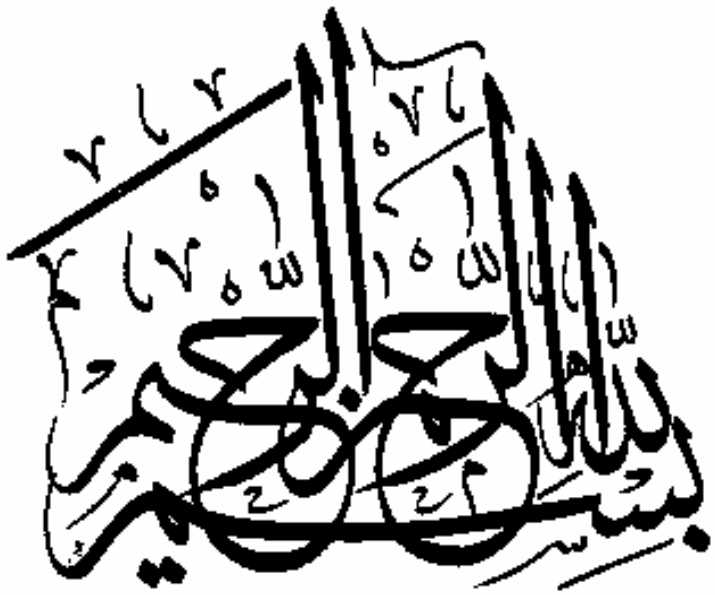
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده‌ی شیمی

گروه شیمی آلی

رساله

جهت اخذ درجه‌ی دکتری

در رشته شیمی آلی

عنوان:

سنتز و شناسایی مشتق‌های دی‌کلروآزیریدین از بازهای شیف در شرایط گوناگون استفاده از کاتالیزگر انتقال فاز، نانوذرات منیزیم اکسید، فراصوت و استفاده از آن‌ها در تهیه‌ی N-(هیدروکسی بنزیل)فرمامیدها و عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی چند دیواره

استاد راهنما:

پروفسور حسین نعیمی

بوسیله:

خدیجه ربیعی فرادنبه

شهریور ماه 1390

تشکر و قدردانی

سپاس بی‌کران خداوندی را که موهبت تفکر را به انسان ارزانی داشت، تا از برکت آن به پرورش و شکوفایی ذوق و اندیشه‌ی خویش بپردازد و از سایر موجودات عالم هستی ممتاز گردد.

بعد از حمد خداوند و درود و صلوات بر حضرت محمد (ص) و ائمه هدی (ع) که هادیان و معلمان بشرند بر خود لازم می‌دانم به رسم ادب و حق‌شناسی مراتب سپاس و امتنان خود را نسبت به استاد گرامی و ارجمندم جناب آقای **پروفسور حسین نعیمی** که راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان در طول تحقیق، پژوهش و نگارش این رساله راهگشای من بوده است، ابراز نمایم.

هم‌چنین از تشریک مساعی جناب آقای **دکتر جواد صفایی قمی** و جناب آقای **دکتر جواد صفری** به عنوان متخصص و صاحب‌نظر داخل دانشگاه کمال تقدیر و تشکر را دارم. از حضور جناب آقای **پروفسور محمد محمودی هاشمی** و **پروفسور اکبر مبینی خالدی** به عنوان متخصص و صاحب‌نظر خارج دانشگاه که زحمت بازخوانی این رساله را متقبل شده‌اند و در جلسه دفاعیه شرکت نمودند، بی-نهایت سپاسگزارم. هم‌چنین از جناب آقای **دکتر حسن دقیق** به عنوان ناظر و نماینده تحصیلات تکمیلی قدردانی می‌نمایم.

هم‌چنین از تمامی استادان بخش شیمی که در طول دوران تحصیل از محضرشان کسب فیض نموده‌ام، سپاسگزارم.

تقدیم به روان پاک پدرم

که زندگی‌ام بی او گرمی ندارد و جایگاه سبزش همیشه و همواره در باغ خـاطراتم خالیست.

تقدیم به مادر مهربانم

که شفافیت نگاهش، لطافت تبسم‌هایش و زلالی دل مهربانش زیباترین بهـاران را برایم تداعی می‌کند.

تقدیم به خواهر و برادرانم

که صداقت، محبت و لطف بی‌انتهایشان در تمامی مراحل زنـدگی قـرین لحظـاتم بوده است.

چکیده

با توجه به بازهای شیف در زمینه‌های گوناگون نظیر صنعت، داروسازی و تهیه‌ی فرآورده‌های شیمی، در گام اول پژوهش تهیه‌ی تعدادی از این ترکیب‌ها تحت شرایط بدون حلال و در حضور مونتموریلونیت بررسی شده است. در گام بعدی با توجه به ماهیت پیوند ایمین، واکنش افزایش حدواسط دی‌کلروکاربن بر بازهای شیف با استفاده از کاتالیزگر انتقال فاز، سود و کلروفرم بررسی شده و فراورده-های جدید 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین به دست آمد. در ادامه با توجه به نقش فراصوت در واکنش‌های گوناگون و در راستای توسعه‌ی کاربرد آن در عرصه‌ی شیمی مشتق‌های گوناگون 2،2-دی-کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین تحت تابش فراصوت تهیه گردید. سپس به منظور ارایه‌ی روش جدید دیگر در این زمینه، نانوصفحه‌های منیزیم اکسید در حضور تابش فراصوت تهیه شد و از این نانو ساختار به عنوان کاتالیزگر باز برای تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها تحت شرایط حرارتی و تابش ریزموج استفاده گردید. افزون بر این مشتق‌های گوناگون آزیریدین به کمک روش‌های گزارش شده با بازده بالا و زمان کوتاه تهیه گردیدند. محصول‌های به دست آمده با استفاده از روش‌های طیف‌بینی و طیف‌سنجی شامل FT-IR، ^{1}H NMR، ^{13}C NMR، Mass و آنالیز عنصری (C. H. N) مورد شناسایی قرار گرفتند. نانو صفحه‌های منیزیم اکسید تهیه شده نیز با استفاده از شناساگرهای XRD، SEM و طیف بینی FT-IR شناسایی گردید. سپس با استفاده از روشی جدید، از واکنش اکسایش ملایم فراورده‌های آزیریدین تهیه شده با استفاده از روش‌های ذکر شده، توسط دی‌متیل سولفوکسید تحت شرایط حرارتی انجام شده، *N*-(هیدروکسی بنزیل)فرمامید تهیه شد. با توجه به کاربرد و اهمیت نانولوله-های کربنی عامل‌دار شده، نمونه‌ای از نانولوله‌های کربنی چنددیواره‌ی آزیریدین‌دارشده تحت تابش فراصوت در حضور منیزیم، نانولوله‌های کربنی چنددیواره و مشتق دی‌کلروآزیریدین تهیه گردیده و با استفاده از داده‌های حاصل از FT-IR، PL، Raman و XRD شناسایی شد.

کلمات کلیدی: باز شیف، آزیریدین، فرمامید، نانوصفحه‌های منیزیم اکسید، نانولوله‌های کربنی چنددیواره

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
مقدمه	1
1-1- بازهای شیف	1
1-2- انواع واکنش‌های تهیه‌ی بازهای شیف	2
1-3- واکنش نیتریل‌ها با ترکیب‌های آلی-فلزی	2
1-2-2- تهیه‌ی بازهای شیف از طریق هیدروژن‌زدایی آمین‌ها	2
1-2-3- واکنش فنل‌ها با نیتریل‌ها	3
1-2-4-تهیه‌ی بازهای شیف با استفاده از آمیدهای فلزی	3
1-3-واکنش‌های بازهای شیف	3
1-3-1-کاهش ایمین‌ها و تشکیل آمین‌ها	4
1-3-2-افزایش ترکیب‌های دارای هیدروژن فعال	4
1-3-3-افزایش مرکاپتان‌ها به ایمین‌ها	5
1-4-اهمیت و کاربرد بازهای شیف	6
1-5-حدواسط کاربن	7
1-5-1- بررسی ساختار هندسی کاربن‌ها	8
1-5-2-پایداری و واکنش‌پذیری کاربن‌ها	9
1-6-شیمی آزیریدین‌ها	10

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
1-6-1-بررسی ساختار آزیریدین	11
1-6-2-اهمیت و کاربرد آزیریدین‌ها	12
1-6-2-1-استفاده از آزیریدین‌ها به عنوان حدواسط در سنتزهای آلی	12
1-6-2-2-حضور آزیریدین‌ها در عرصه‌ی داروسازی	13
1-6-2-3- استفاده از آزیریدین‌ها به عنوان لیگاند در تهیه‌ی ترکیب‌های کایرال کمکی و بسپارها	14
1-7-تهیه‌ی آزیریدین‌ها	14
1-7-1-انتقال نیتروژن به پیوند آلکن	14
1-7-2-افزایش به آزیرین‌ها و تهیه‌ی آزیریدین‌ها	15
1-7-3-تهیه‌ی آزیریدین‌ها از طریق واکنش آلفا- هالو ایمین‌ها	16
1-7-4-تهیه‌ی آزیریدین‌ها با استفاده از واکنش دارزن	17
1-7-5-افزایش کاربن	17
1-7-6-دیگر واکنش‌های گزارش شده برای تهیه‌ی آزیریدین‌ها	18
1-8-فرمامیدها	18
1-8-1-اهمیت و کاربرد فرمامیدها	19
1-8-2-انواع واکنش‌های تهیه‌ی فرمامیدها	20
الف- فرمیل‌دار کردن آمین بدون کاتالیزگر و حلال	20

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
ب- فرمیل‌دارکردن آمین‌ها در حضور لوییس اسید	20
ج- تهیه‌ی فرامیدها با استفاده از کاتالیزگر تیامین هیدروکلرید	21
د- فرمیل‌دار کردن آمین‌ها با استفاده از کاتالیزگر طلا	21
1-9-فن‌آوری نانو	22
1-9-1- نانوذرات	23
1-9-1-1-نانوذرات منیزیم اکسید	24
1-9-1-2-استفاده از منیزیم اکسید نانو ساختار در واکنش کلایزن- اشمیت	25
1-9-1-3- کاربرد منیزیم اکسید نانو ساختار در واکنش‌های هنری و مایکل	26
1-9-1-4-کاربرد منیزیم اکسید/منیزیم کلرید نانو ساختار در واکنش بنزیل-دار کردن ترکیب‌های آروماتیک	26
1-9-2-دنیای نانولوله‌های کربنی	27
1-9-2-1- انواع نانولوله‌های کربنی	28
1-9-2-2-خواص نانولوله‌های کربنی	29
1-9-2-3-عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی	30
1-9-2-3-1-عامل‌دار کردن کووالانسی	31
1-9-2-3-1-1-افزایش نایترن به نانولوله‌های کربنی	32
1-9-2-3-1-2-بسپارش نانولوله‌های کربنی	33

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
1-9-2-3-1-3-کربوکسیل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی چنددیواره	34
1-9-2-3-2- عامل‌دار شدن غیر کووالانسی نانولوله‌های کربنی	34
1-9-2-3-2-1- پوشاندن فیزیکی نانولوله‌های کربنی	34
1-9-2-3-2-2- اتصال فیزیکی به دیواره‌ی نانولوله‌های کربنی	35
1-9-2-3-2-3-اتصال فیزیکی به دیواره‌ی داخلی نانولوله‌های کربنی	35
1-10-تکنیک‌های کارآمد در عرصه‌ی شیمی	36
1-10-1-کاتالیزگرهای انتقال فاز	36
1-10-2-مزایای کاتالیزگرهای انتقال فاز	38
1-10-3-انواع کاتالیزگرهای انتقال فاز	38
1-10-4-دنیای فراصوت	40
1-10-4-2-تاریخچه‌ی فراصوت	41
1-10-4-3-چگونه امواج فراصوت ایجاد می‌شوند؟	42
الف- اثر پیزوالکتریسیته	42
ب- روش مگنتواستریکسون	43
1-10-4-4-مزایای فراصوت به عنوان یک منبع انرژی	43
1-10-4-5-برخی از قواعد فعالیت سونوشیمیایی	43
1-10-5-انواع دستگاه‌های تولید کننده‌ی امواج فراصوت	44

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
1-10-6-برخی از واکنش‌های انجام شده تحت تابش فراصوت	45
1-11-ریزموج	47
1-11-1- تاریخچه‌ی ریزموج	47
1-11-2-ماهیت امواج ریزموج	47
1-11-3-عوامل موثر در جذب تابش ریزموج	48
1-11-4-واکنش‌های انجام شده در اجاق ریزموج	49
1-14-هدف از انجام پژوهش	50
فصل دوم	
2-1-دستگاه‌ها و مواد مورد استفاده	51
2-1-1-مواد شیمیایی مصرفی	51
2-1-2-حلال‌های مورد استفاده	51
2-1-3- تجهیزات و دستگاه‌های اندازه‌گیری	52
2-2- جداسازی و شناسایی محصول‌ها	52
2-3- روش کار کلی آزمایشگاهی	53
2-3-1- اهمیت تهیه‌ی ترکیب‌های باز شیف	53
2-3-2- تهیه‌ی بازهای شیف	53
2-3-2-1-داده‌های طیفی بازهای شیف تهیه شده	55

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

2-3-3-اهمیت تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-1،3-دی‌آریل‌آزیریدین 61

2-3-3-1-روش کار کلی تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل-آزیریدین با استفاده از کاتالیزگر انتقال فاز 61

2-3-3-2-اطلاعات طیفی ترکیب‌های2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین تهیه شده 64

2-3-4-تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین بدون کاتالیزگر انتقال فاز در حضور تابش فراصوت 70

2-3-5-اهمیت تهیه‌ی نانوذرات 72

2-3-5-1-تهیه‌ی نانو صفحه‌های منیزیم اکسید 72

2-3-6- تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها با استفاده از نانو صفحه-های منیزیم اکسید تحت شرایط حرارتی 73

2-3-7- تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها با استفاده از نانو صفحه-های منیزیم اکسید تحت تابش ریزموج 74

2-3-8- اهمیت تهیه‌ی مشتق‌های N-(هیدروکسی‌بنزیل)فرمامید 75

2-3-8-1- تهیه‌مشتق‌های N-(هیدروکسی‌بنزیل)فرمامید 75

2-3-8-2- اطلاعات طیفی مشتق‌های N-(هیدروکسی‌بنزیل) فرمامید 78

2-3-9-عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی 84

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
2-3-9-1- تهیه‌ی نانولوله‌های کربنی چنددیواره‌ی آزیریدین‌دار شده	84
2-3-9-2-اطلاعات طیفی نانولوله‌ی عامل‌دار شده	85
فصل سوم	
3-1-رویکردهای مورد بحث	87
3-2- بررسی تهیه‌ی بازهای شیف	88
3-2-1- روش کلی تهیه‌ی بازهای شیف	88
3-2-2- بهینه سازی مقدار مونتموریلونیت	89
3-2-3- تهیه‌ی مشتق‌های گوناگون باز شیف	90
3-2-4- تهیه‌ی بلورهای باز شیف	91
3-2-5- سازوکار واکنش تهیه‌ی بازهای شیف	92
3-2-6- طیف بینی بازهای شیف	92
3-3- تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-1،3-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها	95
3-3-1- بررسی تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-1،3-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها با استفاده از کاتالیزگر انتقال فاز CTAB	96
3-3-1-1- بهینه سازی مقدار سدیم هیدروکسید	97
3-3-1-2- بهینه سازی مقدار کاتالیزگر انتقال **فاز** در واکنش تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-1،3-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها	98

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

3-3-1-3- تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین با استفاده از واکنش بازهای شیف در حضور کاتالیزگر انتقال فاز CTAB 99

3-3-2-بررسی ساز و کار تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل-آزیریدین از بازهای شیف 101

3-3-3- بررسی نقش و سازوکار کاتالیزگر انتقال فاز در تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین از بازهای شیف 102

3-3-4-طیف بینی مشتق 2،2-دی‌کلرو-1،3-دی‌آریل‌آزیریدین 103

3-4- شیمی و فراصوت 108

3-4-1- بررسی تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین‌ها با استفاده از تابش فراصوت 108

3-4-1-1- بهینه‌سازی مقدار سود در واکنش تهیه ی مشتق‌های 2،2-دی-کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین از بازهای شیف تحت تابش فراصوت 109

3-4-1-2- بهینه‌سازی توان تابش فراصوت در واکنش تهیه ی 2،2-دی-کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین از بازهای شیف تحت تابش فراصوت 110

3-4-2- تهیه‌ی مشتق‌های گوناگون 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین از بازهای شیف با استفاده از سود و کلروفرم تحت تابش امواج فراصوت 111

3-4-3-نگرشی برعملکرد تابش فراصوت درتهیه‌ی مشتق‌های دی‌کلروآزیریدین 113

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

3-4-4- تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین با استفاده از نانو صفحه‌های منیزیم اکسید 114

3-4-4-1- بررسی قدرت بازی اکسیدهای فلزی گوناگون در واکنش تهیه‌ی دی‌کلروآزیریدین از باز شیف تحت تابش ریزموج 115

3-4-4-2- تهیه‌ی نانوصفحه‌های منیزیم اکسید 116

3-4-4-3- بررسی‌های طیف بینی 117

3-4-4-4- بررسی تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین از باز شیف با استفاده از نانوصفحه‌های منیزیم اکسید تحت شرایط حرارتی 120

3-4-4-4-1- بهینه‌سازی منیزیم اکسید نانو ساختار در واکنش تهیه‌ی مشتق دی‌کلروآزیریدین تحت شرایط حرارتی 120

3-4-4-4-2- بهینه‌سازی دما در واکنش تهیه‌ی مشتق دی‌کلروآزیریدین 121

3-4-4-5- تهیه‌ی انواع مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-1،3-دی‌آریل‌آزیریدین با استفاده از نانوصفحه‌های منیزیم اکسید تحت شرایط حرارتی 122

3-4-4-6- بررسی تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین با استفاده از منیزیم اکسید نانوساختار تحت تابش ریزموج 124

3-4-4-6-1- بهینه‌سازی مقدار منیزیم اکسید نانو ساختار در واکنش تهیه‌ی دی‌کلروآزیریدین مورد نظر از باز شیف 124

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

3-4-4-6-2-بهینه‌سازی توان تابش ریزموج در واکنش تهیه‌ی دی- کلروآزیریدین مورد نظر از باز شیف 125

3-4-4-7- تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین با استفاده از نانو صفحه‌های منیزیم اکسید تحت تابش ریزموج 125

3-5- بررسی ماهیت عملکرد امواج ریزموج 127

3-6- تهیه‌ی مشتق‌های N-(هیدروکسی بنزیل)فرمامید 128

3-6-1- بهینه‌سازی دما در واکنش تهیه‌ی N-(هیدروکسی بنزیل)-فرمامید 129

3-6-2- بهینه‌سازی دی‌متیل‌سولفوکسید در واکنش تهیه‌ی N-(هیدروکسی بنزیل)فرمامید 130

3-6-3- تهیه‌ی مشتق‌های N-(هیدروکسی بنزیل)فرمامید 130

3-7- طیف بینی N-(هیدروکسی بنزیل)فرمامیدها 132

3-9-عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی 138

3-9-1- بررسی اثر عامل‌دار کردن نانولوله‌ها بر انحلال‌پذیری آن‌ها 138

3-9-2- بررسی اطلاعات طیفی نانولوله‌های عامل‌دار شده 139

3-9-3- بررسی طیف رامان نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده 142

3-9-4- بررسی طیف XRD 144

3-10- نتیجه‌گیری و رهیافت 147

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست	148
فهرست مراجع	176

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (3-1)- بهینه سازی مقدار مونتموریلونیت 90

جدول (3-2)- تهیه‌ی بازهای شیف درحضور بستر مونتموریلونیت..... 91

جدول (3-3)- بهینه‌سازی مقدار سدیم هیدروکسید در واکنش..... 97

جدول (3-4)- بهینه‌سازی مقدار CTAB در واکنش تهیه‌ی 98

جدول (3-5)-تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین..... 100

جدول (3-6)- بهینه‌سازی مقدار سدیم هیدروکسید..... . 109

جدول (3-7)- بهینه‌سازی توان فراصوت در واکنش تهیه‌ی..... ... 111

جدول (3-8)- تهیه‌ی مشتق‌های گوناگون 2،2-دی‌کلرو..... 112

جدول (3-9)- بررسی قدرت بازی اکسیدهای فلزی برای تهیه‌ی ترکیب..... 113

جدول (3-10)- بهینه‌سازی نانوصفحه‌های منیزیم اکسید..... 120

جدول (3-11)- بهینه‌سازی دما برای تهیه‌ی 2،2-دی‌کلرو-3،1-بیس(پارا- 121

جدول (3-12)- تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین..... 122

جدول (3-13)- بهینه‌سازی نانوصفحه‌های منیزیم اکسید برای تهیه..... 124

جدول (3-14)- بهینه‌سازی توان تابش ریزموج..... 125

جدول (3-15)- تهیه‌ی مشتق‌های 2،2-دی‌کلرو-3،1-دی‌آریل‌آزیریدین..... 126

جدول (3-16)- بهینه‌سازی دما در واکنش تهیه‌ی 129

جدول (3-17)-بهینه‌سازی دی‌متیل سولفوکسید 130

جدول (3-18)- تهیه‌ی مشتق‌های N-(هیدروکسی بنزیل)فرمامید 131

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (1-1)- ساختار برخی از بازهای شیف تهیه شده	7
شکل (1-2)- آرایش اربیتالی و الکترونی کاربن یک‌تایی و سه‌تایی	9
شکل (1-3)- انواع فراورده‌های تهیه شده از مشتق‌های آزیریدین	12
شکل (1-4)- ساختار برخی از داروهای دارای حلقه‌ی آزیریدین	13
شکل(1-5)- انواع دیگر شکل‌های کربن	28
شکل (1-6)- ساختار نانولوله‌های کربنی تک دیواره و چند دیواره	29
شکل (1-7)- انواع روش‌های عامل‌دار شدن نانولوله‌های کربنی	31
شکل (1-8)- اتصال فیزیکی به دیواره‌ی نانولوله‌ی کربنی	35
شکل (1-9)- انواع دستگاه‌های فراصوت	45
شکل (3-1)- طیف FT-IR باز شیف (4)	93
شکل (3-2)- طیف ^{1}H NMR باز شیف (4)	94
شکل (3-3)- طیف گسترده شده‌ی ^{1}H NMR باز شیف (4)	94
شکل (3-4)- طیف ^{13}C NMR باز شیف (4)	95
شکل (3-5)- طیف FT-IR مشتق 2،2-دی‌کلرو-1،3-بیس(پارا-کلروفنیل)آزیریدین	104
شکل (3-6)- طیف ^{1}H NMR مشتق دی‌کلروآزیریدین (13)	105
شکل (3-7)- طیف ^{13}C NMR مشتق دی‌کلروآزیریدین (13)	106
شکل (3-8)- طیف جرمی مشتق دی‌کلروآزیریدین (13)	106

شکل (3-9)- الگوی XRD منیزیم هیدروکسید نانو ساختار 118
شکل (3-10)- الگوی XRD منیزیم اکسید نانو ساختار 118
شکل (3-11)- تصویر SEM منیزیم هیدروکسید نانوساختار 119
شکل (3-12)- تصویر SEM منیزیم اکسید نانوساختار 119
شکل (3-13)- تصویر FT-IR مشتق فرمامید (22) 132
شکل (3-14)- تصویر ^{1}H NMR مشتق فرمامید (22) 134
شکل (3-15)- تصویر گسترده شده‌ی ^{1}H NMR مشتق فرمامید (22) 134
شکل (3-16)- طیف پروتون تبادل یافته با دوتریم مشتق فرمامید (22) 135
شکل (3-17)- تصویر ^{13}C NMR مشتق فرمامید (22) 136
شکل (3-18)- تصویر گسترده شده‌ی ^{13}C NMR مشتق فرمامید (22) 136
شکل (3-19)- طیف جرمی ترکیب فرمامید (22) 137
شکل (3-20)- طیف FT-IR نانولوله‌های کربنی خام 139
شکل (3-21)- طیف FT-IR نانولوله‌های کربنی چنددیواره آزیریدین‌دار شده 140
شکل (3-22)- طیف فوتولومینسانس مشتق 2،2-دی‌کلرو-1-(پارا-متیل‌فنیل)-3-(پارا-نیترو-فنیل)آزیریدین 141
شکل (3-23)- طیف فوتولومینسانس نانولوله‌های کربنی خام 141
شکل (3-24)- طیف نانولوله‌ی کربنی چنددیواره عامل‌دار شده 142
شکل (3-25)- طیف رامان نانولوله‌های کربنی خام 143
شکل (3-26)- طیف رامان نانولوله‌های کربنی آزیریدین‌دار شده 143