بسم الله الرحمن الرحيم

٢٢٨٨٨

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

۱۳۷۸ /۴/ ۲۰

مرکز اطلاعات علمی ایران
تعهد مدارک

پایان نامه
برای دریافت دانشنامه کارشناسی ارشد
(مهندسی عمران - گرایش سازه)

موضوع

بررسی ظرفیت باربری کمانشی ورقهای خورده شده

استاد راهنما : دکتر محمدرضا بهاری

استاد مشاور : دکتر رسول میرقادری

نگارش : علی اکبر رحمتی پور

اردیبهشت ۱۳۷۸

۲۴۸۸۸

۱۸۲۵/۲

تقـــدیم بـــه:

پـــدر و مـــادر عـــزیـــز

و

همســـر مهـــربـانـم

با تشکر از:

آقای دکتر محمدرضا بهاری که با راهنماییهای بی دریغ و مجدّانه ایشان پیشرفت و اتمام پروژه میسر گردید.

و همچنین آقای دکتر رسول میرقادری که ما را در این امر یاری رساندند.

عنوان
صفحه

فصل اول - مکانیسم خوردگی فلزات

مقدمه ۵

۱-۱ - طبقه بندی اقسام خوردگی ۶

۱-۲ - عوامل موثر در خوردگی ۷

۱-۳ - روشهای مبارزه با خوردگی فلزات ۱٤

۱-٤ - روشهای مطالعه خوردگی ۱۶

فصل دوم - معادلات حاکم بر رفتار ورق

۲-۱ - تئوری تغییر شکل کوچک صفحه ۲۰

۲-۲ - تعادل نیروهای واقع در صفحه ۲۱

۲-۳ - تعادل لنگرهای خمشی، کوپلهای پیچشی و نیروهای برشی ۲۱

۲-٤ - رابطه لنگر - تغییر شکل ۲٤

۲-۵ - معادله دیفرانسیل کمانش صفحه ۲۷

۲-۶ - تئوری صفحات با افت زیاد ۲۷

۲-۷ - تعادل نیروهای صفحه‌ای وارد بر صفحه با تغییر شکل بزرگ ۲۸

۲-۸ - انرژی تغییر شکل صفحه ۳۳

۲-۹ - معادلات حاکم بر رفتار ورق با ضخامت متغیر در تغییر شکلهای بزرگ و با تغییر شکل اولیه ۳٤

فصل سوم - پارامترهای خوردگی در ورق

۳-۱ - آرایش خوردگی در سطح ورق ۳۷

۳-۲ - شکل خوردگی در ورق ۳۸

۳-۳ - مدلسازی ضخامت ورق خورده شده ۳۹

عنوان صفحه

فصل چهارم - محاسبه بار بحرانی ورق خورده شده

۴-۱ - کاربرد روش انرژی در محاسبات بار بحرانی ۴۳

۴-۲ - کاربرد روش گالرکین در محاسبات بار بحرانی ۴۳

۴-۳ - کاربرد روش تفاوتهای محدود در محاسبات بار بحرانی ۴۴

۴-۴ - انتخاب توابع مناسب تغییر شکل ۴۶

۴-۵ - نتایج آنالیز ورق خورده شده ۴۸

فصل پنجم - حل معادلات حاکم بر رفتار ورق در تغییر شکلهای بزرگ

۵-۱ - شرایط مرزی داخل صفحه‌ای ورق پس از کمانش ۵۴

۵-۲ - محاسبه توابع تنش ورق پس از کمانش ۵۵

۵-۳ - روش گالرکین در حل معادله غیر خطی حاکم بر رفتار ورق ۶۲

۵-۴ - روش گالرکین در حل معادلات حاکم بر رفتار ورق خورده شده پس از کمانش ۶۴

فصل ششم - محاسبه ظرفیت باربری ورق با روش المانهای محدود

۶-۱ - آشنایی اجمالی با نرم افزار ALGOR ۶۸

۶-۲ - مدلسازی ورق خورده شده ۶۹

۶-۳ - رفتار ورق های نازک و ضخیم خورده شده ۷۰

۶-۴ - تاثیر موقعیت موضع خورده شده در سطح ورق بر باربری ورقهای مربعی ۷۴

۶-۵ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورقهای مستطیلی و بلند ۷۷

فصل هفتم - نتیجه گیری و پیشنهاد ۸۷

معرفی نمادها ۹۰

فهرست منابع و مراجع ۹۲

شماره عنوان صفحه

۱-۱ - مقطع طولی خوردگی فلزات ۷
۱-۲ - رابطه بین سرعت خوردگی آهن و PH محلول ۸
۱-۳ - سرعت خوردگی بر حسب غلظت نمک محلول ۱۰
۱-٤ - رابطه بین سرعت خوردگی و سرعت جریان مایع خورنده ۱۱
۱-۵ - رابطه معمول بین سرعت خوردگی و درجه حرارت ۱۲
۱-۶ - رابطه سرعت خوردگی آهن با درجه حرارت ۱۲
۱-۷ - رابطه بین حجم خوردگی و رطوبت هوا ۱۷
۱-۸ - خوردگی در شرایط اقلیمی مختلف بر حسب مدت آزمایش ۱۸
۱-۹ - خوردگی در آبهای مختلف بر حسب مدت آزمایش ۱۸
۲-۱ - محورهای مختصات و تنشهای صفحه ۲۰
۲-۲ - نیروهای صفحه‌ای وارد بر عنصر صفحه - تغییر مکان کوچک ۲۲
۲-۳ - لنگرهای خمشی، پیچشی و نیروهای برش وارد بر عنصر صفحه ۲۳
۲-٤ - تنشهای عمودی و برشی مربوط به لنگرهای خمشی و پیچشی ۲٤
۲-۵ - تغییر شکل صفحه abcd به فاصله z از تار میانی ۲۵
۲-۶ - نیروهای صفحه‌ای وارد بر عنصر صفحه - تغییر شکل بزرگ ۲۹
۲-۷ - کرنش طولی در صفحه با تغییر شکل بزرگ ۳۰
۲-۸ - کرنش برشی ناشی از u_0 , v_0 ..... ۳۱
۲-۹ - کرنش برشی ناشی از w ۳۱
۲-۱۰ - تغییر شکل ورق با تغییر شکل اولیه ۳۵
۳-۱ - توزیع خوردگی در سطح ورق ۳۸
۳-۲ - تغییر ضخامت ورق خورده شده ۳۸
۳-۳ - تابع تغییر ضخامت ورق ۳۹
۳-٤ - توابع مناسب برای مدلسازی ضخامت و سختی خمشی ورق خورده شده ٤۱

شماره	عنوان	صفحه
٤-١ -	توابع مناسب تغییر شکل در ورق خورده شده	٤٧
٤-٢ -	تاثیر خوردگی در بار بحرانی ورق به ازای حجم مشخص خوردگی	٤٨
٤-٣ -	تاثیر خوردگی در بار بحرانی ورق به ازای حجم مشخص خوردگی	٤٩
٤-٤ -	تاثیر خوردگی دربار بحرانی به ازای حجم مشخص خوردگی	٤٩
٤-٥ -	تاثیر خوردگی دربار بحرانی به ازای حجم مشخص خوردگی	٥٠
٤-٦ -	تاثیر خوردگی دربار بحرانی به ازای حجم مشخص خوردگی	٥٠
٤-٧ -	تاثیر خوردگی دربار بحرانی به ازای حجم مشخص خوردگی	٥١
٤-٨ -	تاثیر خوردگی دربار بحرانی به ازای حجم مشخص خوردگی	٥١
٥-١ -	مقایسه رفتار بعد از کمانش ستون و ورق	٥٤
٥-٢ -	شرایط مرزی لبه ورق	٥٤
٥-٣ -	تابع تنش ورق پس از کمانش	٥٧
٥-٤ -	تابع تنش ورق پس از کمانش	٥٨
٥-٥ -	تابع تنش ورق پس از کمانش	٥٩
٥-٦ -	تابع تنش ورق پس از کمانش	٦٠
٥-٧ -	تابع تنش ورق پس از کمانش	٦١
٥-٨ -	منحنی بار - تغییر مکان خمشی برای ناحیه بعد از کمانش	٦٢
٥-٩ -	منحنی تغییر مکان غشایی بر حسب تغییر مکان خمشی	٦٣
٥-١٠ -	منحنی بار - تغییر مکان غشایی برای کمانش و بعد از کمانش ورق	٦٣
٦-١ -	الگوریتم آنالیز با نرم افزار ALGOR	٦٨
٦-٢ -	رابطه تنش - کرنش فولاد	٦٩
٦-٣ -	جابجایی میان صفحه ورق در ناحیه خورده شده	٦٩
٦-٤ -	نمونه‌ای از مدل اجزاء محدود ورق خورده شده	٧٠
٦-٥ -	رفتار ورق خورده شده نازک	٧١

شماره عنوان صفحه

۶-۵ - رفتار ورق خورده شده نازک ۷۱
۶-۶ - رفتار ورق خورده شده ضخیم ۷۱
۶-۷ - منحنی تنش - تغییر مکان عمود بر صفحه در ورق خورده شده ۷۲
۶-۸ - منحنی تنش - تغییر مکان عمود بر صفحه در ورق خورده شده ۷۳
۶-۹ - منحنی تنش - تغییر مکان عمود بر صفحه در ورق خورده شده ۷۳
۶-۱۰ - منحنی تنش - تغییر مکان عمود بر صفحه در ورق خورده شده ۷۴
۶-۱۱ - تاثیر موقعیت خوردگی در رفتار ورقهای مربعی ۷۶
۶-۱۲ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورق ۷۹
۶-۱۳ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورق ۸۰
۶-۱۴ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورق ۸۱
۶-۱۵ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورق ۸۲
۶-۱۶ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورق ۸۳
۶-۱۷ - تاثیر پیشرفت خوردگی در باربری ورق ۸۴
۶-۱۸ - محاسبه بار بحرانی ورق خورده شده با استفاده از روش المانهای محدود ۸۵
۷-۱ - تغییر شکل ورق مستطیلی پس از کمانش ۸۹

چکیده:

در این پایان نامه با کمک روشهای عددی مانند تفاوتهای محدود، المانهای محدود و روشهای انرژی آنالیز ورقی چهارطرف مفصلی با ضخامت متغیر تحت تاثیر بارهای فشاری محوری انجام گرفته است و سعی شده است ضمن مطالعه پارامتریک مسئله خوردگی در ورق و ارائه نتایج تا حد زیادی مهندسین را در ارزیابی وضعیت سازه و اتخاذ تصمیم نهایی برای تعویض و یا تقویت قطعه خورده شده یاری رساند.

پارامترهایی که در تعیین ظرفیت باربری ورق خورده شده موثرند عبارتند از موقعیت و توزیع خوردگی در سطح ورق، سطح خورده شده ورق و ضخامت ناحیه خورده شده ورق که با تغییر هرکدام از آنها می‌توان تاثیرش را در ظرفیت باربری ورق مشاهده نمود. به کمک نتایج حاصله بحرانی ترین نوع خوردگی در یک ورق قابل تشخیص بوده و همچنین می توان برای ورق با پارامترهای خوردگی معلوم قابلیت بهره برداری ورق را تعیین نمود و در صورت نیاز تمهیدات لازم برای تقویت ورق را صورت داد.

پارامتر اساسی برای تعیین باربری فشاری یک ورق بار کمانشی ورق می‌باشد که در ابتدا با کمک روش تفاوتهای محدود و روش انرژی این بار بحرانی قابل محاسبه می‌باشد. لازم به ذکر است تفاوتی که بین ورق خورده شده با ورق سالم وجود دارد تغییر ضخامت ورق در ناحیه خورده شده است که در هر دو روش یاد شده این تغییر ضخامت در هرنقطه از ورق که باشد قابل لحاظ است. در ادامه رفتار پس از کمانش ورق ردیابی شده است. همانطور که می‌دانیم رفتار پس از کمانش ورق رفتاری غیر خطی است که شامل غیرخطی هندسی و مادی می‌باشد. این قسمت از کار با بهره گیری از نرم‌افزار توانای ALGOR و با روش المانهای محدود انجام گرفته است که قابلیت آنالیز سازه را در حالتهای غیرخطی هندسی و مادی دارا می‌باشد.

خوردگی در ورق باعث تغییر موقعیت میان صفحه ورق خواهد گردید لذا ورقی که باید مدل گردد ورقی مسطح نخواهد بود و همچنین ضخامت آن در نقاط غیرمسطح متغیر خواهد بود. بنابراین می توان چنین گفت که رفتار این صفحات مانند رفتار صفحاتی با تغییر شکلهای اولیه و ضخامت متغیر خواهد بود.

پیشگفتار:

از جمله مسائلی که ظرفیت باربری سازه های دریایی و یا حتی سایر سازه‌ها را باید با گذشت زمان تحت تاثیر قرار می‌دهد خوردگی است، این خوردگی می‌تواند در تمام سازه‌هایی که در معرض آب دریا، بخار آب هوا، گازهای شیمیایی و حتی اکسیژن موجود در هوا قرار دارند؛ از جمله سازه های دریایی کنار و یا فراساحلی، بدنه کشتی ها، جان تیر ورق پلها و غیره اتفاق افتد. اطلاع از قابلیت بهره برداری و ظرفیت باقی مانده این سازه ها (سازه‌های خورده شده) برای مهندسین از اهمیت خاصی برخوردار است تا آنان را در تصمیم گیری برای تعویض و یا تقویت قطعه موردنظر یاری رساند. از این رو ضرورت انجام تحقیقات گسترده و ارائه نتایج مهندسی ضروری می‌باشد.

هدف از انجام این پروژه تعیین کاهش مقاومت ورقهای خورده شده نسبت به ورقهای سالم و همچنین بدست آوردن نمودارهایی است که اثر پارامترهای مختلف خوردگی را در کاهش مقاومت ورق نشان دهند و در پایان قضاوتی مهندسی درباره قابلیت بهره‌برداری از ورق خورده شده صورت می‌گیرد.

در فصل اول این پایان نامه ماهیت خوردگی در فلزات و عوامل موثر در خوردگی فلزات به همراه راههای جلوگیری از آن آورده شده است. فصل دوم شامل کلیه معادلات حاکم بر رفتار ورقهای سالم و خورده شده در حالت تغییر شکلهای کوچک و همچنین تغییر شکلهای بزرگ می‌باشد. می دانیم که ورق پس از کمانش دارای تغییر شکلهای بزرگتر از ضخامت خود خواهد بود. و این موضوع غیرخطی بودن هندسی را در ورق ایجاب می کند.

فصل سوم به تقسیم بندی و دسته بندی پارامترهای ورق خورده شده از جمله آرایش خوردگی در سطح ورق و سطح خورده شده ورق و همچنین ضخامت خورده شده ورق می‌پردازد تا مطالعه پارامتریک ورق آسانتر باشد.

در فصل چهارم بار بحرانی ورق چهار طرف مفصل با روشهای تفاوت محدود و انرژی محاسبه گردیده است و بدلیل دست بالا بودن جوابها در روش انرژی و دست پایین بودن جوابها در تفاوتهای محدود میانگینی از دو روش بیان گردیده است.

فصل پنجم ابتدا به روشهای دستی برای حل معادلات حاکم بر رفتار ورق در تغییر شکلهای بزرگ می پردازد که روشهای بسیار وقت گیر و پیچیده می‌باشند. بخصوص در مورد ورق خورده شده که دارای ضخامتی متغیر بوده و نامسطح بودن سطح آن بر پیچیدگی معادلات می‌افزاید. لذا در ادامه به کمک روشهای کامپیوتری و با کمک نرم افزارهای توانای آنالیز سازه به روش المان محدود این نوع ورقها را مدل کرده و آنالیز غیرخطی انجام شده است.

در انتهای پایان نامه نیز نتیجه گیری های به عمل آمده و همچنین پیشنهاداتی که می‌تواند راه را برای تحقیق بیشتر در این زمینه فراهم آورد آمده است.

فصل اول:

مکانیسم خوردگی فلزات

مقدمه:

با گسترش صنعت هر روز بیش از پیش مصرف فلزات و آلیاژهای آنها در هر قسمتی توسعه می‌یابد. صنایع شیمیایی نوین با بهره گیری از خواص عده‌ای از فلزات و آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی گسترش یافته است. امروزه، فولادهای زنگ نزن (فولادهای کرم و نیکل دار) با وجود گرانی قیمت، و فلزات سبک مانند آلومینیم و آلیاژهای مختلف آن بسیار مصرف می‌شود. صنعت هواپیما سازی و اتومبیل سازی، صنایع عظیم نفتی، اسکلت پلها و ساختمانها، شبکه‌های توزیع آب و برق و گاز، کابل‌های تلفن و تلگراف و بالاخره وسائل فلزی خانگی در حد وسیعی فلز مصرف می‌کنند. این فلزات در محیطهای مختلفی مانند هوا، مواد شیمیایی، الکترولیت ها و خاک قرار دارد. بر حسب قوانین ترمودینامیک شیمیایی و الکترو شیمیایی فلزات میل دارند به صورتی که در طبیعت وجود داشته‌اند تبدیل شوند بنابراین به تدریج تحت تاثیر محیط مجاور خود قرار گرفته، تباه می‌شوند در این صورت اصطلاحا می‌گویند که فلز یا آلیاژ خورده شده است. فلز خورده شده با از دست دادن خواص مکانیکی و احیانا سوراخ شدن و فرسودگی، قابلیت کاربرد خود را از دست می‌دهد.

خوردگی موضوع مورد مطالعه مهم و جالبی است که برای نشان دادن آن به ذکر چند مورد از اهمیت تکنیکی و اقتصادی آن می‌پردازیم.

طبق آمار نشان داده شده است مقدار آهن فاسد شده سالانه به علت خوردگی برابر $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{4}$ محصول سالانه می‌باشد. در یک نمایشگاه که در بروکسل ترتیب داده شده بود در یک کتیبه نوشته بودند: "در مدتی که این مطلب را می‌خوانید خوردگی ۷۶۰ کیوگرم آهن شروع شده و به پایان رسیده است."

سالانه مقدار ۷۵۰ هزار تن اسید سولفوریک که از سوختن ذغال سنگ نتیجه می‌شود به وسیله باران بر روی لندن فرو می‌ریزد و این مقدار اسید سولفوریک قادر است مقداری بیشتر از ٤۰۰ هزار تن آهن را حل کند. یوهلیگ که در انسیتوی تکنولوژی ماساچوست الکتروشیمی صنعتی و خوردگی تدریس می‌کند در سال ۱۹٤۹ ارزیابی کرده است که خوردگی فلزات در اتازونی سالیانه ۵۵ میلیون دلار به اقتصاد مملکت خسارت وارد نموده است. که با

صرف ۱٪ این مبلغ می‌توان از این خسارت بزرگ جلوگیری نمود. این مبلغ صرف هزینه نگهداری فلزات می‌باشد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که مطالعه خوردگی و طرز جلوگیری از آن برای صنایع موضوع مهمی است و در اغلب موارد، داشتن اطلاعات عمیق در مسائل خوردگی، به آسانی موجب احتراز از تلخکامیهای بسیار می‌شود. مرجع [۹]

۱-۱ - طبقه بندی اقسام خوردگی

خوردگی را بر حسب طبقات فیزیکی - شیمیایی به دو دسته بزرگ تقسیم می‌کنند:

۱- خوردگی شیمیایی ۲- خوردگی الکتروشیمیایی

هر نوع واکنش شیمیایی مستقیم بین فلز و محیط مجاورش خوردگی شیمیایی است و به عنوان مثال از این دسته خوردگی می‌توان، اکسیداسیون آهن به وسیله اکسیژن هوا در حرارت بالا و همچنین خوردگی آهن در اثر مجاورت با مایع غیر الکترولیت را نام برد.

در دسته دوم، خوردگی همراه با واکنش های الکتروشیمیایی می‌باشد که نامش از یک جریان الکتریکی است. به عنوان مثال از خوردگی های الکتروشیمیایی می توان خوردگی آهن را در محلولهای اسیدی، قلیایی و نمکها و همچنین خوردگی فلزات در خاک و زمین را نام برد. خوردگی فلزات در هوای مرطوب نیز در دسته خوردگی الکتروشیمیایی قرار می‌گیرد زیرا خوردگی در قشر نازکی از مایع (الکترولیت) که توسط تراکم رطوبت هوا، تشکیل شده است، انجام می‌گیرد. همچنین خوردگی را از نظر نوع اثر، یعنی پراکندگی آن در سطح فلز می‌توان دسته بندی نمود: مرجع [۹]

۱- خوردگی یکنواخت و یک شکل که با سرعتی مشابه در تمام نقاط ظاهر می‌شود. مانند خوردگی آهن در اثر گازها که در این حالت خواص مکانیکی به ازای واحد طول و یا سطح مقطع، مانند مقاومت فشاری و کششی تغییر نمی‌کند.

۲- خوردگی موضعی (غیر همگن) الف- صفحه‌ای ب- آبله‌ای ج- سوزنی د- بین کریستالی

در شکل (۱) نمای طولی انواع خوردگی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که سه نوع اول خوردگی موضعی یعنی خوردگی صفحه‌ای، آبله‌ای و سوزنی تنها از نقطه نظر درجه تراکم