

تولید پروپیلن گلیکول دی نیترات و پیشران مایع سوخت اتو-۲

حسن گودرزی^{۱*}، امین حسینی کمشوری^۲، محمد میرزایی^۳

سازمان صنایع دفاع

*Email: Goodarz_۸۴@yahoo.com

(تاریخ وصول: ۸۸/۴/۲۰، تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۲۸)

چکیده

سوخت اتو-۲ نوعی تک پیشران^۴ است که از پیش ماده‌های پروپیلن گلیکول دی نیترات، دی بوتیل سباتات و ۲- نیترو دی فنیل آمین تشکیل شده است. پیشران مذکور با استفاده از آزمایش‌ها ارائه شده در استاندارد نظامی محصول تست شد. این آزمایش‌ها شامل تعیین در صد PGDN در نمونه شاهد با استفاده از روش تیتراسیون پتانسیومتری و اندازه گیری میزان ۲-NDPA با استفاده از روش اسپکتروفتومتری ماوراء بنفش و محاسبه میزان DBS بود. طیف IR نمونه سنتزی تهیه شده و با طیف ترکیب استاندارد مطابقت داشت. از این ترکیب در اژدرهای زیر سطحی هوشمند MK ۴۸ و MK ۴۶ به عنوان پیشران استفاده می شود. مزیت عمده این تک پیشران غیر قابل جایگزین بودن پروپیلن گلیکول دی نیترات موجود در آن با سایر استرهای نیترات مرسوم است. در این تحقیق نیتراسیون پروپیلن گلیکول شرح داده شده و پس از آنالیز شیمیایی و فیزیکی نمونه پیشران سوخت اتو-۲ شاهد، پیشران مذکور بر طبق نتایج آنالیز نمونه شاهد فرموله و تولید شده است.

واژه های کلیدی: پروپیلن گلیکول دی نیترات، پیشران مایع، سوخت اتو-۲.

۱- مقدمه

مزایای این تک پیشران کاربری در دمای کمتر از ۳۰ °C و همچنین غیر حساس بودن آن به انواع محرک‌های محیطی و تنش‌های مکانیکی و همچنین دارا بودن ایمنی بالا در طی مدت سوزش است

ترکیب سوخت اتو-۲ نوعی ماده پراثری است که به عنوان پیشران در اژدرهای زیر سطحی MK ۴۸، MK ۴۶ و MK ۵۰ استفاده می‌شود. از

۴- Mono propellant

۱- کارشناس ارشد

۲- کارشناس

۳- کارشناس ارشد

[۲۱]. سوخت اتو-۲ در اژدرهای زیر سطحی هوشمند به عنوان پیشران عمل کرده و جهت سوزش به منبع اکسیژن نیاز ندارد. اژدرهای مذکور قابلیت اصابت به اهداف نظامی در نقاط عمیق و سطحی دریا را داشته و بصورت ویژه بعنوان ضد زیردریایی مورد استفاده قرار را می گیرند [۳-۵].

این پیشران اولین بار در ۱۹۶۵ توسط اتو رایتینگر^۱ فرموله و تولید شد. از خصوصیات بارز این پیشران می توان به پایین بودن نقطه انجماد آن تا دمای °C ۳۲-، عدم نیاز به اکسیدکننده در هنگام سوزش و همچنین پایداری آن در مقابل اصطکاک و شوک اشاره نمود بگونه ای که جایگزینی آن را با پیشرانهای معمول غیر ممکن می سازد [۶]. خصوصیات شیمی فیزیکی سوخت اتو-۲ در جدول (۱) نشان داده شده است [۷].

جدول ۱- خصوصیات شیمی فیزیکی پیشران سوخت اتو-۲ [۷].

۱/۲۳	دانسیته در دمای °C ۲۵ (gr/ml)
-۳۲	نقطه انجماد (°C)
۰/۰۸۷۷	فشار بخار ترکیب در دمای °C ۲۵ (mmHg)
۰۴/۰۴	ویسکوزیته در دمای °C ۲۵ (CP)
۳۴/۴۵	کشش سطحی در دمای °C ۲۵ در سانتی متر (ynes)
۱۲۰-۱۲۲	نقطه جرقه ^۲ (°C)
۱۴۵	نقطه اشتعال ^۳ (°C)
۰/۰۰۸	میزان آب پس از خشک شدن (%W)
۰/۰۲۶	میزان آب زمانی که از آب اشباع است (%W)
۰/۰۰۱	حلالیت دی نرمال بوتیل سباتکات در آب در دمای °C ۲۵ (%W)
۵۲۵	کالری cal/g

۲- شناسایی مواد

۲-۱- مواد مورد استفاده در پیشران مایع سوخت اتو-۲

در پیشران مایع سوخت اتو-۲ پروپیلن گلیکول دی نیترات به عنوان اکسیدکننده، دی نرمال بوتیل سباتکات به عنوان عامل غیرحساس کننده و رقیق کننده و ۲- نیترو دی فنیل آمین هم نقش پایدار کننده را دارد. ترکیب درصد اجزاء اصلی تشکیل دهنده این پیشران در جدول (۲) نشان داده شده است [۸].

جدول ۲- ترکیب درصد پیشران مایع سوخت اتو-۲ [۸].

ترکیب درصد	ماده
۷۰ - ۸۰ %	پروپیلن گلیکول دی نیترات
۲۰-۲۵ %	دی بوتیل سباتکات
۱-۲ %	۲- نیترو دی فنیل آمین

همانگونه که در جدول (۲) مشخص شده است ماده اصلی تشکیل دهنده سوخت اتو-۲ پروپیلن گلیکول دی نیترات است که ماده ای پرانرژی بوده و بدلیل کاربری منحصر به فرد آن در ترکیب سوخت اتو-۲، غیر قابل جایگزین، با سایر استرهای گلیکول و نیتروگلیسیرین است. از مهمترین خواص آن حساسیت پایین در دماهای کمتر از °C ۲۰- در مقایسه با NG و گلیکول دی نیترات های در دسترس است در صورتی که خواص انرژی زایی آن در حد گلیکول دی نیترات های مذکور است، از طرفی مهمترین فاکتور انتخاب آن، نقطه انجماد °C ۴۰- است که کاربری آنرا در دماهای کمتر از صفر درجه ممکن ساخته است و در این گستره دمایی بر خلاف سایر استرهای نیترات با دی بوتیل سباتکات کاملاً امتزاج پذیر است. عدم امتزاج پذیری نیترو استرها (شامل نیتروگلیسیرین، اتیلن گلیکول دی نیترات، دی اتیلن گلیکول دی نیترات و تری اتیلن گلیکول دی نیترات) با دی بوتیل سباتکات در طی آزمایشهای مختلف در گستره دماهای °C ۱۰- تا °C ۴۰- اثبات شده است در صورتی که با کاهش دمای مخلوط پروپیلن گلیکول دی نیترات و دی بوتیل سباتکات مخلوط به هیچ وجه دو فاز نمی شود [۹]. دی بوتیل سباتکات به عنوان نرم کننده و غیرحساس کننده و رقیق کننده پروپیلن گلیکول دی نیترات استفاده می شود. این ترکیب یک دی استر آلیفاتیک بوده و کاملاً با پروپیلن گلیکول دی نیترات امتزاج پذیر است علت انتخاب دی بوتیل سباتکات با وجود تنوع نرم کننده ها، به واسطه خواص شیمیایی و فیزیکی آن می باشد از جمله این خواص می توان به نقطه انجماد کمتر از °C ۱۰-، عدم دو فاز شدن در دماهای کمتر از °C ۲۰-، عدم تشکیل دود در هنگام سوختن بر خلاف پلاستی سائزهای آروماتیک اشاره نمود. مشخصات کیفی این ماده جهت استفاده در سوخت مذکور مطابق با استاندارد (OS) ۸۲۶۶۹-۲ Mil- DOD - B می باشد [۱۰].

۱- Otto Reitingner

۲- Flash point

۳- Flaming point

نیتراسیون مذکور بایستی مطابق با استاندارد ۸۲۶۷۰ P-DOD (OS) باشد تا بتوان آن را جهت تولید پیشران مایع سوخت اتو-۲ مورد استفاده قرار داد [۱۲]. همچنین اسید مخلوط مورد استفاده در فرآیند نیتراسیون پروپیلن گلیکول بایستی دارای مشخصات کیفی مطابق با جدول (۳) باشد تا بتوان آن را جهت نیتراسیون پروپیلن گلیکول به کار برد [۱۳].

جدول ۳ - مشخصات کنترل کیفی مخلوط اسید برای نیتراسیون پروپیلن گلیکول [۱۳].

مشخصات	درصد
اسیدیته کل	۸۹/۱
سولفوریک اسید	۴۹-۵۰
نیتریک اسید	۵۰-۵۱
حجم گاز مخلوط با اسید (VN (HNOSO ₃)	<۱

۳- بخش تجربی

۳-۱- تولید پروپیلن گلیکول دی نیترات

برای تولید پروپیلن گلیکول دی نیترات و متعاقب آن سوخت سوخت اتو-۲ از پایلوت نیتراسیونی مطابق با فلودیگرام زیر استفاده شده است (شکل ۱).

در ابتدا بعد از تأیید آنالیز کیفی اسید مخلوط و پروپیلن گلیکول، نیتراتور را با اسید مخلوط شارژ کرده و دمای آن با استفاده از جریان آب سرد، به کمتر از ۸ °C رسانده می شود. سپس میزان مشخصی از پروپیلن گلیکول با کنترل دمای واکنش در محدوده ۲۰-۱۰ °C به صورت دوش مانند به اسید مخلوط که توسط همزن هوا مدام در حال هم خوردن است اضافه می شود. در این فرآیند میزان دبی مصرف پروپیلن گلیکول تعیین کننده دمای واکنش است. سپس عملیات جداسازی به مدت ۲۵ دقیقه در نیتراتور کامل شده به گونه ای که اسید فاضل فاز پایین و محصول نیتره شده فاز بالا را تشکیل دهد. با باز کردن شیر خروجی نیتراتور و با مشاهده آب نما، اسید فاضل به مخزن مربوط به آن هدایت می شود. و در ادامه محصول به مخزن شستشو که قبلاً تا یک سوم از آب سرد پر شده هدایت شده و به مدت ۱۵ دقیقه محصول به همراه آب سرد توسط همزن هوا به هم می خورد، پس از توقف همزن، آب اضافی به مخزن لایبرنت هدایت می شود. بطور کلی عملیات شستشو در پنج مرتبه مطابق روش مذکور

۲- نیترو دی فنیل آمین (۲-NDPA) یکی از پیش ماده های مورد مصرف در سوخت اتو-۲ است این ترکیب آمینی در نقش یک پایدار کننده عمل کرده و اکسیدهای ازت آزاد شده از پروپیلن گلیکول دی نیترات را جهت جلوگیری از تشکیل اسید در مخلوط جذب و خنثی می کند. مشخصات کیفی این ماده جهت استفاده در سوخت مذکور مطابق با استاندارد MIL-N-۳۳۹۹B می باشد [۱۱].

۲-۲- تعیین محدوده ی پیک کروماتوگرافی گازی اجزاء تشکیل دهنده پیشران مایع شاهد

در این کار ابتدا برای اینکه اطمینان پیدا شود که پیشران مایع سوخت اتو-۲ از سه ماده پروپیلن گلیکول دی نیترات، دی نرمال بوتیل سبکات و ۲- نیترو دی فنیل آمین (جدول ۲) تشکیل شده است، این سه ماده تهیه شد (۲- نیترو دی فنیل آمین و دی بوتیل سبکات از شرکت مرک خریداری شد و پروپیلن گلیکول دی نیترات به دلیل حساسیت انفجار بالای آن به ضربه به مقدار مورد نیاز در آزمایشگاه طبق روش مرجع [۱۰] سنتز گردید). سپس محدوده ی پیک گاز کروماتوگرافی آنها در حلال استون به طور مجزا با استفاده از دستگاه GC با مشخصه ستون پک ۱۰۱-OV با ۱۰٪ سیلیکون و دتکتور TCD و گاز حامل هلیوم در گستره دمایی ۵۰-۱۸۰ °C با روش دما ۱۰ deg/min بدست آمد.

در مرحله بعد آنالیز کروماتوگرام نمونه شاهد (سوخت اتو-۲) تهیه شد و در ادامه جهت تعیین درصد ۲- نیترو دی فنیل آمین نمونه شاهد از دستگاه UV دوپرتویی ۳۵ uv/vis PerkinElmer استفاده گردید. برای اندازه گیری میزان کالری پیشران سوخت اتو-۲ از دستگاه کالریمتر MC-GR۳۵۰ استفاده شد و با توجه به اینکه کالری سوخت مذکور کمتر از ۶۰۰ بود و کاملاً در کالریمتر احتراق صورت نمی گرفت لذا از باروت شاهد استاندارد جهت احتراق کامل به مقدار ۳ گرم به همراه نمونه شاخص استفاده شد. همچنین طیف IR پیشران سوخت اتو-۲ با استفاده از دستگاه shimatzu مدل FTIR-۸۴۰۰S تهیه شد.

مواد اولیه مورد نیاز در تولید پروپیلن گلیکول دی نیترات شامل اسیدمخلوط (سولفوریک/نیتریک)، پروپیلن گلیکول و کربنات سدیم می باشد. مشخصات کیفی پروپیلن گلیکول جهت استفاده در فرایند

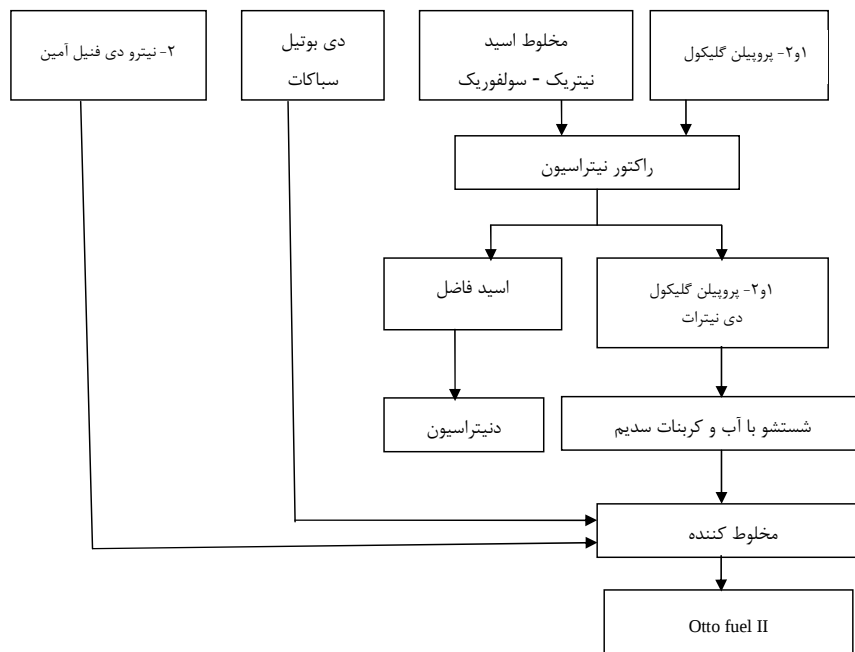
۴- بحث و نتیجه گیری

همانطور که ذکر شد از نکات بارز این سوخت، کاربری آن در دمای $^{\circ}\text{C} 32-$ است که بعد از بررسی گلیکول نیترات‌های در دسترس و نیتروگلیسرین، مشخص شد امکان جایگزین برای PGDN وجود ندارد، که علت این قضیه هم بخاطر موارد ایمنی ترکیبات فوق می‌باشد که در دماهای منفی نمی‌توان از این مواد استفاده کرد چرا که قبل از اینکه دما به $^{\circ}\text{C} 32-$ برسد یخ زده و ایمنی آنها به شدت کاهش می‌یابد. در ضمن نتایج حاصل از آزمایش‌های متعدد نشان داد که NG و برخی گلیکول دی نیترات‌های در دسترس مانند اتیلن، دی اتیلن و تری اتیلن گلیکول دی نیترات‌ها در دمای کمتر از صفر درجه قابلیت امتزاج پذیری خود را با دی بوتیل سبکات از دست داده و دو فاز می‌شوند.

انجام می‌شود که شامل دو مرحله با آب گرم $^{\circ}\text{C} 55$ یک مرحله با آب سرد $^{\circ}\text{C} 10$ و دو مرحله با محلول $4/5$ درصد کربنات سدیم $^{\circ}\text{C} 55$ می‌باشد. بعد از انجام مراحل شستشو، آنالیز کیفی محصول که شامل تست پایداری است حتماً می‌بایست با استاندارد مطابقت داشته باشد، در غیر این صورت محصول طی مراحل بیشتری شستشو داده می‌شود تا به حد مورد قبول تست پایداری برسد. سپس محصول جهت کاهش رطوبت و شفاف شدن با استفاده از یک بستر حاوی کلرید سدیم که بعنوان فیلتر عمل می‌کند صاف می‌شود.

۳-۲- تولید پیشران سوخت اتو-۲

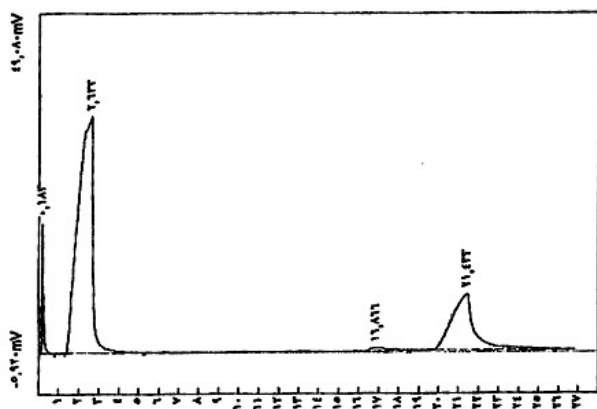
جهت تهیه پیشران سوخت اتو-۲ ابتدا DBS به آرامی به PGDN اضافه شده و با استفاده از جریان هوا ($0/1 \text{ bar}$) نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به هم زده می‌شود، سپس مقدار مورد نیاز از ۲-NDPA به آن اضافه شده مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه دیگر با جریان هوا به هم می‌خورد. بعد از یک هفته نمونه بدست آمده با استفاده از یک فیلتر پارچه ای صاف شد.



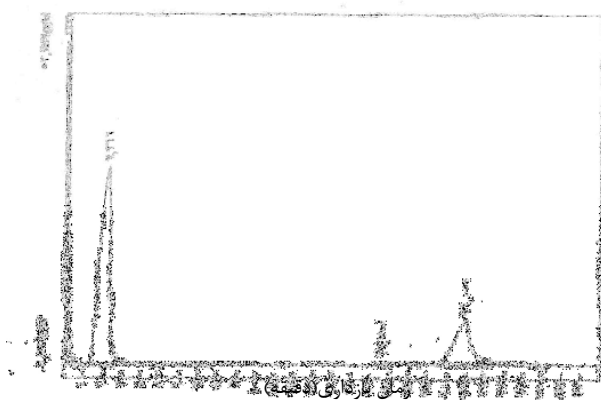
شکل ۱- فلودیاگرام تولید سوخت مایع سوخت اتو-۲.

همانگونه که در جدول (۲) نشان داده شد، پیشران سوخت اتو-۲ از سه پیش ماده پروپیلن گلیکول دی نیترات، دی بوتیل سبکات

۴-۱- کروماتوگرافی گازی



شکل ۲- کروماتوگرام GC نمونه سوخت اتو-۲ (شاهد).



شکل ۳- کروماتوگرام GC نمونه سوخت اتو-۲ (تولیدی).

۲-۴- اندازه گیری ۲- نیترو دی فنیل آمین

طبق مستندات موجود جهت اندازه گیری ۲- نیترو دی فنیل آمین در سوخت سوخت اتو-۲، از آنالیز UV استفاده شد. ماکزیم جذب ۲-NDPA در طول موج ۴۲۲ نانومتر صورت می گیرد [۹].

جهت تعیین میزان ۲-NDPA از روش افزایش استاندارد بهره گرفته شده است. طبق این روش در ابتدا جذب UV محلول رقیق شده نمونه سوخت اتو-۲ شاهد در حلال اتانول در طول موج ۴۲۲ نانومتر اندازه گیری شده در ادامه مقدار مشخصی از محلول استاندارد ۲-NDPA (۰/۰۲ g/l) به محلول فوق اضافه کرده جذب آن اندازه گیری می شود و طبق روابط زیر غلظت ۲-NDPA در نمونه سوخت اتو-۲ شاهد و تولیدی محاسبه می شود.

$$A_1 = K * X$$

$$A_2 = K * (X + C)$$

$$X = \frac{A_1 * C}{A_2 - A_1}$$

و ۲- نیترو دی فنیل آمین تشکیل شده که دی بوتیل سباتکات و ۲- نیترو دی فنیل آمین به صورت تجاری در دسترس بوده و پروپیلن گلیکول دی نیترات بدلیل حساسیت به ضربه بعد از تولید بلافاصله می بایست مورد استفاده قرار گیرد لذا همان گونه که در بخش ۲-۲ بیان شد محدوده پیک GC ترکیبات DBS و ۲-NDPA و PGDN (بعد از تهیه در آزمایشگاه) به صورت مجزا مشخص شد، سپس کروماتوگرام پیشران سوخت اتو-۲ شاهد تهیه (نتایج در جدول (۴) و شکل (۲) نشان داده شده است) و این کروماتوگرام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

با توجه به مشخص شدن محدوده پیک اجزاء تشکیل دهنده سوخت سوخت اتو-۲ و مقایسه با پیک نمونه شاهد (شکل ۲)، پیک ناحیه ۲/۶۳۳ مربوط به PGDN و پیک ناحیه ۱۶/۸۶۶ مربوط به ۲-NDPA و پیک ناحیه ۲۱/۴۳۳ مربوط به DBS می باشد.

لازم به ذکر است که پیک ناحیه ۱۸۳/۰ مربوط به حلال استن است که به عنوان رقیق کننده مورد استفاده قرار گرفت است. در ادامه کروماتوگرام GC نمونه سوخت سوخت اتو-۲ تولیدی تهیه و پیکهای نمونه شاهد و نمونه تولیدی با هم مقایسه شد همانگونه که در شکل (۳) نشان داده شده نتایج بیانگر مطابقت دو نمونه می باشد.

جدول ۴- محدوده پیک حاصل از آنالیز گاز کروماتوگرافی اجزای سوخت اتو-۲.

محدوده پیک	ماده
۲/۶-۲/۶۵	پروپیلن گلیکول دی نیترات
۱۶/۸-۲۱/۸۹	دی بوتیل سباتکات
۲۱/۲-۲۱/۶	۲- نیترو دی فنیل آمین
۵۰۰-۶۰۰	کالری cal/g

X : گرم بر لیتر نمونه سوخت اتو-۲ پس از ۱۰۰ مرتبه رقیق نمودن با اتانول ۹۶ درجه در محلول قابل اندازه گیری با حاصل ضرب مقدار X در عدد ۱۰۰، گرم بر لیتر نمونه سوخت اتو-۲ در محلول اصلی محاسبه می شود. نتایج آزمایش های انجام شده و محاسبات در جدول (۵) بیان شده است.

A۱ : جذب محلول نمونه سوخت اتو-۲
A۲ : جذب محلول نمونه سوخت اتو-۲ پس از افزایش محلول استاندارد ۲-NDPA
C : غلظت گرم بر لیتر ۲-NDPA اضافه شده به نمونه سوخت اتو-۲
K : ضریب ثابت جذب

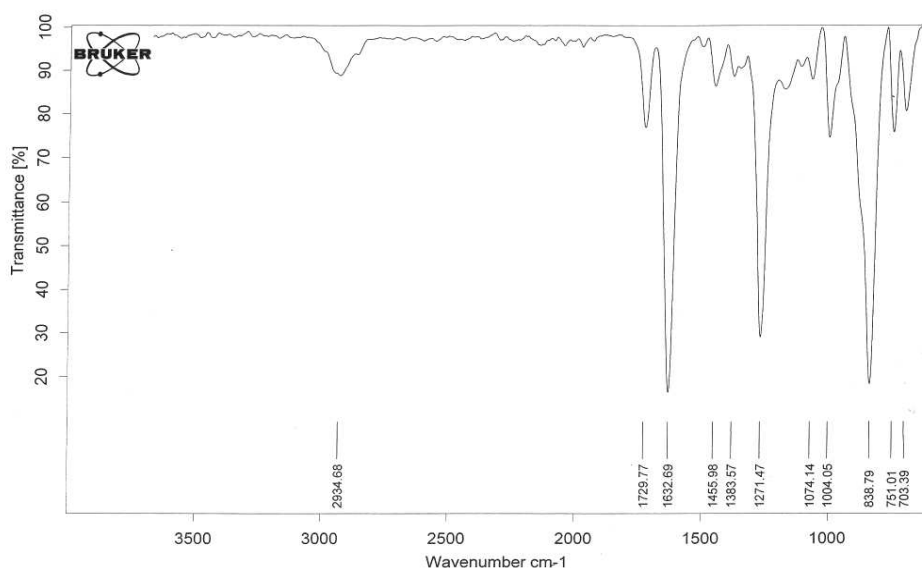
جدول ۵- نتایج اندازه گیری جذب UV نمونه سوخت

عنوان آزمایش	نمونه سوخت اتو-۲ شاهد	نمونه سوخت اتو-۲ تولیدی
A۱	۰/۱۶۶	۰/۱۶۷
A۲	۰/۱۸۷	۰/۱۸۸
C (g/l)	۰/۰۲	۰/۰۲
X (g/l)	۰/۱۵۸	۰/۱۵۹
غلظت ۲-NDPA در نمونه (g/l)	۱۵/۷۵	۱۵/۹
۲-NDPA %	۱/۵۷۵	۱/۵۹

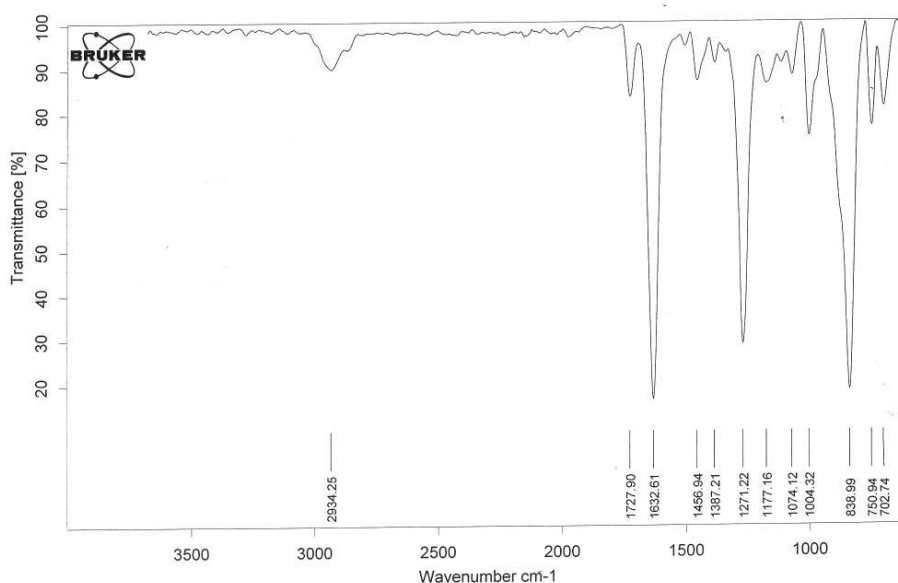
همانگونه که در این طیف ها مشخص است ناحیه اثر انگشتی طیف های IR تهیه شده کاملاً شبیه به هم می باشند که بیانگر مطابقت کامل نمونه تولیدی با نمونه شاهد است.
در این خصوص، پیک ناحیه ۳۰۰۰ مربوط به گروه آمین ۲-NDPA و پیک نواحی ۱۷۵۰ تا ۱۷۰۰ مربوط به گروه های آروماتیک و استری می باشد.

۴-۳- طیف های IR نمونه های شاهد و تولیدی

با توجه به اینکه پیشران مذکور حاوی سه ترکیب با گروه های عاملی آمینی، آروماتیک و استری است تهیه طیف های IR نمونه های شاهد و تولیدی می تواند گواه خوبی بر مطابقت داشتن و یا نداشتن دو نمونه باشد لذا طیف های IR نمونه های شاهد و تولیدی با استفاده از دستگاه IR تهیه گردید. شکل های (۴) و (۵).



شکل ۴- طیف IR نمونه سوخت اتو-۲ (شاهد).



شکل ۵ - طیف IR نمونه سوخت اتو-۲ (تولیدی).

$$f = 0.3881$$

W: وزن نمونه

V: حجم تیترا ن مصرفی

حال با معلوم بودن مقدار f ، 0.2 گرم نمونه سوخت سوخت اتو-۲ را در حضور اسید سولفوریک غلیظ با سولفات آهن II یک مولار تیترا کرده حجم تیترا ن مصرفی را یادداشت کرده با استفاده از رابطه فوق درصد ازت نمونه سوخت سوخت اتو-۲ محاسبه می شود.

$$0.3881 \frac{0.2 * N}{6 / 58} = N = 12.77$$

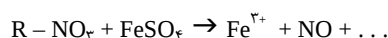
طبق روش مذکور، نتایج حاصل از اندازه گیری ازت در نمونه های شاهد و تولیدی در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶- نتایج اندازه گیری جذب UV نمونه سوخت اتو-۲ شاهد و تولیدی.

عنوان آزمایش	واحد اندازه گیری	نمونه سوخت اتو-۲ شاهد	نمونه سوخت اتو-۲ تولیدی
حجم تیترا ن مصرفی (سولفات آهن یک مولار)	(ml)	۶/۵۸	۶/۵۹

۴-۴- اندازه گیری درصد ازت

برای تعیین درصد نیتراسیون و میزان پروپیلن گلیکول دی نیترا ت سوخت سوخت اتو-۲ از روش پتانسیومتری استفاده شده است. این روش نسبت به روش کج لدا ل دارای دقت و سرعت بیشتری می باشد. در روش کج لدا ل حدود ۱۰ ساعت زمان لازم است در حالیکه در این روش زمان تا ۲ ساعت تقلیل می یابد. روش کار به این صورت است که نمونه را در اسید سولفوریک غلیظ حل کرده با استفاده از محلول سولفات آهن (II) که در اسید سولفوریک ۶۰ درصد حل شده در حضور الکترو د شناساگر پلاتین و الکترو د کالومل (Ag/AgCl) به عنوان الکترو د مرجع تیترا می نمایند [۷].



در ابتدا فاکتور f که شامل تعداد میلی گرم های محلول مورد استفاده (سولفات آهن II یک مولار) که معادل میزان ازت ماده مورد نظر (نیترا ت پتاسیم یا نمونه) می باشد با تیتراسیون مقدار مشخصی از نیترا ت پتاسیم استاندارد با سولفات آهن (II) تعیین می شود. با توجه به اینکه درصد ازت نیترا ت پتاسیم استاندارد معادل 13.855% می باشد لذا فاکتور محلول به صورت زیر محاسبه می شود.

$$f = \frac{W * 13.855}{V}$$

ازت	%	۱۲/۷۷	۱۲/۷۹
-----	---	-------	-------

تشابه طیف IR و آنالیز شیمیایی این سوخت با سوخت شاهد (سوخت اتو-۲) نشان داد که این سوخت با سوخت شاهد مطابقت دارد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله سوخت (سوخت اتو-۲) مورد استفاده در اژدرهای زیر سطحی سنتز شده و آنالیز کنترل کیفی آن مورد بررسی قرار گرفت.

منابع

- [۱]. Edward, E.; Baroody, Bryans, Rd. "Liquid Monopropellants.", US Patent ۵۲۵۶۲۲۰, ۱۹۹۳.
- [۲]. Military dod ۱۰۱ mk۴۶ sestems, <http://www.fas.org/man/dod-۱۰۱/sys/missile/vla.htm>.
- [۳]. Monopropellant Otto fuel II. Ordnance, http://www.ordnance.org/otto_fuel_ii.htm.
- [۴]. Otto fuel II monopropellant torpedo, http://www.absoluteastronomy.com/topics/Mark_۴۶_torpedo.
- [۵]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry June, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro-files/tp۷۷.pdf>, ۱۹۹۵.
- [۶]. Otto Reitingen. "Liquid monopropellants"; US Patent ۴۰۲۶۷۳۹, ۱۹۷۷.
- [۷]. Otto fuel II, Mil-O- ۸۲۶۷۲ A (OS), ۱۹۸۶, [http://www.everyspec.com/MIL-SPECS/MIL+SPECS +\(MIL-O\)/MIL-O-۸۲۶۷۲A_۱۳۰۷۸/](http://www.everyspec.com/MIL-SPECS/MIL+SPECS +(MIL-O)/MIL-O-۸۲۶۷۲A_۱۳۰۷۸/).
- [۸]. Otto fuel II and components, <http://www.fas.org/man/dod-۱۰۱/sys/land/docs/ordtech.pdf>.
- [۹]. Propylenglycol Dinitrate.;Mil-DOD-P-۸۲۶۷۱(OS), ۱۹۸۰, <http://aero-defense.ihs.com/document /abstract/QUJPDAAA>.
- [۱۰]. DibutylSebacate.; Mil – DOD – B – ۸۲۶۶۹ (OS), ۱۹۷۹, <http://store.mil - standards.com / index.asp ? Page Action = VIEWCATS & Category = ۲۹۲&SetPageSize=۵۰>.
- [۱۱]. ۲-Nitrodiphenylamine (۲-NDPA) Flake Form Only MIL-N-۳۳۹۹B, <http://www.dgmarket.Comb /tenders /np-notice.do~۴۴۴۱۵۰۶>.
- [۱۲]. ۱,۲-Propanediol, Military standard.;DOD-P-۸۲۶۷۰(OS), (۱۹۸۰), <http://aero-defense.ihs. Com/document /abstract/PUJPDA>.
- [۱۳]. Tdausz,Urbanski."Chemistry and Technology of Explosives.";Departemet of- Technology Politechnika Warszawa; Frankfurt; Vol. ۲, pp ۸۸-۱۲۴, ۱۹۶۵.