

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه بیرجند
دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی آلی

عنوان پایان نامه:

سنتز ترکیبات هتروسیکل با استفاده از واکنش آلدهیدها و مالونونیتریل در حضور کاتالیزورهای طبیعی

استاد راهنما:

دکتر عباسعلی اسماعیلی

نگارش:

مسعود تصمیمی

شهریور ۱۳۹۰

فرم شماره ۱۰

صورتحله دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد



با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی کارشناسی ارشد آقای مسعود تصمیمی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته: شیمی به شماره دانشجویی: 8813128100 گرایش: شیمی آلی دانشکده: علوم تحت عنوان: "سنتز ترکیبات هتروسیکل با استفاده از واکنش آلدهیدها و مالونونیترویل در حضور کاتالیزورهای طبیعی"

به ارزش: 6 واحد در ساعت: 10 صبح روز: شنبه مورخ: 90/6/26

با حضور اعضای محترم جلسه دفاع و نماینده تحصیلات تکمیلی به شرح ذیل تشکیل گردید:

سمت	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنمای اول	دکتر عباسعلی اسماعیلی	دانشیار	
استاد راهنمای دوم			
استاد مشاور اول			
استاد مشاور دوم			
داور اول	دکتر محمدعلی ناصری	استادیار	
داور دوم	دکتر سارا سبحانی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس احمد حاجی زاده	مربی	

نتیجه ارزیابی دفاع که منوط به ارائه اصلاحات پیشنهادی توسط هیئت داوران حداکثر ظرف مدت یکماه پس از تاریخ دفاع می باشد، به شرح زیر مورد تایید قرار گرفت:

قبول (با درجه: عالی و امتیاز: ۱۹/۱۲۵) دفاع مجدد غیرقابل قبول

1- عالی (19-20) 2- بسیار خوب (18/99 - 18) 3- خوب (17/99 - 16) 4- قابل قبول (15/99 - 14)

(بدیهی است عواقب آموزشی ناشی از عدم ارائه به موقع اصلاحات مزبور به عهده دانشجو می باشد)

کلیه مزایا اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و ... از پایان نامه
کارشناسی ارشد برای دانشگاه بیرجند محفوظ است. نقل مطلب با ذکر منبع
بلا مانع است.

تقدیم به ...

اطمینان بخش بی ادعا و تکیه گاه روزهای سختی، پدر عزیزم

آغوش پرمهری که محبتش آموزگار دوست داشتن بود، مادر مهربانم

همبازیان کودکی و شریک شادی و غم هایم، برادر و خواهرهای خوبم

و

تقدیم به همسر مهربانم

او که در کنارش گرچه هر فصلی که باشد، دریای زندگی همچنان زیباست.

حمد و سپاس خدا را که هر چه در نهایت همت خویش از او طلب کردم،

در نهایت سخاوت خود بر من ارزانی داشت.

صمیمانه‌ترین سپاس‌های خویش را به محضر استاد بزرگوار و صبورم جناب آقای دکتر عباسعلی اسماعیلی که مسئولیت راهنمایی اینجانب را بر عهده داشته و در کلیه‌ی مراحل انجام کارهای علمی و تدوین پایان نامه از هیچ مساعدتی دریغ نداشته‌اند تقدیم می‌دارم و برای ایشان از خداوند متعال، تندرستی و موفقیت خواستارم. از جناب آقای دکتر ناصری و سرکار خانم دکتر سبحانی که زحمت مطالعه و داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر را دارم. از مشاور و دوست بسیار خوبم آقای سعید امینی که در کلیه‌ی مراحل کارهای پژوهشی‌ام مرا یاری کرد صمیمانه سپاسگذارم.

از تمامی اساتید، کارشناسان و مسئولین محترم گروه شیمی دانشگاه بیرجند که در طول انجام این پروژه مرا یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در نهایت از دوستان و هم‌آزمایشگاهی‌های خوبم

آقایان: مرادی، اله رسانی، متحدین، هامونی، لقمانی نژاد، عاشوری، ابوبکری، مومنی، سعیدی، گرزین، بارانی، فرخاری، صادق زاده، مقربی، جاویدی، ظریف، دوستی، مقبولی.

و خانم‌ها: سلیمی، حسین آبادی، قهرمانی نژاد، شیوا، زراعت‌کار، فیض‌پور، جنتی، شاه‌منصوری، امینی، زنگویی، ذاکری، کمایستانی، علوی، مصباح، ظریفی، حسینی نژاد.

کمال تشکر را دارم.

مسعود تصمیمی

شهریور ۹۰

چکیده:

واکنش‌های چند جزئی تک مرحله‌ای، به دلیل همگرایی، بهره‌وری بالا، انجام آسان و تشکیل محصول با راندمان بالا توجه زیادی را در سنتز ترکیبات هتروسیکل به خود جلب کرده‌اند. ترکیبات هتروسیکل محدوده‌ی استفاده وسیعی داشته و سهم عمده‌ای در تهیه‌ی ترکیبات دارویی دارند.

در این مطالعه، خاکستر اصلاح شده‌ی گیاه *Seidlitzia Rosmarinus* به عنوان یک کاتالیزور نانوی بازی در سنتز ترکیبات هتروسیکل از قبیل مشتقات 4H-پیران و پیریدین در شرایط بدون حلال با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت. روش کار آسان و سازگار با محیط زیست در اجرای واکنش‌ها در این سیستم کاتالیزوری، یک روش کاربردی و سبز را برای سنتز ترکیبات هتروسیکل فراهم می‌کند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: سنتز چندجزئی ترکیبات هتروسیکل در شرایط سبز

۱-۱ بخش اول: شیمی سبز ۲

۱-۱-۱ مقدمه ۲

۲-۱-۱ تاریخچه‌ی شیمی سبز ۲

۳-۱-۱ اصول اساسی و بنیادی شیمی سبز ۳

۴-۱-۱ بکارگیری سنتزهای سازگار با محیط زیست ۵

۵-۱-۱ استفاده از حلالهای سبز ۶

۱-۵-۱-۱ آب ۷

۲-۵-۱-۱ سنتز در شرایط بدون حلال ۸

۳-۵-۱-۱ حلالهای فوق بحرانی ۹

۴-۵-۱-۱ مایعات یونی ۹

۵-۵-۱-۱ حلالهای فلئوره ۱۰

۶-۱-۱ استفاده از گیاهان و بیوکاتالیست‌ها به عنوان کاتالیزورهای طبیعی ۱۱

۲-۱ بخش دوم: بررسی خواص و کاربردهای گیاه *Seidlitzia Rosmarinus* ۱۲

۱-۲-۱ مقدمه ۱۲

- ۱۲ Seidlitzia Rosmarinus گیاه ۲-۲-۱
- ۱۲ پراکنش جغرافیایی اشنان ۳-۲-۱
- ۱۳ موارد استفاده‌ی اشنان ۴-۲-۱
- ۱۳ ارزش‌های غذایی ۱-۴-۲-۱
- ۱۳ استحصال کلیاب ۲-۴-۲-۱
- ۱۳ استفاده جهت سوخت و تهیه ذغال ۳-۴-۲-۱
- ۱۳ مصارف دارویی ۴-۴-۲-۱
- ۱۴ مصارف صنعتی ۵-۴-۲-۱
- ۱۴ کلیاب محصولی از گیاه اشنان ۵-۲-۱
- ۱۵ نحوه‌ی بهره‌برداری از گیاه اشنان و استحصال کلیاب ۶-۲-۱
- ۱۶ بخش سوم: سنتز چندجزئی ترکیبات هتروسیکل ۳-۱
- ۱۶ مقدمه ۱-۳-۱
- ۱۷ واکنش بیجینیلی ۲-۳-۱
- ۱۸ سنتز ۱-۲-۳-۱ و ۴-دی هیدروپیریدین از طریق واکنش بیجینیلی ۱۸
- ۱۸ سنتز پیرول‌ها به وسیله‌ی واکنش سه‌جزئی هانش ۳-۳-۱
- ۱۹ سنتز ایمیدازول با استفاده از واکنش چهارجزئی رادزیوشی ۴-۳-۱
- ۱۹ استفاده از واکنش مانیک در واکنش‌های چندجزئی ۵-۳-۱

- ۱۹ ۶-۳-۱ سنتز نوربورنها با استفاده از واکنش چهار جزئی (4CR)
- ۲۰ ۷-۳-۱ واکنش ایزو کینولین و DMAD با بنزوکینون
- ۲۰ ۸-۳-۱ واکنشهای چند جزئی بر پایه‌ی ایزوسیانیید
- ۲۱ ۱-۸-۳-۱ واکنش پاسرینی
- ۲۲ ۲-۸-۳-۱ واکنش یوگی
- ۲۳ ۹-۳-۱ واکنش ایزوسیانیید با استرهای استیلنی
- ۲۴ ۱۰-۳-۱ واکنش آریلیدن مالونونیتریل با ایزوسیانیید
- ۲۴ ۱۱-۳-۱ اهمیت ترکیبات هتروسیکل
- ۲۵ ۴H ۱۲-۳-۱ پیران ها
- ۲۶ ۱-۱۲-۳-۱ سنتز ۴H-فورو [۳و۴-b] پیران ها به وسیله‌ی یک واکنش سه جزئی
- ۲۶ ۲-۱۲-۳-۱ سنتز مشتقات اسپيرو [۴H-پیران-اکسیندول] در حضور [BMIm]Bf₄
- ۲۷ ۳-۱۲-۳-۱ سنتز ۴H-پیرانها تحت امواج اولترا سونیک
- ۲۷ ۴-۱۲-۳-۱ سنتز تترا هیدرو بنزو پیرانها با استفاده از کاتالیزور NaBr و امواج میکروویو
- ۲۸ ۱۳-۳-۱ پیریدین ها
- ۲۸ ۱-۱۳-۳-۱ سنتز پیریدین هانش
- ۲۹ ۲-۱۳-۳-۱ نوآرایبی سیامیشن-دنستد
- ۳۰ ۳-۱۳-۳-۱ سنتز گاترمن-اسکیتا

- ۳۰ ۴-۱۳-۳-۱ سنتز پیریدین از طریق واکنش وینیل آزیدها با حلقه‌ی سیکلو پروپانول
- ۳۰ ۵-۱۳-۳-۱ سنتز پیریدین با استفاده از انامین‌ها و آلکینون‌ها
- ۳۱ ۶-۱۳-۳-۱ سنتز پیریدین با استفاده از واکنش سه‌جزئی آلدئید و مالونونیتریل و تیول‌ها

فصل دوم : بخش تجربی

- ۳۳ ۱-۲ دستگاه‌ها و مواد شیمیایی
- ۳۴ ۲-۲ روش تهیه‌ی کاتالیزور از گیاه *Seidlitzia Rosmarinus*
- ۳۴ ۳-۲ روش عمومی سنتز مشتقات ۲-آمینو-۴H-پیران با استفاده از کاتالیزور MSR
- ۳۴ ۱-۳-۲ سنتز ۵-استیل-۲-آمینو-۶-متیل-۴-فنیل-۴H-پیران-۳-کربونیتریل توسط کاتالیزور MSR
- ۳۵ ۴-۲ روش عمومی سنتز مشتقات تتراهیدرو بنزو پیران به وسیله‌ی کاتالیزور MSR
- ۳۵ ۱-۴-۲ سنتز ۲-آمینو-۷و۷-دی متیل-۵-متیلن-۴-فنیل-۵و۶و۷و۸-تترا هیدرو-۴H-کرومون-۳-کربونیتریل با استفاده از کاتالیزور MSR
- ۳۶ ۵-۲ روش عمومی سنتز مشتقات ۲-آمینو-۵و۳-دی کربونیتریل با استفاده از کاتالیزور MSR
- ۳۶ ۱-۵-۲ سنتز ۲-آمینو-۴-فنیل-۶-فنیل تیو)پیریدین-۳و۵-دی کربونیتریل با استفاده از کاتالیزور MSR
- ۳۷ ۶-۲ اطلاعات طیفی ترکیبات (90b), (90c), (90q), (90w), (91m), (91n), (93b), (93l)

فصل سوم : بحث و نتیجه گیری

- ۴۱ ۱-۳ سنتز مشتقات ۲-آمینو-۴H-پیران با توجه به شیمی سبز

۴۲	..... MSR	۱-۱-۳ سنتز مشتقات ۲-آمینو-۴H-پیران با استفاده از واکنش سه جزئی در حضور
۴۳	.....	۲-۱-۳ بهینه کردن شرایط واکنش
۴۵	.....	۳-۱-۳ سنتز مشتقات ۲-آمینو-۴H-پیران در حضور MSR در شرایط بهینه شده
۴۹	.....	۲-۳ سنتز مشتقات تتراهیدرو بنزوپیران در شرایط سبز
۵۰	.....	۱-۲-۳ بهینه سازی شرایط واکنش
۵۰	.....	۳-۲-۳ سنتز مشتقات تتراهیدرو بنزوپیران در حضور MSR و شرایط بهینه شده
۵۳	.....	۳-۳ سنتز مشتقات پیریدین با استفاده از MSR
۵۴	.....	۱-۳-۳ بهینه سازی شرایط واکنش
۵۶	.....	۲-۳-۳ سنتز مشتقات پیریدین در حضور MSR و شرایط بهینه شده
۵۹	.....	نتیجه گیری
۶۰	.....	ضمیمه
۹۲	.....	مراجع

فهرست جدول ها و شکل ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: زمان و راندمان واکنش در حلالهای مختلف	۸
شکل ۱-۱: گیاه اشنان	۱۵
شکل ۲-۱: استحصال کلیاب از گیاه اشنان	۱۵
جدول ۱-۳: اثر کاتالیزور بر زمان و راندمان واکنش سنتز ۹۰a	۴۳
جدول ۲-۳: بهینه کردن شرایط حلال بر روی واکنش سنتز ۹۰a	۴۴
جدول ۳-۳: بهینه کردن مقدار کاتالیزور در واکنش سنتز ۹۰a	۴۵
جدول ۴-۳: واکنش سه جزئی آلدهیدها، مالونونیتریل و بتا کتو استرها در حضور کاتالیزور MSR	۴۶
جدول ۵-۳: واکنش سه جزئی آلدهیدها، مالونونیتریل و دایمدون در حضور کاتالیزور MSR	۵۱
جدول ۶-۳: اثر کاتالیزور بر زمان و راندمان واکنش سنتز ۹۳a	۵۴
جدول ۷-۳: بهینه کردن شرایط حلال بر روی واکنش سنتز ۹۳a	۵۵
جدول ۸-۳: بهینه کردن مقدار کاتالیزور در واکنش سنتز ۹۳a	۵۶
جدول ۹-۳: واکنش سه جزئی آلدهیدها، مالونونیتریل و تیول ها در حضور کاتالیزور MSR	۵۷
شکل ۱-۳: طیف XRD کاتالیزور MSR	۶۱
شکل ۲-۳: فاصله‌ی دسته صفحات کریستالها در طیف XRD	۶۲
شکل ۳-۳: داده های مربوط به طیف XRD کاتالیزور MSR	۶۳

- شکل ۳-۴: ساختارهای کریستالی شناسایی شده بوسیله‌ی طیف XRD ۶۴
- شکل ۳-۵: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۰b) ۶۵
- شکل ۳-۶: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۰b) ۶۶
- شکل ۳-۷: طیف Mass مربوط به ترکیب (۹۰b) ۶۷
- شکل ۳-۸: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۰b) ۶۸
- شکل ۳-۹: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۰c) ۶۹
- شکل ۳-۱۰: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۰c) ۷۰
- شکل ۳-۱۱: طیف Mass مربوط به ترکیب (۹۰c) ۷۱
- شکل ۳-۱۲: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۰c) ۷۲
- شکل ۳-۱۳: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۰q) ۷۳
- شکل ۳-۱۴: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۰q) ۷۴
- شکل ۳-۱۵: طیف Mass مربوط به ترکیب (۹۰q) ۷۵
- شکل ۳-۱۶: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۰q) ۷۶
- شکل ۳-۱۷: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۰w) ۷۷
- شکل ۳-۱۸: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۰w) ۷۸
- شکل ۳-۱۹: طیف Mass مربوط به ترکیب (۹۰w) ۷۹
- شکل ۳-۲۰: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۰w) ۸۰

- شکل ۳-۲۱: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۱m) ۸۱
- شکل ۳-۲۲: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۱m) ۸۲
- شکل ۳-۲۳: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۱m) ۸۳
- شکل ۳-۲۴: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۱n) ۸۴
- شکل ۳-۲۵: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۱n) ۸۵
- شکل ۳-۲۶: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۱n) ۸۶
- شکل ۳-۲۷: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۳b) ۸۷
- شکل ۳-۲۸: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۳b) ۸۸
- شکل ۳-۲۹: طیف ^{13}C NMR مربوط به ترکیب (۹۳۱) ۸۹
- شکل ۳-۳۰: طیف ^1H NMR مربوط به ترکیب (۹۳۱) ۹۰
- شکل ۳-۳۱: طیف IR مربوط به ترکیب (۹۳۱) ۹۱

Abbreviation

GCI	Green Chemistry Institute
SCFs	Supercritical fluids
Bpy	N-butylpyridinium
BTF	Benzotrifluoride
MCRs	Multicomponent Reaction
IMCRs	Isocyanide based Multi component Reaction
B-3CR	Biginelli three Component Reaction
4CR	Four Component Reaction
DMAD	DiMethyl AcethyleneDicarboxylate
4-UCR	Ugi four Component Reaction
EtOH	Ethanol
MeOH	Methanol
Bmim	1-buthyl-3-methylimidazolium
AcOH	Aceticacid
Acac	Acethylacetone
U. S.	UltraSound
SR	Seidlitzia Rosmarinus
SRC	Seidlitzia Rosmarinus Catalyst
TLC	Thin Layer Chromatography
NPs	Nano Particle
PEG	PolyEthylene Glycol
MW	Microwave

فصل اول

سنتز چند جزئی ترکیبات هتروسیکل در شرایط سبز

۱-۱ بخش اول: شیمی سبز

۱-۱-۱ مقدمه

شیمی سبز را می‌توان به عنوان طراحی محصولات و فرآیندهای شیمیایی تعریف کرد که تولید و استفاده از مواد پرخطر را کاهش داده و یا حذف می‌کند و از ایجاد آلودگی در سطوح مولکولی جلوگیری می‌کند. این ناحیه از علم شیمی به حداقل رساندن استفاده از مواد پرخطر در طول طراحی هر سنتز را، به عنوان معیار عملکرد خود می‌داند.

علم شیمی نقش اساسی در زندگی و تمدن بشری داشته و جایگاه آن در زندگی و اقتصاد روز به روز پررنگ تر می‌شود. با پیشرفت روز افزون این علم علاوه بر مزایای بسیاری که به همراه داشته است، مضرات و آسیب های جدی را به سلامت انسان و محیط زیست وارد کرده است. بی‌شک شیمیدانان در راه پژوهش، با استخراج مواد از طبیعت و تبدیل آنها به مواد شیمیایی مختلف سلامت آدمی و محیط زیست را به چالش کشیده‌اند. بی‌گمان هراندازه کمتر از مواد شیمیایی استفاده کرده و کمتر مواد را از طبیعت خارج کنیم به سلامت خود و محیط زیست کمک کرده‌ایم. یک راه موثر در این مورد، به کارگیری شیمی سبز است [۱].

۱-۱-۲ تاریخچه شیمی سبز

اصطلاح شیمی سبز برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ توسط آناستاس^۱ در برنامه‌ای ویژه، که آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا با عنوان " پیاده سازی توسعه‌ی پایدار تکنیکهای شیمیایی بوسیله دانشگاه، صنعت و دولت " برگزار شده بود مطرح شد. در سال ۱۹۹۶ حزب کار شیمی سبز ایجاد شد که در چارچوب اتحادیه بین المللی شیمی کاربردی و محض فعالیت می‌کرد. یک سال بعد انجمن شیمی سبز (GCI) با گروه هایی در

¹ Anastas

بیست کشور تشکیل شد که هدف آن تسهیل ارتباط و تماس بین سازمان‌های دولتی و شرکت‌های صنعتی با دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی برای طراحی و پیاده سازی فن‌آوری‌های جدید بود.

اولین کنفرانس برجسته شیمی سبز در سال ۱۹۹۷ در واشنگتن برگزار شد و همچنین اولین کتابها و ژورنالها با موضوع شیمی سبز از سال ۱۹۹۰ معرفی شدند [۲].

۱-۱-۳ اصول اساسی و بنیادی در شیمی سبز

شیمی سبز ابزاری کارآمد در جلوگیری از آلودگی و راهی سازگار با محیط زیست است که شامل جلوگیری از تولید زباله و مواد زائد بوده و منجر به ایجاد روش‌هایی برای حذف و یا از بین بردن مواد زائد می‌شود. عموماً شیمی سبز بر دوازده اصل استوار است که توسط وارنر^۲ و آناستاس بیان شدند [۳]. این قوانین شامل دستورالعمل‌هایی برای شیمی‌دانان حرفه‌ای است تا به وسیله‌ی آنها به ترکیبات شیمیایی جدید، روشهای سنتزی جدید و تکنیکهای جدید دست یابند [۲]. اصول شیمی سبز عبارتند از:

۱-۱-۳-۱-۱ پیشگیری

بهتر است از ابتدا واکنش طوری طراحی شود که از ایجاد مواد زائد جلوگیری شود تا پس از ایجاد مواد زائد مجبور به از بین بردن آنها نشویم.

۱-۱-۳-۱-۲ افزایش بهره وری اتم

فرآیندهای سنتزی باید طوری طراحی شوند تا در طول واکنش بیشترین ترکیب مواد اولیه برای رسیدن به محصول را داشته باشند.

۱-۱-۳-۱-۳ طراحی فرآیندهای شیمیایی با آسیب کمتر

روشهای سنتزی باید طوری طراحی شوند که در آنها از استفاده و تولید مواد سمی مضر برای سلامت انسان و محیط زیست جلوگیری شود.

²Warner

۱-۳-۴ طراحی مواد شیمیایی سالم و ایمن تر

محصولات شیمیایی باید طوری طراحی شوند که حداقل سمیت را دارا باشند.

۱-۳-۵ بهره گیری از حلال ها و شرایط واکنش سالم تر

۱-۳-۶ افزایش بازده انرژی

انرژی مورد نیاز برای فرآیندهای شیمیایی باید برای اثرات زیست محیطی و اقتصادی شناخته شده و به حداقل مقدار خود برسد و در صورت امکان روش‌های سنتزی باید در فشار و دمای محیط انجام شوند.

۱-۳-۷ استفاده از مواد اولیه تجدید پذیر

از لحاظ فنی و اقتصادی بهتر است در هر زمان از مواد اولیه و مواد خام تجدید پذیر استفاده شود.

۱-۳-۸ کاهش مشتقات

در صورت امکان استفاده از مشتق‌های غیرضروری (گروه‌های مسدودکننده، گروه‌های محافظ، اصلاح‌کننده های موقت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی) باید به حداقل رسیده و یا حذف شود.

۱-۳-۹ بهره گیری از مواد کاتالیزوری

واکنشگرهای کاتالیزوری نسبت به واکنشگرهای استوکیومتری برتری دارند.

۱-۳-۱۰ طراحی برای تجزیه پذیر بودن فرآورده ها

محصولات شیمیایی باید طوری طراحی شوند که در نهایت پس از عملکرد خود قابل تجزیه بوده و تمایل به ماندن در محیط زیست نداشته باشند.

۱-۳-۱۱ تحلیل زمان واکنش برای پیشگیری از آلودگی

روشهای تحلیلی برای نظارت بر زمان واقعی فرایند نیاز به توسعه‌ی بیشتری دارند تا از تولید مواد خطرناک قبل از تشکیل آنها جلوگیری کنند.