





دانشگاه بلوچستان  
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در شیمی فیزیک

عنوان:

مطالعه نظری سینتیک و مکانیزم واکنش بین تری  
فنیل فسفین و دی آلکیل استیلن دی کربوکسیلیت  
در حضور CH، NH، و SH اسیدها

استاد راهنما:

دکتر سید مصطفی حبیبی خراسانی

استاد مشاور:

دکتر علی ابراهیمی

تحقیق و نگارش:

محمد امین کاظمیان

انجمن حفاظت از مرکز علمی بزرگ  
تعمیر و مرمت

۱۳۸۸ / ۴ / ۷

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

اسفند ۱۳۸۷

۱۱۴۲۱۱



بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان مطالعه نظری سینتیک و مکانیزم واکنش بین تری فنیل فسفین و دی آلکیل استیلن دی کربوکسیلات در حضور  $NH_3$ ،  $CH_3$  و  $SH$  اسیدها قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد شیمی فیزیک توسط دانشجو محمد امین کاظمیان تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر سید مصطفی حبیبی خراسانی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

محمد امین کاظمیان

این پایان نامه... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ... توسط هیئت داوران بررسی و درجه...  
به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: دکتر سید مصطفی حبیبی خراسانی		
استاد مشاور: دکتر علی ابراهیمی		
داور ۱: دکتر علی اکبر میرزایی		
داور ۲: دکتر ملک طاهر مقصودلو		
نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر حمیده سراوانی		



## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب محمد امین کاظمیان تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد امین کاظمیان

امضاء

## تقدیم به:

به پدر و مادر مهربانم دو موجود مقدس که توانشان رفت تا من توان یابم و موهایشان سپید  
گشت تا من روسپید باشم

به همسر عزیزم که بدون همراهی و همیاری ایشان کسب این مرتبه میسر نمی گردید

و به تمام کسانی که در طی این طریق مدیونشان هستم.

## سپاسگزاری

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.

با تشکر و سپاس فراوان از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید مصطفی حبیبی خراسانی که در تمام مراحل کار با صبر و شکیبایی بسیار، راهنما و مشوق بنده بوده اند و همواره خوشه چین دانش ایشان بوده‌ام و از رهنمودهای بی دریغ علمی و اخلاقیشان بهره‌مند شده‌ام.

با تشکر از جناب آقای دکتر علی ابراهیمی که مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند و در طول این کار با صبر و حوصله مرا راهنمایی کرده‌اند.

همچنین بر خود لازم می‌دانم از زحمات جناب آقای دکتر ملک طاهر مقصودلو به خاطر سال‌ها کار علمی و تحقیقاتی ارزنده در دانشگاه سیستان و بلوچستان تقدیر و تشکر نمایم.

با تشکر از جناب آقای دکتر علی اکبر میرزایی که تلاش‌های طولانی در جهت تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در دانشگاه انجام داده‌اند.

قدردانی از تمامی کسانی که در طی این دوره همواره مرا یاری نمودند، به خصوص سرکار خانم مرضیه محمدی، جناب آقای حمید رضا مسعودی و دوست صمیمی خودم جناب آقای پویا کریمی.

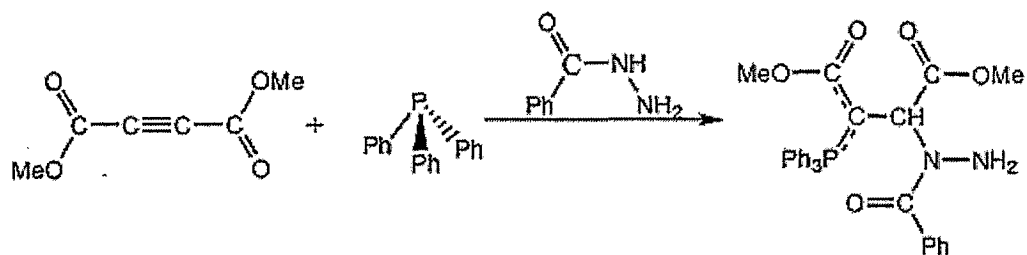
## چکیده

در این کار، مکانیسم های منطقی مختلف برای واکنش تری فنیل فسفین با دی آلکیل استیلن دی-کربوکسیلیت در حضور واکنشگر پروتون دهنده در فازگازی (طرح ۱) مورد مطالعه قرار گرفته و مناسب ترین مکانیسم از نقطه نظر انرژی معرفی شده است. محاسبات توسط نرم افزار Gaussian98 در سطح hf/6-31g(d,p) انجام شده است. همچنین برای اتم فسفر، تابع پایه بزرگتر 6-31+G(3df,3pd) نیز مورد استفاده قرار گرفته و برای وارد کردن وابستگی الکترونی محاسبات انرژی تک نقطه در سطح B3LYP/6-31g(d,p) نیز انجام شده است.

برای به دست آوردن ساختار حالت های گذار (TS) از جابجایی دو بعدی استفاده شده است. برای مراحل مختلف واکنش نمودارهای انرژی نسبی بر حسب فاصله اتمها مربوط به اسکن حالت های گذار رسم شد و میزان انرژی مورد نیاز هر مرحله از تفاوت ساختار بهینه ی حالت گذار و حالت پایه محاسبه شد.

در روش HF محاسبات فرکانس در مورد ساختارهای -NH- اسید، حالت های گذار و محصولات در سطح 6-31G (d,p) صورت گرفت و توابع  $\Delta G^\ddagger$ ،  $\Delta H^\ddagger$  و  $\Delta S^\ddagger$  و انرژی فعال سازی مراحل مختلف واکنش محاسبه گردید و با استفاده از معادله ی آیرینگ ثابت های سرعت هر مرحله بدست آمد. با توجه به این نتایج مرحله تعیین کننده ی سرعت واکنش و مکانیزم واکنش مشخص گردید که با نتیجه تجربی در فاز محلول همخوانی دارد.

پس از مشخص شدن مرحله تعیین کننده سرعت و محاسبه  $\Delta G^\ddagger$ ، سرعت واکنش به کمک معادله آیرینگ به دست آمده است.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: شیمی ایلیدهای فسفر.....
۲	۱-۱- ایلید.....
۲	۲-۱- انواع ایلید.....
۴	۳-۱- ایزومری در ایلیدها.....
۷	۴-۱- واکنش‌های ایلیدها.....
۹	۵-۱- تهیه ایلیدهای فسفر.....
۹	۱-۵-۱- تهیه ایلیدهای فسفر از نمک‌های فسفونیوم.....
۱۰	۲-۵-۱- سایر روش‌های تهیه ایلیدهای فسفر.....
۱۲	۶-۱- واکنش‌های استرهای استیلنی با تری فنیل فسفین.....
۳۱	۷-۱- جدیدترین واکنش سنتز ایلیدها در دانشگاه سیستان و بلوچستان.....
۳۴	۸-۱- تعدادی از بررسی‌های سینتیک انجام شده بر روی واکنش سنتز ایلیدها.....
۳۸	۹-۱- فهرست منابع.....
۴۴	فصل دوم: نگرشی بر شیمی محاسباتی.....
۴۵	۱-۲- مقدمه.....
۴۶	۲-۲- طبقه بندی روش‌های کوانتومی.....
۴۷	۳-۲- توابع پایه.....
۴۹	۴-۲- مجموعه‌های پایه گاوسی (GTO).....
۵۰	۵-۲- اوربیتال‌های گاوسی منقبض (GGTO).....
۵۰	۶-۲- مجموعه‌های پایه به سبک پاپل.....
۵۲	۷-۲- خطای انطباق مجموعه پایه (BSSE).....
۵۲	۸-۲- همبستگی الکترونی.....
۵۴	۹-۲- نظریه اختلال مولر-پلست.....
۵۵	۱۰-۲- معرفی نرم افزار گاوسی ۹۸.....
۵۹	۱۱-۲- فهرست منابع.....
	فصل سوم: بررسی چند مکانیسم پیشنهادی برای واکنش بین تری فنیل فسفین، دی-آلکیل استیلنی دی کربوکسیلات‌ها در حضور N-H اسید بنزوهیدرازید با استفاده از
۶۰	تکنیک‌های محاسباتی.....
۶۱	۱-۳- مقدمه.....



۶۱	..... روش‌های محاسباتی..... ۲-۳
۶۳	..... بحث و بررسی نتایج..... ۳-۳
۶۳	..... بررسی مکانیسم اول..... ۱-۳-۳
۸۱	..... بررسی دومین مکانیسم پیشنهادی..... ۲-۳-۳
۸۹	..... بررسی مکانیسم پیشنهادی شماره ۳..... ۳-۳-۳
۹۳	..... تحلیل و محاسبات فرکانس..... ۴-۳
۹۷	..... بررسی پایداری دو ایزومر $Z$ و $E$ ..... ۵-۳
۱۰۱	..... نتیجه گیری..... ۶-۳
۱۰۲	..... مراجع.....
۱۰۷	..... پیوست‌ها.....
۱۰۸	..... پیوست (الف) جدول‌ها.....
۱۲۲	..... پیوست (ب) $Z$ -Matrix ترکیبات.....

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
۵۷	جدول ۱-۲ برخی از مجموعه‌های پایه موجود در برنامه گاوسی.....
۶۳	جدول ۱-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به واکنش دهنده تری فنیل فسفین.....
۶۴	جدول ۲-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به واکنش دهنده A.....
۶۵	جدول ۳-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه کمپلکس فعال $TS_1$ .....
۱۰۸	جدول ۴-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه حد واسط $I_1$ .....
۷۱	جدول ۵-۳ انرژی تشکیل گونه‌های درگیر در مرحله اول مکانیسم پیشنهادی.....
۷۲	جدول ۶-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به واکنش دهنده NH اسید بنزوهیدرازید.....
۱۰۹	جدول ۷-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه حد واسط $I_2$ .....
۱۱۰	جدول ۸-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه حد واسط $TS_2$ .....
۷۷	جدول ۹-۳ انرژی تشکیل گونه‌های درگیر در مرحله دوم مکانیسم پیشنهادی.....
۱۱۲	جدول ۱۰-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه محصول نهایی.....
۱۱۴	جدول ۱۱-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه $TS_5$ .....
۱۱۶	جدول ۱۲-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه $I_3$ .....
۱۱۸	جدول ۱۳-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه $TS_4$ .....
۱۲۰	جدول ۱۴-۳ مهمترین پارامترهای ساختاری مربوط به گونه $TS_3$ .....
۹۲	جدول ۱۵-۳ $\Delta E$ های مکانیسم‌های پیشنهادی سه‌گانه.....
۹۳	جدول ۱۶-۳ اولین فرکانس کششی به دست آمده برای گونه‌های موجود در مکانیسم شماره ۱
۹۴	جدول ۱۷-۳ پارامترهای $\Delta G^\#$ و $\Delta H^\#$ و $\Delta S^\#$ مراحل متفاوت وکل مکانیسم پیشنهادی.....
۹۶	جدول ۱۸-۳ مقادیر ثابت سرعت مراحل مکانیسم.....
۹۶	جدول ۱۹-۳ مقادیر $E_a$ مراحل مکانیسم.....

۹۷	جدول ۳-۲۰ انژی نسبی پایداری ایزومرهای Z و E.....
۹۸	جدول ۳-۲۱ مقادیر $\rho \times 10^{-3}$ و $\nabla^2 \rho \times 10^{-3}$ به دست آمده برای ایزومرهای 4a.....
۹۸	جدول ۳-۲۲ مقادیر $\rho \times 10^{-3}$ و $\nabla^2 \rho \times 10^{-3}$ به دست آمده برای ایزومرهای 4b.....
۹۹	جدول ۳-۲۳ مقادیر بار به دست آمده با روش AIM.....
۱۰۰	جدول ۳-۲۴ مقادیر بار به دست آمده با روش NBO.....

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۶۱	شکل ۱-۳ واکنش کلی.....
۶۲	شکل ۲-۳ مکانیسم پیشنهادی شماره یک.....
۶۳	شکل ۳-۳ ساختار بهینه شده تری فنیل فسفین.....
۶۴	شکل ۴-۳ ساختار بهینه شده دی متیل استیلن دی کربوکسیلات.....
۶۶	شکل ۵-۳ ساختار بهینه شده گونه کمپلکس فعال $TS_1$ .....
۶۷	شکل ۶-۳ ساختار بهینه شده گونه حد واسط $I_1$ .....
۷۱	شکل ۷-۳ ساختار بهینه شده $NH$ اسید بنزوئیدرازید (D).....
۷۴	شکل ۸-۳ نمایی از ساختار بهینه شده $TS_2$ .....
۷۵	شکل ۹-۳ نمایی از ساختار بهینه شده $I_2$ .....
۷۹	شکل ۱۰-۳ نمایی از ساختار بهینه شده محصول نهایی.....
۸۱	شکل ۱۱-۳ مراحل مکانیسم پیشنهادی شماره ۲.....
۸۴	شکل ۱۲-۳ ساختار بهینه شده $TS_5$ .....
۸۵	شکل ۱۳-۳ ساختار بهینه شده $I_3$ .....
۸۸	شکل ۱۴-۳ ساختار بهینه شده $TS_4$ .....
۸۹	شکل ۱۵-۳ مراحل مکانیسم پیشنهادی شماره ۳.....
۹۲	شکل ۱۶-۳ ساختار بهینه شده $TS_3$ .....
۹۷	شکل ۱۷-۳ ایزومرهای Z و E ترکیب 4b.....
۹۸	شکل ۱۸-۳ پیوندهای هیدروژنی برای ایزومرهای Z و E ایلید حاصل از ۵-آمینو تترازول.....
۹۹	شکل ۱۹-۳ پیوندهای هیدروژنی برای ایزومرهای Z و E ایلید حاصل از ۵-مرکاپتو ۱-متیل تترازول.....

## فهرست نمودار ها

صفحه	عنوان نمودار
۷۰	نمودار ۱-۳ مقادیر انرژی تشکیل بر حسب افزایش طول پیوند $C_{1a}-P_{1b}$ .....
۷۳	نمودار ۲-۳ مقادیر انرژی تشکیل بر حسب افزایش فاصله اتم‌های $H_{4d}$ و $C_{2a}$ .....
۷۸	نمودار ۳-۳ مقادیر انرژی تشکیل بر حسب افزایش فاصله اتم‌های $C_{2a}$ و $N_{3d}$ .....
۸۲	نمودار ۴-۳ مقادیر انرژی تشکیل بر حسب افزایش فاصله اتم های $O_{7a}-H_{4d}$ .....
۸۳	نمودار ۵-۳ مقایسه مقادیر انرژی تشکیل TS های فرضی فاصله اتم‌های $C_{2a}-N_{3d}$ .....
۸۶	نمودار ۶-۳ مقادیر انرژی تشکیل بر حسب پیشرفت واکنش.....
۸۷	نمودار ۷-۳ جاروب معکوس پیوند $O_{7a}-H_{4d}$ و انتقال هیدروژن روی کربن 2a.....
۹۰	نمودار ۸-۳ مقادیر انرژی تشکیل بر حسب افزایش فاصله اتم های $C_{2a}-H_{4d}$ .....
	نمودار ۹-۳ مقایسه مقادیر انرژی تشکیل TS های فرضی بر حسب افزایش فاصله اتم-
۹۱	های $C_{2a}-N_{3d}$ .....

## فصل اول

# شیمی ایلیدهای فسفر



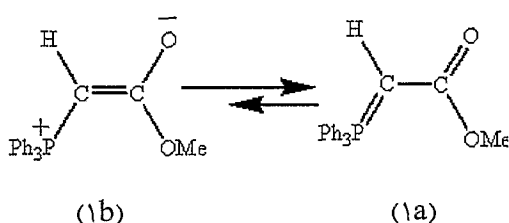




در فرم بالا، پیوند فسفر با کربن آلفا تا حدی خصلت دوگانه دارد. این خصلت دوگانه از همپوشانی اوربیتال کوچک  $2p$  کربن با اوربیتال  $3d$  فسفر ناشی می‌شود.

به هر حال این رزونانس مستلزم گسترش هشتایی روی اتم فسفر است، که در اثر رزونانس ایلید به ایلن تبدیل می‌شود که در ایلن فسفر  $10$  الکترونه می‌شود که به علت دارا بودن اوربیتال  $3d$  می‌تواند لایه ظرفیت خود را گسترش دهد. مطالعات  $^1\text{H NMR}$ ،  $^{13}\text{C NMR}$  و  $^{31}\text{P NMR}$  همه مؤید این هستند که ایلید فسفر بیشتر در فرم دو قطبی است، یعنی فرمی که بار مثبت و منفی در کنار هم قرار گرفته‌اند.

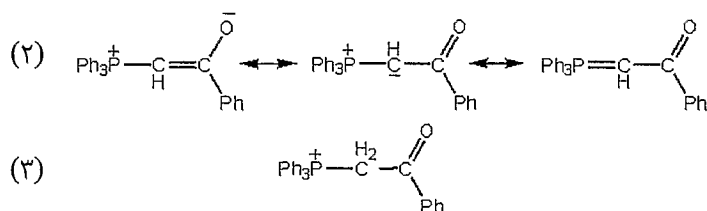
در روش تعیین ساختار بلوری معلوم شده است که طول پیوند  $\text{P}-\text{C}$  در این ترکیبات کوتاه است. به عنوان مثال در  $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CH}_2$ ، طول پیوند فسفر-کربن  $1.66 \text{ \AA}$  است که ماهیت پیوند را بین ساده و دوگانه نشان می‌دهد، طیف IR بسیاری از ایلیدها جذبی در ناحیه  $1200-1220 \text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهند که مربوط به کشش پیوند  $\text{P}=\text{C}$  است [5]. از طرفی دیگر طیف IR بعضی از ایلیدها نشان می‌دهد که فرم ایلیدی این ترکیبات ارجح است. برای مثال در ترکیب (1) فرکانس کششی  $\text{C}=\text{O}$  کمتر از مقدار معمول آن است، بنابراین بین دو ساختار (1a) و (1b) ساختار (1a) غالب است.



### ۳-۱- ایزومری در ایلیدها

با وجود اینکه ایلیدهای فسفر از مدتها پیش شناخته شده‌اند، اما استفاده چندانی از طیف بینی NMR برای مطالعه این ایلیدها به عمل نیامده است. بررسی آلفا-کربونیل ایلیدها به وسیله طیف سنجی  $^1\text{H NMR}$ ، ایزومرهای سیس و ترانس را نشان می‌دهد. که مشخص کننده وجود پیوند  $\text{C}-\text{C}$  با خصلت

دوگانه است [۷ و ۸]. بستمن و اشنایدر<sup>۱</sup> کوپلاژ دوقلو P-H در چندین ایلید فسفونیوم را در دمای پایین گزارش دادند برای  $\text{CO-CH}_3$ ,  $\text{Ph}_3\text{P=CH-}$  پیام دوتایی متاین در دمای  $28^\circ\text{C}$  در  $\delta = 3/68$  قرار می-گیرد ( $J_{\text{HP}} = 24.5\text{Hz}$ )<sup>۲</sup>، پیام دوتایی متاین در دمای بالا به یک پیام یکتایی تبدیل می‌شود [۹]. رندال و جانسون<sup>۲</sup> طیف  $^1\text{H NMR}$  ترکیب بسیار خالص تری فنیل فسفونیوم فناسیلید (۲) را با توجه به جذب متاین به عنوان تابعی از دما و افزایش R، مورد آزمایش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که وابستگی دمایی مهمی برای کوپلاژ P-H وجود ندارد (بر خلاف گزارشی که توسط بستمن و اشنایدر داده شده بود) [۱۰].



به هر حال مسلم است که اثر تبادل پروتون در اثر گرما به واسطه حضور اسید مزدوج فناسیلید (۳) ایجاد می-شود. بدین معنی که پیام دوتایی متاین فناسیلید با افزایش دما روی هم نمی‌افتد، اما در اثر حضور یک منبع پروتون روی هم می‌افتد، وسعت روی هم افتادن این پیام‌ها تابعی از سرعت تبادل است.

اشنایدر و شرونیچ<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۷ گزارش کردند که پیام دوتایی متاین  $(\text{CH}_3)_3\text{P=CH}_2$  با گرم کردن محلول ایلید تا  $100^\circ\text{C}$  و یا با افزایش منبع پروتون دهنده، به یک پیام یکتایی تبدیل می‌شود، روی هم افتادن به تبادل پروتون در هر دو نمونه مربوط می‌شود [۱۱]. اندازه کوپلاژ P-H متاین ( $J_{\text{HP}} = 24.5\text{Hz}$ )، در فناسیلید (۳) به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از اندازه کوپلاژ در اسید مزدوج آن می‌باشد و این ناشی از تغییر هیبریداسیون کربن آلفای نمک فسفونیوم از  $\text{SP}^3$  به  $\text{SP}^2$  در ایلید می‌باشد بستمن و اشنایدر برای پروتون‌های  $\text{Ph}_3\text{P=CH}_2$  کوپلاژی در حدود (۷ Hz) در دمای  $28^\circ\text{C}$  گزارش کردند و شرونیچ، نیز برای پروتون‌های متیلن  $(\text{CH}_3)_3\text{P=CH}_2$  در دمای  $20^\circ\text{C}$  فقط ( $J = 6.9\text{Hz}$ ) ملاحظه کردند [۱۱].

راندل و جانسون نتوانستند چرخش ممانعت شده حول پیوند کربن-کربن فناسیلید (۲) را حتی در دمای پایین مانند  $60^\circ\text{C}$  اثبات کنند [۷]. ولی بستمن و همکارانش این شواهد را برای استر ایلید (۴) گزارش کردند [۸]. با توجه به طیف NMR ایلید (۴) دریافتند که این مولکول به دو فرم ایزومر چرخشی وجود دارد:

<sup>1</sup> Bestman - Schnider

<sup>2</sup> Randall - Johnson



اگر فرایند تبادل پروتون را برای فناسیلید در نظر بگیریم، روی هم افتادگی جذب متاین به یک یکتایی و کوپلاژ P-H که در گزارش بستمین و اشنايدر مشاهده نشد، قابل قبول می‌شود. با افزایش مقدار کمی (۱٪)، از اسید مزدوج ایلید (۵) تبادل سریع پروتون بین ایلید و اسید مزدوج اتفاق می‌افتد. بنابراین دو عامل در چند تایی شدن جذب پروتون متاین مؤثر هستند. یکی از تبادل بین ایزومرهای هندسی شکل انولی ایلید (۵a) و (۵b) نتیجه می‌شود و دیگری از فرایند تبادل پروتون روی ایلید کربانیون حاصل می‌شود. اگر مطمئن باشیم که منبع پروتون حتی به مقدار کم وجود ندارد، فقط یک عامل که از چرخش ممانعت شده به دست می‌آید. قابل مشاهده است. پهن شدگی متاین به وسیله یک یا هر دوی این عوامل قابل توضیح است. در کار دیگری هم درصدی که برای ایلید (۵) در دو شکل چرخشی به دست آمد به نسبت ۱:۳ برای ایزومر سیس و ترانس بود [۱۲].

#### ۴-۱- واکنش های ایلیدها

واکنشگرهای ویتیک به عنوان هسته دوست در جایگزینی  $SN_2$  وارد واکنش می‌گردند [۱۳]. بسیاری از ایلیدها، 1,3- دو قطبی می‌باشند و در واکنش های حلقه‌زایی 1,3- دو قطبی اندرکنش می‌کنند. به عنوان مثال یک ایلید آزومتین در واکنش پراتو<sup>۴</sup> با فولرن ها، یک دو قطبی است [۱۴]. بسیاری از ایلیدها نیز در واکنش‌های نوآرایی به عنوان الفین واکنش می‌دهند، مانند واکنش [3,3]-سیگماتروپی که در ایلیدهای فسفونیوم معینی مشاهده شده است [۱۵]. بدون تردید یکی از مهمترین واکنش‌های ایلیدها، واکنش ویتیک می‌باشد که طی آن پیوند دو گانه ایجاد می‌گردد [۱۶] تا [۲۱]. در زیر مکانیسم یک واکنش ویتیک برای تهیة آلکن ها آورده شده است:

<sup>4</sup> Prato