

به نام خداوند بخشنده مهربان



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر

سنتز مونومر و پلیمر پلی گلیسیدیل نیترات به عنوان پلیمر پرانرژی

فاطمه پاشائی سورباقی

استاد راهنما :

دکتر مهرداد کوکبی

استاد مشاور:

دکتر مهدی نکومنش حقیقی

شهریور 1387

با سپاس به درگاه پروردگار بی همتا

پروردگارا مرا یاری ده تا با تو عهدی ببندم استوار، توان تعهدی را بر من بخش ماندگار . از تو ایمانی ناگسستنی و باوری استوار را، در بهترین و بدترین شرایط توکل به تو را، شکیبایی در اوج بی‌تابی و بی‌قراری را و در صعب‌ترین شرایط سهل‌ترین آرامش را می‌خواهم. از تو بیش از هر چیز تو را می‌خواهم. اکنون که به لطف خود جرأت خواستن عطا کردی، بیش از قبل یاریم کن که رضا باشم به آن چه تو بخواهی، نه آنچه گمان می‌کنم خیر است و من می‌خواهم.

با تشکر از

زحمات استاد گرامی جناب آقای دکتر کوجبی که بی دریغ حمایت کردند.

جناب آقای دکتر نکومنش که با روی گشاده پاسخگوی سوالاتم بودند.

کمک صمیمانه جناب آقای دکتر افشار

زحمات و راهنماییهای صمیمانه و بی دریغ جناب آقای دکتر علیزاده

جناب آقای دکتر واشقانی فراهانی و دکتر افشار طارمی که مسئولیت تصحیح و قضاوت را عهده دار بودند.

سرکار خانم پیدایش، آقایان امیرشقایق، کرمانی، بهرامیان و همه دوستان خوبم در آزمایشگاههای پلیمر

جناب آقای اسماعیلی پور

خانمها محمدیان، بحری، خانلری، زهره و دوستان خوبم در آزمایشگاه شیمی آلی

جناب آقای بیژن زاده و خانمها تیموری و خلیل پور

پدر و مادر بزرگوارم

خواهر و برادر عزیزم

چکیده

در سالهای اخیر تلاشهای زیادی برای گسترش پلیمرهای بالذاته پرانرژی صورت گرفته است. این پلیمرها به صورت گسترده به عنوان محمل در مواد منفجره با محمل پلیمری با هدف افزایش میزان رهایش انرژی استفاده می‌شوند. پلی‌گلیسیدیل نیترات، پلی‌اتری پرانرژی است که حضور عامل نیتراتو (ONO_2) به آن خواص پرانرژی می‌بخشد. پلی‌گلیسیدیل نیترات به علت چگالی بالا، محتوای اکسیژن بالا و انرژی تشکیل مناسب، به عنوان محمل پرانرژی از کارایی مناسبی برخوردار است. پلی‌گلیسیدیل نیترات معمولاً به صورت پیش پلیمر مایع دو سر عامل دار سنتز می‌شود، که می‌تواند با دی‌ایزوسیانات شبکه‌ای شده، به صورت ماده‌ای لاستیکی در نقش محمل یا نظایر آن استفاده شود، همچنین می‌تواند به عنوان نرم‌کننده در ترکیبات پرانرژی بکار رود. پلی‌گلیسیدیل نیترات از پلیمر شدن اکسیران استخلافی با نیتراتو موسوم به گلیسیدیل نیترات، به روش کاتیونی حلقه گشا تهیه می‌شود. مونومر مذکور گران قیمت بوده، به طور تجاری در دسترس نیست. در این تحقیق، مونومر گلیسیدیل نیترات از گلیسیرین در دو مرحله تهیه شد، اول نیتره شدن گلیسیرین با اسیدنیتریک در حضور دی‌کلرومتان به عنوان حلال و سپس تبدیل دی‌نیتروگلیسیرین به گلیسیدیل نیترات با اضافه کردن محلول هیدروکسید سدیم. ساختار شیمیایی محصول با طیف سنجی ^{13}C NMR، 1H NMR، FTIR و جرمی شناسایی و گلیسیدیل نیترات تشخیص داده شد.

دو اسلوب برای پلیمر شدن کاتیونی حلقه گشا وجود دارد، اسلوب انتهای فعال زنجیره (روش سنتی پلیمر شدن کاتیونی) و اسلوب مونومر فعال شده، در این تحقیق پلیمر شدن پلی‌گلیسیدیل نیترات با اسلوب مونومر فعال شده، انجام شد. حضور الکل (شروع کننده) و کاتالیزور اسیدی از ملزومات اسلوب مونومر فعال شده است. بالا بودن نسبت مولی گروه هیدروکسیل به کاتالیزور و افزایش آرام مونومر دو عامل کلیدی پلیمر شدن مونومر فعال شده هستند. $BF_3 \cdot THF$ ، $BF_3 \cdot Et_2O$ ،

به عنوان کاتالیزور و 1 و 4- بوتان دی‌ال به کار رفتند. بر مبنای ادبیات تحقیق سنتز در نسبت بوتان دی‌ال به کاتالیزور 10.4 و 25 انجام شد. طیف‌سنجی FTIR، $^1\text{H NMR}$ ، $^{13}\text{C NMR}$ ساختار شیمیایی محصولات را تأیید کرد. وزن مولکولی محصولات با دو روش تحلیل طیف $^1\text{H NMR}$ و GPC اندازه‌گیری شد. محصول بهینه (بالاترین جرم مولکولی و کمترین مقدار الیگومر حلقوی) با نسبت بوتان دی‌ال به کاتالیزور 25 و کاتالیزور $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ بدست آمد.

خواص گرمایی پلیمرها با گرماسنج پویشی تفاضلی بررسی شد. دمای انتقال شیشه‌ای پلیمرها در حدود 40°C - و نزدیک به دمای کاربرد محملهای پرانرژی است. محصول بهینه دارای انرژی تخریب 2171 ژول بر گرم بود که با مقدار نظری گرمای انفجار پلی گلیسیدیل نترات اختلاف کمی دارد که ناشی از شرایط آزمایش است.

کلمات کلیدی: پلیمر پرانرژی، پلی گلیسیدیل نترات، پلیمر شدن کاتیونی حلقه‌گشا، اسلوب مونومر فعال شده.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1	فصل اول نظری
1	1-1 مواد پرانرژی
1	1-1-1 معیارهای ارزیابی مواد پرانرژی
1	1-1-1-1 پتانسیل ترمودینامیکی
2	1-1-1-2 تعادل اکسیژن
2	1-1-1-3 انرژی تشکیل
3	2-1 پلیمرهای پرانرژی
6	1-2-1 گلیسیدیل آزید پلیمر.....
8	2-2-1 پلیمرهای اکستان
9	1-2-2-1 پلی (3- نیتراتو متیل 3-متیل اکستان)
9	3-2-1 پلیمرهای اکسیران
9	1-3-2-1 پلی گلیسیدیل نیترات
13	4-2-1 پلیمرهای نیتروژن دار
14	1-4-2-1 پلی وینیل نیترات
14	2-4-2-1 پلی نیتروفنیلن
15	3-4-2-1 پلی اترهای نیترو آمین
15	5-2-1 پلیمرهای پرانرژی تهیه شده با استفاده از دی نیتروژن پنتوکساید

صفحه	عنوان
18	6-2-1 پلیمرهای فلورینه
20	1-6-2-1 کوپلیمرهای فلورینه
22	7-2-1 جمع بندی و مقایسه پلیمرهای پر انرژی
26	3-1 مونومر گلیسیدیل نیترات
27	1-3-1 روش های متداول سنتز گلیسیدیل نیترات
35	1-3-1 شناسایی گلیسیدیل نیترات
35	4-1 سنتز پلی گلیسیدیل نیترات
35	1-4-1 پلیمر شدن کاتیونی حلقه گشا
37	1-1-4-1 پلیمر شدن کاتیونی حلقه گشا با اسلوب انتهای فعال زنجیره
45	2-1-4-1 پلیمر شدن کاتیونی حلقه گشا با اسلوب مونومر فعال شده
50	3-1-4-1 دلایل وجود رشد مونومر فعال شده در پلیمر شدن اترهای حلقه ای
53	4-1-4-1 رقابت بین اسلوب مونومر فعال شده و انتهای زنجیره فعال در ...
56	5-1-4-1 سینتیک رشد اترهای حلقوی
58	6-1-4-1 مکان ویژه رشد
60	7-1-4-1 واکنش های جانبی در اسلوب پلیمر شدن مونومر فعال شده
61	8-1-4-1 تعادل پلیمر - الیگومر در پلیمر شدن اکسیرانها
62	9-1-4-1 اسلوب تشکیل الیگومر حلقوی
66	10-1-4-1 بررسی عوامل موثر در پلیمر شدن گلیسیدیل نیترات و انتخاب

صفحه	عنوان
71	فصل دوم تجربی
71	1-2 مقدمه
71	2-2 مواد
71	3-2 آماده سازی مواد اولیه
71	1-3-2 خشک کردن دی کلرومتان
73	2-3-2 خشک کردن بوتان دی ال
73	3-3-2 آماده سازی گلیسیدیل نیترات
73	4-3-2 آماده سازی الک مولکولی
74	5-3-2 آماده سازی سیلیکاژل
74	4-2 تجهیزات مورد استفاده در سنتز
75	5-2 دستگاههای شناسایی
75	6-2 سنتز مونومر
77	1-6-2 فرآیند سنتز مونومر
78	2-6-2 شرح آزمایشهای سنتز مونومر
85	7-2 سنتز پلیمر
86	1-7-2 فرآیند سنتز پلیمر
86	1-1-7-2 سنتز پلیمر با کاتالیزور $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$

صفحه	عنوان
87	2-1-7-2 سنتز پلیمر با کاتالیزور SnCl_4
88	3-1-7-2 سنتز پلیمر با کاتالیزور $\text{BF}_3 \cdot \text{THF}$
89	فصل سوم نتایج و بحث
89	1-3 مقدمه
89	2-3 شناسایی ساختار مونومر
94	3-3 شناسایی ساختار شیمیایی و تعیین خواص پلی گلیسیدیل نترات
95	1-3-3 شناسایی ساختار پلی گلیسیدیل نترات
95	1-1-3-3 سنتز با کاتالیزور $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
99	2-1-3-3 سنتز با کاتالیزور SnCl_4
101	3-1-3-3 سنتز با کاتالیزور $\text{BF}_3 \cdot \text{THF}$
104	2-3-3 تعیین جرم مولکولی
108	3-3-3 بررسی خواص گرمایی
108	1-3-3-3 گرماسنج پوشی تفاضلی
110	2-3-3-3 گرماوزن سنجی
115	نتیجه گیری نهایی
116	پیشنهادها برای تحقیقات آتی
117	مراجع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
7	جدول 1-1 خواص گلیسیدیل آزید پلیمر
10	جدول 2-1 خواص پلی NIMMO
12	جدول 3-1 خواص پلی گلیسیدیل نیترات
18	جدول 4-1 خواص NHTPB
20	جدول 5-1 خواص پلیمرهای فلورینه
22	جدول 6-1 چگالی نسبی پلیمرها
24	جدول 7-1 خواص حرارتی پلیمرهای پرانرژی
36	جدول 8-1 مونومرهای قابل پلیمر شدن کاتیونی
45	جدول 9-1 الیگومرهای حلقوی در پلیمر شدن کاتیونی حلقه‌گشا
58	جدول 10-1 ثوابت سرعت رشد در پلیمر شدن AM پروپیلن اکساید و ...
59	جدول 11-1 کسر سربه دم، سربه سر، دم به دم در پلیمر شدن AM ...
72	جدول 1-2 مواد مورد استفاده و مشخصات آنها
74	جدول 2-2 تجهیزات مورد استفاده در سنتز

75	جدول 2-3 دستگاہهای شناسایی
87	جدول 2-4 مقادیر دی ال، حلال، مونومر و کاتالیزور ($\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$)
88	جدول 2-5 مقادیر دی ال، مونومر و کاتالیزور (SnCl_4)
89	جدول 2-6 مقادیر دی ال، حلال، مونومر و کاتالیزور $\text{BF}_3 \cdot \text{THF}$.
107	جدول 3-1 مقادیر جرم مولکولی
114	جدول 3-2 پارامترهای سینتیکی تخریب حرارتی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
78	شکل 2-1 سامانه سنتز مونومر
86	شکل 2-2 نمای سامانه سنتز پلیمر
91	شکل 3-1 طیف FTIR مونومر گلیسیدیل نیترات
91	شکل 3-2 طیف FTIR گلیسرین
92	شکل 3-3 طیف ^{13}C NMR گلیسیدیل نیترات CDCl_3
93	شکل 3-4 طیف ^1H NMR گلیسیدیل نیترات CDCl_3
94	شکل 3-5 طیف جرمی گلیسیدیل نیترات
96	شکل 3-6 طیف ^1H NMR نمونه 1
97	شکل 3-7 طیف FTIR نمونه 1
98	شکل 3-8 طیف ^1H NMR نمونه 2
99	شکل 3-9 طیف FTIR نمونه 2
100	شکل 3-10 طیف ^1H NMR نمونه 4

101	شکل 3-11 طیف FTIR نمونه 4
102	شکل 3-12 طیف ^1H NMR نمونه 5
103	شکل 3-13 طیف ^{13}C NMR نمونه 5
104	شکل 3-14 طیف FTIR نمونه 5
105	شکل 3-15 منحنی GPC نمونه 2
105	شکل 3-16 منحنی GPC نمونه 1
106	شکل 3-17 تغییرات منحنی GPC 1 و 2 - اپوکسی 3 - نیتروپروپان بعد از ...
106	شکل 3-18 منحنی GPC نمونه 4
108	شکل 3-19 منحنی DSC نمونه 2
109	شکل 3-20 نتایج آزمون DSC
109	شکل 3-21 منحنی DSC نمونه 1

1-1 مواد پرنرژي

مواد پرنرژي¹ دسته‌اي از مواد با انرژي شيميايي ذخيره شده بالايي هستند که مي‌توانند ضمن واکنش انرژي آزاد کنند. مواد پرنرژي شامل گستره وسيعي بوده، به چند دسته کلي تقسيم مي‌شوند: مواد منفجره، ترکيبات محترقه، پيشرانه‌ها² و سوخت‌ها[1].

1-1-1 معيارهاي ارزيابي مواد پرنرژي

1-1-1-1 پتانسيل ترموديناميکي

از نظر ترموديناميکي ماده پرنرژي به ماده‌اي اطلاق مي‌شود که داراي پتانسيل ترموديناميکي بالايي باشد. پتانسيل ترموديناميکي براي مواد به صورت زير تعريف مي‌شود [2]:

$$\hat{E} = \rho_p \left(\frac{T_f}{M_f} \right)^{0.5} \quad (1-1)$$

که ρ_p چگالي ماده، T_f دماي شعله و M_f جرم مولکولي مواد حاصل از احتراق است. هرچه چگالي بالاتر باشد تعداد مولهاي بيشتري در واحد حجم قرار مي‌گيرند و پتانسيل ترموديناميکي افزايش مي‌يابد. سرعت رهايش انرژي نيز با مجذور چگالي متناسب است و هرچه جرم مولکولي مواد حاصل از احتراق کمتر باشد، پتانسيل ترموديناميکي بيشتري است. به بيان مختصر، ماده پرنرژي ماده‌اي است که چگالي نسبتاً بالايي داشته، دماي شعله آن بالا و جرم مولکولي مواد حاصل از احتراق پايين باشد. اين نوع مواد براي به دست آوردن نيروهاي پيشراننده در موشک، توپ و مواد منفجره بکار مي‌روند [3].

1. Energetic Materials
2. Propellants

1-1-1-2 تعادل اکسیژن¹

یکی دیگر از معیارهای مهم ارزیابی مواد پرانرژی تعادل اکسیژن است، که از طریق رابطه (2-1) برای 100 گرم ماده منفجره محاسبه می‌شود:

$$\%OB = 1600/M \times (2X + (Y/2) + N - Z) \quad (2-1)$$

که M جرم مولکولی بر حسب فرمول تجربی، X تعداد اتم کربن، Y تعداد اتم هیدروژن، Z تعداد اتم اکسیژن و N تعداد اتمهای فلزی است. تعادل اکسیژن اندازه‌گیری اکسیژن موجود در ترکیب، نسبت به کل اکسیژن‌های مورد نیاز برای اکسید شدن همه عناصر موجود در ترکیب (که به راحتی اکسید می‌شوند)، به ترکیباتی مثل آب و دی‌اکسیدکربن است. میزان استوکیومتری معادله تعادل اکسیژن از لحاظ انرژی زایی و ایجاد محصولات سازگار با محیط زیست دارای اهمیت است. بیشتر مواد پرانرژی دارای کمبود اکسیژن هستند و تعادل اکسیژن بصورت عددی منفی بیان می‌شود. هرچه این عدد بزرگتر باشد (قدر مطلق آن کوچکتر باشد)، انرژی زایی هم بیشتر است [4].

1-1-1-3 انرژی تشکیل

انرژی تشکیل معیار دیگر ارزیابی مواد پرانرژی است، از لحاظ انرژی‌زایی، مطلوب آن است که انرژی تشکیل ماده پرانرژی در بیشترین مقدار و انرژی تشکیل مواد حاصل از اکسایش در کمترین مقدار باشند [5].

2-1 پلیمرهای پرانرژی

پلیمر پرانرژی عبارت است از درشت مولکولی که در ساختارش گروههای عاملی پرانرژی مانند گروه نیترات داشته باشد [6].

پلیمرها معمولاً برای ایجاد مقاومت مکانیکی در مواد پرانرژی و افزایش مقاومت آنها به ضربه، اصطکاک و گرما با ایجاد ماتریس محافظ در اطراف بلورها استفاده می‌شود. پلی‌بوتادیان با انتهای هیدروکسیل HTPB، سلولزاستون بوتیرات¹ (CAB)، نمونه‌هایی از پلیمرهای بی‌اثر مورد استفاده در فرمول‌بندیهای پرانرژی هستند. گستره وسیعی از پلیمرها شامل الاستومرهای پخت شده، گرمانرم‌ها، الاستومرهای گرمانرم در این فرمول‌بندی‌ها به کار می‌روند. برای کاهش اتلاف انرژی ناشی از کاربرد پلیمرهای بی‌اثر، پلیمرهای پرانرژی به عنوان محمل² در سامانه‌های پرانرژی گسترش یافتند [7].

نیاز به مواد پرانرژی با حساسیت کم (برای کاربرد در مهمات جنگی)، باعث گسترش پلیمرها و نرم‌کننده‌های پرانرژی با کاربرد در کامپوزیت پیش‌رانه موشک و مواد منفجره با محمل پلیمری³ شد.

محمل همانطور که از نامش پیداست، پلیمری است که برای به هم چسباندن اجزای جداگانه فرمول‌بندی به کار می‌رود. مواد منفجره با محمل پلیمری متداول شامل سامانه محمل بی‌اثر هستند و کارایی محدودی دارند. به عنوان نمونه HTPB⁴ دارای خواص عالی فیزیکی است، ولی محملی بی‌اثر است که انرژی کل خروجی از ترکیب را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش کارایی سامانه می‌گردد. برای

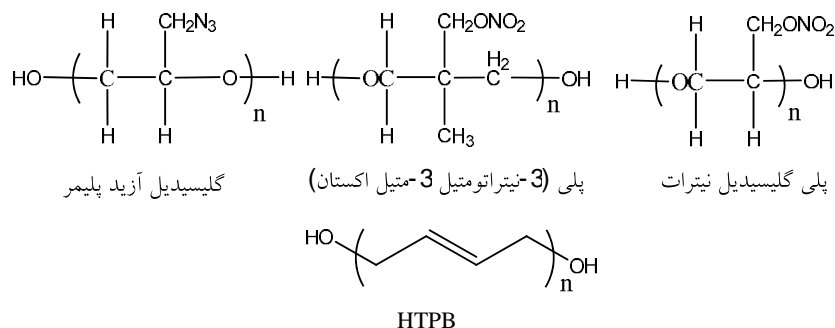
-
1. Cellulose Acetone Butyrate
 2. Binder
 3. Polymer Bonded Explosives (PBX)
 4. Hydroxyl Terminated Polybutadiene (HTPB)

بالارفتن کارایی سامانه های شامل پلیمرهای بی اثر دو روش به کار رفته است، اول کاهش میزان پلیمر محمل، دوم به کاربردن پلیمرها یا نرم کننده هایی (معمولاً الیگومرهای پلیمرهای پرانرژی) که به میزان انرژی ترکیب می افزایند [7].

این روش در ساخت مواد منفجره با کارایی بالا و پیشرانه های موشک پیشرفته موثر است. روش دیگر قراردادن گروه های عاملی پرانرژی مثل آزیدو (N_3)، نیترو ($C-NO_2$)، استر نیترات (ONO_2) و نیتروآمین ($N-ONO_2$) و دی فلورو آمین (NF_3) در پیکره اصلی زنجیر پلیمر و در نرم کننده است. قرار دادن این گروه ها باعث افزایش میزان انرژی داخلی و افزایش تعادل اکسیژنی ترکیب می شود.

تحقیقات بسیاری در زمینه گسترش فرمول بندی های پرانرژی جدید شامل محملهای پرانرژی انجام شده است. محملهای پرانرژی پلی اتر دارای گروه های عاملی آزیدو و یا نیتراتو مثل پلی (3-نیتراتومتیل 3-متیل اکستان)، پلی گلیسیدیل نیترات و گلیسیدیل آزید پلیمر دارای بیشترین اهمیت در بین پلیمرهای پرانرژی هستند [7].

سه نمونه از این پلیمرهای پرانرژی به همراه پلیمر بی اثر HTPB در طرح 1-1 آمده است.



طرح 1-1 ساختار شیمیایی پلیمرهای پرانرژی [7].

برخی پلیمرهای پرانرژی به صورت پیش‌پلیمر با جرم مولکولی نسبتاً پایین (در حدود 3000g/mol) سنتز می‌شوند و در دمای اتاق به حالت مایع هستند. این پیش‌پلیمرها می‌توانند به عنوان نرم‌کننده در ساخت سامانه‌های پرانرژی بکار روند. به منظور استفاده از این نوع پلیمرها به عنوان محمل، بایستی آنها را پس از خشک کردن بوسیله ماده‌ای مناسب در شرایط بهینه، شبکه‌ای نمود که از این طریق الاستومر گرمانرم پرانرژی¹ بدست می‌آید [8]. با توجه به راهبردی بودن مباحث مربوط به پلیمرهای پرانرژی و انحصاری بودن دانش فنی مربوط، تا کنون مقالات تحقیقی اندکی در این زمینه انتشار یافته است و اکثر اطلاعات به صورت ثبت اختراع در دسترس است.

پلیمرهای پرانرژی جدید شامل چهارگروه اصلی هستند:

1 پلیمرهای شامل گروه آزیدو، گلیسیدیل آزید پلیمر²

1. Energetic Thermoplastic Elastomer (ETPE).

2. Glycidyl Azide Polymer (GAP)

2 پلیمرهای شامل گروه پلی اترنیترات (ONO_2)، پلی گلیسیدیل نیترات¹ (polyGlyn)، پلی (3- نیتراتو متیل 3-متیل اکستان)(polyNIMMO)²

3 سایر محمل‌های پرانرژی مثل فلوروپلیمر و پلی وینیل نیترات‌ها

نرم‌کننده‌های پرانرژی شامل الیگومرهای پلیمرهای فوق به علاوه گستره وسیعی از استرهای نیترات، نیترو آروماتیک‌ها و نرم‌کننده‌های آزیدو هستند. در این قسمت تعدادی از این پلیمرها که کاربرد بیشتری دارند، بررسی می‌شوند [8].

1-2-1 گلیسیدیل آزید پلیمر

پلیمرهای دارای گروه آزیدو مثل گلیسیدیل آزید پلیمر به عنوان محمل‌های پرانرژی در دهه 1980 گزارش شدند [7].

این پلیمر نخستین بار در 1972 از واکنش آزید سدیم در دی متیل فرمامید با پلی اپی کلرو هیدرین³ تولید شد. این پلیمر معمولاً به صورت پیش‌پلیمر مایع با جرم مولکولی کم، به دو صورت شاخه‌ای و خطی تهیه می‌شود و با استفاده از عامل شبکه‌ای‌کننده بصورت الاستومر در می‌آید. خواص این پلیمر در جدول 1-1 آمده است.

1. Poly (glycidyl nitrate)

2. Poly(3-nitratomethyl-3-methyloxetane)

3. Polyepichlorohydrin (PECH)

جدول 1-1 خواص گلیسیدیل آزید پلیمر [7].

نوع ماده	GAP سه عاملی	GAP دو عاملی
خواص		
چگالی (g/cm^3)	1/29	1/29
رنگ	مایع زرد رنگ	مایع زرد رنگ
گرمای تشکیل، ΔH_f (cal/g)	280	280
M_n	≥ 900	1700 ± 300
عاملیت ¹	2/5-3	2
پایداری در خلا ² (mL/g)، 200 h, 100 °C	≥ 3	≥ 3
T_g (°C)	-45	-45

2-2-1 پلیمرهای اکستان²

پلی اکستانهای پرانرژی از مونومرهای مثل 3- نیترا تومتیل -3- متیل اکستان (NIMMO)، 3 و 3- بیس (آزیدومتیل) اکستان (BAMO) و 3- آزید متیل -3- متیل اکستان (AMMO) سنتز می شوند.

-
1. Functionality
 2. Oxetane