



دانشگاه مازندران

دانشکده شیمی، گروه شیمی آلی

پایان نامه دوره دکتری در رشته شیمی آلی (پلیمر)

موضوع:

مطالعه سینتیک پخت رزین اپوکسی با استفاده از دی آمینهای آروماتیک
و سنتز پلی آمیدها و پلی ایمیدهای محلول و مقاوم حرارتی بر پایه 9و9-دی-
اکتیل فلورن

استاد راهنما:

دکتر موسی قائمی

اساتید مشاور:

دکتر رحمان حسینزاده

دکتر جعفر اکبری

دانشجو:

محمد برغمندی

آذر 1387

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه مازندران

دانشکده شیمی، گروه شیمی آلی

پایان نامه دوره دکتری در رشته شیمی آلی (پلیمر)

موضوع:

مطالعه سینتیک پخت رزین اپوکسی با استفاده از دی آمینهای آروماتیک
و سنتز پلی آمیدها و پلی ایمیدهای محلول و مقاوم حرارتی بر پایه 9و9-دی-

اکتیل فلورن

استاد راهنما:

دکتر موسی قائمی

اساتید مشاور:

دکتر جعفر اکبری

دکتر رحمان حسین زاده

اساتید مدعو:

دکتر مهدی باریکانی

دکتر فرامرز افشار طارمی

دکتر مسلم منصور لکوریج

دکتر محمود تاجبخش

دانشجو:

محمد برغمندی

آذر 1387

"من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق"

سپاس خداوندی که توفیق علم‌آموزی را به ما عطا فرمود و ما را در این راه رهنمون ساخت.

شایسته است صمیمانه‌ترین مراتب سپاسگزاریم را حضور:
استاد راهنمای بزرگوارم آقای دکتر موسی قائمی، به پاس الطاف، موهبت‌ها و راهنمایی‌های مدبرانه و اندیشمندانه ایشان در طول این پروژه،
اساتید مشاورم آقایان دکتر رحمان حسین‌زاده و دکتر جعفر اکبری به پاس زحماتی که در طول این دوره متحمل شدند،
اساتید مدعو، آقایان دکتر فرامرز افشارطارمی، دکتر مهدی باریکانی، دکتر محمود تاجبخش و دکتر مسلم منصور لکورج که زحمت بررسی این پروژه را بر عهده داشتند،
سرکار خانم دکتر بهارفر نماینده محترم تحصیلات تکمیلی،
آقای دکتر عنایتی عضو هیات علمی دانشکده داروسازی ساری به پاس زحمات زیادی که در طول این پروژه متحمل شدند،
و کلیه اساتید، دوستان، دانشجویان و پرسنل زحمتکش دانشکده شیمی،

تقدیم نمایم.

محمد برغمندی

آذر 1387

تقديم به

صبر و شکیبایی همسر

و شکوفه زندگیم امین

55 تا 65kJ/mol می‌باشد. اما برای سیستم DGEBA/DAC برابر 90kJ/mol می‌باشد. پایداری حرارتی رزین پخت شده با DAF, DAC و ADOAc توسط تکنیک TGA تحت گاز N₂ و با سرعت گرمایش 10°C/min مورد بررسی قرار گرفت. دماهای 10% کاهش وزن پلیمرها که معیاری از پایداری حرارتی می‌باشند برای سیستمهای DAF, DAC و ADOAc به ترتیب در 350, 336 و 344 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

در قسمت بعدی، روش سنتز جدیدی را برای تهیه پلی‌آمیدهای محلول و مقاوم حرارتی ارائه نمودیم. همانطور که می‌دانیم، پلی‌آمیدها و پلی‌ایمیدهای آروماتیک میله‌ای سخت، بخاطر خواص مکانیکی و حرارتی و همچنین خواص ریخت‌شناسی منحصر به فرد، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. بهر حال بخاطر نامحلول بودن در حلالهای آلی و همچنین نقطه ذوب و دمای تبدیل شیشه‌ای بالا، فرایندپذیری این مواد مشکل می‌باشد. قسمتی از این مسئله مربوط به پیوندهای هیدروژنی قوی و برهمکنش‌های دهنده/گیرنده گروههای آمیدی می‌باشد که باعث استحکام زنجیر پلیمر می‌شوند. از جمله روشهای مؤثقی که باعث افزایش حلالیت و در نتیجه افزایش فرایندپذیری این پلیمرها می‌شوند می‌توان به مواردی از جمله وارد کردن استخلافهای جانبی حجیم در طور زنجیر پلیمر، استفاده از منومرهای نامتقارن، استفاده از منومرهای آلیسیکلی و همچنین استفاده از منومرهای با ساختار پیچ‌خورده اشاره نمود. به هر حال بخاطر توسعه فرایندپذیری آسان پلیمرهای با عملکرد بالا، اصلاحاتی که باعث افزایش حلالیت شده در حالیکه خصوصیت میله‌ای سخت و پایداری حرارتی پلیمر حفظ شود بسیار جالب می‌باشند. یکی دیگر از روشهای مرسوم برای افزایش حلالیت پلیمر، وارد کردن گروههای حجیم آویزان در اسکلت پلیمر می‌باشد. این اصلاح باعث کاهش نقطه ذوب شده و در نتیجه منجر به تهیه پلیمر آمورف و محلول می‌شود. بهر حال بعضی تلاشها در استفاده از منومرهای با گروههای جانبی منعطف منجر به تولید پلیمرهایی با حلالیت پایین در حلالهای آلی شده است. 9 و 9- دی‌اکتیل-2 و 7- دی‌برموفلورن با دو گروه اکتیل جانبی منعطف، انتخاب ما برای این منظور بود. در این قسمت از پروژه ما برای اولین بار روش آمیداسیونی را برای تهیه پلی‌آمیدهای جدید با استفاده از کوپل آمیدی 9 و 9- دی‌اکتیل-2 و 7- دی‌برموفلورن با آمیدهای مختلف از جمله 2 و 5- پیرازین‌دی‌اون، ترفتالامید، ایزوفتالامید و آدیپامید در حضور CuI به عنوان کاتالیزور، N و N'- دی‌متیل‌اتیلن‌دی‌آمین به عنوان لیگاند و K₂CO₃ به عنوان باز معرفی نمودیم. این پلی‌آمیدها بعد از سنتز توسط روشهای مختلف طیف‌سنجی از جمله FT-IR و NMR و همچنین آنالیز عنصری مورد شناسایی و ویسکوزیته، جرم مولکولی، حلالیت و رفتار حرارتی آنها مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این دی‌آمین جدید N- [7-]

(استیل-4- آمینوآنیلینو)-9و9- دی اکتیل فلورن-2- ایل- [4-N- آمینوفنیل) استامید (ADOAc) با استفاده از روش آمیداسیونی که قبلا ذکر شد، سنتز نمودیم. این دی آمین دارای واحدهای آمیدی و فلورنی با استخلافهای جانبی منعطف آلیفاتیک می باشد که از آن با دی کربوکسیلیک اسیدهای مختلف به منظور تهیه پلی آمیدهای محلول، استفاده نمودیم. در این حالت بهترین شرایط پلیمریزاسیون از طریق سنتز ترکیب مدل حاصل شد. علاوه بر این ADOAc در واکنش پلیمریزاسیون تراکمی با دی-انیدریدهای آروماتیک مختلف، به منظور تهیه پلی ایمیدهای محلول و مقاوم حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. دی آمین جدید، پلی آمیدها و پلی ایمیدهای سنتزی توسط روشهای مختلف طیف سنجی از جمله FT-IR و NMR و همچنین آنالیز عنصری مورد شناسایی و خصوصیات پلیمرها از جمله ویسکوزیته، حلالیت، خصوصیات حرارتی و پایداری حرارتی مورد بررسی قرار گرفت.

صفحه	عنوان
1	بخش مقدمه و تئوری
2	1- رزین‌های اپوکسی
2	1-1- مقدمه
3	1-2- انواع رزین‌های اپوکسی
3	1-2-1- گلیسیدیل‌اترهای بر پایه بیس فنل A
3	1-1-2-1- تهیه رزین‌های اپوکسی بر پایه بیس فنل A با جرم مولکولی پایین
4	1-2-1-2-1- تهیه رزین‌های اپوکسی بر پایه بیس فنل A با جرم مولکولی بالا
5	1-2-1-3- خواص رزین‌های اپوکسی بر پایه بیس فنل A
5	1-2-2- رزین‌های اپوکسی دیگر بر پایه گلیسیدیل
6	1-2-2-1- رزین‌های اپوکسی بر پایه بیس فنل A برمه شده
6	1-2-2-2- اپوکسی نووالاکهای فنل و کرزول
7	1-2-2-3- گلیسیدیل‌اترهای فنل - آلدئید
7	1-2-2-4- گلیسیدیل‌اترهای فنل - هیدروکربن نووالاک
8	1-2-2-5- گلیسیدیل‌اترهای دی‌ال‌آلیفاتیک
9	1-2-2-6- گلیسیدیل‌آمینهای آروماتیک
9	1-2-2-7- گلیسیدیل‌ایمیدها و آمیدهای هتروسیکل
10	1-2-2-8- گلیسیدیل‌استرها
11	1-2-2-9- رزین‌های اپوکسی فلوئوره
11	1-2-2-10- سایر رزین‌های سنتز شده
12	1-2-3- اپوکسی‌دارکردن اولفینهای سیکلوآلیفاتیک
13	1-2-4- خصوصیات مهم رزین‌های اپوکسی
14	1-3- پخت و تکنولوژی فرایند پخت
15	1-3-1- عوامل پخت چند عاملی
15	1-3-1-1- پلی‌آمینها
22	1-3-1-1-1- مکانیسم واکنش پخت رزین‌های اپوکسی توسط آمینها
24	1-3-1-2- انیدریدها

صفحه	عنوان
25	3-1-3-1- عوامل پخت چند عاملی متفرقه (گوناگون)
26	2-3-1- هموپلیمریزاسیون رزین‌های اپوکسی
26	3-3-1- ترمودینامیک واکنش پخت
27	4-3-1- خواص پلیمرهای گرماسخت اپوکسی
28	1-4-3-1- ریخت‌شناسی
29	2-4-3-1- درجه سخت‌شدن
29	3-4-3-1- پایداری حرارتی
30	4-4-3-1- مقاومت شیمیایی
30	5-3-1- کاربردهای پلیمرهای گرماسخت اپوکسی
31	4-1- سینتیک پخت رزین‌های اپوکسی
31	1-4-1- مدل‌های سینتیکی جهت مطالعات آنالیز حرارتی
34	2-4-1- مقدمه‌ای بر آنالیز حرارتی
35	1-2-4-1- گرماسنجی روبشی دیفرانسیلی (DSC)
35	1-1-2-4-1- سه روش برای به دست‌آوردن نتایج DSC مورد استفاده قرار می‌گیرند
37	2-1-2-4-1- کاربرد های DSC
37	2-2-4-1- ترموگراویمتری (TGA)
37	4-4-1- روش‌های مختلف برای تعیین پارامترهای سینتیکی واکنش پخت با استفاده از داده‌های دینامیک DSC
37	1-4-4-1- روش فلاین-وال-ازاوا (FWO)
38	2-4-4-1- روش کیسینجر
38	3-4-4-1- روش هم‌وارونگی
39	2- پلیمرهای تراکمی
39	1-2- پلی‌آمیدها
40	1-1-2- نامگذاری
40	2-1-2- کاربردها
42	3-1-2- ساختار- وابستگی‌های خواص
43	4-1-2- مختصری از شیمی و تکنیک‌های تجزیه‌ای

صفحه	عنوان
43	1-4-1-2- شیمی و کاتالیزور
43	1-1-4-1-2- فرایندهای هیدرولیتیک
44	2-1-4-1-2- پلیمریزاسیون حلقه‌گشایی
45	3-1-4-1-2- پلیمریزاسیون بین سطحی یا روش اسید کلرید
46	4-1-4-1-2- روشهای دیگر سنتز پلی‌آمیدها
47	5-1-4-1-2- آمیداسیون متقابل
47	6-1-4-1-2- پلیمریزاسیون سطح جامد
49	7-1-4-1-2- آمیدی کردن از طریق فسفردار نمودن
49	8-1-4-1-2- آمیدی کردن مستقیم
50	2-4-1-2- پلی‌آمیدهای آروماتیک (آرامیدها)
51	1-2-4-1-2- کولار
52	2-2- پلی‌ایمیدها
54	1-2-2- سنتز پلی‌ایمیدها
54	1-1-2-2- پلی‌ایمیدهای تراکمی
55	1-1-1-2-2- روش سنتز یک مرحله‌ای
55	2-1-1-2-2- روش سنتز دو مرحله‌ای
55	3-1-1-2-2- مکانیسم تشکیل پلی‌آمیک اسید
56	4-1-1-2-2- عوامل موثر در تهیه پلی‌آمیک اسیدها
57	5-1-1-2-2- آبگیری و حلقه‌زایی حرارتی پلی‌آمیک اسیدها
57	6-1-1-2-2- مکانیسم ایمیدی شدن حرارتی
58	7-1-1-2-2- آبگیری و حلقه‌زایی شیمیایی پلی‌آمیک اسیدها
58	8-1-1-2-2- مکانیسم ایمیدی شدن شیمیایی
59	2-1-2-2- پلی‌ایمیدهای افزایشی
59	1-2-1-2-2- گروههای انتهایی نوربورن
60	2-2-1-2-2- گروههای انتهایی مالیمید
60	3-2-1-2-2- گروههای انتهایی استیلنی
61	4-1-1-2-2- گروههای انتهایی سیکلوبوتن
62	2-1-2-2- کاربرد پلی‌ایمیدها

صفحه	عنوان
62	2-3- بهبود فرایندپذیری پلی آمیدها و پلی ایمیدها
62	2-3-1- واردکردن بخشهای انعطاف دهنده در طول زنجیر پلیمر
64	2-3-2- واردکردن استخلافهای جانبی حجیم
66	2-3-3- واردکردن گروههای فنیلی که در موقعیتهای 2 و 2 دارای استخلاف باشند
67	2-3-4- واردکردن بخشهای نامتقارن در اسکلت پلیمر
68	2-3-5- واردکردن بخشهای آلیسیکلیک در اسکلت پلیمر
69	2-3-6- واردکردن گروههای انعطاف پذیر آلکیلی به صورت زنجیر جانبی در اسکلت پلیمر
70	بخش تجربی
71	2- بخش تجربی
71	2-1- دستگاهها و مواد مورد استفاده در این پروژه
71	2-1-1- دستگاهها
71	2-1-2- مواد شیمیایی
74	2-2- رزین های اپوکسی
74	2-2-1- سنتز عوامل پخت
74	2-2-1-1- سنتز 4و4- دی آمینو استیلبن (DAS)
74	2-2-1-2- سنتز 4و4- دی آمینو آزوبنزن (DAAB)
75	2-2-1-3- سنتز 4- فنیل -2و6- بیس (4- آمینو فنیل) پیریدین (PAP)
76	2-2-1-4- سنتز 2و7- دی آمینو فلورن (DAF)
77	2-2-1-5- سنتز 3و6- دی آمینو کربازول (DAC)
78	2-2-1-6- سنتز 3و6- دی آمینو - 9- اکتیل کربازول (DAO)
79	2-2-1-7- سنتز N- [7- (استیل -4- آمینو آنیلینو) -9و9- دی اکتیل فلورن -2- ایل] -N-4- آمینو فنیل) استامید (ADO)
80	2-2-2- شناسایی عوامل پخت
80	2-2-3- تهیه مخلوطهای اپوکسی - عوامل پخت و تعیین دمای پخت ایزوترمال
81	2-2-4- تعیین خواص ظاهری رزین پخت شده توسط دی آمین های مورد نظر

صفحه	عنوان
82	2-2-5- تهیه ترموگرام های دینامیک DSC از مخلوط رزین با غلظتهای مختلف از عوامل پخت
82	2-2-6- بررسی خصوصیات حرارتی رزین های پخت شده
83	2-3- پلیمرهای تراکمی
83	2-3-3- آماده سازی مواد اولیه
83	2-3-3-1- خشک نمودن تولوئن
83	2-3-3-2- خشک نمودن DMF
83	2-3-3-3- خشک نمودن DMAC
83	2-3-3-4- خشک نمودن NMP
83	2-3-3-5- سنتز منومر ترفتالامید (TPAm)
84	2-3-3-6- سنتز منومر ایزوفتالامید (IPAm)
84	2-3-3-5- سنتز منومر آدیپامید (AAm)
84	2-3-3-6- سنتز منومر 9و9- دی اکتیل -2و7- دی برموفلورن (DODBF)
84	2-3-3-7- سنتز منومر N- [7- (استیل -4- آمینوآنیلینو) -9و9- دی اکتیل فلورن -2- ایل] -N-4-
	آمینوفنیل) استامید (ADOAc)
84	2-3-4- سنتز ترکیبهای مدل با استفاده از سیستم آمیداسیون کاتالیتیکی آریل هالیدها با آمیدها
85	2-3-5- سنتز پلی آمیدهای مختلف با استفاده از سیستم آمیداسیون کاتالیتیکی آریل هالیدها با آمیدها
85	2-3-5-1- روش اول: سنتز پلیمر (DODBF+PDO)
86	2-3-5-2- روش دوم
86	2-3-6- سنتز ترکیب مدل و پلی آمیدهای مختلف با استفاده از واکنش تراکمی کربوکسیلیک- اسیدهای مختلف با دی آمین ADOAc
86	2-3-6-1- سنتز ترکیب مدل (ADOAc+BAC)
87	2-3-6-2- سنتز پلی آمیدهای مختلف
87	2-3-7- سنتز پلی ایمیدهای مختلف با استفاده از واکنش تراکمی دی انیدریدهای مختلف و دی آمین ADOAc
88	2-3-8- شناسایی ترکیبهای مدل و پلیمرهای سنتز شده
88	2-3-9- بررسی حلالیت پلیمرهای سنتز شده در حلالهای مختلف
88	2-3-10- تعیین ویسکوزیته ذاتی پلیمرهای سنتز شده

صفحه	عنوان
86	2-3-6- سنتز ترکیب مدل و پلی آمیدهای مختلف با استفاده از واکنش تراکمی کربوکسیلیک- اسیدهای مختلف با دی آمین ADOAc
86	2-3-6-1- سنتز ترکیب مدل (ADOAc+BAC)
87	2-3-6-2- سنتز پلی آمیدهای مختلف
87	2-3-7- سنتز پلی ایمیدهای مختلف با استفاده از واکنش تراکمی دی انیدریدهای مختلف و دی آمین ADOAc
88	2-3-11- تعیین جرم مولکولی پلی آمیدهای قابل حل در THF
89	2-3-12- بررسی بررسی خصوصیات حرارتی پلیمرهای سنتز شده
90	2-3-13- بررسی خواص نوری ترکیبهای مدل (DODBF+CL) و (DODBF+VL) و پلیمر (DODBF+PDO)
91	بخش بحث و نتیجه گیری
92	3- بحث و نتیجه گیری
92	3-1- رزین های اپوکسی
92	3-1-1-4 و 4- دی آمینو استیلین (DAS) و 4 و 4- دی آمینو آزوبنزن (DAAB)
94	3-1-1-1- پخت رزین اپوکسی با DAS و DAAB
94	3-1-1-2- آنالیز سینتیکی تحت شرایط دینامیک
97	3-1-2-4- فنیل-2 و 6- بیس (4- آمینو فنیل) پیریدین (PAP)
98	3-1-2-1- پخت رزین اپوکسی با PAP
98	3-1-2-2- آنالیز سینتیکی تحت شرایط دینامیک
101	3-1-3-2 و 7- دی آمینو فلورن (DAF)
102	3-1-3-1- پخت رزین اپوکسی با DAF
103	3-1-3-2- آنالیز سینتیکی تحت شرایط دینامیک
105	3-3-1-3- بررسی مقاومت حرارتی سیستم DGEBA/DAF
106	3-1-4-3 و 3 و 6- دی آمینو کربازول (DAC)، 3 و 6- دی آمینو-9- اکتیل کربازول (DAOC) و N- [7- (استیل-4- آمینو آنیلینو)-9 و 9- دی اکتیل فلورن-2- ایل]-N-4- آمینو فنیل) استامید (ADOAc)

صفحه	عنوان
109	1-4-1-3- پخت رزین اپوکسی با DAF، DAOC و ADOAc
110	2-4-1-3- آنالیز سیتیکی تحت شرایط دینامیک
113	3-4-1-3- بررسی مقاومت حرارتی سیستمهای DGEBA/ADOAc و DGEBA/DAC
115	2-3- پلیمرهای تراکمی
117	1-2-3- تهیه ترکیبهای مدل و پلیمرهای مختلف با استفاده از روش آمیداسیون کاتالیزوری
117	1-1-2-3- سنتز و شناسایی منومرها
118	2-1-2-3- سنتز و شناسایی ترکیبهای مدل (DODBF+CL)، (DODBF+VL) و (DODBF+BAm)
121	3-1-2-3- سنتز و شناسایی پلی آمید (DODBF+PDO)
123	1-3-1-2-3- ویسکوزیته، جرم مولکولی و حلالیت پلی آمید (DODBF+PDO)
123	2-3-1-2-3- خصوصیات گرمایی پلی آمید (DODBF+PDO)
124	3-3-1-2-3- خصوصیات فوتوفیزیکی ترکیبهای مدل (DODBF+CL)، (DODBF+VL) و پلی - آمید (DODBF+PDO)
125	4-1-2-3- سنتز و شناسایی پلی آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+IPAm) و (DODBF+AAm)
126	1-4-1-2-3- ویسکوزیته، جرم مولکولی و حلالیت پلی آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+IPAm) و (DODBF+AAm)
128	2-3-1-2-3- خصوصیات گرمایی پلی آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+IPAm) و (DODBF+AAm)
130	2-2-3- تهیه ترکیب مدل و پلی آمیدهای مختلف با استفاده از ADOAc و دی اسیدهای مختلف
130	1-2-2-3- سنتز و شناسایی دی آمین N- [7- (استیل-4- آمینوآنیلینو)-9 و 9- دی - اکتیل فلورن-2- ایل] - [4-N- آمینوفنیل] استامید (ADOAc)
130	2-2-2-3- سنتز و شناسایی ترکیب مدل (ADOAc+BAC)
131	3-2-2-3- سنتز و شناسایی پلی آمیدهای مختلف با استفاده از دی آمین ADOAc و دی اسیدهای کربوکسیلیک
134	1-3-2-2-3- حلالیت و ویسکوزیته پلی آمیدهای (ADOAc+PDCAc)، (ADOAc+TPAc)، (ADOAc+IPAc)، (ADOAc+AAc) و (ADOAc+SAC)

صفحه	عنوان
135	2-3-2-2-3- خصوصیات گرمایی پلی آمیدهای (ADOAc+PDCAc)، (ADOAc+TPAc)، (ADOAc+IPAc)، (ADOAc+AAc) و (ADOAc+SAC)
138	1-3-2-2-3- حلالیت و ویسکوزیته پلی ایمیدهای (ADOAc+PMDA) و (ADOAc+BTDA)
139	2-4-2-2-3- خصوصیات گرمایی پلی ایمیدهای (ADOAc+PMDA) و (ADOAc+BTDA)
140	3-3- نتیجه گیری
143	4-3- پیشنهادات
145	ضمائم
186	منابع
195	چکیده انگلیسی

- 35 شکل 2-1- طراحی از کالریمتر جبرانی توان جهت کاربرد در DSC
- 45 شکل 2-1- تاثیر مقدار آب (w) روی درجه پلیمریزاسیون (P_n) در تعادل شیمیایی
- 94 شکل 3-1- طیف $^1\text{H-NMR}$ و 4-4 دی‌آمینوآزوبنزن (DAAB)
- 95 شکل 2-3- ترموگرام DSC مربوط به سیستمهای DGEBA/29phrDAS و DGEBA/29phrDAAB در سرعت گرمایش $18^\circ\text{C}/\text{min}$
- 98 شکل 3-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ 4-4 فنیل-2و6- بیس (4- آمینو فنیل) پیریدین (PAP)
- 99 شکل 4-3- ترموگرامهای DSC رزین پخت شده با غلظتهای مختلف PAP در سرعت گرمایش مشابه
- 102 شکل 5-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ 2و7- دی‌آمینوفلورن (DAF)
- 103 شکل 6-3- ترموگرامهای DSC اپوکسی رزین پخت شده با DAF26phr در سرعتهای گرمایش مختلف
- 106 شکل 7-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ 3و6- دی‌آمینو کربازول (DAC)
- 108 شکل 8-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ 3و6- دی‌آمینو-9- اکتیل کربازول (DAOC)
- 110 شکل 9-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ ، ADOAc
- 111 شکل 10-3- ترموگرامهای DSC مربوط به سیستم DGEBA/21phrDAC در سرعتهای گرمایش مختلف
- 120 شکل 11-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ ترکیب مدل (DODBF+VL)
- 120 شکل 12-3- طیف $^{13}\text{C-NMR}$ ترکیب مدل (DODBF+VL)
- 122 شکل 13-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ پلی‌آمید (DODBF+DPO)
- 126 شکل 14-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ پلی‌آمید (DODBF+TPAm)
- 129 شکل 15-3- ترموگرام TGA پلی‌آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+IPAm) و (DODBF+AAM)
- 132 شکل 16-3- طیف FT-IR پلی‌آمید (ADOAc+PDCAc)
- 132 شکل 17-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ پلی‌آمید (ADOAc+PDCAc)
- 137 شکل 18-3- طیف FT-IR پلی‌ایمید (ADOAc+PMDA)
- 138 شکل 19-3- طیف $^1\text{H-NMR}$ پلی‌ایمید (ADOAc+PMDA)

صفحه	عنوان
5	جدول 1-1- خصوصیات معمولی بعضی از رزین‌های اپوکسی بر پایه دی‌گلیسیدیل‌اتریس فنل A
21	جدول 2-1- پارامترهای سینتیکی محاسبه شده برای دی‌آمینهای مختلف
28	جدول 3-1- خواص معمولی، مقاومت شیمیایی و تخریب گرمایی رزین DGEBA مایع (EEM=185) پخت شده با عوامل پخت معمولی
41	جدول 4-1- تعدادی از منومرهای تشکیل دهنده پلی‌آمیدهای تجاری
42	جدول 5-1- خصوصیات معمولی پلی‌آمید گرانولی
81	جدول 1-2- مشخصات آمینها و دمای پخت ایزوترمال آنها
81	جدول 2-2- دماها و زمانهای بکار برده شده برای پخت ایزوترمال رزین اپوکسی با دی‌آمینهای مختلف و رنگ ظاهری رزین پخت شده
93	جدول 1-3- آنالیز طیف‌سنجی و عنصری DAS و DAAB
95	جدول 2-3- اطلاعات بدست آمده از منحنی‌های DSC برای سیستمهای DGEBA/DAS و DGEBA/DAAB
96	جدول 3-3- مقادیر محاسبه شده انرژی فعالسازی، فرکانس برخورد و ثابت سرعت برای سیستمهای DGEBA/DAS و DGEBA/DAAB
97	جدول 4-3- آنالیز طیف‌سنجی و عنصری PNP و PAP
99	جدول 5-3- اطلاعات بدست آمده از منحنی‌های DSC برای سیستم DGEBA/PAP
100	جدول 6-3- داده‌های $ln(q)$ و T^{-1} برای سیستم DGEBA/32phrPAP
100	جدول 7-3- انرژیهای فعالسازی برای سیستم DGEBA/PAP با استفاده از روش هم‌وارونگی
101	جدول 8-3- مقادیر محاسبه شده انرژی فعالسازی، فرکانس برخورد و ثابت سرعت برای سیستم DGEBA/PAP با استفاده از روشهای سینتیکی مختلف
102	جدول 9-3- آنالیز طیف‌سنجی و عنصری DAF
104	جدول 10-3- اطلاعات بدست آمده از منحنی‌های DSC برای سیستم DGEBA/DAF
104	جدول 11-3- داده‌های $ln(q)$ و T^{-1} برای سیستم DGEBA/26phrDAF
105	جدول 12-3- انرژیهای فعالسازی برای سیستم DGEBA/DAF با استفاده از روش هم‌وارونگی
105	جدول 13-3- مقادیر محاسبه شده انرژی فعالسازی، فرکانس برخورد و ثابت سرعت برای سیستم DGEBA/DAF با استفاده از روشهای سینتیکی مختلف
109	جدول 14-3- آنالیز طیف‌سنجی و عنصری DAC و DAOC

صفحه	عنوان
112	جدول 3-15- اطلاعات بدست آمده از منحنی‌های DSC برای سیستمهای DGEBA/DAC، DGEBA/ADOAc و DGEBA/DAOC
112	جدول 3-16- داده‌های T^1 و $\ln(q)$ برای سیستمهای DGEBA/DAC و DGEBA/ADOAc
113	جدول 3-17- انرژیهای فعالسازی برای سیستمهای DGEBA/DAC و DGEBA/ADOAc با استفاده از روش هم‌وارونگی
113	جدول 3-18- مقادیر محاسبه شده انرژی فعالسازی، فرکانس برخورد و ثابت سرعت برای سیستمهای DGEBA/DAC و DGEBA/ADOAc با استفاده از روشهای سینتیکی مختلف
114	جدول 3-19- اطلاعات حاصل از ترموگرامهای TGA برای سیستمهای DGEBA/DAC و DGEBA/ADOAc
118	جدول 3-20- آنالیز طیف‌سنجی نقطه ذوب و راندمان منومرهای TPAm، IPAm و AAm
121	جدول 3-21- آنالیز طیف‌سنجی ترکیبهای مدل (DODBF+CL)، (DODBF+VL) و (DODBF+BAm)
121	جدول 3-22- آنالیز عنصری، بازده، نقطه ذوب و رنگ ترکیبهای مدل (DODBF+CL)، (DODBF+BAm) و پلی‌آمید (DODBF+VL)
122	جدول 3-23- آنالیز پلی‌آمید (DODBF+DPO)
123	جدول 3-24- اطلاعات حاصل از ترموگرامهای TGA و DSC پلی‌آمید (DODBF+PDO)
124	جدول 3-25- اطلاعات حاصل از طیفهای UV و فوتولومینسانس ترکیبهای مدل (DODBF+CL)، (DODBF+VL) و پلی‌آمید (DODBF+PDO)
127	جدول 3-26- آنالیز عنصری، بازده و اطلاعات طیفی پلی‌آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+AAm) و (DODBF+IPAm)
128	جدول 3-27- مقادیر ویسکوزیته و حلالیت پلی‌آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+AAm) و (DODBF+IPAm)
129	جدول 3-28- اطلاعات حاصل از ترموگرامهای TGA و DSC پلی‌آمیدهای (DODBF+TPAm)، (DODBF+AAm) و (DODBF+IPAm)
133	جدول 3-29- آنالیز عنصری، بازده و اطلاعات طیفی پلی‌آمیدهای (ADOAc+PDCAc)، (ADOAc+TPAc)، (ADOAc+IPAc)، (ADOAc+AAc) و (ADOAc+SAC)

صفحه	عنوان
134	جدول 3-30- مقادیر ویسکوزیته و حلالیت پلی‌آمیدهای (ADOAc+PDCAc)، (ADOAc+SAC) و (ADOAc+AAc)، (ADOAc+IPAc)، (ADOAc+TPAc)
136	جدول 3-31- اطلاعات حاصل از ترموگرامهای TGA و DSC پلی‌آمیدهای (ADOAc+PDCAc)، (ADOAc+TPAc)، (ADOAc+IPAc)، (ADOAc+SAC) و (ADOAc+AAc)
138	جدول 3-32- آنالیز عنصری، بازده و اطلاعات طیفی پلی‌ایمیدهای (ADOAc+PMDA) و (ADOAc+BTDA)
139	جدول 3-33- مقادیر ویسکوزیته و حلالیت پلی‌ایمیدهای (ADOAc+PMDA) و (ADOAc+BTDA)
140	جدول 3-34- اطلاعات حاصل از ترموگرامهای TGA و DSC پلی‌ایمیدهای (ADOAc+PMDA) و (ADOAc+BTDA)
141	جدول 3-35- مقادیر محاسبه شده انرژی فعالسازی، فرکانس برخورد و ثابت سرعت برای سیستمهای مختلف