

بررسی تاثیرات نانو بر خواص احتراقی پیشراندهای جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی (CMDB)

معصومه ندیمی*، سید هوشنگ خاندانی، علی اسدی

سازمان صنایع دفاع

! mndsmnds40@yahoo.com

چکیده

در این مقاله کاربرد نانو در پیشراندها و تاثیر آن بر رفتارهای احتراقی و مکانیکی و ارتقا کارایی پیشراندهای جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی مورد بررسی قرار می گیرد. بر این اساس، در بعضی از فرمولاسیونها، استفاده از یک نانو ذره خاص می تواند باعث افزایش سرعت سوزش، کاهش نمای فشار، بهبود خواص مکانیکی و در نهایت ارتقا کارایی پیشراندهای دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی شود. همچنین در بعضی از موارد، دیده شده است که استفاده از یک نانو ذره خاص، باعث کاهش حساسیت حرارتی می شود ولی در مقابل بر روی خواص مکانیکی اثر منفی داشته است. با این حال بیشتر داده های گزارش شده ثابت می کنند که کاربرد نانو ذرات در پیشراندهای جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی باعث کاهش حساسیت حرارتی، افزایش سرعت سوزش، کاهش نمای فشار، بهبود خواص مکانیکی و در نهایت ارتقا کارایی پیشراندهای دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی می شوند. این مقاله تاثیر انواع نانو ذره بر روی پیشراندهای جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

واژه های کلیدی: پیشراندهای دو پایه - دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی، نانو، خواص احتراقی

۱- مقدمه

پیشراندهای جامد دو پایه از دو جزء سوختی نیتروسولوز و نیتروگلیسرین ساخته شده اند که در بعضی از موارد با افزودن کاتالیزورهای مختلف با اندازه های متفاوت سعی در تغییر خواص این نوع از پیشراندها دارند. شرکت های مختلف، تلاش های زیادی برای بهبود عملکرد و کیفیت دو نسل اصلی از پیشراندها یعنی پیشراندهای دو پایه و کامپوزیتی نموده اند. در نهایت این تلاش ها به ساخت پیشراندهای دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی منجر شده است. پیشراندهای دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی با افزودن ترکیبات پر انرژی به ساختار پیشراندهای دو پایه ساخته می شوند. این نوع پیشراندها به سه دسته کلی تقسیم می شوند که حاوی پرکلرات آمونیوم (AP) و آلومینیوم با ترکیبات نیترا آمینی همچون HMX یا RDX (پیشرانده بدون دود) و یا حاوی ترکیبات AP، AL، HMX یا RDX (پیشرانده پر انرژی) هستند. سوخت های جامد دو پایه نیترا آمینی، سوخت های پر انرژی پیشرفته ای هستند که سبب تولید ایمپالس ویژه بالا می شوند. افزودن پودرهای فلزی به پیشراندها باعث بهبود در عملکرد پیشراندها در هنگام سوختن و احتراق می شوند. مواد فلزی فعال مرسوم می که استفاده می شوند عبارتند از: آلومینیم، بور، منیزیم، زیکرونیم [۵]. تجربه نشان داده است که استفاده از فلزات در پیشراندهای موشک، مشکلاتی را به همراه داشته است. یکی از پیشنهاداتی که برای رفع این مشکلات داده شده است، استفاده از همین پودرها ولی در اندازه های نانو می باشد. با توجه به اینکه کارهای زیادی در دهه اخیر بر روی این مسئله انجام شده، می توان گفت که استفاده از نانو پودرها به جای پودرهای میکرو باعث افزایش مشخصات احتراقی پیشراندها و همچنین باعث کاهش وابستگی سرعت سوزش به فشار، کاهش در تاخیر

زمان احتراق و کاهش پدیده انباشتگی می‌شود [۶]. در این مقاله تلاش شده است اطلاعات کاملی در رابطه با تاثیر نانو بر روی خواص احتراقی پیشرانه‌های جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی آورده شود.

۲- تاثیر نانو بر خواص احتراقی پیشرانه‌های دو پایه و دوپایه اصلاح شده کامپوزیتی

کارهای بسیاری در کشورهای مختلف برای بررسی مکانیزم‌های احتراق پیشرانه‌های جامد اختصاص داده شده‌است. اکثر این تحقیقات در جهت بررسی تاثیر پارامترهایی مختلف مانند تغییر در اندازه ذرات، تغییر در درصد مواد تشکیل دهنده و استفاده از کاتالیزورها و اضافه کننده‌های متفاوت بر روی روند و چگونگی تغییر خواص پیشرانه از جمله خواص حرارتی، سنتیکی، ترمودینامیکی و غیره می‌باشند. در اینجا به بررسی تاثیر اندازه ذرات و یا به عبارتی دیگر تاثیر نانو ذرات بر رفتار احتراقی پیشرانه‌های دو پایه و دو پایه اصلاح شده پرداخته خواهد شد.

بعضی از شرکت‌ها برای ساخت پیشرانه‌ی دو پایه از اضافه‌کننده‌های مرسوم دی نیترو دی متیل آمین استفاده می‌کنند. هدف از استفاده از این اضافه‌کننده‌ها، پایدار کردن پیشرانه دو پایه از جنبه حرارتی می‌باشد. ولی اگر همین پیشرانه دو پایه، از نانو ذره کلینوپتیلولایت^۱ به عنوان پایدار کننده، ساخته شود، تاثیرات پایداری حرارتی بهتری را از خود به نمایش می‌گذارد [۸]. ناگفته نماند، با بررسی‌های انجام شده، مشخص شده‌است که برای رسیدن به پایداری بهتر باید از درصد بهینه‌ی نانو کلینوپتیلولایت استفاده کرد. با توجه به جدول ۱، درصد بهینه و مناسب ۴ درصد می‌باشد. توجه شود که نمونه‌های S₁، S₂ و S₃ به ترتیب پیشرانه‌های دو پایه حاوی ۴، ۳/۵ و ۳ درصد از نانو کلینوپتیلولایت می‌باشند که دارای تاثیرات پایداری بهتری نسبت به پایدار کننده مرسوم دی نیترو دی متیل آمین می‌باشند. ولی در مقابل نمونه‌های S₄ و S₅ به ترتیب حاوی ۲/۵ و ۲ درصد نانو کلینوپتیلولایت می‌باشند که دارای تاثیرات پایداری کمتری نسبت به پایدارکننده مرسوم دی نیترو دی متیل آمین هستند.

جدول ۱: پارامترهای اکتیواسیون محاسبه شده برای پیشرانه‌های دو پایه حاوی پایدار کننده با استفاده از معادله Coats-Redfern [۸]

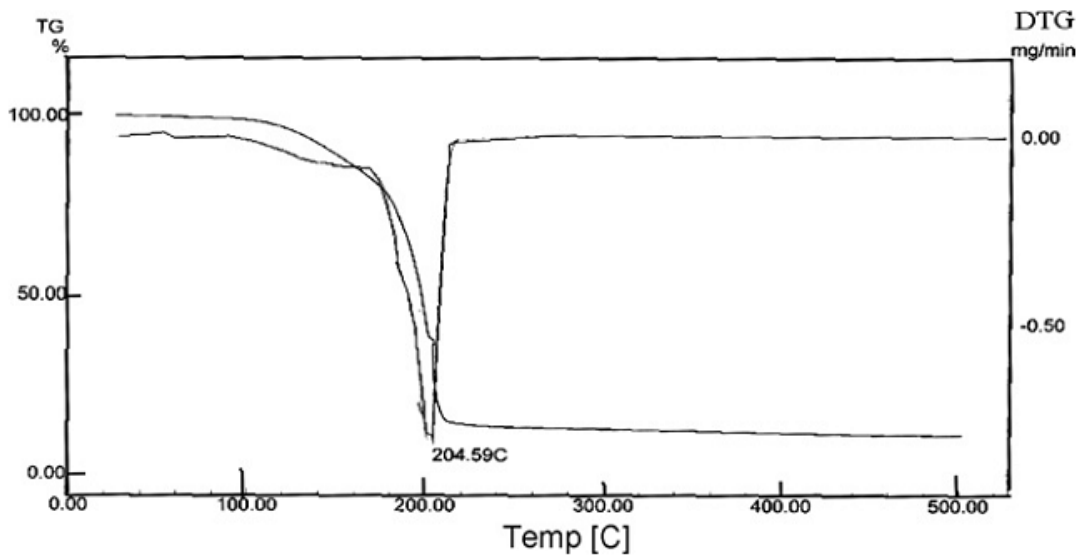
Sample no.	Calculations temperature range (K)	T _g (K)	Coats-Redfern				
			E' (kJ mol ⁻¹)	ΔH' (kJ mol ⁻¹)	ΔG' (kJ mol ⁻¹)	ΔS' (JK ⁻¹ mol ⁻¹)	A (S ⁻¹)
S ₁	426-532	477.59	112.26	108.287	120.715	-26.023	4.35 × 10 ¹¹
S ₂	426-528	465.03	102.402	98.533	121.368	-49.104	2.64 × 10 ¹⁰
S ₃	429-521	464.51	113.357	109.492	121.074	-24.934	4.83 × 10 ¹¹
S ₄	426-527	466.59	95.494	91.612	121.089	-63.175	4.88 × 10 ⁹
S ₅	427-524	467.59	101.468	97.577	121.231	-50.586	2.22 × 10 ¹⁰
C ₁	420-525	464.27	85.607	81.744	120.458	-83.387	4.27 × 10 ⁸

نتایج آنالیز TG تحت شرایط غیر همدم (شکل ۱ تا ۳) نشان می‌دهند که به طور کلی، پیک‌های دمایی DTG پیشرانه‌های حاوی نانو کلینوپتیلولایت (S₁ در ۴۷۷/۵۹ K، S₂ در ۴۶۵/۰۳ K، S₃ در ۴۶۴/۵۱ K، S₄ در ۴۶۶/۵۹ K و S₅ در ۴۶۷/۵۹ K) نسبت به نمونه حاوی پایدارکننده کلاسیک (C₁ در ۴۶۲/۲۴ K)، داده شده در جدول ۲ بیشتر هستند. همچنین تفاوت زمانی بین شروع تجزیه و واکنش، مربوط به نمونه‌های حاوی نانو کلینوپتیلولایت (S₁=۲/۷، S₂=۳/۷، S₃=۲/۹، S₄=۳/۵ و S₅=۲/۷ دقیقه) نسبت به نمونه‌ی حاوی پایدارکننده کلاسیک (C₁ در ۲/۳۵ دقیقه) بیشتر است.

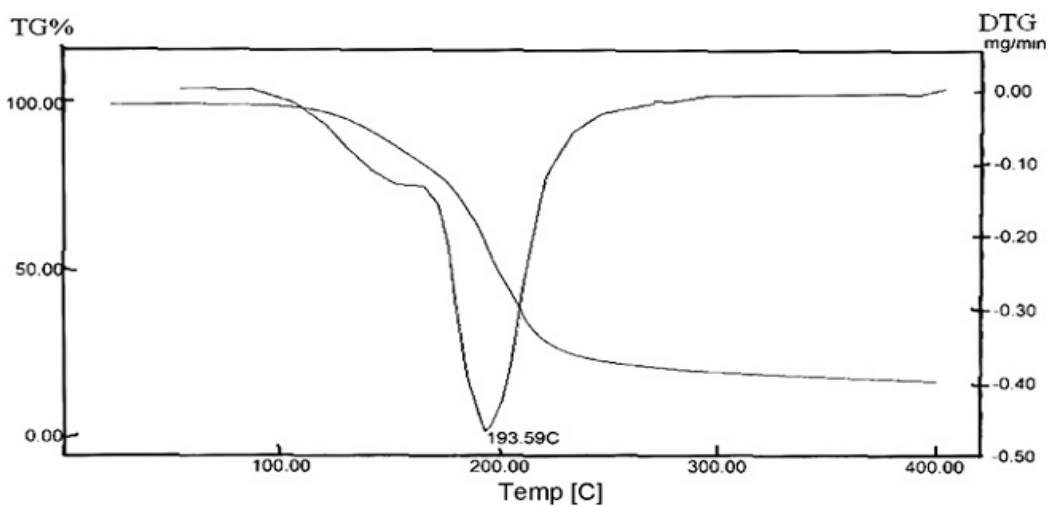
1 !! clinoptilolite

جدول ۲: دمای تجزیه نمونه‌های پیش‌راشه حاوی پایدارکننده‌های مختلف از منحنی‌های TGA و DTG [۸]

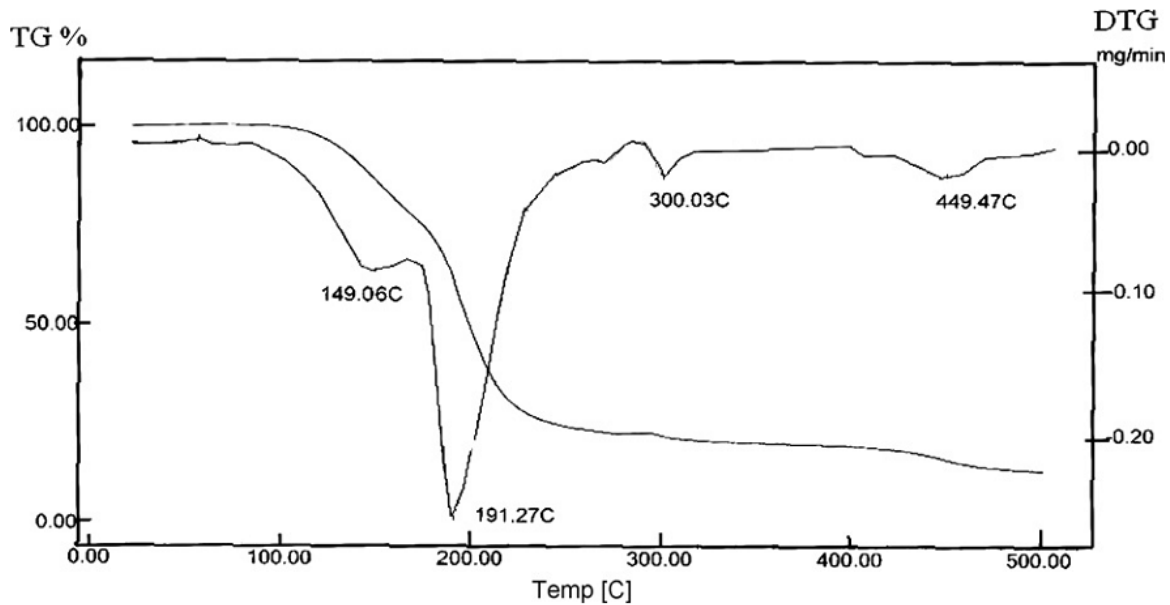
Sample no.	Temperature of starting decomposition (K)	DTG peak temperature (K)	Rate of maximum weight loss (mg/min)	Time difference between starting decomposition and DTG peak temperature (min)
S ₁	445.58	477.59	0.81	2.7
S ₂	426.24	465.03	0.38	3.7
S ₃	432.46	364.51	0.57	2.9
S ₄	428.93	466.59	0.46	3.5
S ₅	438.62	467.59	0.25	2.7
C ₁	438.71	464.27	0.26	2.35



شکل ۱: منحنی‌های آنالیزهای ترموگرام TGA از نمونه S₁ [۸]



شکل ۲: منحنی‌های آنالیزهای ترموگرام TGA از نمونه S₄ [۸]



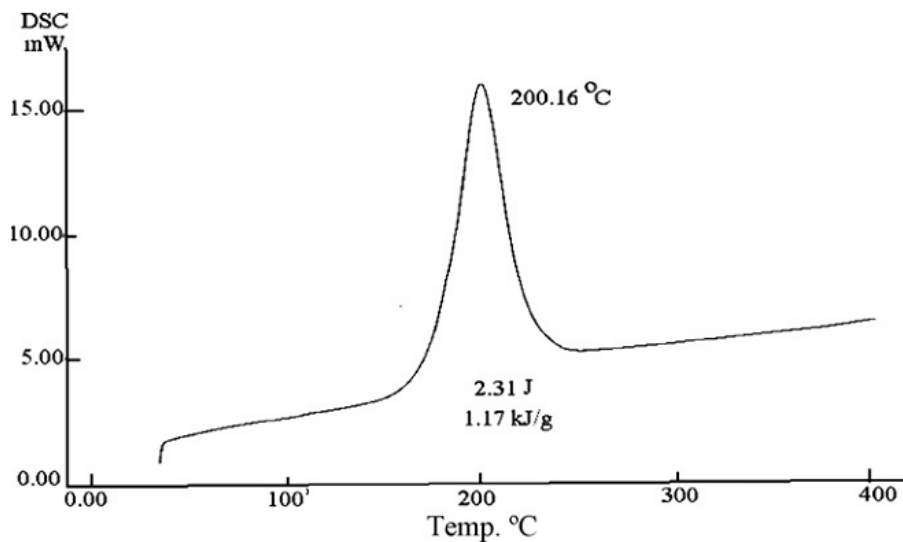
شکل ۳: منحنی های آنالیزهای ترموگرام TGA از نمونه C₁ [۸]

نتایج DSC از پیشرانه‌های مختلف به همراه بازه تجزیه در جدول ۳ و مثال‌های از این داده‌ها در شکل ۴ و ۵ آورده شده‌است. با توجه به این اطلاعات، مشخص است که دمای تجزیه اولیه ($T_i=521.49-532.2$ K)، دمای تجزیه ماکزیمم ($T_m=471.37-473.79$ K) و دمای تجزیه نهایی ($T_f=521.49-532.2$ K) برای نمونه‌های حاوی نانو کلینوپتیلولایت ۱ تا ۵ دارای مقادیر بیشتری نسبت به نمونه کلاسیک ($T_i=420.18$ K, $T_i=470.99$ K و $T_i=522.5$ K) می‌باشند. همچنین این بدان معناست که نمونه‌های نانوسایز با درصد‌های مختلف نسبت به نمونه‌های کلاسیک پایدارترند [۸].

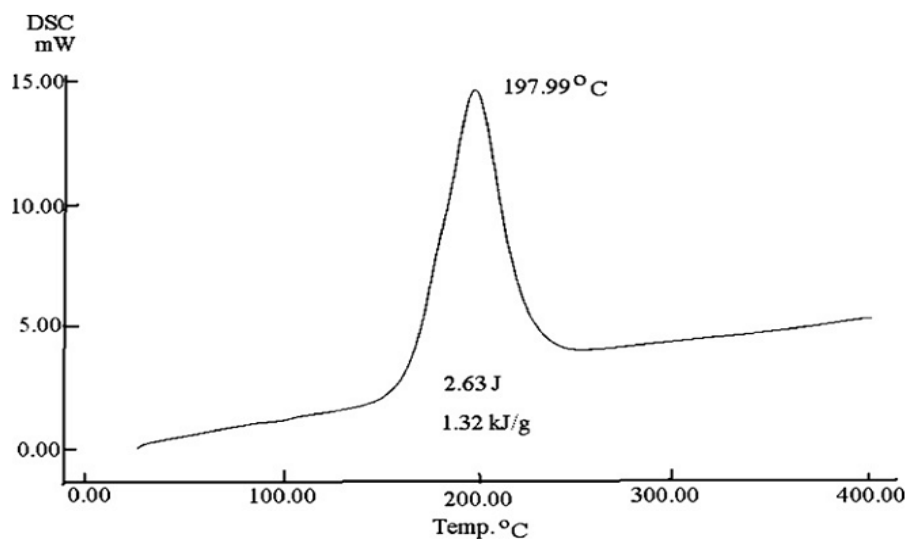
جدول ۳: نتایج DSC نمونه‌های پیشرانه حاوی پایدارکننده‌های مختلف [۸]

Sample no.	T_i (K)	T_m (K)	T_f (K)
S ₁	426.34	473.16	532.20
S ₂	426.29	471.62	528.48
S ₃	429.20	471.37	521.49
S ₄	426.80	473.79	527.49
S ₅	427.63	473.12	524.62
C ₁	420.18	470.99	525.50

T_i = the initial decomposition temperature, T_m = the maximum decomposition temperature, and T_f = final decomposition temperature.

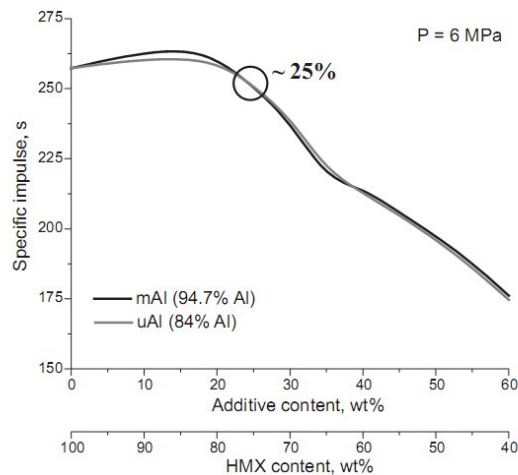


شکل ۴: DSC نمونه‌ی S₁ [۸]



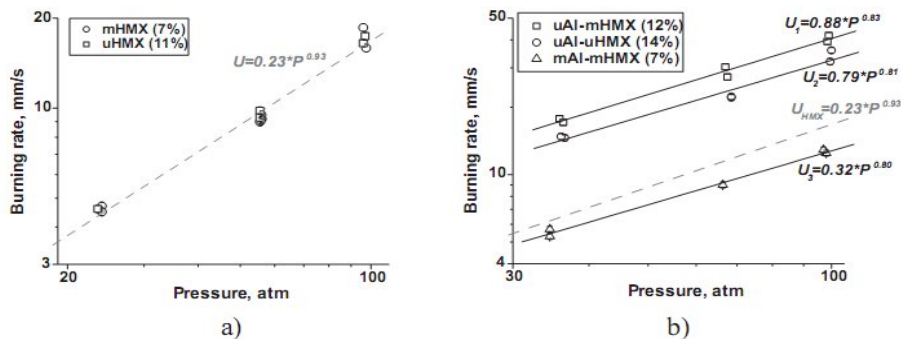
شکل ۵: DSC نمونه‌ی C₁ [۸]

یکی از اجزای اصلی در پیشراندهای دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی HMX می‌باشد. چنین سیستم‌هایی مزیت‌های زیادی مانند دانسیته بالا و ایمپالس ویژه بالا دارند ولی خواص احتراق آنها در بعضی از مواقع مناسب نیست. استفاده از HMX با اندازه‌های کوچک‌تر می‌تواند بر روی پارامترهای احتراق پیشرانه اثر گذارد [۹]. همچنین آلومینیم به عنوان یکی از اجزای اصلی در پیشراندها با ظرفیت کلی حدود ۲۰ درصد می‌باشد. پارامترهایی مانند ظرفیت و اندازه پودرهای آلومینیم می‌تواند مشخصات احتراقی پیشراندها را تحت تاثیر قرار دهد زیرا یکی از عامل‌های مهم در اتلاف ایمپالس ویژه، نقش شیمیایی سوزش آلومینیم می‌باشد. شکل ۶ میزان ایمپالس ویژه برای سیستم‌های AL-HMX را نشان می‌دهد [۱۰]. با توجه به این شکل به وضوح مشخص است که برای رسیدن به یک ایمپالس ویژه مناسب باید از درصد‌های مختلف از ترکیبات استفاده کرد و بهترین درصد را بدست آورد. به عنوان مثال اگر میزان HMX ۴۰ درصد و میزان افزودنی‌ها ۶۰ درصد باشد مقدار ایمپالس مناسبی بدست خواهد آمد.



شکل ۶: ایمپالس ویژه برای سیستم‌های AL-HMX [۱۰]

شکل ۷: الف، مقایسه سرعت سوزش در دو پیشرانه حاوی HMX میکرو و نانو را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل سرعت سوزش این دو پیشرانه یکسان است ولی با این حال میزان سرعت سوزش HMX کوچکتر، کمی بیشتر است که این احتمال بهبود سرعت سوزش پیشرانه با نانو سایز کردن HMX را افزایش می‌دهد. همچنین شکل ۷: ب، تفاوت سرعت سوزش سیستم‌های متفاوت HMX-AL با اندازه‌های متفاوت را نشان می‌دهد [۱۰]. در شکل ۷ نماد u نشان دهنده ی ذرات نانو (ذرات خیلی ریز) و نماد m نشان دهنده ی ذرات میکرو می‌باشد.



شکل ۷: الف) سرعت سوزش HMX خیلی ریز و میکرو مقیاس بر حسب فشار

ب) سرعت سوزش AL/HMX: (U1) uAL-mHMX، (U2) uAl-uHMX، (U3) mAl-mHMX و مونوپیشرانه (خط چین) [۱۰]

علاوه بر آلومینیم، می‌توان از نانو ذرات نیکل و مس در پیشرانه‌هایی که بر پایه HMX ساخته شده‌اند استفاده کرد. جدول ۴ تعدادی از نانو ذرات استفاده شده در پیشرانه‌های بر پایه HMX را نشان می‌دهد [۱۱]. جدول ۵ داده‌های تست DSC را بر روی سیستم‌های HMX و این ۳ نوع افزودنی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول علاوه بر اینکه نوع افزودنی بر روی خواص احتراقی پیشرانه اثر می‌گذارد، اندازه ذرات نیز در بهبود و تغییر شرایط احتراقی موثر هستند. همچنین از جدول ۵ می‌توان مشاهده کرد، تاثیر نانو ذره مس در پیشرانه‌های حاوی HMX نسبت به دیگر اضافه کننده‌ها بیشتر می‌باشد. به همین منظور منحنی DSC دو سیستم HMX+nano-cu و سیستم HMX خالص در شکل ۸ نشان داده شده است. طبق این شکل، با اضافه کردن نانو مس به HMX خالص پیک دمایی HMX خالص کاهش می‌یابد که این نشان از بهبود در تجزیه حرارتی سیستم HMX است [۱۱].

جدول ۴: قطر میانگین پودرهای فلزی [۱۱]

n-Al	n-Ni	n-Cu	g-Al	g-Ni	g-Cu
90nm	10nm	90nm	10 μ m	1.1 μ m	3 μ m

جدول ۵: نتایج DSC مربوط به HMX و مخلوط HMX با پودرهای فلزی (0.1 MPa; 10 °C/min) [۱۱]

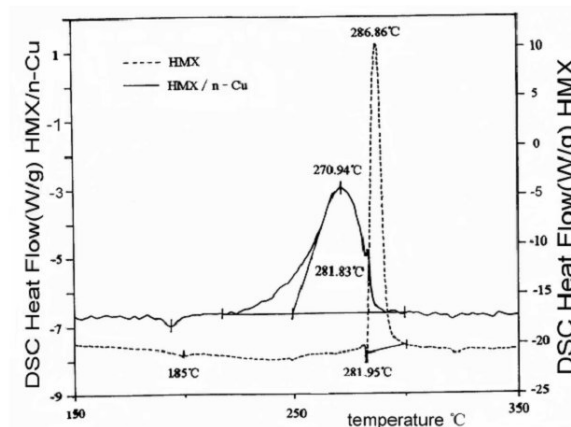
Sample	T _l (°C)	T _o (°C)	T _p (°C)	PHC(%)	DTH(°C)
HMX	281.95	282.48	286.86	1.52	0
HMX/n-Cu	281.83	249.06	270.94	80.7	15.92
HMX/n-Ni	281.09	263.69	283.68	38.5	3.18
HMX/n-Al	281.76	269.04	284.23	35	2.63
HMX/g-Cu	281.48	281.70	284.73	14.7	2.13
HMX/g-Ni	280.43	280.80	284.68	9.14	2.18
HMX/g-Al	281.40	282.14	286.17	2.83	0.69

T_l--liquefied temperature T_o--onset temperature of pyrolysis

T_p--peak temperature of pyrolysis

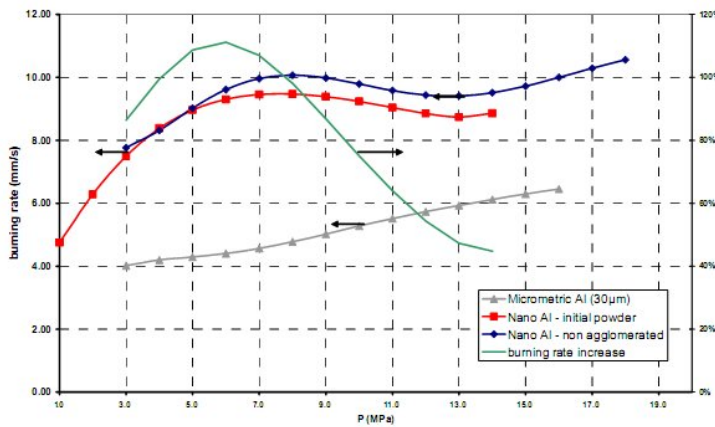
PHC--percent of heat releasing at condensed-phase decomposition

DTH--difference between T_p of pure HMX and mixtures of HMX and metal



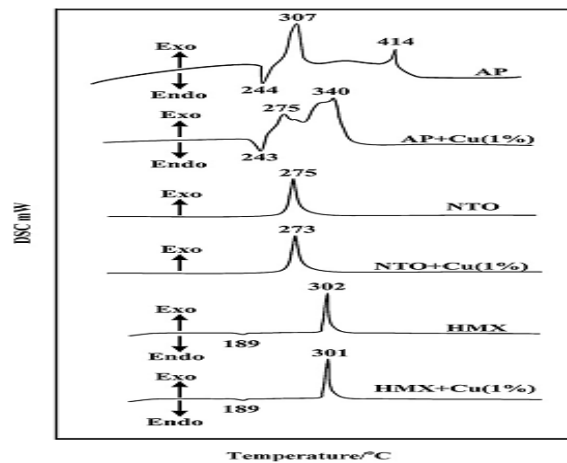
شکل ۸: منحنی DSC مربوط به HMX و HMX/n-Cu [۱۱]

یکی دیگر از مواد اصلی در ساخت پیشرانها، آلومینیوم پرکلرات است. کاهش اندازه ذرات AP به دلیل خاصیت انفجاری AP کاری خطرناک و غیر ممکن است. بنابراین برای تغییر و بهبود خواص احتراقی پیشرانها بر پایه AP از افزودنی استفاده می-کنند. یکی از نانو ذرات مفید جهت بهبود خواص تجزیه AP، نانو ذره نیکل می باشد. یکی دیگر از نانو ذرات استفاده شده در پیشرانهایی بر پایه AP، نانو آلومینیوم می باشد. شکل ۱۰ میزان سرعت سوزش پیشرانه بر پایه AP و پودر آلومینیوم را نشان می دهد. بر اساس این شکل میزان سرعت سوزش با نانو سایز کردن آلومینیوم افزایش خواهد یافت. این نشان می دهد که جایگذاری نانو آلومینیوم بجای میکرو آلومینیوم منجر به تغییر خواص بالیستیکی پیشرانهای بر پایه AP خواهد شد و باعث افزایش سرعت سوزش پیشرانهای مورد نظر می شود [۱۳].

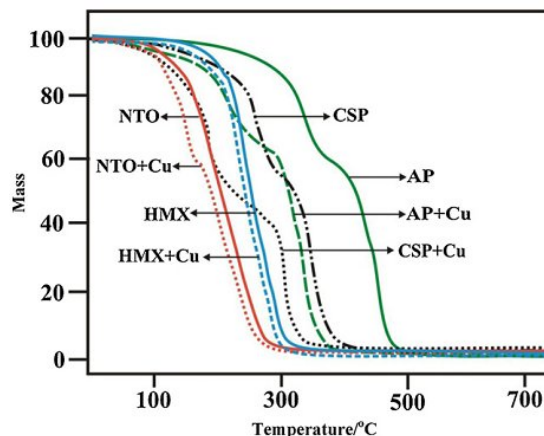


شکل ۱۰: سرعت سوزش آلومینیوم در اندازه های متفاوت، اندازه گیری شده بوسیله ی روش UltraSound [۱۱]

منحنی DSC مربوط به کاربرد نانو ذره Cu در پیشرانه های AP، NTO، HMX در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همچنین شکل ۱۳ نتایج مربوط به تست TGA بر روی سیستم های ذکر شده را نشان می دهد. این نتایج نشان می دهند که حساسیت حرارتی با نانو Cu افزایش می یابد. ولی در مقابل HMX و NTO هیچگونه حساسیت حرارتی را در حضور نانو ذره Cu را نشان نمی دهند. همچنین این دو تست نشان می دهند که نانو ذره Cu انرژی اکتیواسیون AP و HMX را کاهش می دهد [۱۴].

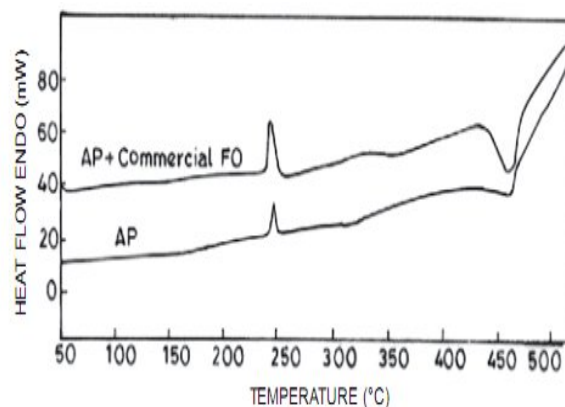


شکل ۱۲: منحنی DSC تحت فضای نیتروژنی مربوط به AP، NTO، HMX و همراه و بدون نانو Cu [۱۴]



شکل ۱۳: منحنی های TGA غیر همدمما مربوط به AP، NTO، HMX و CSPs به همراه و بدون نانو Cu در شرایط هوا ساکن [۱۴]

تجزیه AP اغلب وابسته به درجه خلوص است. منحنی های تجربی DSC مربوط به AP خالص و برای مخلوط آن با Fe_2O_3 تجاری در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، افزودن Fe_2O_3 تجاری به AP می تواند شار حرارتی را افزایش دهد. بررسی های اخیر نشان می دهند که نانو ذرات اکسیدهای فلزی، بدون هیچگونه انباشتگی (تجمع ذرات) می تواند سرعت سوزش را افزایش دهد [۱۵] و بازدهی فعالیت کاتالیستی با نانو سایز کردن ذرات میکرو به شدت افزایش می یابد.

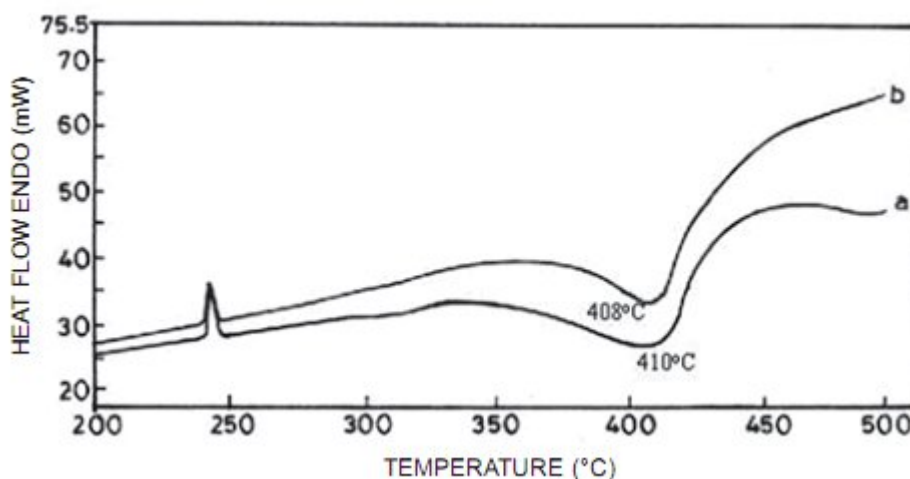


شکل ۱۴: منحنی DSC مربوط به AP خالص و مخلوط AP با Fe_2O_3 (۲ درصد وزنی) تجاری [۱۵]

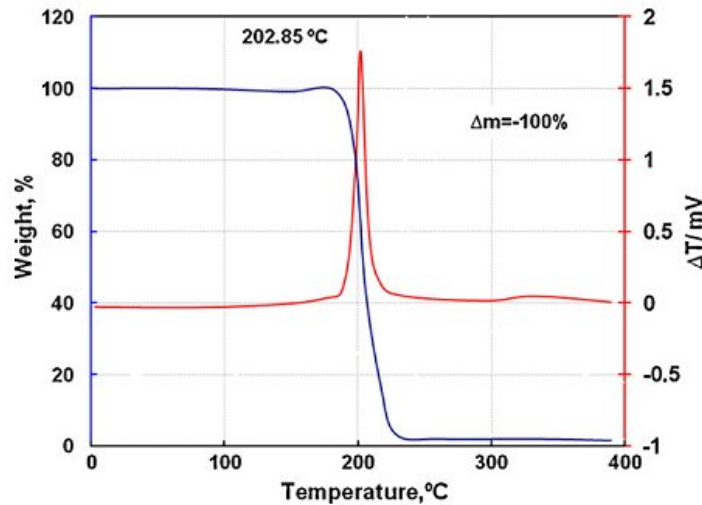
برای مقایسه تاثیر اندازه افزودنی Fe_2O_3 در پیشراندهای حاوی AP شکل ۱۵ آورده شده است. با توجه به این شکل می توان نتیجه گرفت که کاهش اندازه ذرات Fe_2O_3 میزان شار حرارتی را افزایش می دهد. این نتایج نشان می دهند که نانو کاتالیزور Fe_2O_3 اکثراً بر فرآیند تجزیه دما بالا و نه در مراحل ابتدایی تجزیه مشاهده می گردد. نانو ذره Fe_2O_3 نه تنها بر AP جامد، بلکه به پیشرفت واکنش در فاز گازی تاثیر می گذارد. کاهش در انرژی اکتیواسیون و تجزیه دما بالا این مشاهدات را تایید می کنند [۱۵]. همانطور که قبلاً اشاره شد نیتروسولوز یکی از ماده های اصلی در ساخت پیشراندهای دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی می باشند. اندازه ذرات نیتروسولوز بر روی روند احتراق پیشراندها تاثیر خواهد گذاشت. جدول ۶ نتایج تست TGA برای نیتروسولوزهای مقیاس نانو و میکرو را نشان می دهد. همچنین منحنی TGA و DTA برای نانو نیتروسولوز در شکل ۱۶ نشان داده شده است [۱۶]. اما نتایج نشان می دهند که پایداری حرارتی نیتروسولوز با کاهش اندازه ذرات به نانو کاهش می یابد

و نانو نیتروسولولزها در ۱۹۱ درجه سانتی گراد با کاهش در وزن نمونه‌ها در بازه دمایی ۱۹۰-۲۰۵ درجه سانتی گراد تجزیه می‌شوند. برای این اندازه از ذرات، شروع دمای تجزیه (۱۹۰ درجه سانتی گراد) کمتر از نقطه تجزیه میکرو سائز (۱۹۸ درجه سانتی گراد) می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهند که نانو نیتروسولولزها در مقایسه با میکرو نیتروسولولزها حساسیت حرارتی بیشتری دارد و به مراقبت بیشتری در دوره ذخیره سازی احتیاج دارد [۱۶].

اضافه نمودن نمک‌های نانو سرب به ساختار پیشران‌های دو پایه باعث کاهش دوره تجزیه و سرعت واکنش گرما زا و افزایش سرعت سوزش می‌شوند [۱۷]. نانو سرب و نانو کربن سیاه را می‌توان به پیشران‌های دو پایه بهبود یافته کامپوزیتی بر پایه RDX اضافه نمود و با این کار باعث سرعت بخشیدن در تجزیه RDX و کاهش دمای پیک تجزیه یا به عبارتی افزایش پایداری حرارتی می‌شود [۱۸]. یکی دیگر از نانو ذرات استفاده شده در پیشران‌های بر پایه AP، نانو LaCO_3 می‌باشد که این نانو ذره باعث کاهش حساسیت حرارتی سیستم مورد نظر می‌شود [۱۹]. نانو ذرات Bi_2O_3 به منظور افزایش در سرعت سوزش، را به پیشران‌های دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی بر پایه RDX می‌توان اضافه نمود. همان طور که مشخص است، نانو ذرات به دلیل کاهش سطح ویژه‌ی آنها، خواص متفاوت‌تر از خود به نمایش می‌گذارند. این خواص می‌تواند در بهبود خواص احتراقی پیشران‌ها کمک کند ولی در بعضی مواقع دیده شده که این نانو ذرات نه تنها باعث افزایش سرعت سوزش نمی‌شوند بلکه باعث کاهش سرعت سوزش، افت ایمپالس ویژه و افزایش حساسیت حرارتی خواهند شد. این نشان دهنده‌ی آن است که برای مشخص کردن تاثیرات نانو ذرات بر خواص احتراقی پیشران‌ها انجام تست‌های آزمایشی مانند TGA و DSC الزامی است. ولی به طور کلی می‌توان گفت که بیشتر نانو ذرات دارای اثرات مفیدی بر روی خواص احتراقی پیشران‌های جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده خواهند گذاشت.



شکل ۱۵: منحنی DSC مربوط به AP در حضور ۰/۲ درصد وزنی از آلفا- Fe_2O_3 در اندازه های متفاوت (a) ۳۰ نانو متر (b) ۳/۵ نانو متر [۱۵]



شکل ۱۶: منحنی های DTA و TG نیتروسولوزهای مقیاس نانو [۱۶]

۳- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیرات نانو ذرات بر خواص احتراقی پیشراندهای جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی مورد بررسی قرار گرفته است. می توان گفت که برای شناخت تاثیرات نانو ذره بر روی یک پیشرانده نیاز به داده های آزمایشگاهی می باشد و به طور حتم نمی توان گفت که نانو سایز کردن در پیشراندهای جامد دارای اثر کاملاً مثبت، منفی یا خنثی می باشد. با این حال بیشتر داده های گزارش شده ثابت می کنند که کاربرد نانو ذره در پیشراندهای جامد دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی باعث کاهش حساسیت حرارتی، افزایش سرعت سوزش و کاهش نمای فشار، بهبود خواص مکانیکی و در نهایت ارتقا کارایی پیشراندهای دو پایه و دو پایه اصلاح شده کامپوزیتی می شوند.

مراجع

- 1- Maxwell W. Hunter, "Thrust into Space handbook", New York in 1966.
- 2- Davenas Alain, "Solid Rocket Propulsion Technology", chapter 9 p.p 369, (2000).
- 3- Asthana.S.N, Divekar, Singh, H., "Studies thermal stability autoignition and stability depletion for shelf life of CMDDB", Journal of hazardous material, Vol 21, P.P35-46 (1989).
- 4- Yung, Brill, T.B., "Solid propellant chemistry combustion & motor interior Ballistic", Vol.185, (2000).
- 5- E. L. Dreizin, "metal-based reactive nano-materials", Progress in Energy and Combustion Science 35 (2009) 141-167.
- 6- Frolov Y.V., Pochil P.F., Logachev V.S., Ignition and combustion of powdered aluminium in high-temperature gaseous environment and as part of heterogeneous condensed systems, Fizika Goreniya i Vzriva, 1972, 8(2), 213-236.
- 7- YU-li xie "Screw Extruding Process of composite Modified Double Base Propellant", (1991).
- 8- M.A. Zayed, Salah E.M. El-Begawy, Hossam E.S. Hassan, "Enhancement of stabilizing properties of double-base propellants using nano-scale inorganic compounds", Volumes 227-228, 15 August 2012, Pages 274-279.
- 9- S. G. Fedorov, Sh. L. Guseinov, and P. A. Storozhenko, "Nanodispersed Metal Powders in High Energy Condensed Systems", Received September 23, 2009; in final form, June 9, 2010.
- 10- Nikita MURAVYEV, Yurii FROLOV, Alla PIVKINA, Konstantin MONOGAROV, Dmitry IVANOV and Dmitry MEEROV, Combustion of Energetic Systems Based on HMX and Aluminum: Influence of Particle Size and Mixing Technology, Central European Journal of Energetic Materials, 2009, 6(2), 195-210.
- 11- Shufen Li, Zhi Jiang, Shuqin Yu, Thermal Decomposition Of Hmx Influenced By Nano-Metal Powders In High Energy Fuel, Hefei 230026, China.



- 12- Hongzhen Duan, Xiangyang Lin, Guanpeng Liu, Lei Xu, Fengsheng Li, Synthesis of Ni nanoparticles and their catalytic effect on the decomposition of ammonium perchlorate, *Journal of Materials Processing Technology* 208 (2008) 494–498.
- 13- O. Orlandi, J.-F. Guéry, G. Lacroix, S. Chevalier, N. Desgardin, HTPB/AP/AL Solid Propellants With Nanometric Aluminum, *European Conference For Aerospace Sciences (Eucass)*.
- 14- Reena Dubey, P. Srivastav, I.P.S. Kapoor, G. Singh, Synthesis, characterization and catalytic behavior of Cu nanoparticles on the thermal decomposition of AP, HMX, NTO and composite solid propellants, Part 83, *Thermochimica Acta* 549 (2012) 102–109.
- 15- Satyawati S. Joshi, Prajakta R. Patil, and V. N. Krishnamurthy, Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate in the Presence of Nanosized Ferric Oxide, *Defence Science Journal*, Vol. 58, No. 6, November 2008, pp. 721-727.
- 16- M.R. Sovizi, S.S. Hajimirsadeghi, B. Naderizadeh, Effect of particle size on thermal decomposition of nitrocellulose, *Journal of Hazardous Materials* 168 (2009) 1134–1139.
- 17- XIE Ming-zhao¹, FENG Xiao-qiong², HENG Shu-yun¹, WANG Xiao-hong¹, CHEN Zhi-qun¹, PAN Qing¹, WANG Ming¹, LIU Zi-ru¹, "Effect of Nano Lead Salt on Catalytic Thermal Decomposition of Double-based Propellants", *CHINESE JOURNAL OF EXPLOSIVES & PROPELLANTS*, 2011-01.
- 18- Hui Ren, Yang-yang Liu, Qing-jie Jiao, Xiao-fen Fu, Ting-ting Yang, "Preparation of nanocomposite PbO·CuO/CNTs via microemulsion process and its catalysis on thermal decomposition of RDX", *Volume 71, Issue 2, February 2010, Pages 149–152*.
- 19- XUE Ai-lian, HUANG Yin-sheng, KANG Cong-cheng, WANG Ying-hua, LI Ji, "The Effect of Nano-LaCoO₃ on the Thermal Decomposition and Sensitivity of RDX Explosive mixture", *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005-02.
- 20- A. Dokhan, E.W. Price, R.K. Sigman, J.M. Seitzman, Combustion mechanism of bimodal and ultra-fine aluminum in AP solid propellant, in: *AIAA Paper 2002-4173*, in: 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Indianapolis, IN, July 7–10, 2002.