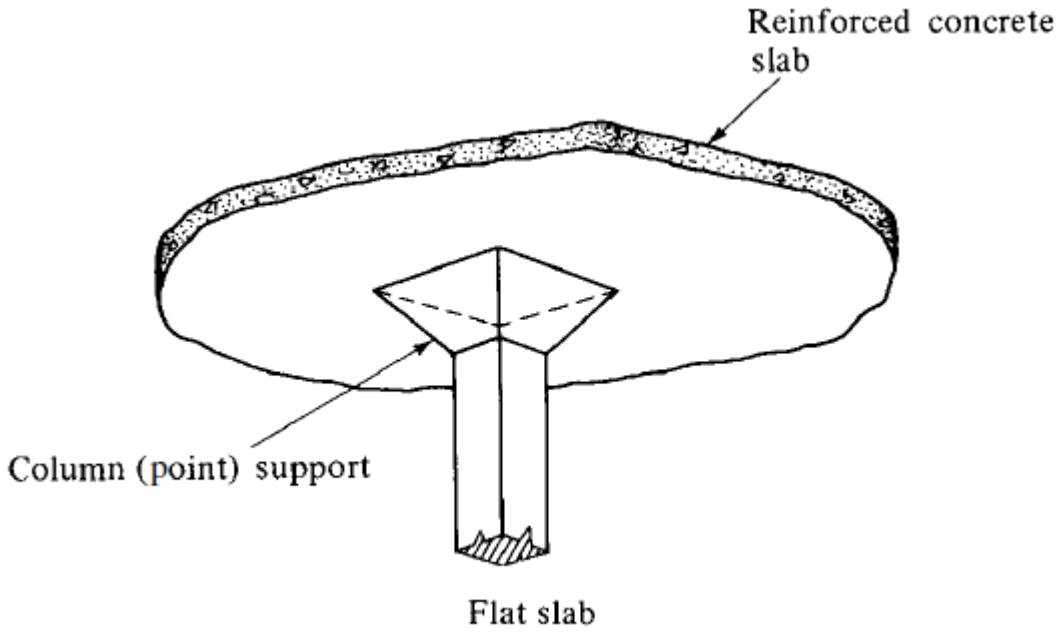
صفحات،المان های سازه ای مسطح، مستقیم و دو بعدی می باشند که در آنها یک بعد(ضخامت) از دو بعد دیگر کوچکتر می باشد. به لحاظ هندسی اضلاع صفحه هم می توانند بوسیله ی خط مستقیم و هم منحنی تعریف شوند. صفحات هم می توانند بعنوان بخشی از یک سازه استفاده شوند هم اینکه می توانند خود یک سازه باشند مثل دال پلها. شرایط مرزی صفحه استاتیک، آزاد،ساده، گیردار، یا با تکیه گاه الاستیک باشد.[17]

بارهای استاتیکی و یا دینامیکی خارجی وارد بر صفحه توسط لنگرهای خمشی و پیچشی داخلی و نیروهای برشی عرضی تحمل می شوند. با توجه به اینکه فرآیند تحمل بارگذاری خارجی در صفحات مشابه تیرها می باشد، صفحه را می توان با یک شبکه از تیر تقریب زد. چنین تقریبی بدلیل اینکه پیوسته بودن سازه را از بین می برد منجر به نتایج نادرست می شود، بنابراین

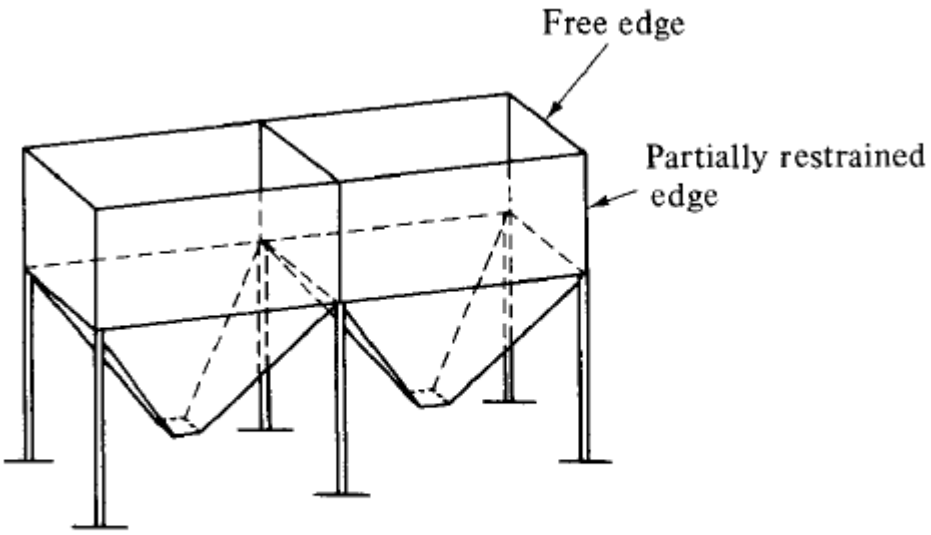
می بایست رفتار دو بعدی واقعی صفحه در نظر گرفته شود. عملکرد دو بعدی صفحه منجر به دستیابی به سازه ی سبک تر می گردند بنابراین به لحاظ اقتصادی یک مزیت می باشد.

صفحات و سازه های صفحه مانند در سالهای اخیر اهمیت ویژه و کاربرد زیادی بدست آورده اند. در سازه های مهندسی تعداد زیادی از المان های سازه ای می تواند بعنوان صفحه تلقی شود، بعضی مثال های مهم در مهندسی عمران عبارتند از: دال های کف و فونداسیون، دال سقف، دیوارهای حایل، بدنه ی پل و ... .همچنین صفحات دارای کاربرد بسیار وسیع در اتصالات، هم در سازه های فلزی و هم در سازه های بتنی می باشند. علاوه بر این واحد اصلی سازنده ی پروفیل های فولادی اعم از نورد شده و نورد نشده ورق یا همان صفحه است.

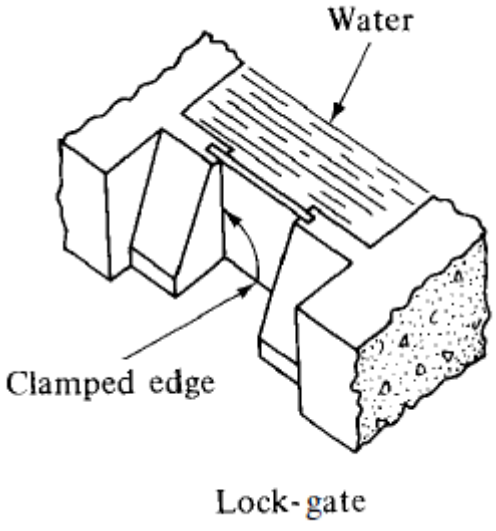
صفحات همچنین در حوزه های کشتی سازی و هوافضا دارای استفاده ی وسیع اند. تصاویر زیر کاربرد هایی از صفحات را نشان می دهد.



شکل ۱-۱: کاربرد صفحات در دال ها



شکل ۱-۲: کاربرد صفحات در انباره ها



شکل ۱-۳: کاربرد صفحات در سد ها

هدف اصلی از هر تحلیل سازه این است که اطمینان پیدا کنیم که سازه تحت بررسی، یک ضریب اطمینان مناسب در برابر گسیختگی داشته باشد و در عین حال به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد.[17]

بیشتر صفحات با بکارگیری معادلات حاکم تئوری الاستیسیته تحلیل می گردند. در بیشتر موارد روش های مختلف انرژی برای مسایل کاربردی منجر به حل تحلیلی می گردد. امروزه با استفاده گسترده از کامپیوتر، یک سری روش های عددی موسوم به روش اجزاء محدود جایگاه ویژه ای بدست آورده اند. در تمامی تحلیل های سازه ای بدلیل پیچیدگی سازه ی واقعی، آنرا با یک مدل ساده شده با پارامترهای مهم در پاسخ سازه به بارهای مربوطه، جایگزین کرد. در تحلیل صفحات موارد زیر اهمیت دارند:

۱-هندسه ی صفحه و تکیه گاه های آن

۲-رفتار مصالح مورد استفاده

۳-نوع بارگذاری

۱-۲ دسته بندی صفحات

برای آنالیز صفحه می توان آنرا یک محیط سه بعدی فرض کرد، چنین رویکردی به طرز جدی غیرقابل استفاده است زیرا مشکلات محاسباتی غیرقابل عبوری ایجاد می کند، حتی اگر راه حلی هم پیدا شود در بسیاری از موارد هزینه بر است. در نتیجه به منظور منطقی کردن آنالیز صفحات ما از چهار رویکرد با چهار رفتار سازه ای و در نتیجه چهار معادله ی حاکم، صفحات را مورد تحلیل قرار می دهیم. دسته بندی صفحات به چهار دسته بر اساس نسبت ضخامت به طول (h/L) انجام می پذیرد، بر این اساس دسته بندی زیر را داریم:

۱- صفحات سخت $(h/L=1/50\text{-}1/10)$

صفحات لاغر با صلبیت خمشی هستند که بارها را به صورت دوبعدی و بیشتر بوسیله ی لنگرهای داخلی (خمشی و پیچشی) و برش عرضی تحمل میکنند، با توجه به شکل۱-٤ می بینیم که رفتار این صفحات مشابه رفتار تیر می باشد. در مسایل مهندسی منظور از صفحه تعریف فوق

است مگر اینکه خلاف این موضوع ذکر شود.

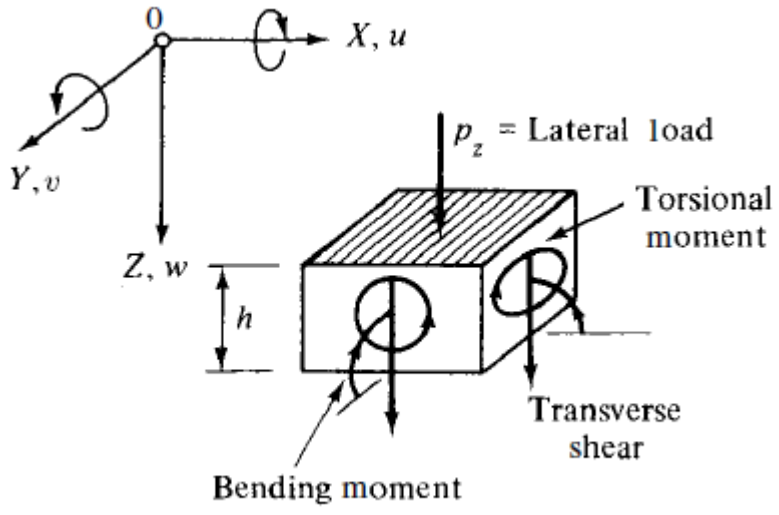
۲-صفحات با عملکرد غشایی(h/L<1/50)

صفحات خیلی لاغر بدون صلبیت خمشی می باشند که بارها را بوسیله ی نیروهای برشی و محوری مرکزی تحمل می کنند(با توجه به شکل۱-۵). این فرآیند تحمل بار میتواند بوسیله ی یک شبکه از کابل تقریب زده شود، بدلیل لاغری زیاد آنها، سختی خمشی مربوط به این نوع صفحات قابل چشم پوشی است.

۳-صفحات نسبتاً ضخیم (h/L=1/10-1/5)

به لحاظ بیشتر موارد مشابه صفحات سخت می باشند بجز اینکه اثرات نیروهای برشی عرضی در مولفه های نرمال تنش در نظر گرفته می شود.

٤-صفحات ضخیم (h/L>1/5): رفتلر این نوع صفحات در شکل ۱-۷ نشان داده شده است.



شکل ۱-۴ : رفتار صفحات سخت