وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه علم و فرهنگ

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه

مقاوم‌سازی مخازن گاز طبیعی فشرده، با استفاده از مواد کامپوزیتی

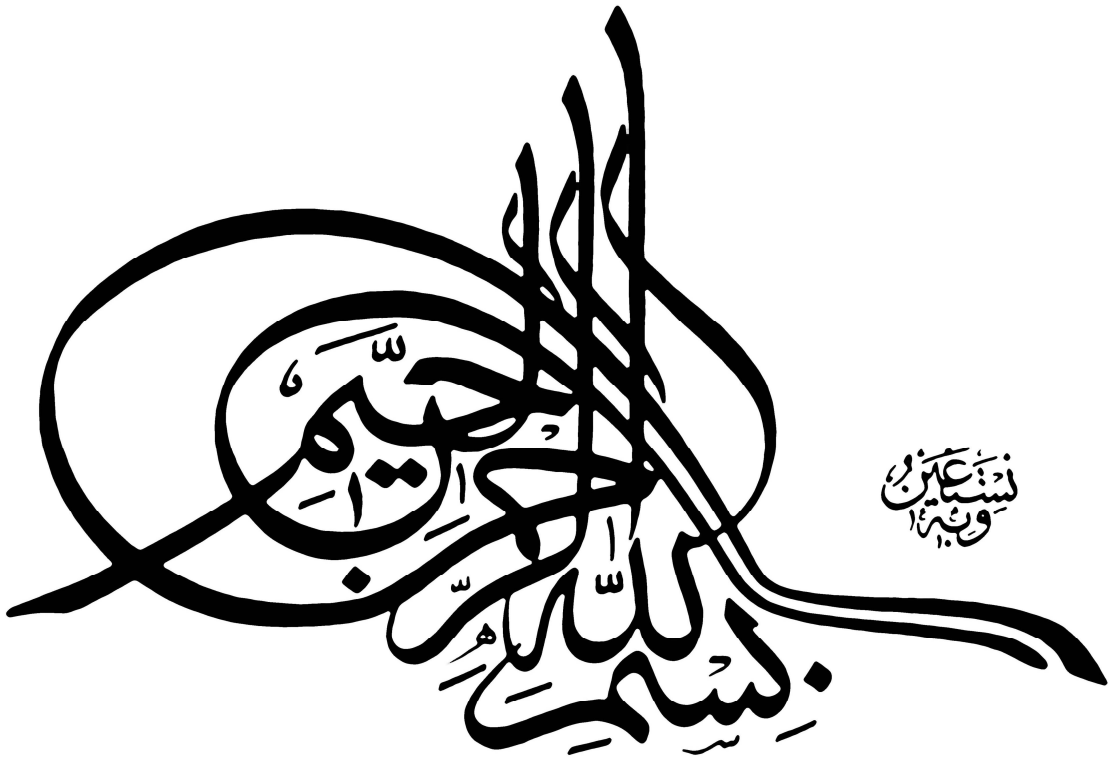
نگارش:

سید عبدالمحمد موسوی

استاد راهنما:

دکتر محمد تقی کاظمی

مرداد ماه ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم
نستعين وبه

فرم ز

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر(عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **سیدعبدالمحمد موسوی** تحت عنوان **"مقاوم‌سازی مخازن گاز طبیعی فشرده، با استفاده از مواد کامپوزیستی"** در **تاریخ** ۱۳۹۰/۴/۲۸ با حضور هیآت داوران در دانشگاه علم و فرهنگ برگزار گردید. به موجب آیین نامه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد، ارزشیابی هیات داوران به شرح ذیل است.

قبول با درجه (عالی) دفاع مجدد ☐ مردود☐

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
۱- استاد راهنما:	**جناب آقای دکتر محمدتقی کاظمی**	دانشیار	
۲- استاد مشاور:	**جناب آقای دکتر علی نیکخو**	استادیار	
۳- استاد داور:	**جناب آقای دکتر حسین پرستش**	استادیار	
٤- استاد داور:	**جناب آقای دکترفیاض رحیم‌زاده‌روفویی**	استاد	
٥- نماینده تحصیلات تکمیلی:	**جناب آقای دکتر حسین پرستش**	استادیار	

اداره کل تحصیلات تکمیلی

ماده ۲۰ آیین‌نامه آموزشی- ارزشیابی پایان نامه	
الف) نمره از ۱۸ تا ۲۰	عالی
نمره از ۱۶ تا ۱۸	بسیار خوب
نمره از ۱۴ تا ۱۶	خوب
نمره از ۱۲ تا ۱۴	قابل قبول
ب) نمره کمتر از ۱۲	غیر قابل قبول

ضروری است که یک نسخه تکمیل شده این فرم مطابق شیوه‌نامه تدوین پایان‌نامه‌ها در ابتدای پایان‌نامه الصاق گردد.

«تقدیم به

پویندگان علم و دانش که تجربه و دانششان فرا راه آینده ماست»

« با سپاس از جناب آقای دکتر محمد تقی کاظمی و جناب آقـای دکتـر علی نیکخو و سایر اساتید بزرگوار که در انجام این پـژوهش راهنمـای اینجانب بودند »

	فرم خلاصه اطلاعات پروژه	تاریخ: ۲۰ / ۰۶ / ۱۳۹۰ صفحه: ۱ از ۱

نام و نام خانوادگی: **سید عبدالمحمد موسوی** شماره دانشجویی: **۸۷۲۱۳٤۰۰۳** رشته: **مهندسی عمران**

گروه: **سازه** دانشکده: **فنی و مهندسی** تاریخ دفاع: **۱۳۹۰/۰٤/۲۸**

راهنما: **دکتر محمد تقی کاظمی** مشاور یا مشاورین: **دکتر علی نیکخو**

عنوان دقیق پایان‌نامه (فارسی): مقاوم‌سازی مخازن گاز طبیعی فشرده، با استفاده از مواد کامپوزیتی

عنوان دقیق پایان‌نامه (انگلیسی): Retrofitting compressed natural gas tanks, using composite materials

کلمات کلیدی (فارسی):

مخزن گاز طبیعی فشرده، تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی، روش اجزاء محدود، تنش میسز، استهلاک انرژی، تغییرات تکانه، جابجایی نسبی جداره‌ها، فیبرکربن

کلمات کلیدی (انگلیسی):

CNG: Compressed natural gas tanks -- Static Analysis -- Dynamic Analysis -- FEM: Finite elment method -- Stress mises -- Dissipated energy -- Velocity diagram -- Du: Relative displacement between radius -- Carbon Fiber

چکیده (فارسی):

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی مخازن سوخت‌های فسیلی و از آنجمله مخازن CNG ضریب ایمنی مخزن در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی است که همواره فکر و ذهن مهندسان را در این مورد مشغول ساخته است. از آنجائیکه افزایش ضریب ایمنی با وزن و راندمان حجمی به ترتیب نسبت‌های مستقیم و معکوس دارد، دستیابی به مدل بهینه مستلزم تحقیقات تئوری و عملی گسترده‌ای است. لذا در این تحقیق سعی شده با تغییراتی که در هندسه و نوع مصالح اعمال گردیده، سازه‌ای پیشنهاد شود که در مقایسه با سازه‌های مشابه ضمن کاهش وزن و رعایت راندمان حجمی مقاومت بیشتری در برابر بارهای دینامیکی از خود نشان دهد. از طرفی به علت عدم اجراء کار آزمایشگاهی لازم بود ابتدا با بررسی دقیق سایر تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده و مقایسه نتایج آنها با استانداردها و آزمون‌های موجود و تطابق مبانی نظری در مکانیک جامدات و تئوری‌های الاستیسیته و پلاستیسیته پیشرفته و تحلیل سازه‌ها با روشهای اجزاء محدود توسط ابزار قدرتمندی همچون نرم‌افزار آباکوس مدل‌هایی شبیه‌سازی گردد که از مزایا و ویژگی‌های برتری نسبت به سایر مخازن مشابه برخوردار باشند. برای این منظور تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی جهت تحمل حداکثر فشار داخلی و مقاومت در برابر ضربه و تعیین بیشینه تنش ایجاد شده در جداره‌ها با استفاده از سه نوع مصالح فولادی، آلومینیومی و فیبرکربن در چهار هندسه متفاوت و دو ضخامت مختلف به روش اجزاء محدود در نرم‌افزار ABAQUS طراحی و تحلیل گردید که نتایج نسبتا گسترده‌ای را در عملیات شبیه‌سازی به همراه داشت. هرچند نتایج حاصل از تحلیل‌های استاتیکی در مقایسه با مقاطع مشابه کاهش ضریب ایمنی را نشان میدهد از آن‌رو که هدف اصلی این تحقیق بهبود ضربه‌پذیری و افزایش مقاومت بدنه مخزن در برابر بارهای دینامیکی می‌باشد به منظور به‌گزینی در این طیف از نتایج با اعمال چهار معیار سنجش در رفتارهای مکانیکی و مقایسه آنها مدل مناسبی با توجیه فنی و اقتصادی و ملاحظات زیست محیطی مناسبتری پیشنهاد گردیده است.

چکیده (انگلیسی):

One of the most important factors in designing tanks and fossil fuels, including **CNG** tanks, is safety factor against static and dynamic loads that is always important for engineers involved in this field. Since the safety factor increases with weight and decreases with volumetric efficiency ratios, to achieve the optimal model requires a broad theoretical and practical research. Therefore, this study attempts to introduce new structure with the changes in geometry and the material type, that show better dynamic resistance compared with similar structures with same weight and volumetric efficiency ratio. On the other hand due to lack of experimental work, it was necessary to conduct research and compare their results with existing standards and procedures in Theoretical Solid Mechanics and theories of elasticity and plasticity and finite element method by Simulation models with powerful tools such as ABAQUS software to show the advantages and superior features over other similar tanks have.

To reach this objective, static and dynamic analyses of this vessels to withstand internal pressure and the impulsive load carried out and the maximum stress in the wall using three types of steel materials, aluminum and Carbon fiber in four different geometries and two different thicknesses in the finite element analyses package **ABAQUS** were investigated and a relatively wide results were obtained. Although the results of static analysis showed reduction in safety factor compared to the initial section, the main purpose of this study is investigating behavior of these vessels subjected to impulsive loads. To choose optimal models, four parameters were taken into account and the optimized models according to that criteria and economical feasibility and environmental considerations have been proposed.

فهرست کامل مطالب (فارسی):

شماره فصل	شماره صفحه	عنوان	بخش‌ها و زیربخش‌ها
اول	۱ – ۱٤	پیش‌گفتار	پیشگفتار، گازطبیعی مایع(LNG)، گازمایع نفتی(LPG)، گازطبیعی فشرده(CNG)، لزوم استفاده ازگازطبیعی فشرده در ایران، روش‌های مختلف افزایش مقاومت به ضربه درکپسول، استفاده ازمواد مرکب، استفاده از فوم، استفاده از استراکچر لانه زنبوری، روش پیشنهادی
دوم	۱۵–۳۰	بررسی مخازن گاز طبیعی فشرده	مقدمه، عملکرد و شرایط مخازنCNG، تعیین مخزن با توجه به نوع خودرو، انواع مخازنCNG، مخازن نوع اول، دوم، سوم و چهارم، مقایسه انواع مخازن، آزمون‌های مخازنCNG، بازرسی‌ها،کنترل‌ها، آمارخرابیها، فناوری‌های جدید، سیستم ذخیره سازیISS ، مخازن تطابق پذیر
سوم	۳۱–۳۵	معرفی مسئله مورد بررسی	مقدمه، بررسی حالات مختلف وانتخاب مقطع جدید، مراحل انجام تحقیق
چهارم	۳٦–٤۵	روش‌های تحلیل و مدلسازی	مقدمه، آلگوریتم‌های حل درآباکوس، گام استاتیکی، گام دینامیکی ضمنی، گام دینامیکی صریح
پنجم	٤۹–۵۵	مدل تحت اثر بار استاتیکی	مقدمه، مدل استاتیکی، هندسه مدل‌ها، نتایج تحلیل
ششم	۸۱–۸۷	مدل تحت اثر ضربه	مقدمه، مدل دینامیکی، مدل دینامیکی، هندسه مدل‌ها، مصالح استفاده شده در نرم‌افزار، آلومینیوم، فولاد، فیبرکربن، مش‌بندی، دامنه بارگذاری، شرایط مرزی و قیدها، نتایج حاصل از یک نمونه تحلیل، خلاصه نتایج
هفتم	۹٦–۱۱۳	نتایج حاصل از تحلیل	مقدمه، خلاصه نتایج، نمونه‌های به‌گزین
هشتم	۱۱٤–۱۱۷	نتیجه‌گیری و پیشنهادات	مقدمه، نتیجه‌گیری، نتیجه‌گیری‌های بنیادی، نتیجه‌گیری‌های فرعی، پیشنهادات
مراجع	۱۱۸–۱۲٤	فهرست	فهرست منابع و مراجع فارسی و غیر فارسی

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی مخازن سوخت‌های فسیلی و از آنجمله مخازن CNG ضریب ایمنی مخزن در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی است که همواره فکر و ذهن مهندسان را در این مورد مشغول ساخته است. از آنجائیکه افزایش ضریب ایمنی با وزن و راندمان حجمی به ترتیب نسبت‌های مستقیم و معکوس دارد، دستیابی به مدل بهینه مستلزم تحقیقات تئوری و عملی گسترده‌ای است. لذا در این تحقیق سعی شده با تغییراتی که در هندسه و نوع مصالح اعمال گردیده، سازه‌ای پیشنهاد شود که در مقایسه با سازه‌های مشابه ضمن کاهش وزن و رعایت راندمان حجمی مقاومت بیشتری در برابر بارهای دینامیکی از خود نشان دهد. از طرفی به علت عدم اجراء کار آزمایشگاهی لازم بود ابتدا با بررسی دقیق سایر تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده و مقایسه نتایج آنها با استانداردها و آزمون‌های موجود و تطایق مبانی نظری در مکانیک جامدات و تئوری‌های الاستیسیته و پلاستیسیته پیشرفته و تحلیل سازه‌ها با روشهای اجزاء محدود توسط ابزار قدرتمندی همچون نرم‌افزار آباکوس مدل‌هایی شبیه‌سازی گردد که از مزایا و ویژگی‌های برتری نسبت به سایر مخازن مشابه برخوردار باشند.

برای این منظور تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی جهت تحمل حداکثر فشار داخلی و مقاومت در برابر ضربه و تعیین بیشینه تنش ایجاد شده در جداره‌ها با استفاده از سه نوع مصالح فولادی، آلومینیومی و فیبرکربن در چهار هندسه متفاوت و دو ضخامت مختلف به روش اجزاء محدود در نرم‌افزار ABAQUS طراحی و تحلیل گردید که نتایج نسبتا گسترده‌ای را در عملیات شبیه‌سازی به همراه داشت. هرچند نتایج حاصل از تحلیل‌های استاتیکی در مقایسه با مقاطع مشابه کاهش ضریب ایمنی را نشان میدهد از آن‌رو که هدف اصلی این تحقیق بهبود ضربه‌پذیری و افزایش مقاومت بدنه مخزن در برابر بارهای دینامیکی می‌باشد به منظور به‌گزینی در این طیف از نتایج با اعمال چهار معیار سنجش در رفتارهای مکانیکی و مقایسه آنها مدل مناسبی با توجیه فنی و اقتصادی و ملاحظات زیست محیطی مناسبتری پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی:

مخازن گاز طبیعی فشرده (CNG: Compressed natural gas tanks)، تحلیل استاتیکی (Static Analysis)، تحلیل دینامیکی (Dynamic Analysis)، روش اجزاء محدود(FEM: Finite elment method)، تنش میسز (Stress mises)، استهلاک انرژی (Dissipated energy)، تغییرات تکانه (Velocity diagram)، جابجایی نسبی جداره‌ها (Du: Relative displacement between radius)، فیبرکربن (Carbon Fiber).

فهرست

۱- پیشگفتار ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۱-۱- گازطبیعی مایع (LNG) ۱

۱-۱-۲- گازمایع نفتی (LPG) ۳

۱-۱-۳- گازطبیعی فشرده (CNG) ۳

۱-۲- لزوماستفاده ازگازطبیعی فشرده درایران ۷

۱-۳- روشهای مختلف افزایش مقاومت به ضربه درکپسول ۸

۱-۳-۱- استفاده ازمواد مرکب: ۸

۱-۳-۲- استفاده از فوم ۱۳

۱-۳-۳- استفاده ازاستراکچرلانه زنبوری ۱۵

۱-۳-٤- روش پیشنهادی ۱٦

۲- بررسی مخازن گازطبیعی فشرده ۱۷

۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۲- عملکرد وشرایط مخازنCNG ۱۷

۲-۳- تعیینمخزنباتوجهبهنوعخودرو ۱۸

۲-٤- انواع مخازن CNG ۲۰

۲-٤-۱- مخازن نوع اول– مخازن تمام فلزی (CNG-I) ۲۰

۲-٤-۲- مخازن نوع دوم- مخازن کمرپیچ (CNG – II) ۲۱
۲-٤-۳- مخازن نوع سوم (CNG – III) ۲۲
۲-٤-٤- مخازن نوع چهارم (CNG – IV) ۲۳
۲-۵- مقایسه انواع مخازن ۲۷
۲-٦- آزمونهای مخازنCNG ۲۸
۲-٦-۱- آزمونهای کیفی حین تولید ۲۹
۲-٦-۲- بازرسی اولتراسونیک ۲۹
۲-٦-۳- کنترلهای لازم برای مخازن کامپوزیتی ۳۰
۲-٦-٤- آزمونهای تأییدایمنی مخازن ۳۰
۲-۷- آمارخرابیهادرمخازنCNG ۳۲
۲-۸- فناوریهای جدید در مخازنCNG ۳۳
۲-۸-۱- سیستم ذخیره سازی ISS ۳۳
۲-۸-۲- مخازن تطابق پذیر ۳٤
۳- معرفی مسئله مورد بررسی ۳۷
۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- بررسی حالات مختلف وانتخاب مقطع جدید ۳۸
۳-۳- مراحل انجام تحقیق ۳۹
٤- روشهای تحلیل ومدلسازی ٤۰

٤-١- مقدمه ٤٠
٤-٢- آلگوریتم‌های حل در آباکوس ٤١
٤-٢-١- گام استاتیکی ٤١
٤-٢-٢- گام دینامیکی ضمنی ٤٥
٤-٢-٣- گام دینامیکی صریح ٤٩
٥- مدل تحت اثر بار استاتیکی ٥٢
٥-١- مقدمه ٥٢
٥-٢- مدل استاتیکی ٥٣
٥-٣- هندسه مدلها ٥٤
٥-٤- نتایج تحلیل ٥٧
٦- مدل تحت اثر ضربه ٨٢
٦-١- مقدمه ٨٢
٦-٢- مدل دینامیکی ٨٢
٦-٣- هندسه مدلها ٨٣
٦-٤- مصالح استفاده شده درنرم افزار ٨٤
٦-٤-١- آلومینیوم ٨٤
٦-٤-٢- فولاد ٨٥
٦-٤-٣-فیبرکربن ٨٥
٦-٥- مش‌بندی ٨٦

٦-٦- دامنه بارگذاری، شرایط مرزی و قیدها ٨٧

٦-٧- نتایج تحلیل ٨٨

٦-٨- خلاصه نتایج ١٠٦

٧-نتیجه گیری و پیشنهادات ١١٣

٧-١- مقدمه ١١٣

٧-٢- نتیجه گیری ١١٤

٧-٢-١- نتیجه گیریهای بنیادی ١١٤

٧-٢-٢- نتیجه گیریهای فرعی ١١٤

٧-٣- پیشنهادات ١١٥

٨- مراجع ١١٦

فهرست جداول

جدول۱–۱– مقایسه برخی ازخواص یک سیلندرگازکامپوزیتی و فولادی ۱۰

جدول۲–۱– مقایسه راندمان حجمی مخازن گاز طبیعی..... ۲۸

جدول۲–۲– آزمونهای نمونه برروی مخازن..... ۳۱

جدول۵-۱– نامگذاری مدلها..... ۸٤

جدول۵-۲– خلاصه نتایج..... ۱۰٦

جدول۵-۳– جدول مرتب شده برحسب توانایی جذب انرژی در مدلها..... ۱۰۷

جدول۵-٤– جدول مرتب شده برحسب تنش‌های حداکثری ایجادشده در بدنه خارجی مخازن ۱۰۸

جدول۵-۵– جدول مرتب شده برحسب تنشهای حداکثری ایجاد شده دربدنه داخلی مخازن ۱۰۹

جدول۵-٦– جدول مرتب شده برحسب جابه‌جایی نسبی جدارهای مخازن..... ۱۱۰

جدول۵-۷– مدلهای با جابه‌جایی نسبی جداره‌های کمتراز ۵ میلیمتر..... ۱۱۱

جدول۵-۸– مدلهای بهینه براساس پاسخ مکانیکی ۱۱۲

فهرست اشکال

شکل ۱–۱– شکل عمومی مخازنCNG ۷

شکل ۱–۲– الف)سیلندرکامپوزیتی موردآزمایش ۱۲

شکل ۱–۳– رفتار آلومینیوم فوم تحت فشار ۱٤

شکل ۱–٤– یک نمونه کپسول هیدروژن ساخته شده توسط شرکتQUANTUM ۱۵

شکل ۱–۵– (الف) تغییرشکل یافته تحت فشار، (ب) ساختارلانه زنبوری..... ۱٦

شکل ۲–۱– مخازنI – CNG ۲۱

شکل ۲–۲– مخازنII – CNG ۲۲

شکل ۲–۳– مخازنIII – CNG ۲۳

شکل ۲–٤– مخازنIV – CNG ۲٤

شکل ۲–۵– سطح برش خورده مخازنIV – CNG..... ۲۵

شکل ۲–٦– انواع مخازن ذخیره سازی گاز طبیعی ۲۷

شکل ۲–۷– سیستم ذخیره سازیISS ۳٤

شکل ۲–۸– سیستم ذخیره سازی باراندمان حجمی بالا ۳٦

شکل ۲–۹– سیستم ذخیره سازی باراندمان حجمی و فشارکاری بالا ۳٦

شکل ۳-۱–الف) مقطع سیلندر در حالت اولیه ، ب) مقطع سیلندردرحالت جدید..... ۳۷

شکل ۳-۲– نمای کلی مخزن اولیه..... ۳۸

شکل ٤-۱– پارامترهای نشاندهنده ابعاد ۵٤

شکل ٤-۲– هندسه مشخصه یکی ازنمونه‌ها..... ۵٤

شکل ٤-٣- نتایج مدل n16-al-st-15 ..... ٥٧
شکل ٤-٤- نتایج مدل n16-al-st-20 ..... ٥٨
شکل ٤-٥- نتایج مدل n16-cc-st-15 ..... ٥٩
شکل ٤-٦- نتایج مدل n16-al-st-20 ..... ٦٠
شکل ٤-٧- نتایج مدل n16-st-st-15 ..... ٦١
شکل ٤-٨- نتایج مدل n16-st-st-20 ..... ٦٢
شکل ٤-٩- نتایج مدل n24-al-st-15 ..... ٦٣
شکل ٤-١٠- نتایج مدل n24-al-st-20 ..... ٦٤
شکل ٤-١١- نتایج مدل n24-cc-st-15 ..... ٦٥
شکل ٤-١٢- نتایج مدل n24-cc-st-20 ..... ٦٦
شکل ٤-١٣- نتایج مدل n24-st-st-15 ..... ٦٧
شکل ٤-١٤- نتایج مدل n24-st-st-20 ..... ٦٨
شکل ٤-١٥- نتایجمدل n32-al-st-15 ..... ٦٩
شکل ٤-١٦- نتایج مدل n32-al-st-20 ..... ٧٠
شکل ٤-١٧- نتایج مدل n32-cc-st-15 ..... ٧١
شکل ٤-١٨- نتایج مدل n32-cc-st-20 ..... ٧٢
شکل ٤-١٩- نتایجمدل n32-st-st-15 ..... ٧٣
شکل ٤-٢٠- نتایجمدل n32-st-st-20 ..... ٧٤
شکل ٤-٢١- نتایج مدل n40-al-st-15 ..... ٧٥
شکل ٤-٢٢- نتایج مدل n40-al-st-20 ..... ٧٦

شکل ٤-٢٣- نتایج مدل n40-cc-st-15 ..... ٧٧

شکل ٤-٢٤- نتایج مدل n40-cc-st-20 ..... ٧٨

شکل ٤-٢٥- نتایج مدل n40-st-st-15 ..... ٧٩

شکل ٤-٢٦- نتایج مدل n40-st-st-15 ..... ٨٠

شکل ٥-١- پارامترهای نشاندهنده ابعاد ٨٣

شکل ٥-٢- هندسه مشخصه یکی ازنمونه‌ها ٨٣

شکل ٥-٣- مش‌بندی به روش مدیالاکسیس ٨٧

شکل ٥-٤- مش‌بندی به روش جبهه پیشرونده ٨٧

شکل ٥-٥- نمودار تغییر سرعت پرتابه ٨٨

شکل ٥-٦- نمودار انرژی مستهلک شده حین برخورد ٨٨

شکل ٥-٧- نمودار تغییرات تنش میسز در جدار خارجی مخزن حین برخورد ٨٩

شکل ٥-٨- نمودار تغییرات تنش میسز در جدار داخلی مخزن حین برخورد ٨٩

شکل ٥-٩- نمودار جابه‌جایی نسبی بین جداره‌هاهنگام برخورد ٩٠

شکل ٥-١٠- نمودار تغییر سرعت پرتابه ٩٠

شکل ٥-١١- نمودار انرژی مستهلک شده حین برخورد ٩١

شکل ٥-١٢- نمودارتغییرات تنش میسز در جدار خارجی مخزن حین برخورد ٩١

شکل ٥-١٣- نمودارتغییرات تنش میسز در جدار داخلی مخزن حین برخورد ٩٢

شکل ٥-١٤- نمودارجابه‌جایی نسبی بین جداره‌هاهنگام برخورد ٩٢

شکل ٥-١٥- نمودارتغییرسرعت پرتابه ٩٣

شکل ٥-١٦- نمودارانرژی مستهلک شده حین برخورد ٩٣

شکل۵-۱۷- نمودارتغییرات تنش میسز در جدارخارجی مخزن حین برخورد ۹٤
شکل۵-۱۸- نمودارتغییرات تنش میسز در جدار داخلی مخزن حین برخورد ۹٤
شکل۵-۱۹- نمودارجابه‌جایی نسبی بین جداره‌ها هنگام برخورد ۹۵
شکل۵-۲۰- نمودار تغییرسرعت پرتابه ۹۵
شکل۵-۲۱- نمودار انرژی مستهلک شده حین برخورد ۹٦
شکل۵-۲۲- نمودارتغییرات تنش میسز در جدار خارجی مخزن حین برخورد ۹٦
شکل۵-۲۳- نمودار تغییرات تنش میسز در جدار داخلی مخزن حین برخورد ۹۷
شکل۵-۲٤- نمودار جابه‌جایی نسبی بین جداره ها هنگام برخورد ۹۷
شکل۵-۲۵- شکل مخزن در ابتدای آنالیز ۹۸
شکل۵-۲٦- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۰۵ ..... ۹۹
شکل۵-۲۷- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۱۰ ..... ۱۰۰
شکل۵-۲۸- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۱۵ ..... ۱۰۱
شکل۵-۲۹- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۲۰ ..... ۱۰۲
شکل۵-۳۰- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۲۵ ..... ۱۰۳
شکل۵-۳۱- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۳۰ ..... ۱۰٤
شکل۵-۳۲- شکل مخزن در ثانیه ۰/۰۰۳۵ ..... ۱۰۵

۱- پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

دز سال‌های اخیر به واسطه ملاحظات زیست محیطی و کاهش انتشار آلاینده‌های خطرناک، همچنین پاسخ به نیاز روز افزون، حمل و نقل به انرژی، سوخت‌های گازی به عنوان یکی از سوخت‌های پاک و جایگزین در کشورهای مختلف موردتوجه و استفاده قرار گرفته‌اند. این سوخت‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی معمولاً به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- گاز طبیعی مایع (LNG)[1]

۲- گاز مایع نفتی (LPG)[2]

۳- گاز طبیعی فشرده (CNG)[3]

در ادامه به صورت خلاصه به بررسی این سوخت‌ها و مزایا و معایب آنها می‌پردازیم:

۱-۱-۱- گاز طبیعی مایع (LNG)

هنگامی که گاز طبیعی در فشار اتمسفر تا دمای F° ۱۲۰- سرد شود، به مایع تبدیل می‌گردد که به آن، گاز طبیعی مایع می‌گویند. این مایع بدون بو، بدون رنگ، غیر خورنده و غیر سمی بوده و وزن مخصوص آن در حدود ٤٥٪ وزن مخصوص آب می‌باشد، همچنین در حالت بخار با ترکیب ۱۵-۵ درصد هوا می‌سوزد.

---

[1]- Liquefied Natural Gas
[2]- Liquefied Petroleum Gas
[3]- Compressed Natural Gas

گاز طبیعی مایع از متان (حداقل ۹۰٪)، اتان، پروپان، و هیدروکربن‌های سنگین‌تر تشکیل شده است. همچنین مقادیر کمی نیتروژن، دی‌اکسیدکربن، ترکیبات گوگرد و آب نیز ممکن است در آن یافت شود. فرآیند مایع کردن گاز باعث خارج شدن گازهای اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، ترکیبات گوگرد و آب از آن می‌شود. در این پروسه می‌توان LNG را به ۱۰۰٪ متان تبدیل کرد.

این سوخت در استوانه‌های دو جداره با عایق‌بندی بسیار قوی بین جداره‌ها، در فشاری کمتر از ۵ psig ذخیره می‌شود. این مخازن، نسبتاً بزرگ و دارای نسبت عرض به ارتفاع کمی می‌باشند. LNG باید تا دمای کمتر از $-۱۱۷^{\circ}F$سرد نگه داشته شود تا بتواند مستقل از فشار به صورت مایع باقی بماند. عایق‌بندی مخزن هر قدر هم کارا باشد، به تنهایی نمی‌تواند سرمای لازم را حفظ نماید. به همین دلیل در یک محفظه به نام یخ جوشان، که یک مایع سرد در دمای جوش است نگه داشته می‌شود. اگر این بخار خارج نشود، دما و فشار هر دو بالا می‌روند.

قبل از اینکه ذخیره کردن مایع سرد در مخزن به اجرا درآید، یک واقعه انفجار در Ohio در سال ۱۹۹٤ روی داد که این حادثه همه پیشرفت‌ها در صنعت LNG را متوقف کرد. استفاده از هیدروژن مایع ($-۴۲۳^{\circ}F$) و اکسیژن مایع ($-۲۹۶^{\circ}F$) تکنولوژی LNG را پیشرفت داد. [۱].

این سوخت دارای مزایایی نسبت به سوخت‌های معمول (نظیر بنزین وگازوئیل) می‌باشد که عبارتند از:

۱- گاز طبیعی مایع نسبت به سوخت‌های معمول آلودگی کمتری دارد. این آلودگیها شامل ذرات معلق (PM)، مونوکسیدکربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و هیدروکربن‌های غیر متان (NMHC) می‌باشد که میزان آن‌ها در گاز طبیعی نسبت به سوخت‌های معمول خیلی کمتر است.

۲- LNG بر اساس قیمت، ارزانتر از گازوئیل و بنزین می‌باشد.

۳- زمان سوخت‌گیری LNG معادل سوخت‌هایی است که جایگزین آن‌ها شده است.

٤- با اینکه یک عدم اعتماد عمومی نسبت به LNG وجود دارد، آزمایش‌های غیر وابسته ثابت می‌کند که استفاده از LNG به عنوان یک سوخت، خطرناک‌تر از گازوئیل نیست و در بسیاری از شرایط آزمایشی امن‌تر بوده است. دمای احتراق این سوخت $F500^{\circ}$ از گازوئیل بیشتر بوده و در یک دامنه بسیار محدود (نسبت گاز به هوای ۱۵-۵ درصد)، محترق می‌گردد. درغیر این‌صورت احتراقی رخ نمی-دهد. به‌علاوه این مایع به سرعت دراتمسفر به بخار تبدیل شده و پراکنده می‌گردد.

یکی از معایب گاز طبیعی مایع است که چگالی کمتری نسبت به سوخت‌های معمول دارد. به-طوریکه ۱/۵ گالن ($231\ in^3$ یا $0.003779\ m^3$) LNG معادل یک گالن بنزین و ۱/۷ گالن آن، معادل یک گالن گازوئیل می‌باشد [۲].

۱-۱-۲- گاز مایع نفتی (LPG)

LPG که به آن پروپان نیز می‌گویند، در برخی موارد با LNG اشتباه گرفته می‌شود.LPG اکثراً از پروپان (بیش از ۹۵٪) تشکیل شده و مقدار کمی نیز بوتان دارد که به عنوان محصول فرعی پالایشگاه نفت و یا واحدهای فرآوری گاز تولید می‌شود. این سوخت تنها با اعمال فشار در تانک ذخیره می‌شود و به عنوان سوخت در خودروها سال‌های سال استفاده شده است [۱].

۱-۱-۳- گاز طبیعی فشرده (CNG)

گاز طبیعی فشرده مهم‌ترین سوخت جایگزین بوده و ترکیبات آن مانند ترکیبات خط لوله گاز محلی است که مقداری از آن گرفته شده است. CNG و LNG هر دو به صورت گاز و با فشار ۳۰۰psig وارد موتور می‌شوند. همچنین LNG می‌تواند جهت تولید CNG به کار رود. گاز طبیعی فشرده مخلوطی ازهیدروکربن‌هایی است که عمدتاً از متان (بیش از ۹۰٪) می‌باشد، ولی عموماً شامل اتان، پروپان، هیدروکربن‌های سنگین‌تر و مقداری گازهای غیرقابل احتراق نظیر نیتروژن و دی‌اکسیدکربن می‌شود [۲].

این گاز به دلایل زیر سوخت مناسبی برای مصرف در خودروها محسوب می‌شود:

۱- در مقایسه با بنزین با عدد اکتان ۹۰ این گاز دارای عدد اکتان بالاتری (معادل ۱۳۰) می-باشد.

۲- این گاز تمیز می‌سوزد و کاهش آلاینده‌های حاصل از احتراق آن در مقایسه با بنزین به میزان ٧٤٪ مونوکسیدکربن، ۷۰٪ هیدروکربن‌های نسوخته و ۸۵٪ اکسیدهای نیتروژن (NO_x) است.

۳- هزینه نگهداری و تعمیرات موتور خودروهای با گاز طبیعی معمولاً پائین‌تر می‌باشد.

٤ – راندمان سوخت گاز حدود ۱۵٪ و ارزش حرارتی آن حدود ۱۳٪ بیشتر از بنزین است.

۵ – گاز طبیعی فشرده نسبت به هوا سبک‌تر بوده و به همین علت در صورت نشت مخزن ذخیره سوخت، گاز به سرعت در هوا پخش می‌شود و تجمع نمی‌یابد. دمای اشتعال این گاز $۷۰۰^{\circ}C$ می‌باشد و این در مقایسه با بنزین که در دمای $۴۵۰^{\circ}C$ مشتعل می‌گردد، خیلی بیشتر است و همین امر باعث می‌شود خطر انفجار یا آتش‌سوزی خودروهای گازسوز، در صورت نشت گاز کاهش یابد. به طور کلی گاز طبیعی بیشترین ایمنی را در بین سوخت‌های رایج دارد.

٦ – قیمت این سوخت نسبت به سایر سوخت‌ها، بسیار کمتر است. به عنوان مثال در دوازده کشور اروپایی که از این سوخت استفاده می‌کنند، بهای گاز طبیعی فشرده ۷۰-۲۰ درصد کمتر از بنزین می‌باشد[۵].

یکی از معایب گاز طبیعی به عنوان سوخت خودروها این است که در شرایط استاندارد به صورت گاز است و در نتیجه چگالی کمی دارد. در دما ئ فشار استاندارد یک گالن از گاز طبیعی، حدود $۱/٤\times۱۰^{۵}$ ژول انرژی دارد که در مقایسه با $۱/۳\times۱۰^{۸}$ ژول انرژی یک گالن گازوئیل بسیار کم است. بنابراین انرژی حجمی آن (j/m^3) بسیار کم بوده و نتیجتاً این گاز باید در فشار بالا ذخیره شود. برای