

تأثیر نوع و مقدار پایدارکننده شیمیایی روی گرمای احتراق و پایداری پیشرانه جامد دوپایه

رضا فارغی علمداری^۱ - سید امان اله موسوی ندوشن^۲ - مرتضی هراتی^۳

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(تاریخ وصول: ۸۹/۷/۲۷، تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۷)

چکیده

در این مقاله تأثیر نوع و مقدار سه پایدارکننده آکاردیت II^۱، ۲- نیترو دی فنیل آمین و سانترالیت I^۲ بر میزان گرمای انفجار و پایداری پیشرانه جامد دوپایه بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش مقدار پایدارکننده‌های آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین باعث افزایش پایداری و کاهش گرمای احتراق پیشرانه می‌گردد و جایگزینی پایدارکننده آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین به جای مخلوط آکاردیت II و سانترالیت I در پیشرانه مورد تحقیق میزان گرمای احتراق را افزایش می‌دهد. جایگزینی پایدارکننده آکاردیت II به جای مخلوط آکاردیت II و سانترالیت I در پیشرانه مورد تحقیق خواص پایداری را اندکی بهبود می‌بخشد ولی پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین تغییر چندانی در این خواص ایجاد نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: پیشرانه جامد دو پایه، پایدارکننده، گرمای احتراق، آکاردیت II، ۲- نیترو دی فنیل آمین، سانترالیت I.

۱- مقدمه

جهت جلوگیری از تغییرات مضر در طی یک مدت نگهداری طولانی تلقی کرد، وجود ناخالصی‌ها، آب و گرما از عوامل اصلی موثر در تجزیه نیتروگلسیرین (NG) و نیتروسولوز (NC) (که دو جزء اصلی پیشرانه دو پایه هستند) می‌باشد، به عنوان مثال اگر نیتروگلسیرین بدون آب به مدت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد پس از ۴۰ ساعت عمل تجزیه صورت می‌گیرد، اما اگر نیتروگلسیرین حاوی ۱٪ آب باشد این زمان به ۳۰ ساعت تقلیل می‌یابد و اگر به ۱/۵٪ برسد این زمان به ۲ ساعت می‌رسد. لذا نیتروگلسیرین خالص را می‌توان به مدت چندین سال نگهداری کرد [۱].

یکی از مهمترین پارامترهای یک پیشرانه، میزان گرمای انفجار و پایداری آن است. گرمای انفجار پیشرانه می‌تواند ناشی از میزان گرمای انفجار در اجزای سازنده یک پیشرانه باشد، به نحوی که اگر اجزای تشکیل دهنده پیشرانه دارای گرمای انفجار بالایی باشند در نهایت پیشرانه از کارایی بالاتری برخوردار خواهد بود. پایدارکننده‌ها ترکیباتی هستند که به مقدار کم در کنار ترکیبات سوختی یا سایر مخلوط‌ها به کار رفته و باعث پایدار شدن آن‌ها می‌گردند. پایداری یک ماده شیمیایی را می‌توان به عنوان توانایی آن ماده

* E-mail: reza_fareghi@yahoo.com

4- Acardite II

5- Centralite I

۱- دانشیار شیمی آلی

۲- کارشناس ارشد پیشرانه

۳- کارشناس ارشد

نیست. از متداولترین پایدارکننده‌ها می‌توان به سانتالیته‌ها، آکاردیت‌ها، دی فنیل آمین (DPA)، ۲- نیترو دی فنیل آمین (2-NDPA) و N- متیل پارا نیترو آنیلین اشاره کرد [۷ و ۱۶]. بسته به نوع پیشرانه (دوپایه سه پایه، کامپوزیت و ...) پایدارکننده‌های مختلفی استفاده می‌شود و چون بحث ما بر روی پیشرانه دوپایه بوده است به بررسی پایدارکننده مورد استفاده در پیشرانه دوپایه پرداخته‌ایم.

۱-۱- تأثیر مقدار پایدارکننده‌های شیمیایی

میزان مصرف پایدارکننده در یک پیشرانه ارتباط نزدیکی با میزان گرمای انفجار آن پیشرانه دارد به نحوی که اگر سطح انرژی‌زایی یک آمیزه افزایش یابد باعث افزایش سرعت تولید گازهای اکسید ازت می‌گردد لذا با افزایش گرمای انفجار، میزان درصد پایدارکننده نیز باید افزایش یابد [۱]. برای مثال پس از اندازه‌گیری میزان پایداری دو پیشرانه با فرمولاسیون یکسان یکی با گرمای انفجار ۹۰۰ کالری بر گرم و دیگری ۱۱۰۰ کالری بر گرم و با میزان مساوی از پایدارکننده دی فنیل آمین، مشخص گردید که اولی به مدت ۱۰۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد و دیگری در مدت ۸۰ دقیقه در همان دما و شرایط پایدار می‌باشند. آنچه که در تعیین درصد پایدارکننده در پیشرانه بسیار حائز اهمیت می‌باشد این است که با توجه به اینکه گرمای انفجار تمامی پایدارکننده‌ها منفی می‌باشد، لذا افزایش این گونه مواد می‌تواند بر روی گرمای انفجار کل پیشرانه اثرات منفی گذاشته و باعث کاهش آن گردد. بنابراین میزان پایدارکننده در پیشرانه باید به دقت تعیین گردد به نحوی که با کمترین درصد پایدارکننده به پایداری مورد انتظار پیشرانه رسید. لازم به ذکر است که درصد پایدارکننده به انتخاب نوع پایدارکننده نیز وابستگی دارد چرا که پایدارکننده‌ها با درصد‌های مساوی می‌توانند اثرات پایداری متفاوتی داشته باشند [۸ و ۱۷]. در جدول (۱) نتیجه تست پایداری در ۱۲۰ درجه سانتیگراد برای شش نمونه پایدار کننده با درصد یکسان آمده است. همان گونه که از نتایج جدول (۱) مشاهده می‌شود، هرچند میزان پایدارکننده در پیشرانه یکسان است ولی به دلیل اختلاف در نوع پایدارکننده نتایج تست پایداری پیشرانه‌های تولیدی بایکدیگر اختلاف دارد [۹]. میزان استفاده از پایدارکننده در پیشرانه‌های بر پایه نیترات استر معمولاً حدود ۱ تا ۰/۳ درصد می‌باشد.

تجزیه نیترات استرها باعث تغییر در خواص مکانیکی، حرارتی، شیمیایی و فیزیکی پیشرانه شده و موجب کاهش کارایی پیشرانه می‌شود. تجزیه گرمایی نیتروسولوز و نیتروگلیسرین با شکستن پیوند و آزاد شدن اکسید نیتروژن شروع می‌شود. برای جلوگیری از تجزیه نیترات استرها بایستی کاری کرد که در همان مرحله اولیه آزاد شدن NO_2 آن را مهار نمود تا از شروع واکنش‌های زنجیره‌ای تجزیه‌ای جلوگیری گردد. حضور پایدارکننده جهت رسیدن به همین هدف می‌باشد [۳ و ۲۰]. زمانی که گاز NO_2 از پیشرانه متصاعد می‌شود دو واکنش رقابتی زیر می‌تواند انجام پذیرد:

الف- واکنش NO_2 با NC و NG و تجزیه آن‌ها (اثر اتوکاتالستی)

ب- واکنش NO_2 با پایدارکننده

پایدارکننده‌ها نمی‌توانند مانع تجزیه شوند اما مانع از واکنش‌های کاتالستی محصولات تجزیه‌ای از قبیل NO ، NO_2 ، HNO_2 و HNO_3 می‌شوند. ثابت سرعت واکنش پایدارکننده با NO_2 خیلی بیشتر از ثابت سرعت واکنش NC و NG با NO_2 می‌باشد، لذا تا زمانی که پایدارکننده موثر در داخل پیشرانه وجود دارد واکنش‌های اتوکاتالستی انجام نمی‌پذیرد. به عنوان مثال ثابت سرعت واکنش NG با NO_2 حدود $10^{-11} \text{ mol/Lit.K}$ است، این ثابت برای سانتالیته $10^{-6} \text{ mol/Lit.K}$ بوده که در حدود 5000 مرتبه سریعتر از واکنش NO_2 با پایدارکننده می‌باشد [۵ و ۱۴].

نیتریک استرها موجود در پیشرانه دوپایه (نیتروسولوز و نیتروگلیسرین) با سرعتی که به زمان و دما وابسته است تجزیه می‌شوند که این تجزیه با گسیختگی پیوندهای O-NO_2 مرتبط است و لذا اکسیدهای نیتروژن آزاد می‌شود. بدون وجود پایدارکننده محصولات حاصل از تجزیه می‌توانند تأثیر کاتالیزوری بر سرعت تجزیه داشته باشند و باعث افزایش سرعت تجزیه نیتریک استرها شوند. تجزیه کنترل نشده نیتریک استرها می‌تواند معایب جدی از نقطه نظر کاهش ایمنی، کاهش کیفیت و کاهش عملکرد پیشرانه را به همراه داشته باشد. پایدارکننده‌ها دارای حلقه‌های آروماتیک بنزنی جهت واکنش با گروه‌های نیترو هستند.

انتخاب یک یا چند پایدارکننده برای یک ترکیب پیشرانه به عوامل مختلفی بستگی دارد، چون پایدارکننده علاوه بر تأثیر بر روی پایداری و خواص احتراقی بر روی خواص مکانیکی و سرعت سوزش نیز تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین بسته به این که چه چیزی برای ما مهمتر است (پایداری، خواص احتراقی و ...) در شرایط مختلف ممکن است پایدارکننده‌های متفاوتی را انتخاب کنیم. بنابراین این گفته که کدام پایدارکننده بهتر است صحیح

جدول ۱- نتایج تست پایداری یک نوع پیشرانه دوپایه با پایدارکننده‌های متفاوت با درصد یکسان در ۱۲۰ °C [۹].

Centralite	2-NDPA	MNA ^۱	Resorcinol	2-NDPA(1%) MNA(1%)	2-NDPA(1%) Resorcinol(1%)	نوع پایدارکننده (مقدار ۲٪)
۶۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۹۰	۶۵	نتیجه (دقیقه)

رنگ) یا با استفاده از کاغذهای معرف و یا به وسیله اندازه‌گیری کمی این اکسیدها انجام می‌شود. در جدول (۳) زمان‌های استاندارد برای ترکیبات منفجره و پیشرانه‌ها برای اساس تست متیل بنفش آورده شده است. مقادیر استاندارد کاهش درصد وزنی نمونه‌های پیشرانه براساس تست پایداری داچ در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۲- میزان گرمای انفجار پایدارکننده‌ها [۱۰ و ۱].

گرمای انفجار (cal/g)	نوع پایدارکننده	ردیف
-۲۲۸۳	آکاردیت I	۱
-۲۳۰۰	آکاردیت II	۲
-۲۳۷۸	آکاردیت III	۳
-۲۳۸۱	سانترالیت I	۴
-۲۲۹۹	سانترالیت II	۵
-۲۳۶۷	سانترالیت III	۶
-۲۶۸۴	دی فنیل آمین	۷
-۱۵۴۸	۲- نیترودی فنیل آمین	۸
-۱۶۳۹	اتیل فنیل اورتان	۹
-۲۲۲۷	دی فنیل اورتان	۱۰
-۲۷۳۹	دی فنیل اوره	۱۱
-۲۲۳۶	اتیل فنیل اوره	۱۲

۲-۱- تاثیر پایدارکننده‌ها روی گرمای انفجار پیشرانه

یکی از مهمترین پارامترهای یک پیشرانه، میزان گرمای انفجار آن است که می‌تواند ناشی از میزان گرمای انفجار در اجزای سازنده یک پیشرانه باشد به نحوی که اگر اجزای تشکیل دهنده پیشرانه دارای گرمای انفجار بالایی باشند، در نهایت پیشرانه از کارایی مناسب تری برخوردار می باشد لذا در انتخاب اجزای تشکیل دهنده فرمولاسیون پیشرانه باید این موضوع در نظر گرفته شود. اگر چه در مقادیر کم از پایدارکننده در پیشرانه بعید به نظر می‌رسد که این موضوع اثرات مهمی بر روی میزان گرمای انفجار پیشرانه داشته باشد، اما در مقادیر بالاتر پایدارکننده در پیشرانه قطعاً تاثیرگذار خواهد بود. تقریباً تمامی پایدارکننده‌های موجود دارای کالری منفی (گرماگیر) می‌باشند. در جدول (۲) گرمای انفجار پایدارکننده‌های معروف آورده شده است. همان گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، در بین پایدارکننده‌های ذکر شده ۲- نیترو دی فنیل آمین بالاترین گرمای انفجار را دارد. بنابراین استفاده از آن در پیشرانه اثر کمتری روی کاهش گرمای انفجار پیشرانه خواهد گذاشت.

۳-۱- روش‌های تست پایداری پیشرانه

غالباً اصول این روش‌ها بر اساس اندازه‌گیری اکسیدهای نیتروژن یا کاهش وزن (روش هلند) می‌باشد که یا به روش چشمی (مشاهده بخارات قهوه‌ای

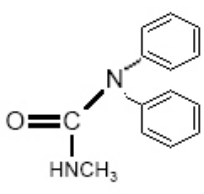
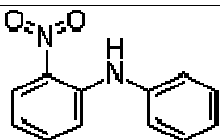
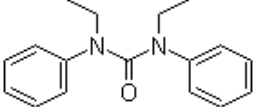
جدول ۳- زمان‌های استاندارد برای ترکیبات منفجره و پیشرانه‌ها بر اساس تست متیل بنفش [۱۱].

ردیف	دما	نوع نمونه	وزن نمونه	زمان استاندارد (دقیقه)
۱	۱۳۴/۵	NC با درصد نیتروژن بالا (۱۳/۱٪)	۲/۵ گرم	۳۰
۲		NC با درصد نیتروژن پایین (۱۲/۲۷٪)		۴۰
۳		پیشرانه تک پایه (برای مهمات تفنگ)		۶۵

جدول ۴- مقادیر استاندارد کاهش درصد وزنی نمونه‌های پیشرانه براساس تست پایداری داچ [۱۱].

ردیف	دما (C)	نوع نمونه	وزن نمونه	درصد افت وزنی
۱	۱۰۵	پیشرانه‌های دوپایه	۴ گرم	NC با درصد نیتروژن پایین ۱۲/۲٪
۲				NC با درصد نیتروژن بالا ۱۳/۱٪
۳	۱۱۰	پیشرانه های تک پایه	۴ گرم	برای مهمات تفنگ
۴				برای مهمات توپ

جدول ۵- مشخصات پایدارکننده های مورد بررسی [۱۲و۱۳].

نام	فرمول بسته	ساختمان مولکولی	جرم مولکولی (g/mol)	نقطه ذوب (°C)	نقطه جوش (°C)
آکاردیت II	$C_{14}H_{14}N_2O$		۲۲۶/۲۸	۱۷۱	-
۲- نیترو دی فنیل آمین	$C_{12}H_{10}N_2O_2$		۲۱۴/۲۲۴	۷۵/۵	۳۴۶
سانترالیت I	$C_{17}H_{20}N_2O$		۲۶۸/۳۶	۷۴	۳۳-۳۲۵

۵-۱- مشخصات پایدارکننده های آکاردیت II، ۲- نیترو دی

فنیل آمین و سانترالیت I

برای بررسی بیشتر تأثیر پایدارکننده‌ها بر روی گرمای احتراق و پایداری پیشرانه تأثیر سه پایدارکننده آکاردیت II، ۲- نیترو دی فنیل آمین و سانترالیت I که از جمله پایدارکننده‌های مناسب برای پیشرانه دوپایه می‌باشند پس از نمونه سازی و انتخاب پیشرانه مورد نظر تست‌های پایداری و احتراق بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. مشخصات این پایدارکننده‌ها در جدول (۵) آورده شده است. در این مقاله تأثیر نوع و مقدار پایدارکننده بر میزان گرمای انفجار و پایداری پیشرانه جامد دوپایه مورد بررسی قرار گرفته است. تاکنون گزارشی از بررسی اثر این پایدارکننده‌ها و مقایسه تأثیر این پایدارکننده‌ها در مقادیر مختلف ارائه نشده و تحقیق حاضر یکی از دغدغه‌های اساسی صنعت و یکی از مشکلات صنعت تولید و ساخت پیشرانه می‌باشد.

تقریباً تمامی پایدارکننده‌های موجود دارای گرمای احتراق منفی می‌باشند. میزان گرمای انفجار یک پیشرانه ناشی از گرمای انفجار در اجزای سازنده یک پیشرانه می‌باشد، بنابراین قابل پیش بینی است که پایدارکننده‌ها گرمای

احتراق پیشرانه را کاهش می‌دهند. ولی با توجه به اینکه یکی از مهمترین پارامترهای یک پیشرانه، میزان گرمای انفجار آن است، دانستن این مطلب که با استفاده از پایدارکننده‌های مختلف گرمای احتراق پیشرانه به چه مقدار می‌رسد برای محققان بسیار مهم است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

پیشرانه مورد آزمایش نوعی از پیشرانه جامد دوپایه ساخته شده با روش اکسترودی حلالی می‌باشد. فرمولاسیون این پیشرانه در جدول (۶) آورده شده است. ۲- نیترو دی فنیل آمین (خریداری شده از شرکت مرک آلمان)، آکاردیت II و سانترالیت I (نمونه‌های چینی) که از جمله پایدارکننده‌های مناسب برای پیشرانه دوپایه می‌باشند برای آزمایشات انتخاب شدند. تست‌های پایداری به دو روش متیل بنفش (در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد) و داچ (هلند) توسط دستگاه‌های تست پایداری ساخت شرکت فریدز ورنر^۱

1- Fritz Wner

کشور آلمان انجام گرفت. برای اندازه‌گیری گرمای احتراق از دستگاه کالریمتر مدل C4000 ساخت شرکت IKA کشور آلمان استفاده شد.

جدول ۶- فرمولاسیون پیشرانه مورد آزمایش.

ردیف	نام ماده اولیه	درصد
۱	نیتروسولوز	۵۱
۲	نیتروگلسیرین	۳۵/۰۶
۳	اصلاح کننده خواص بالستیک	۱/۹۸
۴	نرم کننده	۷/۵۶
۵	پایدار کننده	۰/۵-۲
۶	سایر اجزاء	۲/۴

۲-۲- ساخت و کدگذاری نمونه‌ها

در گام نخست از رول‌های تولیدی در فاز صنعتی با پایدارکننده‌های آکاردیت II و سانترالیت I نمونه‌های مدادی تهیه شد و برای انجام تست‌ها به آزمایشگاه ارائه گردید. این نمونه‌ها با کد FACT مشخص شدند. سپس بدون تغییر در فرمولاسیون یعنی با همان یک درصد پایدارکننده‌های آکاردیت II و سانترالیت I نمونه‌هایی در فاز تحقیقاتی تهیه و نمونه‌های مدادی جهت انجام تست به آزمایشگاه ارائه گردید که این نمونه‌ها با کد FACs مشخص شدند. FACT یک نمونه صنعتی است و چون در ساخت این نمونه صنعتی یک درصد سانترالیت I و یک درصد آکاردیت II استفاده شده بود، ما هم برای ساخت نمونه آزمایشگاهی ترکیب درصدی مشابه به آن انتخاب کردیم با این تفاوت که در ساخت آن به جای استفاده از PVK¹ با لایه تیره از PVK بدون لایه تیره استفاده کردیم که در مقاله این نمونه FACs نامگذاری می‌شود. با این کار می‌توانیم مقایسه‌ای را بین نمونه آزمایشگاهی و صنعتی انجام دهیم. تفاوت این دو نمونه در استفاده و عدم استفاده از لایه‌های تیره رنگ خمیر PVK بود. با توجه به حساسیت بالای نیتروگلسیرین نسبت به دما، ضربه، اصطکاک و حتی لرزش، معمولاً نیتروگلسیرین را به صورت خالص نگهداری نمی‌کنند و در کارخانه‌ها به محض تولید با نیتروسولوز مخلوط می‌کنند تا ضمن تولید خمیر PVK خطرات حمل و نقل و نگهداری آن کمتر شود. این

لایه در مدت انبارداری و پس از مدت کوتاهی در سطح خمیر PVK تشکیل می‌شود. در زمان تهیه خمیر PVK هیچ نوع پایدار کننده‌ای به آن اضافه نمی‌گردد و این خمیر از زمان تولید شروع به تجزیه شدن می‌کند که نتیجه آن تیره رنگ شدن خمیر PVK است. این لایه تیره رنگ حاوی ترکیبات اکسید ازت ناشی از تجزیه نیترات استرها در کل خمیر است که به سمت بالا آمده و در آنجا تجمع یافته‌اند. این اتفاق باعث می‌گردد که این لایه تیره رنگ از دو جهت مورد توجه قرار گیرد:

الف) وجود ترکیبات اکسید ازت موجود در این لایه، می‌تواند روی پارامتر پایداری پیشرانه‌های تولیدی که در داخل آن از این لایه نیز استفاده شده است تاثیرگذار باشد.

ب) این لایه در معرض تجزیه بیشتر نیترات استرها قرار دارد (با توجه به مجاور بودن با هوا و تمرکز اکسیدهای ازت در آن، البته این امر در زمان‌های کوتاه رخ نمی‌دهد) لذا احتمالاً دارای گرمای احتراق پایین‌تری نسبت به لایه سفید می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار استفاده از این لایه در ساخت نمونه‌ها نمی‌تواند به صورت دقیق کنترل گردد، از این لایه در هیچ یک از نمونه‌ها به جز FACT استفاده نشد. در مرحله بعدی نمونه‌های پیشرانه با درصد‌های مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵ و ۲ درصد) از دو پایدارکننده (آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین) تهیه گردید که این نمونه‌ها به صورت جدول (۷) کدگذاری شدند.

جدول ۷- نحوه کدگذاری نمونه‌های تولیدی.

ردیف	نوع پایدارکننده	% پایدارکننده	کد نمونه
۱	آکاردیت II	۰/۵	FA0.5
۲		۱	FA1.0
۳		۱/۲۵	FA1.25
۴		۱/۵	FA1.5
۵		۲	FA2
۶	۲- نیترو دی فنیل آمین	۰/۵	FD0.5
۷		۱	FD1.0
۸		۱/۲۵	FD1.25
۹		۱/۵	FD1.5
۱۰		۲	FD2
۱۱	سانترالیت I	۱	FACs (با استفاده از PVK بدون لایه تیره)
	آکاردیت II	۱	
۱۲	سانترالیت I	۱	FACT (با استفاده از PVK با لایه تیره)
	آکاردیت II	۱	

(یک واژه آلمانی است و به معنی پودر تغلیظ شده است) 1- Pulver Vor Konzentrate

فنیل آمین است. بنابراین هر چه مقدار پایدارکننده در پیشرانه افزایش یابد طبیعی است که میزان گرمای احتراق آن نیز کاهش یابد. همچنین مقدار گرمای احتراق برای نمونه‌های با پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین (FD) بیشتر از نمونه‌های با آکاردیت II و سانترالیت I (FACs) است که این امر به خاطر گرمای احتراق منفی‌تر آکاردیت II و سانترالیت I است. گرمای احتراق برای ۲- نیترو دی فنیل آمین 1548 cal/g است در صورتی که برای آکاردیت II و سانترالیت I به ترتیب برابر 2300 cal/g و 2381 cal/g است. ترتیب افزایش گرمای احتراق پیشرانه‌های تهیه شده ریشه در میزان گرمای احتراق پایدارکننده‌های مصرفی دارد. با توجه به اینکه، گرمای احتراق آکاردیت II از سانترالیت I بیشتر است، لذا جاگزینی (یک درصد) آکاردیت II به جای سانترالیت I (در نمونه FA2 دو درصد آکاردیت II، در صورتی که در نمونه FACs یک درصد آکاردیت II و یک درصد سانترالیت I استفاده شده است) باعث افزایش گرمای احتراق پیشرانه FA2 (901 cal/g) نسبت به پیشرانه FACs (892 cal/g) می‌گردد.

۳-۲- نتایج تست پایداری به روش متیل بنفش

تست پایداری به دو روش متیل بنفش (در 120°C درجه سانتیگراد) و داچ انجام گرفت که در زیر به بررسی نتایج آن‌ها پرداخته شده است. کاغذ معرف برای تست نمونه FACs پس از ۱۱۵ دقیقه و برای FACT پس از ۱۰۵ دقیقه بی‌رنگ شد که نشان دهنده این است که نمونه آزمایشگاهی FACs دارای پایداری بیشتری از نمونه صنعتی FACT است زیرا در ساخت FACT از PVK با لایه تیره رنگ در سطح استفاده شده است. همان طور که گفته شد لایه تیره رنگ حاوی ترکیبات اکسیدازت ناشی از تجزیه نیترات استرها است و در معرض تجزیه بیشتری می‌باشد بنابراین نمونه‌های ساخته شده با این خمیر علاوه بر گرمای احتراق پایین، پایداری کمتری نیز دارند.

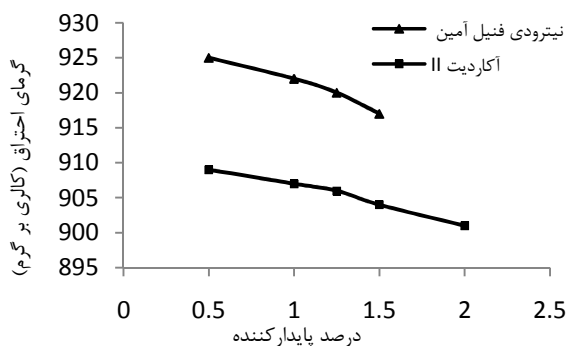
برای نمونه‌های ساخته شده با درصدهای مختلف پایدارکننده آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین نیز تست پایداری گرفته شد که نتایج تست پایداری به روش متیل بنفش بر روی نمونه‌های تهیه شده در شکل (۲) آورده شده است. با توجه به شکل (۲) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان پایدارکننده در فرمولاسیون پیشرانه میزان پایداری پیشرانه نیز افزایش می‌یابد. البته این موضوع کاملاً منطقی می‌باشد زیرا هر چه پایدارکننده بیشتر باشد مقدار گازهای NOx بیشتری مهار می‌شود، لذا از شروع واکنش‌های زنجیره‌ای تجزیه‌ای بهتر و بیشتر جلوگیری می‌شود.

از نمونه‌های ساخته شده تست‌های اندازه‌گیری احتراق و تست‌های پایداری به دو روش متیل بنفش^۱ (در دمای 120°C درجه سانتیگراد) و داچ^۲ گرفته شد که نتایج آن در ادامه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تست گرمای احتراق

این تست بر روی دوازده نمونه مشخص شده در جدول (۶) انجام شد. گرمای احتراق برای نمونه‌های FACT و FACs به ترتیب 879 و 892 کالری بر گرم به دست آمد در نتیجه زمانیکه از خمیر PVK با لایه تیره رنگ استفاده شود (نمونه FACT) نسبت به حالتی که استفاده نشده است (FACs) گرمای احتراق پیشرانه کمتر است. لایه سطحی خمیر PVK در فاصله کوتاهی از انبارداری تشکیل می‌شود که حاوی اکسیدهای ازت ناشی از تجزیه نیترات استرهای موجود در خمیر PVK می‌باشد که در نتیجه این لایه با توجه به اینکه در معرض تجزیه بیشتری می‌باشد گرمای احتراق پایین‌تری را دارد. در شکل (۱) تغییرات گرمای احتراق نسبت به مقادیر مختلف پایدارکننده برای آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین رسم شده است.

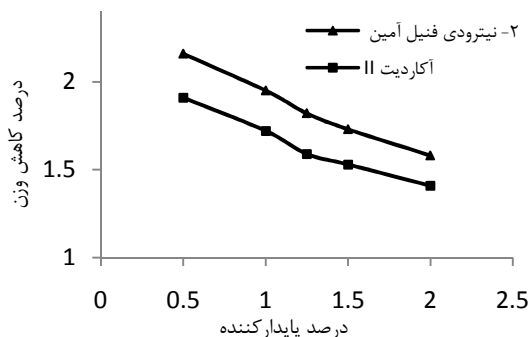


شکل ۱- تغییرات گرمای احتراق نسبت به درصدهای مختلف پایدارکننده برای آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین.

لازم به ذکر است که داده مربوط به پیشرانه با دو درصد از پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین به علت خطای زیاد حذف شد. همان طور که از شکل (۱) مشخص است با افزایش میزان آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین میزان گرمای احتراق پیشرانه کاهش می‌یابد که این کاهش به دلیل منفی بودن گرمای احتراق پایدارکننده‌ها از جمله آکاردیت II و ۲- نیترو دی

1- Methyl Violet Test
2- Dutch Test

آکاردیت II باشد از خواص پایداری بهتری برخوردار می‌باشد. نتایج تست داچ همانند نتایج تست متیل بنفش، نبودن تغییرات زیاد در پایداری شیمیایی برای نمونه‌های FACs و FA2 را تایید نموده است.



شکل ۲- نمودار تغییرات پایداری نسبت به درصد پایدارکننده آکاردیت II در پیشرانه مورد تحقیق (تست داچ).

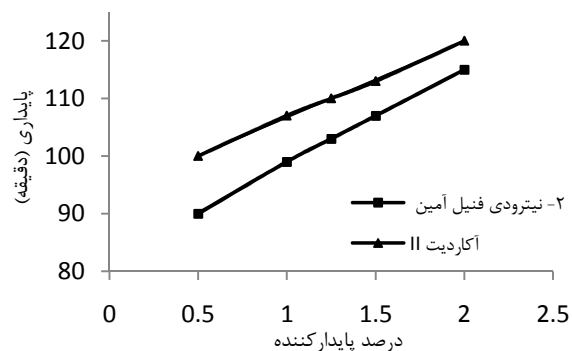
۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمون‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که استفاده نکردن از لایه تیره رنگ خمیر PVK در ترکیب پیشرانه محصولاتی با گرمای احتراق و پایداری شیمیایی بیشتر ایجاد خواهد کرد.

افزایش درصد پایدارکننده‌های آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین باعث افزایش خواص پایداری و کاهش گرمای احتراق پیشرانه می‌گردد و جایگزینی پایدارکننده آکاردیت II و ۲- نیترو دی فنیل آمین به جای مخلوط آکاردیت II و سانترا لیت I در پیشرانه مورد تحقیق میزان گرمای احتراق را افزایش می‌دهد. این افزایش در صورت استفاده از پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین بیشتر مشهود می‌باشد و بیشتر بودن گرمای احتراق پیشرانه با پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین طبیعتاً به دلیل مثبت‌تر بودن گرمای احتراق این پایدارکننده است. جایگزینی پایدارکننده آکاردیت II به جای مخلوط آکاردیت II و سانترا لیت I در پیشرانه مورد تحقیق خواص پایداری را اندکی بهبود و پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین تغییر چندانی در این خواص ایجاد نمی‌کند (پایداری را بسیار اندک کاهش می‌دهد).

مراجع

- [1]. Davenas, A. " Solid Rocket Propulsion Technology."; 1th Ed. Technology and Research Director, SNPE, France, 1993.



شکل ۳- نمودار تغییرات پایداری نسبت به درصد پایدارکننده آکاردیت II در پیشرانه مورد تحقیق متیل بنفش.

همان گونه که از شکل (۲) ملاحظه می‌شود زمان تغییر رنگ معرف برای نمونه‌ای که حاوی دو درصد پایدارکننده آکاردیت II می‌باشد بیشتر از سایر نمونه‌ها است (۱۲۰ دقیقه) و این موضوع را تایید می‌کند که پیشرانه مورد تحقیق در صورتی که حاوی پایدارکننده آکاردیت II باشد از خواص پایداری بهتری برخوردار می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که تغییرات زیادی بین پایداری شیمیایی برای نمونه‌های FACs و FA2 وجود ندارد (تغییر رنگ معرف برای نمونه‌ای که حاوی دو درصد پایدارکننده آکاردیت II می‌باشد ۱۲۰ دقیقه و برای FACs که از دو درصد پایدارکننده آکاردیت II و سانترا لیت I ساخته شده برابر ۱۱۵ دقیقه است).

۳-۳- نتایج تست پایداری به روش داچ

نتایج این تست بر روی دو نمونه FACs و FACT نشان داد که نمونه تحقیقاتی FACs با کاهش وزن کمتری (۱/۵۴٪) مواجه شده است لذا از نظر پایداری مناسب‌تر از نمونه صنعتی FACT (۱/۵۷٪) می‌باشد. بعد از رسم نمودار تغییرات پایداری برحسب درصدهای مختلف پایدارکننده ۲- نیترو دی فنیل آمین و آکاردیت II که در شکل (۳) آمده است مشاهده می‌گردد که با افزایش هر دو پایدارکننده میزان کاهش وزن پیشرانه تقلیل می‌یابد و در نتیجه نمونه پایدارتر می‌شود که این موضوع نتایج تست پایداری به روش متیل بنفش را تایید می‌کند.

نتایج تست پایداری به روش داچ نشان داد که میزان کاهش وزن پیشرانه‌ای که حاوی دو درصد پایدارکننده آکاردیت II می‌باشد کمتر از سایر نمونه‌ها است لذا این تست نیز همانند تست پایداری به روش متیل بنفش این موضوع را تایید می‌کند که پیشرانه مورد تحقیق در صورتی که حاوی پایدارکننده

- Stabilizers with the Known Propellant Decomposition Products NO₂, HNO₂, and HNO₃.”; Journal of Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1993, 30(3), 126-134.
- [8]. West, C.; Baron, G.; Minet, J. “Detection of Gunpowder Stabilizers with Ion Mobility Spectrometry.”; Forensic Science International 2007, 166(2), 91–101.
- [9]. Raymond, J. P.; Austruy, H.; Rat, M. “Evaluation De La Stabilité Thermique et du Vieillessement Fissurant des Propergols Homogenes Double Base.”; Internationale jahrestagung ICT, 1986, 14/1-14/19.
- [10]. Meyer, R.; Kohler, J.; Homburg, A. "Explosive."; Relag Chemie, Completely Revised Edition – July, 2007.
- [11]. Bofors Nobelkrut, A. B. “Analytical Methods for Powder and Explosives.”; AB Bofors Nobelkurt, 1974.
- [۱۲]. صابری مقدم، و همکاران، “پیشراانه‌های جدید جلد چهارم: پیشراانه‌های هیبریدی.” دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۳.
- [13]. Lussier, L. S.; Bergeron, E.; Gagnon, H. “Study of the Daughter Products of Akardit II.”; Journal of Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2006, 31(4), 253-262.
- [2]. Sucasca, M.; Musanic, S. M.; Houra, I. F. “Kinetics and Enthalpy of Nitroglycerin Evaporation From Double Base Propellants by Isothermal Thermogravimetry, Laboratory for Thermal Analysis.”; Brodarski Institute – Marine Research & Advanced Technologies, Thermochimica Acta. 2010.
- [3]. Musanic, S. M.; Sucasca, M. “Artificial Ageing of Double Base Rocket Propellant Effect on Dynamic Mechanical Properties.”; Thermal Analysis and Calorimetry. 96, 523, 2009.
- [4]. Zayed, M. A.; Adel, A. M.; Hassan, M. A. M. “Stability Studies of Double-Base Propellants with Centralite and Malonanilide Stabilizers Using MO Calculations in Comparison to Thermal Studies.”; Journal of Hazardous Materials. 179, 453, 2010.
- [5]. Sutton, G. P. “Rocket Propulsion Elements.”; 7th Ed. John Wiley & Sons, 2001.
- [6]. Bohn, M. A. “Prediction of In-Service Time Period of Three Differently Stabilized Single Base Propellants.”; Journal of Propellants, Explosives, Pyrotechnics. Vol. 34, P.P. 252-266. 2009.
- [7]. Sammour, M. H.; Bellamy, A. J. “Stabilizer Reactions in Cast Double Base Rocket Propellants. Part VI: Reactions of Propellant