تحقیق و توسعه مواد پرانرژی

سال دوازدهم – شماره ۲ – شماره پیاپی ۲۸ – پاییز و زمستان ۱۳۹۵

روشهای افزایش سرعت سوزش در پیشرانه های جامد مولد گاز کیسه هوا

علیرضا زارعی[1*]، میلاد محسنی [2]، محمدعلی ذرعی [3]

۱- دانشیار ، ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ۳- دکتری

تهران- دانشگاه صنعتی مالک اشتر

***Email: zarei1349@gmail.com**

(تاریخ وصول: ۹۶/۳/۲، تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۱۹)

چکیده

پیشرانه‌های مولدگاز کیسه هوای خودرو، شامل مجموعه‌ای از سیستم‌های آزادسازی گاز در یک محدوده‌ی زمانی کوتاه هستند که شامل سه جزء اصلی سوخت، اکسیدکننده و مواد افزودنی می‌باشند در این مقاله، انواع پیشرانه‌های مولد گاز و کاربردهای مختلف آن‌ها، خواص فیزیکی و شیمیایی مطلوب و اجزاء مختلف پیشرانه مولد گاز بررسی شده‌است. سرعت سوزش و دمای احتراق پیشرانه مولد گاز یکی از مهم‌ترین پارامترها در پیشرانه‌های مولد گاز است که وابسته به اجزاء موجود در فرمولاسیون است و در سالیان اخیر با افزودن اصلاح کننده ی سرعت سوزش و خنک کننده‌ها سعی در بهبود این پارامترها شده است. در این تحقیق عوامل موثر بر سرعت سوزش و تحقیقات انجام شده در زمینه فرمولاسیون پیشرانه جامد مولد گاز کیسه هوای خودرو معرفی شده است. همچنین میزان تولید گازهای سمی و دمای احتراق پیشرانه مولد گاز به عنوان پارامترهای مهم در انتخاب فرمولاسیون بررسی شده اند.

واژه‌های کلیدی: پیشرانه‌های مولد گاز، سرعت سوزش، دمای احتراق، گازهای سمی، خنک کننده.

Burning Rate Increasing Methods in the Airbag Gas Generator's Solid Propellants

A.R. Zarei[1*], M. Mohseni[2], M.A. Zarei[3]

1,2,3-Maleke Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

(Received:5 /23/2017, Accepted: 10/11/2017)

Abstract

Airbag gas generator’s solid propellant, are set of gas-release systems within a short time, which contains three main components of fuel, oxidizing agents and additives. In this article, various types of gas generator propulsion and its various applications, desired physical and chemical properties, and various components of the gas generator's propulsion system have been investigated. One of the most important parameters in the propellant gas generator is propellant burning rate of the gas generator that is dependent on other components in the formulation which has been tried to improve additives with the burning rate modifiers in recent years. In this article various factors are effective in the burning rate and researches in the composition of solid air bag gas generators will be introduced. Also the production of toxic gases and the combustion temperature of the propellant gas generator as important criteria in selecting a formulation will be considered.

Keywords: Gas Generator Propellants, Burning Rate, Combustion Temperature, Toxic Gases, Coolant.

۱- مقدمه

پیشرانه‌ها فرمولاسیون‌هایی از مواد شیمیایی پرانرژی هستند که پس از فعال شدن دچار احتراق سریع بدون انفجار شده و حجم زیادی از گازهای داغ تولید می‌کنند. این گازها می‌توانند سبب حرکت گلوله، موشک و یا انجام کارهای مکانیکی گردند. پیشرانه‌ها را می‌توان با توجه به نوع کاربری آن‌ها به سه گروه اصلی پیشرانه‌های تفنگی، موشکی و مولد گاز دسته‌بندی نمود. پیشرانه های مولد گاز به خاطر داشتن چگالی انرژی بالا اهمیت زیادی دارند. به‌عبارت‌دیگر، نسبت به سایر منابع تولید انرژی، دارای حجم و وزن کمتری است. در برخی از فرایندها که امکان استفاده از شیرهای کنترل با نیرو محرکه مکانیکی نیست، از مولد گاز به‌عنوان نیرو محرکه استفاده می‌شود. به‌طورکلی، پیشرانه‌های مولد گاز با توجه به‌سرعت عمل بالا، آماده‌به‌کار بودن، سادگی مکانیسم، عملکرد و ایمنی آن در سیستم‌های اضطراری و کمکی کاربرد فراوان دارند. همچنین، در صنایع فضایی که دسترسی به سایر منابع انرژی محدود است، کاربرد دارد. در ماهواره‌ها و موشک‌ها برای کنترل بردار حرکت از مولد گاز بهره می‌گیرند. برای راه‌اندازی توربوپمپ موشک‌های سوخت مایع نیز به‌طور گسترده‌ای از مولد گاز استفاده می‌شود؛ حتی در برخی از موارد، به‌طور مستقیم برای پیشرانش سوخت مایع از آن استفاده می‌کنند[۱].

اولین سیستم های مولد گاز در سال ۱۹۴۴مصادف با جنگ جهانی دوم در سیستم پرتابگر صندلی خلبان هواپیماهای جنگی و توسط آلمان استفاده شد. از مولدهای گاز به‌طور مؤثری در راه‌اندازی موتور پیستونی هواپیماهای جنگی نیز استفاده کرده‌اند. از آن زمان تاکنون استفاده از مولد گاز بسیار گسترش پیداکرده و امروزه کاربردهای فراوانی در صنایع هوایی، فضایی، موشک‌های نظامی و برخی فعالیت‌های صنعتی و تجاری پیداکرده است. در سال ۱۹۵۲ برای اولین بار توسط جان هنریک از پیشرانه‌های مولد گاز در ساخت کیسه‌های هوای خودرو استفاده شد و در سال‌های بعد با پیشرفت و گسترش استفاده از این سیستم‌ها استفاده از کیسه‌های هوا خودرو به‌عنوان یکی از شاخصه‌های ایمنی در صنعت خودرو مطرح شد و تحقیقات فراوانی برای به دست آوردن بهترین فرمولاسیون ادامه یافت[۱].

۲- طبقه‌بندی کلی پیشرانه‌های مولدهای گازی

پیشرانه های مولد گاز به سبب گستردگی کاربرد ها، فرمولاسیون و خواص فیزیکی آن ها به انواع مختلفی دسته بندی می شوند که در ادامه به معرفی یکی از طبقه بندی رایج اشاره شده است.

۲-۱- طبقه‌بندی مولدهای گازی بر اساس نوع سوخت

این تقسیم‌بندی بر اساس حالت فیزیکی سوخت مورد استفاده در پیشرانه های مولد گاز انجام شده است.

۲-۱-۱- پیشرانه مولد گاز جامد

در بین مولدهای گاز، پیشرانه‌های مولد گاز جامد بیشترین کاربرد را دارد. مولدهای گاز جامد، بیشترین حجم گاز را با کمترین حجم ذخیره می‌کنند. این مولدها کوچک و سبک بوده و ساختار ساده‌ای دارند. در مقایسه با انواع دیگر مولد گاز، نیاز به ادوات کنترلی و اضافی ندارند. محدوده کاری آن‌ها از فشار زیاد و زمان کم برای حرکت‌های مکانیکی تا فشار کم و زمان طولانی برای سیستم‌های متورم شونده متفاوت است. مولدهای گاز جامد معمولاً قابلیت توقف و راه‌اندازی دوباره ندارند ولی اگر بخواهند این قابلیت را داشته باشند بسیار پیچیده می‌شوند[۱].

۲-۱-۲- پیشرانه مولد گاز مایع

در مولدهای گازی با پیشرانه مایع، سوخت و اکسیدکننده به‌طور دائم در محفظه احتراق تزریق می‌شوند و در آن می‌سوزند. یکی از کاربرد-های این نوع از مولد گاز، چرخاندن توربوپمپ‌ها در موشک‌های سوخت مایع است. از این مولد گاز همچنین در سیستم پایداری ماهواره‌ها استفاده‌شده است. مزیتی که سوخت مایع نسبت به سایر سوخت‌ها دارد این است که تمیز می‌سوزد و هیچ‌گونه کربنی تولید نمی‌کند. پایداری کوتاه‌مدت، یکی از معایب آن است. سوخت‌های متداول مایع، هیدروکسیل آمونیوم نیترات و هیدروژن پراکسید است. از هیدرازین نیز در برخی از کاربردها استفاده می‌شود. این سوخت مایع است و دمای شعله آن بسیار بالا است. هیدرازین به هیدروژن و نیتروژن تجزیه‌شده و واکنش بسیار گرمازا بوده و حجم گاز داغ زیادی از مقدار کمی مایع هیدرازین به دست می‌آید. از هیدرازین در برخی راکت‌های کوچک، شاتل‌های فضایی، واحدهای اضطراری و هواپیما-های F-16 استفاده می‌کنند[۱].

۲-۱-۳- پیشرانه مولد گاز هیبریدی

منظور از مولد گاز هیبریدی، مولد گاز ترکیبی است؛ این نوع مولد گاز بیشتر در موتور رم جت و موشک‌های داکت استفاده می‌شود. اندازه این مولدهای گاز بزرگ است. ساختار این مولد گاز به این نحو است که هوا با گاز تولیدشده از مولد گاز، در محفظه احتراق می‌سوزد و سپس با عبور از نازل، تراست لازم را ایجاد می‌کند. گرین مولد گاز در اینجا از سوخت غنی بوده و اکسیدکننده با خود همراه ندارد. در مولد گاز هیبریدی در شرایط مختلف، کنترلی بر روی جریان سوخت وجود ندارد، اما دارای مزایای قابلیت توقف و راه‌اندازی دوباره، زمان سوزش طولانی و سوزش پایدار است[۲].

۳- کاربردهای پیشرانه مولد گاز

تا چند دهه اخیر، فعالیت‌هایی که در زمینه پیشرانه‌ها صورت می‌گرفت

به‌منظور به‌کارگیری در صنایع دفاعی بوده است. استفاده از خرج‌های کوچک برای به حرکت درآوردن پیستون موتور، اولین گام در به‌کارگیری سیستم‌های مولد گاز به‌عنوان کاربرد غیرنظامی بود. بعدها مولدهای گازی نقش پررنگ‌تری در کیسه‌های هوا به خود گرفتند. امروزه گستره به‌کارگیری مولد گاز به دلیل تولید حجم زیاد گاز در مدت‌زمان کوتاه وسیع‌تر شده است.

۳-۱- اخلال در ردیابی هدف

در فضاپیماها و راکت‌ها که با سرعت زیاد در اتمسفر حرکت می‌کنند، در اثر اصطکاک ایجاد شده، اتمسفر یونیزه می‌شود. در اثر این پدیده الکترون-های زیادی تولید می‌شود که توسط رادارها جذب می‌گردند و درنتیجه فضاپیما و راکت‌ها ردیابی می‌شوند. یک روش برای حذف این الکترون‌ها با استفاده از مولدهای گازی الکتروفیلی است. برای تولید گازهای الکتروفیلی از فلزات مولیبدن و تنگستن و همچنین ترکیبات آن‌ها نظیر اکسیدهای تنگستن و مولیبدن در این فرآیند استفاده می‌شود[۳].

۳-۲- سیستم هدایت و کنترل موشک

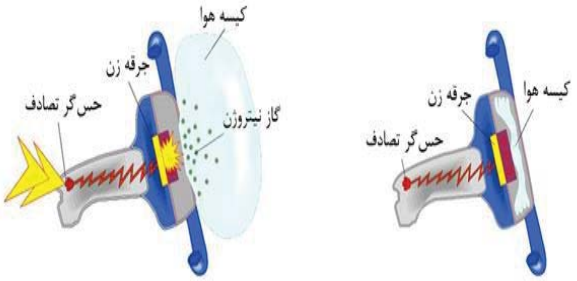
کارکرد اصلی سیستم کنترل و هدایت، نگه‌داشتن تصویر مادون‌قرمز هواپیمای دشمن در مرکز است به‌گونه‌ای که نوک موشک به نشانه-گیری هدف ادامه دهد. اگر تصویر مادون‌قرمز از موقعیت مرکزی دور شود، سیستم کنترل یک سیگنال به مجموعه سروو می‌فرستد. این مجموعه شامل یک پیشرانه مایع مولد گاز می باشد که با تولید گاز ، سوپاپ‌های منتهی به پیستون‌ها را برای حرکت دادن بالک‌ها باز و بسته می‌نماید. وقتی موشک به نزدیکی هدف می‌رسد آشکارساز نوری هدف فعال می‌شود. این آشکارساز از هشت دیود ساطع کننده نور لیزر تشکیل‌شده که پیرامون بدنه خارجی موشک، پشت بالک‌ها نصب‌شده‌اند. اگر لیزر تابیده‌شده از این دیودها به هدف برخورد و منعکس شود سیستم کنترل موشک درمی‌یابد که به هدف نزدیک شده و سرجنگی موشک منفجر می‌شود[۴].

۳-۳- آغازگر حرکت توربین

یکی از کاربردهای سیستم‌های مولد گاز استفاده برای حرکت درآوردن توربین موتورهای سوخت مایع است که این امر توسط سوختن یک پیشرانه حاصل می‌گردد. به‌طورمعمول مولدهای گازی که در این سیستم‌ها به کار می‌روند به‌صورت پیشرانه تک‌پایه (مایع) و دوپایه (جامد) تقسیم می‌شوند. معمولاً کنترل جریان با سوخت‌های تک‌پایه پراکسید هیدروژن یا هیدرازین، راحت‌تر است و بسته به جزئیات طراحی سیستم مولد گاز و کاتالیزگر، دمای آزادسازی گاز قابل پیش‌بینی است[۵].

۳-۴- سیستم‌های مولد گاز کیسه هوا

ترکیبات شیمیایی مولد گاز در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند؛ اما یکی از مهم‌ترین کاربرد این ترکیبات در کیسه‌های هوای اتومبیل است. امروزه تقریباً در تمامی اتومبیل‌ها از کیسه هوا برای امنیت بیشتر سرنشینان استفاده می‌شود. در زمینه‌ی کاربرد ترکیبات مولد گاز در کیسه هوا، حجم کافی گاز باید در کسری از ثانیه تولید شود تا موجب افزایش حجم آنی کیسه گردد. به این معنی که بین لحظه‌ای که اتومبیل دچار برخورد در تصادف می‌شود و لحظه‌ای که راننده به‌فرمان اتومبیل برخورد می‌کند، کیسه هوا باید به‌طور کامل دچار افزایش حجم گردد. یکی دیگر از معیارهای مهم در طراحی کیسه هوا، عدم تولید مواد جامد و گازهای سمی و خطرناک است. ازجمله این گازها، کربن مونواکسید، کربن دی‌اکسید، NO_X، SO_X و هیدروژن سولفید است. همچنین گازها باید در دمای پایین تولید شوند تا سرنشینان اتومبیل در اثر برخورد کیسه هوا با آن‌ها دچار سوختگی نشوند. در شکل (۱) نمایی برش خورده از یک کیسه هوای خودرو و نحوه عملکرد آن نشان داده‌شده است[۶].



شکل ۱- نحوه عملکرد کیسه هوای خودرو [۶].

۳-۵- سیستم‌های مولد گاز اطفاء حریق

یکی دیگر از کاربردهای مولد گاز، استفاده از این مواد در سیستم آتش‌نشانی است. این مولدهای گازی به توجه به مزایایی که دارند جایگزین مناسبی برای برخی از سیستم‌های رایج اطفاء حریق می-باشند. از مزایای به‌کارگیری از سیستم‌های مولد گاز نسبت به کپسول آتش‌نشانی می‌توان به نحوه عملکرد آن اشاره کرد که در سیستم مولد گاز تمامی ظرفیت گاز با سرعت ثابت و در زمان کوتاهی آزاد می‌شود. درحالی‌که در کپسول آتش‌نشانی فشار گاز متغیر بوده و همچنین سیستم مولد گاز کمتر از کپسول‌های آتش‌نشان تحت تأثیر تغییرات دمایی قرار می‌گیرد. از منظر ایمنی مولدهای گازی دارای مخزن کانیستور پایروژنی[1] برخلاف کپسول آتش‌نشانی تا زمان به‌کارگیری، تحت‌فشار قرار ندارند و درنتیجه خطر بالقوه آن‌ها به‌مراتب کمتر است. بااین‌حال به هنگام استفاده نیز سیستم مولد گاز کمتر از کپسول آتش‌نشان است و همچنین وزن مولد گاز نسبت به کپسول آتش‌نشان به‌طورکلی حجم و وزن کمتری دارند(شکل۲)[۷].

1- Pyrogen

۳-۶- مولد گاز اکسیژن

گاز اکسیژن مصارف متعددی در صنایع مختلف دارد. در بیمارستان‌ها و صنایع جوشکاری بیشترین کاربرد برای این گاز دیده می‌شود. در برخی از فعالیت‌های صنعتی یا فضایی نیاز به اکسیژن است. در راکت-های مایع از اکسیژن به‌عنوان اکسیدکننده سوخت استفاده می‌شود. برای تولید گاز اکسیژن به روش شیمیایی از پیشرانه‌های مولد گاز استفاده می‌شود که ازجمله شناخته‌ترین ترکیبات مولد گاز اکسیژن ترکیب سوپراکسید پتاسیم (KO_2) و هیدروژن پراکسید است[۸].

شکل ۲– سیلندرهای اطفاء حریق پایروژنی[۷].

۳-۷-مولد گاز هیدروژن

گاز هیدروژن به‌عنوان یک سوخت پاک مطرح است که می‌تواند به‌طور مستقیم در موتورهای احتراق داخلی استفاده شود. یکی از مشکلات استفاده از آن، ذخیره این مقدار گاز هیدروژن با فشار بالاست؛ اما در مولدهای گاز از موادی استفاده می‌کنند که براثر واکنش شیمیایی، گاز هیدروژن تولید می‌کنند. یکی از مواد مورداستفاده سدیم تترا هیدرو بورات ($NaBH_4$) است که در واکنش با آب می‌تواند طبق واکنش (۱) مقدار زیادی هیدروژن تولید کند[۸].

$$NaBH_4 + H_2O \longrightarrow 4\,H_2 + NaBO_2 \qquad (۱)$$

۳-۸- گاز پرکننده سراشیبی (سرسره) بادی هواپیما

سراشیبی (سرسره) بادی هواپیما ها معمولا در زمان خروج اضطراری جهت تسریع فرایند تخلیه مسافرین استفاده می‌شود(شکل۳). پیشرانه مولدگاز این سیستم درون یک محفظه کوچک تحت فشار نگهداری می‌شود و گاز نیتروژن کیسه‌ی سراشیبی را در زمانی حدود ۶ ثانیه با فشار ۳۰۰۰psi پر می کند[۹].

۴- اجزاء فرمولاسیون پیشرانه مولد گاز کیسه هوای خودرو

فرمولاسیون مولدهای گازی جامد دارای چهار جزء اصلی سوخت، اکسیدکننده، بایندر و سایر اجزاء افزودنی است که در کیسه هوای خودرو جزء بایندر به علت تولید گازهای سمی استفاده نمی شود .

اجزاء سوخت و اکسید کننده و افزودنی ها به‌طور مختصر موردبررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۱- سوخت

در مولدهای گازی با توجه به نوع گاز موردنظر و نحوه به‌کارگیری آن، سوخت مناسب انتخاب می‌شود. به‌طور مثال، اگر هدف تولید گاز نیتروژن باشد، علاوه بر آزیدهای قلیایی از سایر ترکیبات آلی نیتروژن دار نیز می‌توان بهره گرفت. بیشترین سوخت‌هایی که برای تولید گاز-های مختلف به کار گرفته می‌شود شامل آزیدها، نیترو سلولز، امیدها، هتروسیکل‌ها، گوانیدین‌ها، ترکیبات فلزی، سوخت‌های مایع و سوخت‌های خود آغازگر (AIP) و غیره خواهند بود[۱۰].

شکل ۳- سرسره خروج اضطراری هواپیما[۹].

پارامترهایی که در انتخاب و جایگزینی سوخت باید در نظر گرفته شوند شامل عدم سمیت مواد اولیه، ایمن در ساخت و فرآیند تولید آن، قیمت پایین مواد اولیه و قابلیت دسترسی به آن‌ها، امکان تولید در مقیاس بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی بالا، دانسیته بالا، عدم جذب رطوبت، حجم گاز تولیدی خوب است[۱۱].

اولین نوع سوختی که برای سیستم‌های مولد گاز مورد استفاده قرار گرفت بر پایه آزیدهای فلزات قلیایی و قلیایی خاکی به‌ویژه سدیم آزید بوده است. ترکیب سدیم آزید به‌راحتی در حضور یک اکسیدکننده از خانواده نیترات فلزات قلیایی و قلیایی خاکی، اکسیدهای فلزی، سولفیدهای فلزی و گوگرد واکنش می‌دهد[۱۲].

$$2NaN_3 \longrightarrow Na + 3N_2 \qquad (۲)$$

سدیم آزید در مقایسه با بقیه سوخت‌ها دارای دمای احتراق بسیار پایینی است. دمای احتراق اکسید آهن/سدیم آزید حدود ۹۶۹ درجه سانتی‌گراد است. علی‌رغم مزایای به‌کارگیری آزیدهای قلیایی و قلیایی خاکی در تولید گاز غیر سمی نیتروژن و ذرات باقیمانده جامد، به دلیل سمیت و خطرناک بودن آزید های قلیایی و آلودگی‌های محیط زیستی، تلاش‌هایی به‌منظور جایگزینی این مواد با مولد گاز غیر آزیدی صورت گرفته است. مهم‌ترین عیب سدیم آزید این است که به‌راحتی هیدرولیز شده و طبق واکنش (۳) تولید هیدرازوئیک اسید

می‌نماید که به‌مراتب خطرناک‌تر از سدیم آزید است. این ترکیب به‌راحتی منفجرشده و قابلیت واکنش با فلزات سنگین مانند مس و سرب را دارد[۱۲].

$$H^+ + N_3^- \longrightarrow HN_3 \qquad (۳)$$

سیانامید با ساختارهای شکل (۴) ترکیبی از آمیدها است، ترکیبی غیر سمی است و گازهایی با درجه حرارت کم تولید می‌کند. از ترکیبات مناسب این خانواده می‌توان کلسیم سیانامید، سدیم هیدروژن سیانامید را نام برد که همراه اکسیدکننده‌های مختلف مانند نیترات‌ها، پرکلرات‌ها، نیتریت‌های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی که در ترکیب پیشرانه‌های مولد گاز مورداستفاده است[۷].

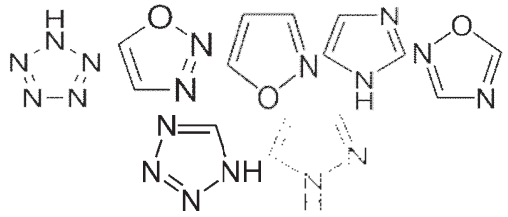
شکل ۴- ساختار سیانامید.

دی سیان دی آمید از مواد شیمیایی غنی از نیتروژن است که بانام سیانوگوانیدین نیز شناخته می‌شود، دارای کریستال‌های سفیدرنگ بوده و علاوه بر استفاده در مولدهای گاز، کاربردهای مهمی در صنایع داروسازی و صنایع پلاستیک دارد[۱۳].

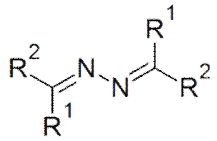
گوانیدین و مشتقات آن ازجمله سوخت‌های پراستفاده در مولدهای گاز می‌باشند. گوانیدین نیترات، نیترو گوانیدین، آمینو گوانیدین نیترات، تری آمینو گوانیدین، دی آمینو گوانیدین نیترات، گوانیدین پرکلرات، آمینو نیترو گوانیدین، آمینوگوانیدین کربنات، دی آمینوگوانیدین کربنات، دی آمینو گوانیدین پرکلرات، تری آمینوگوانیدین پرکلرات، بی گوانیدیوم دی نیترات و گوانیدینیوم نیترامید از جمله مشتقات گوانیدین می‌باشند که به‌صورت منفرد و هم مخلوط به کار می‌روند. اکسیدایزر-های مورد استفاده در این ترکیبات، معمولاً ترکیبات لیتم نیترات، سدیم نیترات و استرانسیوم نیترات است[۱۳].

مشتقات بسیاری از خانواده آزول‌ها به دلیل ساختار و رفتار حرارتی مناسب در پیشرانه‌های مولد گاز به‌عنوان سوخت به‌کاررفته شده‌اند. ازجمله این مشتقات می‌توان به خانواده تترازول‌ها، تری آزول‌ها، آمینوآرازول‌ها و بی تترازول‌ها اشاره کرد. آزول‌ها حجم زیادی گاز تولید می‌کنند و غیر انفجاری هستند؛ اما معایبی نظیر تولید گازهای سمی و دمای سوزش بالا، در این خانواده وجود دارد. البته آزول‌ها و مشتقات آن‌ها وقتی با یک اکسیدکننده مخلوط می‌شوند، دارای سرعت سوزش خوبی بوده و در صورت موجود بودن مقدار اضافی از اکسیدکننده و کاتالیزور، سمیت آن‌ها کم می‌شود. ساختار تعدادی از آزول ها را در شکل (۵) آمده است. مشتقات آمینو تترازول و تری آزول بهتر از سایر مشتقات آن‌ها در مولدهای گازی شناخته‌شده‌اند. این ترکیبات گازهای سمی کمتری تولید می‌کنند. یکی از ترکیبات پرکاربرد و مفید در سیستم‌های مولد گاز ۵- آمینوتترازول است. امروزه تحقیقات وسیعی روی این ماده و مشتقات آن در صنایع خودرو برای استفاده در باد ساز کیسه هوا در حال انجام است. مشتقات ۵-آمینو تترازول که همگی مواد پرانرژی بوده و بیشتر این ترکیبات، سوخت‌های مناسبی در فرمولاسیون مولدهای گازی هستند[۱۴].

پیشرانه‌های حاوی آزین‌ها معمولاً دمایی پایین‌تر از سایر سوخت‌ها دارند؛ که این مزیتی برای سوخت‌های بر پایه تری آذین‌ها می‌باشند. این ترکیبات بیشتر با اکسیدکننده‌هایی مانند اکسید مس، استرانسیوم نیترات و پتاسیم نیترات به کار می‌روند (شکل ۶).

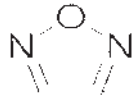


شکل ۵- ساختار تعدادی از آزول ها.



شکل ۶- ساختار آزین‌ها.

مشتقات نیتروژن دار فورازان‌ها امروزه برای مولد گازها موردتوجه قرارگرفته‌اند. این توجه به دلیل تولید مواد غیر سمی است. لذا این ترکیبات برای کیسه‌های هوا بسیار مناسب می‌باشند، (شکل ۷).



شکل ۷- ساختار فورازان ها.

۴-۲- اکسیدکننده

اکسیدکننده‌ها یکی دیگر از اجزای تشکیل‌دهنده پیشرانه مولد گاز هستند که بسیاری از خواص ذاتی سوخت ناشی از اکسیدکننده‌هاست. به‌طورکلی اکسیدکننده‌ها باید خصوصیات زیر را داشته باشند[۱۵]:

- دارای ماکزیمم مقدار اکسیژن بوده و توانایی آزادسازی اکسیژن را به‌راحتی داشته باشند.
- در محدوده ۶۰- الی ۶۰+ درجه سانتی‌گراد پایدار باشند.
- در مجاورت آب خنثی و آب‌گریز باشند.
- به‌راحتی در دسترس بوده و اثرات سمی روی ارگانیسم‌های بدن نداشته باشند.
- باید تا حد امکان حساسیت به ضربه‌های مکانیکی و انفجاری نداشته باشند.

اکسیدکننده‌هایی که در اکثر ترکیب پیشرانه استفاده می‌شود عبارت‌اند از نیترات‌ها، کرومات‌ها، دی کرومات‌ها، کلرات‌ها، فلزات قلیایی و قلیایی خاکی. علاوه بر اکسیدکننده‌ها، اکثر اکسیدهای فلزی نیز می‌توانند نقش اکسیدکننده داشته باشند. آمونیوم نیترات معمول‌ترین اکسیدکننده مورد استفاده در مولدهای گازی است. از مزایای آن می‌توان به حداکثر گاز در واحد جرم، تولید گازهای غیر سمی و غیر خورنده، دمای پایین شعله، سهولت دسترسی، حساسیت کم و ایمنی بالا را ذکر کرد. درصد نیتروژن زیاد، درصد آب کم، مقادیر نسبتاً کم ذرات جامد، گازهای خروجی نسبتاً غیر سمی از ویژگی گازهای خروجی حاصل سوختن مولدهای گازی با این اکسیدکننده می‌باشند. همچنین آمونیوم نیترات دارای معایبی است. دارای پنج فرم انانتیومری است. از میان این تغییرات کریستالی، تغییرات مربوط به دماهای ۳۲ و ۱۸- درجه سانتی‌گراد از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، زیرا موجب ناپایداری در پیشرانه و تغییر در خواص بالستیکی می‌شوند. شرکت قطعه ساز ژاپنی «تاکاتا» از نیترات آمونیوم برای ایجاد انفجار کوچکی که کیسه هوا را در تصادف متورم می‌کند، استفاده می‌کند؛ اما این ماده شیمیایی در صورت قرار گرفتن در معرض گرمای شدید و رطوبت بالای هوا به مدت طولانی، ممکن است با سرعت زیادی منفجرشده و قوطی فلزی که محل نگهداری این ماده است را تکه‌تکه کند و این قطعات همانند ترکش در داخل خودرو پرتاب می‌شوند. لذا، استفاده از این اکسیدکننده بخصوص در کیسه‌های هوای خودرو توصیه نمی‌شود[۱۵].

نیترات‌های فلزی یکی از اکسیدکننده‌های متداول مورداستفاده در فرمولاسیون‌های پیشرانه‌های مولد گاز و جایگزین مناسبی برای آمونیوم نیترات هستند. نیترات مس بازی با فرمول شیمیایی $Cu_2(OH)_3NO_3$ یک ترکیب شیمیایی معدنی با کریستال‌های آبی است. نیترات مس بازی را می‌توان توسط هریک از واکنش‌های (۴) و (۵) به دست می‌آید[۱۶].

$$2Cu(NO3)_2 + 3NaOH \longrightarrow Cu_2(OH)_3NO_3 + 3NaNO_3 \quad (۴)$$

$$3NH_4HCO_3 + 2Cu(NO_3)_2 \longrightarrow Cu_2(OH)_3 + 3NH_4NO_3 + 3CO_2 \quad (۵)$$

قیمت مناسب، سهولت دسترسی، عدم تولید گازهای سمی، دمای شعله پایین و ایمنی بالا از مزایای این اکسیدکننده است. در جدول (۱) انواع اکسیدکننده‌های متداول در ساختار پیشرانه‌های مولد گاز فهرست شده است[۱۶].

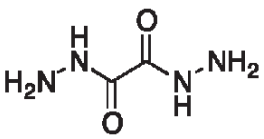
۴-۴- سایر افزودنی‌ها

مواد افزودنی یا به‌عبارت‌دیگر پرکننده‌ها از دیگر اجزای تشکیل‌دهنده سیستم‌های مولد گاز هستند که یکی از عملکردهای آن در پیشرانه های مولد گاز کنترل رفتار حرارتی پیشرانه است. این مواد بسته به کاربردشان به ترکیب پیشرانه موردنظر افزوده می‌شوند. به‌عنوان‌مثال، این ترکیبات می‌توانند خاصیت تصفیه‌کنندگی (حذف آلاینده‌ها)، خنک‌کنندگی، بهبود احتراق، نرم‌کنندگی، پایدارکنندگی و شتاب دهندگی(افزایش سرعت سوزش) در پیشرانه ایجاد کنند.

جدول ۱- اکسیدکننده‌های متداول در ساختار پیشرانه‌های مولد گاز[۱۶].

ترکیب	فرمول	وزن مولکولی gr/mol	نقطه ذوب ^0C
آمونیوم نیترات	NH_4NO_3	۸۰	۱۷۰
آمونیوم کلرات	NH_4CLO_4	۱۱۷/۵	تجزیه می‌شود
باریم کلرات	$Ba(ClO_3).H_2O$	۳۲۲/۳	۴۱۴
باریم کرومات	$BaCrO_4$	۲۵۳/۳	تجزیه می‌شود
باریم نیترات	$Ba(NO_3)_2$	۲۶۱/۴	۵۹۲
باریم پراکسید	BaO_2	۱۶۹/۳	۴۵۰
اکسید آهن	Fe_2O_3	۱۵۹/۷	۱۵۶۵
اکسید آهن	Fe_3O_4	۲۳۱/۶	۱۵۹۴
کرومات سرب	$PbCrO_4$	۳۲۳/۲	۸۴۴
پراکسید سرب	PbO_2	۲۳۹/۲	۲۹۰(تجزیه)
اکسید سرب	PbO	۲۲۳/۲	۸۸۶
کلرات پتاسیم	$KClO_3$	۱۲۲/۶	۳۵۶
نیترات پتاسیم	KNO_3	۱۰۱/۱	۳۳۴
کلرات پتاسیم	$KClO_4$	۱۳۸/۶	۶۱۰
نیترات سدیم	$NaNO_3$	۸۵	۳۰۷
استرانسیوم نیترات	$Sr(NO_3)_2$	۲۱۱/۶	۵۷۰

با توجه به دمای بالای گاز های حاصل از احتراق پیشرانه های مولد گاز، از خنک کننده ها استفاده می گردد. خنک کننده ها موادی با محتوای انرژی پائین، نسبت اکسیدکنندگی نزدیک به صفر دارند. این مواد هم سوخت و هم اکسید کننده های ضعیفی هستند و برای کاهش دمای شعله استفاده می شود. آنچه در انتخاب یک خنک کننده مهم است، پایداری حرارتی آن در ترکیب پیشرانه است. یکی از سردکننده‌های آلی که در سال ۱۹۴۷ برای اولین بار در پیشرانه‌های مولد گاز که حاوی پرکلرات‌ها هستند به‌کاررفته شد، اکسالیل دی هیدرازید است (شکل ۸) [۱۸]. کربنات‌های فلزی بیشترین ترکیباتی هستند که به‌عنوان خنک کننده در پیشرانه‌های مولد گاز به کار گرفته می‌شوند.



شکل ۸- ساختار اکسالیل دی هیدرازید[۱۸].

کاتالیزورها ترکیبات دیگری هستند که جهت اصلاح مشخصه های پیشرانه به ترکیب اضافه می شوند و دو هدف را دنبال می کنند:

الف- کاهش گازهای سمی ناشی از احتراق پیشرانه.

ب- اصلاح‌کننده نرخ سوزش.

یکی از مهم‌ترین مشکلات پیشرانه‌های مولد گاز تولید گازهای سمی است که استفاده از کاتالیزورها یکی از راه‌های کاهش این گازها می‌باشند. بهبود نرخ سوزش هدف اصلی موردنظر ما در این پژوهش است. کاتالیزور نرخ سوزش یا اصلاح‌گر نرخ سوزش به افزایش یا کاهش سرعت احتراق و افزایش یا کاهش مقدار نرخ سوزش پیشرانه کمک می‌کند. کاتالیزور سرعت سوزش یکی از اجزای تشکیل‌دهنده پیشرانه‌ها است و قادر به افزایش سرعت سوزش پیشرانه است. چندین نوع کاتالیزور سرعت سوزش وجود دارند. از قبیل کاتالیزور سرعت سوزش فلزی با ابعاد نانو و میکرو، کاتالیزور سرعت سوزش اکسید فلزی با ابعاد نانو و میکرو و غیره. امروزه استفاده از نانوکاتالیست‌ها به خاطر کوچک بودن اندازه ذرات و سطح ویژه بزرگ این کاتالیزورها بسیار موردتوجه محققان قرارگرفته و استفاده از آن‌ها در پیشرانه‌ها افزایش‌یافته است[۱۸].

تعدادی از کاتالیست‌های سرعت سوزش مورد استفاده در پیشرانه‌های مولد گاز عبارتند از:

CuO, Cu_2O, Fe_2O_3, FeO, Fe_3O_4, ZnO, NiO, MoO_3, CoO, Mn_2O_3, Mn_3O_4, Bi_2O_3, Co_2O_3 و نظیر این ها[۱۹].

گروه دیگر از ترکیباتی که به ترکیب پیشرانه‌های مولد گاز افزوده می‌شود، شتاب‌دهنده‌ها می‌باشند که سرعت سوزش را بالا می‌برند. یکی از این ترکیبات کمپلکس گوانیل اوره نیترات مس در پیشرانه‌های حاوی سوخت گوانیدین نیترات است که سبب افزایش سرعت سوزش و همچنین کاهش دمای شعله می‌شود.

۵- سرعت سوزش پیشرانه مولد گاز

همواره بر اساس نوع کاربرد پیشرانه مولد گاز خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی از قبیل دما، سمیت، حجم گاز تولیدی، نمای فشاری و سرعت سوزش موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال، در یک پیشرانه مولد گاز مورداستفاده در کیسه هوای خودرو همواره تحقیقات گسترده‌ای جهت کاهش دمای ناشی از احتراق صورت گرفته است تا مانع از سوختگی صورت سرنشینان در اثر دمای ناشی از گازهای تولیدشده شوند و از طرفی ضخامت محفظه احتراق را کنترل کنند. همچنین سرعت سوزش پیشرانه مولد گاز در کیسه هوای خودرو در محدوده‌ای باید باشد تا هم مانع از پرت شدن سرنشینان به سمت جلو شود و هم مانع از پس‌زدگی در اثر برخورد کیسه هوا شود. رابطه سرعت سوزش برای فشارهای کمتر از ۲۰۰ بار به‌صورت معادله (۶) است.

$$r = bp^n \qquad (۶)$$

در این معادله r سرعت سوزش، p فشار محفظه احتراق و n نمای فشاری می‌باشند. این معادله به قانون پاول- وایلی یا ساینت- روبرت معروف بوده و برای انواع پیشرانه‌های معمولی دوپایه، دوپایه اصلاح‌شده، مرکب و دوپایه مرکب و غیره کاربرد دارد. نرخ سوزش به نمای فشار وابسته است. در فرمول وایلی وقتی n بزرگ باشد، نرخ سوزش با نوسانات فشار به‌سرعت تغییر می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، تغییر کوچکی در فشار محفظه به میزان قابل‌توجهی بر مقدار گازهای تولیدشده تأثیر می‌گذارد. ایده آل ترین حالت برای نمای فشار بین صفر تا ۰/۲۵ است که در آن نرخ سوزش وابستگی کمی به فشار دارد. در پیشرانه‌های مولد گاز با افزودن کاتالیزورهای مختلف نمای فشاری و درنتیجه سرعت سوزش را کنترل می‌کنند. سمیت مواد اولیه مورداستفاده و سمیت گازهای تولیدشده در اثر احتراق یکی دیگر از خواص مهم در پیشرانه‌های مولد گاز است، لذا در طی سالیان اخیر، تحقیقات فراوانی برای افزودن کاتالیزورها جهت کاهش سمیت گاز-های تولیدشده انجام‌شده است[۲۰].

۶- روش‌های بهبود سرعت سوزش در پیشرانه‌های مولد گاز کیسه هوای خودرو

سرعت سوزش برای تعیین خواص پیشرانه ها به کار برده می شود و وابسته به پارامترهایی نظیر فشار، دمای اولیه پیشرانه، نوع پیشرانه، نسبت سوخت به اکسید کننده، کاتالیست های سرعت سوزش و اندازه ذرات اکسید کننده می باشد.

یکی از معیارهای مهم در استفاده از پیشرانه‌های مولد گاز سرعت سوزش مناسب آن‌ها است به‌طوری‌که پیشرانه بتواند در زمان معینی مقدار کافی از گاز را تولید کند. به این منظور مطالعه بر روی سرعت سوزش پیشرانه‌های مولد گاز انجام می‌گیرد و با ایجاد تغییرات در فرمولاسیون پیشرانه سعی می‌شود به‌سرعت سوزش مطلوب دست‌یافت. در ادامه مروری بر تحقیقات انجام‌گرفته طی سالیان اخیر جهت بهبود سرعت سوزش پیشرانه‌های مولد گاز شده است[۲۱].

در پژوهش صورت گرفته در سال ۲۰۰۳ میلادی توسط مندن هال به بررسی اثر افزودن گوانیل اوره نیترات فلزی به پیشرانه مولد گاز پرداخته‌شده است. در این آزمایش گوانیل اوره نیترات به‌عنوان سوخت طبق جدول (۲) جایگزین گوانیدین نیترات شده است و سرعت سوزش و سایر خواص پیشرانه حاصل اندازه‌گیری شده است. در این آزمایش‌ها از دو نوع متفاوت اکسیدکننده شامل نیترات مس بازی و دی آمین دی نیترات مس استفاده‌شده تا اثر افزودن گوانیل اوره نیترات فلزی هم‌زمان با تغییر در اکسیدکننده پیشرانه مولد گاز موردبررسی قرار گیرد. داده‌های این آزمایش در جدول (۳) نشان داده که استفاده از گوانیل اوره نیترات باعث بهبود خواص حرارتی پیشرانه شده و اثر آن در حضور نیترات مس بازی به‌عنوان اکسیدکننده مطلوب‌تر می‌شود[۲۲].

در جدول (۴) نتایج حاصل از پژوهش بر روی انواع کاتالیزورهای مختلف و اثرات ناشی از افزودن آن‌ها بر روی سرعت سوزش، دانسیته و دمای احتراق نشان داده‌شده است. طبق این جدول بهترین سرعت

سوزش زمانی به دست می‌آید که به فرمولاسیون‌ها، اکسید مس افزوده می‌شود. همچنین این جدول اثر افزودن نیترات مس بازی به‌عنوان اکسیدکننده به فرمولاسیون را نشان می‌دهد. طبق این نتایج افزودن نیترات مس بازی و جایگزین کردن آن با پتاسیم پرکلرات اثرات مطلوبی داشته است[۲۳].

در سال ۲۰۱۰ دانشمندان با انجام تحقیقات بر روی پیشرانه‌های مولد گاز افزودن کاتالیزورهای متفاوت به فرمولاسیون پیشرانه و بررسی خواص حرارتی به‌وسیله آنالیز حرارتی DSC/TG است. در این تحقیقات که توسط پژوهشگران ژاپنی صورت گرفته است یک پیشرانه مولد گاز با سوخت گوانیدین نیترات و اکسیدکننده نیترات مس بازی مورد آزمایش قرارگرفته و طی افزودن مقادیر مختلف از اکسید آهن به این فرمولاسیون خواص حرارتی آن موردبررسی قرارگرفته است[۲۴].

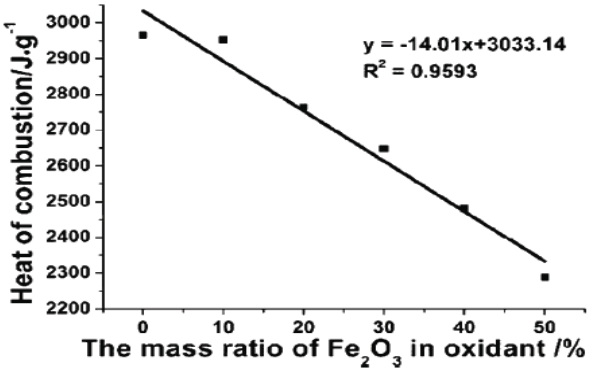
شکل (۹) میزان تغییرات گرمای احتراق در اثر افزودن مقادیر مختلف اکسید آهن نشان داده است.

جدول ۲- اجزاء و درصد هریک از فرمولاسیون‌ها[۲۲].

درصد و اجزاء فرمولاسیون	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
گوانیدین نیترات	۵۱/۷۴	–	۴۳/۸۸	–
گوانیل اوره نیترات	–	۳۷/۸۰	–	۴۵/۴۶
SiO_2	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
نیترات مس بازی	۴۵/۲۶	–	–	۵۱/۵۴
دی امین دی نیترات مس	–	۵۹/۲۰	۵۳/۱۲	–

جدول ۳- نتایج حاصل از تست هریک از فرمولاسیون‌ها[۲۲].

خواص فیزیکی	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
دانسیته(g/cm^3)	۱/۹۵	۱/۹۳	۱/۷۸	۲/۲۰
دمای شعله(K)	۱۸۷۹	۲۱۷۱	۲۲۵۸	۱۶۶۶
سرعت سوزش(In/Sec)	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵۱



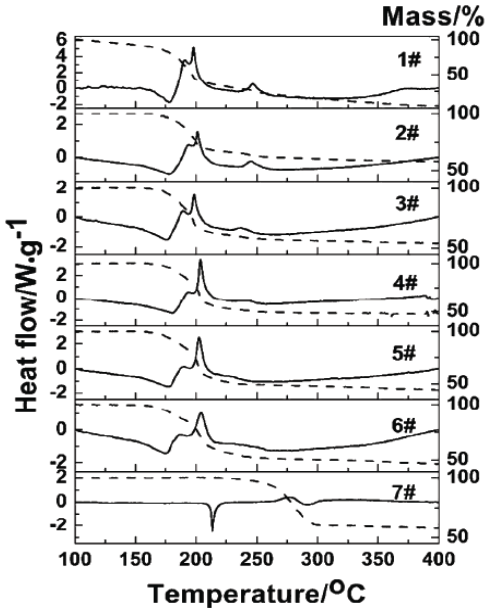
شکل ۹- تغییرات گرمای احتراق با افزودن اکسید آهن[۲۴].

نمودارهای DSC/TG برای درصدهای مختلف اکسید آهن و تغییرات به وجود آمده را شکل (۱۰) نشان می‌دهد.

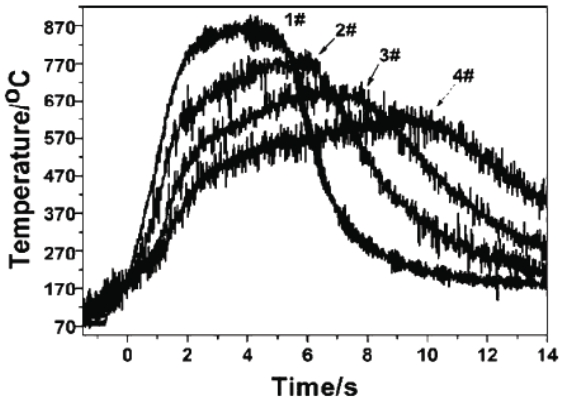
اگر تغییرات دما نسبت به زمان را برای تغییرات دما نسبت به زمان را برای درصدهای مختلف اکسید آهن افزوده شده به فرمولاسیون رسم شود، شکل (۱۱) به دست می‌آید[۲۲].

جدول ۴- اجزاء و نتایج حاصل فرمولاسیون‌ها[۲۳].

درصد اجزاء	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۶	نمونه ۷	شاهد
گوانیدین نیترات (GN)	۶۷/۳	۶۵	۶۵	۶۵/۷	۶۵/۷	۶۵	۶۷/۷	۶۸
پتاسیم پرکلرات	۲۹/۷	۳۰	۳۰	۲۹/۸	۲۹/۳	۳۰	۲۸/۳	۳۲
اکسید روی (ZnO)	-	-	-	-	-	۵/۰	–	-
اکسید مس(CuO)	-	-	-	-	۵/۰	-	–	-
اکسید منگنز (MnO)	-	-	-	۵/۰	-	-	–	-
اکسید کروم (Cr_2O_3)	-	-	۵/۰	-	-	-	–	-
اکسید آهن (Fe_2O_3)	-	۵/۰	-	-	-	-	–	-
نیترات مس بازی (BCN)	۳/۰	-	-	-	-	-	۵/۰	-
سرعت سوزش (mm/s)	۳۴/۵	۲۵/۸	۲۷	۲۴/۹	۳۶/۲	۲۶/۷	۳۸/۱	۲۰/۶
دمای احتراق (K)	۲۳۱۲	۲۲۹۴	۲۳۰۴	۲۲۸۵	۲۳۰۳	۲۲۳۷	۲۲۹۶	۲۳۵۱
دانسیته (g/cm^3)	۱/۶۹	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۷۲	۱/۷۲	۱/۷۳	۱/۷۰	۱/۶۷



شکل ۱۰- نمودارهای DSC/TG فرمولاسیون‌ها، نمونه شماره ۱ فاقد اکسید آهن و نمونه شماره ۷ بیشترین درصد از اکسید آهن را دارا می باشد [۲۴].



شکل ۱۱- نمودار تغییرات دما با زمان در فرمولاسیون‌های متفاوت. منحنی ۱ فاقد اکسید آهن می باشد و درصد اکسید آهن در نمونه های ۱-۴ برابر با ۱۰-۳۰ درصد وزنی می باشد[۲۴].

با توجه به نمودارهای DSC/TG و دما – زمان و تغییرات گرمای احتراق با تغییر درصد کاتالیزور می‌توان نتیجه گرفت که اکسید آهن موجب انتقال پیک DSC به سمت دماهای پایینتر می شود. یکی دیگر از اثراتی که اکسید آهن دارد، بر روی سرعت سوزش است که اندازه‌گیری‌های صورت گرفته نشان داده که موجب کاهش سرعت سوزش می‌شود؛ که این اثر احتمالاً به خاطر واکنش جانبی اکسید آهن با مس یا اکسید مس تولیدشده درنتیجه واکنش گوانیدین نیترات و نیترات مس بازی است[۲۴].

$$9CH_6N_4O_3 + 2[Cu(NO_3)_2.\ 3Cu(OH)_2] \longrightarrow 9CO_2 + 33\ H_2O + 20\ N_2 + 8\ Cu \quad (۷)$$

$$3\ CH_6N_4O_3 + 2\ Fe_2O_3 \longrightarrow 3\ CO_2 + 9\ H_2O + 6\ N_2 + 4\ Fe \quad (۸)$$

$$11\ Cu + 2\ Fe_2O_3 \longrightarrow 3CuO + 2\ FeCu_4 \quad (۹)$$

$$CuO + Fe_2O_3 \longrightarrow CuFe_2O_4 \quad (۱۰)$$

$$Cu + 2Fe_2O_3 \longrightarrow CuFe_2O_4 + 2\ FeO \quad (۱۱)$$

در پژوهش صورت گرفته در سال ۲۰۰۳ با افزودن مقادیر متفاوت از گوانیل اوره نیترات مس به پیشرانه مولد گاز با سوخت گوانیدین نیترات و اکسیدکننده نیترات مس بازی به بررسی تغییرات سرعت سوزش و خواص حرارتی پیشرانه پرداخته‌شده است. بدین منظور فرمولاسیون‌های مختلفی با مقدار گوانیل اوره نیترات مس تهیه‌شده و در آن به ازای افزودن گوانیل اوره نیترات مس از مقدار گوانیدین نیترات کاسته می‌شود. درصد سایر اجزاء در جدول (۵) آورده شده است[۲۵].

جدول ۵- درصد اجزاء مورداستفاده در فرمولاسیون پیشرانه مولدگاز جامد[۲۵].

اجزاء	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
گوانیل اوره نیترات مس (Cu GUN)	۲۰	۱۰	-	۳۰
گوانیدین نیترات	۳۲/۳۰	۴۲/۰۷	۵۱/۷۲	۲۲/۶۶
نیترات مس بازی	۴۴/۷۰	۴۴/۹۳	۴۵/۲۸	۴۴/۳۴
آلومینیوم اکسید (Al_2O_3)	۳	۳	۳	۳

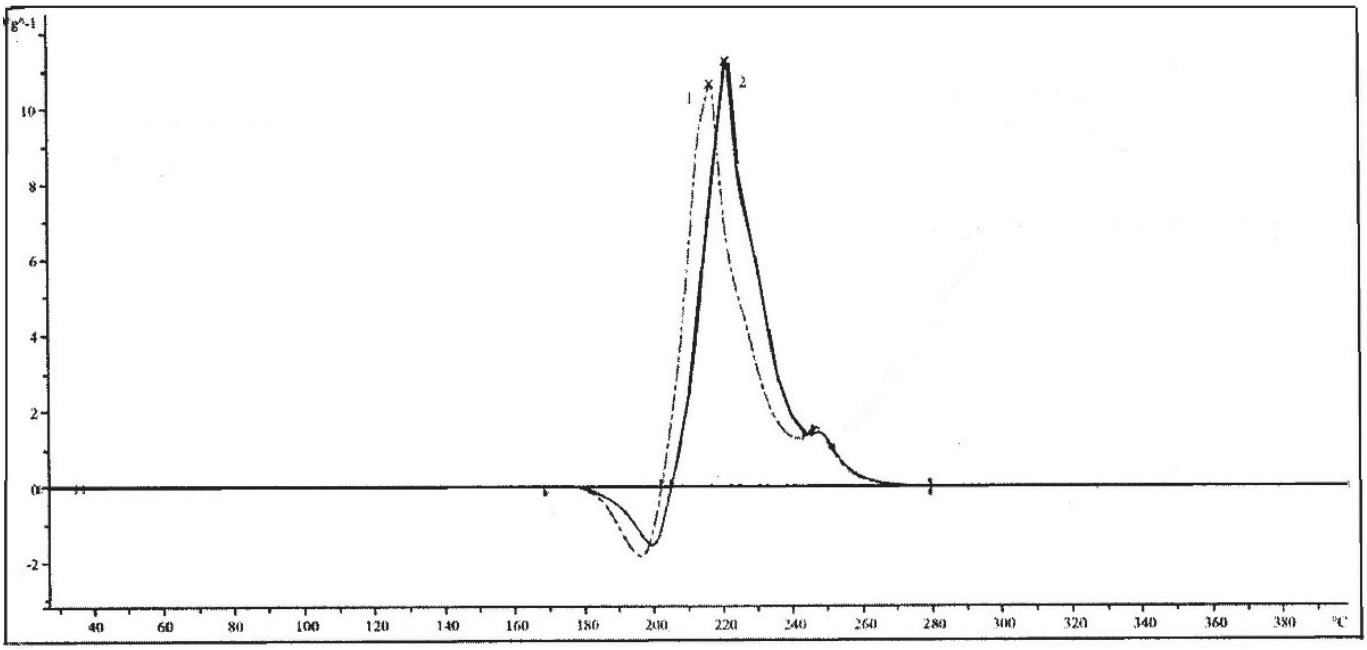
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۶) می‌توان گفت که در اثر افزودن گوانیل اوره نیترات مس به فرمولاسیون پیشرانه مولد گاز سرعت سوزش افزایش داشته است. از طرفی دمای شعله که یکی از پارامترهای مهم در پیشرانه مولد گاز است کاهش فراوانی داشته است. از دیگر نتایج مثبت افزودن گوانیل اوره نیترات مس افزایش در دانسیته است.

جدول ۶- نتایج حاصل از فرمولاسیون[۲۵].

خواص فیزیکی	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴
سرعت سوزش (In/Sec)	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۶۶
دانسیته (g/cm^3)	۲/۰۱	۱/۹۵	۱/۹۱	۲/۰۵
دمای شعله (K)	۱۷۰۹	۱۷۹۲	۱۸۶۸	۱۶۲۳

نمونه ای دیگر از تحقیقات انجام شده در زمینه پیشرانه های مولد گاز جامد مورد استفاده در کیسه هوای خودرو استفاده از نانوکاتالیست ها و بررسی خواص حرارتی و سرعت سوزش آن ها در مقایسه با کاتالیست های با اندازه ذرات میکرو بوده است. بدین منظور در سال ۲۰۱۵ پژوهشگران با افزودن کاتالیست اکسید آهن (Fe_2O_3) در اندازه ذرات میکرو و نانو به فرمولاسیون پیشرانه مولد گاز بر پایه گوانیدین نیترات به عنوان سوخت و نیترات مس بازی به عنوان اکسیدکننده

تغییرات در منحنی های DSC آن ها را بررسی کرده اند که این تغییرات در شکل (۱۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داده اند که با افزودن کاتالیست با سایز نانو به جای کاتالیست با سایز میکرو منحنی به سمت دماهای پایین‌تر جابجا شده است. هرچند به طور قطعی نمی توان در مورد تغییر در سرعت سوزش پیشرانه در اثر افزودن نانوکاتالیست در این تحقیق نتیجه گیری کرد ولی از این پژوهش می توان در جهت ادامه تحقیقات استفاده نمود.



شکل ۱۲- منحنی آنالیز حرارتی پیشرانه مولدگاز با کاتالیست های با اندازه ذرات متفاوت.

۷- نتیجه‌گیری

بررسی‌های متنوع صورت گرفته در این تحقیق نشان می‌دهد که با تغییر در اجزای فرمولاسیون پیشرانه مولد گاز کیسه هوای خودرو شامل سوخت، اکسیدکننده و کاتالیست های سرعت سوزش می توان به سرعت سوزش مناسب، دمای احتراق پایین، مقدار گازهای سمی پایین و دانسیته مطلوب رسید. پارامترهایی که در این مقاله مورد ارزیابی قرار گرفتند عبارتند از: اثر نوع سوخت، اثر نوع اکسیدکننده، اثر نوع کاتالیست سرعت سوزش و همچنین اندازه ذرات کاتالیست. این ارزیابی نشان می‌دهد که برای رسیدن به سرعت سوزش و دمای ناشی از احتراق مناسب در پیشرانه های مولد گاز جامد از سوخت، اکسیدکننده و کاتالیست سرعت سوزش مناسب باید استفاده شود. در بین انواع کاتالیزورهای موجود، امروزه نانوکاتالیست‌ها به سبب مساحت سطح ویژه آن‌ها و خواص مطلوبی که به پیشرانه مولد گاز می‌دهند مورد متوجه قرارگرفته و انتظار می‌رود در آینده شاهد تحقیقات وسیعی در این رابطه باشیم.رفتار اصلاح کننده های سرعت سوزش، از آن جهت اهمیت دارد که، با افزایش سرعت سوزش در فشارهای پایین و همچنین ثابت کردن و یا کاهش نمای فشار در فشارهای بالا، می توانند سبب بهبود خواص پیشرانه مولد گاز شوند.

مراجع

[۱] تیموری مفرد، رضا؛ حسن‌زاده، پریسا؛ ابریشمی، فاطمه؛ ذرعی، محمدعلی "معرفی انواع سوخت در فرمولاسیون مولد گازی "، پنجمین همایش سراسری مواد منفجره، پیروتکنیک و پیشرانه، ۱۳۸۶.

[۲] زینعلی، ابوالقاسم؛ غفوری، مرتضی؛ مومنیان، حسین "تهیه پیشرانه جامد مولد گاز بر پایه آمونیوم نیترات در فاز پایدار." مجله علمی پژوهشی مواد پرانرژی، ۱۳۹۲، ۳۷-۴۸.

[3] Guo, J. Y.; Zhang, J. Q.; Wang, Y. L.; Pang, W. Q.; Q. F. Zhang, Q. F."Application of Nanocomposite in Burning Rate Catalyst", Nano mater. Appel. Chinese, 2005, 17-33.

[4] Carrigan, T. F. "Missile Flight Control System"; E. P. 0,244,971 A2, 1987.

[5] Robert, K.; Silvano, R."Catalyst, Gas Generator, and Theruster with Improved Thermal Capability and Corrosion Resistance." US Pat. 0,304,620 A1, 2012.

[6] Vitello, W.; Kim, M.; Johnson, R.M.; Miller, S."Full-Thickness Burn to the Hand from an Automotive Airbag." J. Bur. Care. Rehab. , 2012, 21 (3), 288–289.

[7] Berezofsky, J.; Joukov, S. "Pyrogen Fire Suppression Grenades." Halon Option Technical Working Conference Australia, 2008, 51-70.

[8] Ziske, O.; Wotha, G. "Device for Generating Oxygen." US Pat. 5,916,539, 1999.

[9] Rain, N." How Airplane Emergency Inflatable Slides are Made, and How They Work.": http://www.core77.com/posts/26901/how-airplane-emergency-inflatable-slides-are-made-and-how-they-work, html, 2014.

[10] Cen, J. W.; Xu, J. L. "A New Proto Type of Self-Pressurizing Fuel Tank for Micro and Nano-Satellites."; Acta. Astronautica. , 2009, 64, 410-415.

[11] Jenifer, L. S.; Matthew, A.; Sameer, D."Burn rate Sensitization of Solid Propellant Using Nano- Titanium Additive" 20th International Colloquium on the Dynamics and Reactive Systems, 2005.

[12] Stein, J.; Resent, Ch. "Developments in Inflatable Airbag Impact Attenution System for Mars Exploration." ILD. Dover. Inc., 2004, 310-323.

[13] Bernd, M.; Degussa, A. G." Guanidine and Derivatives." Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2012, 17, 288-314.

[14] Shingo, D,; Takumi, S.; Norikazu, I.; Shizuka, N." Burning Characteristics and Sensitivity Characteristics of Some Guanidinium 1, 5'-bis-1H-Tetrazolate/Metal Oxide Mixtures as Candidate Gas Generating Agent." J. Propellants Explos. Pyrotech. 2011, 36, 51 – 56.

[15] Hermann, M.; Engel, W.; N. Eisenreich, N.; V. Kolarik, V. "Stabilized Ammonium Nitrate for Applications in Gas Generators.", 2nd Int.Symp.On Sophisticated Car Occupant Safety Systems, 2004, 18-31.

[16] Robert, E.; Berk. M. S." Automated SEM⁄EDS Analysis of Airbag Residue. Particle Identification." J. Forensic. Sci., 2009, 54-61.

[17] Marlin, F.; Bsombes, S. "Pyrotechnic Gas Generator Compounds", US Pat. 0,116,584, 2014.

[18] Gerigory, D."Gas Generant Composion with Coolant", US Pat. 0,089,883A1, 2003.

[19] Yamato, Yo.; Hemeji, Sh."Gas Generating Compositaion." US Pat. 0211671 A1, 2009.

[20] Ulas, A.; Risha, G. A.; Kuo, K. K." Ballistic Properties and Burning Behaviour of an Ammonium Perchlorate/Guanidine Nitrate/Sodium Nitrate" J. Fuel, 2006,85, 71-79.

[21] Jernigan, M.V.; Rath, A.L.; Duma, S.M. "Analysis of Burn Injuries in Frontal Automotive Crashes." J. Bur. Care. Rehab. , 2004, 25(4) 357–362.

[22] Ivan, V. M." Guanyluera Nitrate in Gas Generation"; US. Pat. 6, 550, 808 B1, 2003.

[23] Merlin, F.; Medard, S. "Pyrotechniqe Gas Generator Compounds." US Pat. 022825 A1, 2013.

[24] Mei, X.; Yan, H. "Study of Some Low Temperature Gas-Generating Compositions." J. Propellants. Explos. Pyrotech. , 2010, 35, 1 – 6.

[25] Ivan, V. M."Gas Generation via Metal Complexes of Guanylurea Nitrate.", US Pat. 6,602,365 B1, 2013.