

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سوگند نامه دانش آموختگان دانشگاه حکیم سبزواری

کزین برتر اندیشه بر نگذرد

به نام خداوند جان و خرد

اینک که به خواست آفریدگار پاک ، کوشش خویش و بهره گیری از دانش استادان و سرمایه‌های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه‌ای از دانش و خرد گردآورده‌ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می‌کنم که در به کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست و درست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می‌گیرم که از همه دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره‌گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نورزم. پیمان می‌بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و ممنوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می‌خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مابینت دارد دست نیازم. همچنین در سایه اصول جهان شمول انسانی و اسلامی، پیمان می‌بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز ، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

نام و نام خانوادگی و امضای دانشجو

فرشته گلی شغل آباد

بسمه تعالی

تأییدیه صحت و اصالت نتایج

اینجانب فرشته گلی شغل آباد به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۹۵۱۰۱۵ رشته شیمی فیزیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان). قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی ضوابط و مقررات آموزشی پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: فرشته گلی شغل آباد تاریخ و امضاء:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما بلامانع است
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ممنوع است .

استاد راهنما : دکتر سیروس سالمی

تاریخ :

امضاء:



دانشگاه حکیم سنوار

دانشکده علوم پایه

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته شیمی گرایش شیمی فیزیک

عنوان پایان نامه:

تجزیه و تحلیل کنفورمری، قدرت پیوند هیدروژنی و بررسی اثرات

استخلاف در کنفورمرهای ترکیب دی متیل ۲- متیل مالونات

استاد راهنما:

دکتر سیروس سالمی

استاد مشاور:

دکتر اسماعیل رضایی سرشت

پژوهشگر:

فرشته گلی شغل آباد

مهر ۱۳۹۲

الهی!

نه من آنم که ز فیض نگهت چشم بپوشم

نه تو آنی که گدا را ننوازی به نگاهی.

در اگر باز نگردد، نروم باز به جایی.

پشت دیوار نشینم، چو گدا بر سر راهی.

کس به غیر از تو نخواهم، چه بخواهی چه نخواهی.

باز کن در، که جز این خانه مرا نیست پناهی.

بر خود لازم می دانم از زحمات استاد راهنمای گرامی جناب آقای دکتر سالمی که با همکاری ایشان این کار انجام گرفت سپاسگزاری نمایم. از جناب آقای دکتر رضایی سرشت که زحمت مشاوره این پایان نامه را به عهده گرفتند کمال تشکر را دارم. از تمامی اساتید فرهیخته دوران کارشناسی و کارشناسی ارشد که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می نمایم. از دوستانم خانم ها برومند جلیلی، ناطقی که هریک به نوعی با همدلی و همکاری یاریم دادند تشکر می کنم. و در پایان از دوستان گرامی که نامشان در این فهرست از قلم افتاده است ولی در پیشبرد این پایان نامه یاری ام داده اند از صمیم قلب سپاسگزارم و برایشان بهترین آرزوها را دارم.



جمهوری اسلامی ایران

فرم چکیده پایان نامه دوره تحصیلات تکمیلی

دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: گلی شغل آباد	نام: فرشته	شماره دانشجویی: ۹۰۱۳۹۵۱۰۱۵
استاد راهنما: دکتر سیروس سالمی	استاد مشاور: دکتر اسماعیل رضایی سرشت	
دانشکده: علوم پایه	رشته: شیمی	گرایش: شیمی فیزیک
مقطع: کارشناسی ارشد	تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۷/۸	تعداد صفحات:
عنوان پایان نامه: تجزیه و تحلیل کنفورمر، قدرت پیوند هیدروژنی و بررسی اثرات استخلاف در کنفورمرهای ترکیب دی متیل ۲_متیل مالونات		
کلیدواژه‌ها: پیوند هیدروژنی درون مولکولی - β -دی کربونیل-دی متیل ۲-متیل مالونات- قدرت پیوند هیدروژنی- پایداری کنفورماسیونی		
چکیده: تجزیه و تحلیل تمامی پیکربندی‌های مولکول دی متیل ۲_متیل مالونات (DMMA) با محاسبات نظریه تابع چگال و در سطح محاسباتی B3LYP و با تابع پایه 6-311++G** به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تمامی پیکربندی‌های کتو نیز در همین سطح مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج محاسبات با مولکول دی متیل اگزالوآستات (DMOA) و دی متیل مالونات (DMM) مقایسه گردید. مقایسه پارامترهای ساختاری (DMMA) با (DMOA) و (DMM) نشان می‌دهد که قدرت پیوند هیدروژنی درون مولکولی در DMMA نسبت به DMM و DMOA قوی تر است. E1 پایدارترین پیکربندی انولی DMMA می‌باشد که قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی درون مولکولی است که قدرت پیوند هیدروژنی درون مولکولی برای DMMA برابر $79/38 \text{ kJ/mol}$ است. همچنین محاسبات فرکانس‌های ارتعاشی نیز برای این فرم پیکربندی در سطح محاسباتی B3LYP با تابع پایه 6-311++G** انجام شده است.		
امضا استاد راهنما		

تقدیم به:

ساحت مقدس امام رضا (ع)

تقدیم به:

چشمه های جوشان محبت

جلوه های مهر و عطوفت الهی

لبخندهای پر مهر زندگی

پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی، به من راه و رسم درست زیستن را
آموختند.

فهرست مطالب

صفحه

عناوین

فصل اول : بررسی پیوند هیدروژنی

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تعریف و تاریخچه	۳
۳-۱- انواع برهمکنش ها	۴
۴-۱- طبقه بندی های مختلف پیوند هیدروژنی	۵
۱-۴-۱- قدرت پیوند هیدروژنی	۵
۲-۴-۱- الگوهای پیوند هیدروژنی	۷
۱-۲-۴-۱- پیوند هیدروژنی درون مولکولی	۷
۲-۲-۴-۱- پیوند هیدروژنی برون مولکولی	۷
۵-۱- روش های مطالعه پیوند هیدروژنی	۸
۱-۵-۱- روش های ترمودینامیکی	۹
۲-۵-۱- روش های طیف بینی	۹
۱-۲-۵-۱- طیف بینی رزونانس مغناطیسی هسته	۱۰
۲-۲-۵-۱- طیف بینی ارتعاشی	۱۱
۳-۲-۵-۱- طیف بینی رامان	۱۲
۳-۵-۱- روش های پراش	۱۲
۶-۱- هندسه ی پیوند هیدروژنی	۱۳
۱-۶-۱- فاصله ها وزوایا	۱۴
۲-۶-۱- موقعیت اتم H	۱۵
۷-۱- توابع انرژی پتانسیل در پیوند های هیدروژنی	۱۶
۸-۱- اثرات ایزوتوپی در پیوند هیدروژنی	۱۷
۹-۱- اهمیت پیوند هیدروژنی درون مولکولی	۱۷

- ۱۰-۱- طبیعت پیوند هیدروژنی درون مولکولی..... ۱۸
- ۱۱-۱- قدرت پیوند هیدروژنی درون مولکولی..... ۱۸
- ۱۲-۱- استفاده از روش های نظری و محاسباتی برای اندازه گیری قدرت پیوند هیدروژنی..... ۱۸
- ۱۳-۱- روش های کوانتومی..... ۱۹
- ۱-۱۳-۱- طبقه بندی روش های کوانتومی..... ۲۰
- ۱-۱۴- نظریه ی تابعی- چگال (DFT)..... ۲۱

فصل دوم : β - دی کربونیل ها

- ۱-۲- β - دی کربونیل ها..... ۲۳
- ۲-۲- طبقه بندی β - دی کربونیل ها..... ۲۳
- ۳-۲- تاتومری در β - دی کربونیل ها..... ۲۴
- ۴-۲- انتقال پروتون در تعادل Enol \leftrightarrow Keto..... ۲۵
- ۱-۴-۲- اثر پارامترهای مختلف بر درصد شکل انولی..... ۲۵
- ۵-۲- علامت HNMR برای تاتومرهای سیس انول..... ۳۱

فصل سوم : محاسبات و نتایج

- ۱-۳- مقدمه..... ۳۳
- ۲-۳- روش محاسبات..... ۳۵
- ۳-۳- پیکربندی و پایداری نسبی..... ۳۵
- ۴-۳- تبدیلات کنفورمیری..... ۴۲
- ۵-۳- پارامترهای ساختاری..... ۴۵
- ۶-۳- بررسی پارامترهای ساختاری DMMA..... ۴۷
- ۷-۳- بررسی جانشینی در موقعیت α کنفورمر پایدار DMMA..... ۵۰
- ۸-۳- تجزیه و تحلیل فرکانسهای ارتعاشی..... ۵۳
- نتیجه گیری..... ۵۷
- منابع..... ۵۸
- چکیده انگلیسی..... ۶۱

فهرست جداول

صفحه	عناوین
۶.....	جدول (۱-۱) ویژگیهای پیوند هیدروژنی قوی، متوسط و ضعیف
۲۷.....	جدول (۱-۲) اثر حلال بر غلظت شکل انول و سیس و جابجایی شیمیایی پروتون درگیر در پیوند هیدروژنی
۲۸.....	جدول (۲-۲) اثر درجه حرارت بر روی تعادل $Keto \leftrightarrow Enol$ برای AA و D ₂ AA
۳۰.....	جدول (۳-۲) اثر استخلافات α بر روی درصد تاتومر در ترکیب استیل استون (MeCOCHXCOMe)
۳۹.....	جدول (۱-۳) انرژی های الکترونی بر حسب هارتری برای پیکربندی های DMMA که قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی هستند، ΔE و E_{HB} بر حسب کیلوژول بر مول .
۴۶.....	جدول (۲-۳) پارامترهای هندسی محاسبه شده برای پیکربندی E1 در سطوح مختلف
۴۸.....	جدول (۳-۳) پارامترهای جیلی محاسبه شده برای DMMA و DMOA و DMM
۴۹.....	جدول (۴-۳) مقایسه پارامترهای گوناگون وابسته به قدرت پیوند هیدروژنی برای DMMA و DMOA و DMM . پارامترهای نظری در سطح محاسباتی B3LYP/6-311++G**
۵۱.....	جدول (۵-۳) مقایسه پارامترهای ساختاری بتادی کتون های ۱،۲،۳،۴ (محاسبه شده در سطح B3LYP/6-311++G**)
۵۴.....	جدول (۸-۳) انتساب فرکانس های ارتعاشی برای مولکول DMMA

فهرست اشکال

صفحه	عناوین
۷.....	شکل (۱-۱) پیوند هیدروژنی درون مولکولی
۸.....	شکل (۲-۱) پیوند هیدروژنی برون مولکولی
۱۴.....	شکل (۳-۱) فاصله و زوایا
۲۴.....	شکل (۱-۲) ساختمان کنفورمرهای مختلف انولی و کتوننی در β -دی کربونیل ها
۳۴.....	شکل (۱-۳) تعادل تاتومری انول - کتو در β -دی کربونیل ها
۳۶.....	شکل (۲-۳) شماره گذاری پیکربندی های پایدار سیس انول (I) و ترانس انول (II)
	مولکول DMMA، انرژی نسبی آن ها بر حسب کیلوژول بر مول محاسبه شده در سطح B3LYP با تابع پایه $6-311++G^{**}$
۴۰.....	شکل (۳-۳) شماره گذاری پیکربندی های کتوننی ممکن برای DMMA، انرژی نسبی آن ها بر حسب کیلوژول بر مول محاسبه شده در سطح $B3LYP/6-311++G^{**}$
۴۲.....	شکل (۴-۳) نمودارهای مربوط به تبدیلات کنفورمیری
۴۵.....	شکل (۵-۳) پایدارترین پیکربندی انولی DMMA و سیستم شماره گذاری اتم ها
۵۰.....	شکل (۶-۳) جایگزینی استخلاف به جای $X=CH_3$ در موقعیت α
۵۳.....	شکل (۷-۳) طیف ارتعاشی پایدارترین کنفورمر ترکیب DMMA در سطح محاسباتی $B3LYP/6-311++G^{**}$

فهرست علائم و نشانه ها

K	فاکتور مقیاس انرژی
μ_{HA}	ممان دوقطبی پیوند
I	انرژی یونیزاسیون الکترون دهنده
R	فاصله پیوند
E_{HB}	انرژی پیوند هیدروژنی
HF	انرژی مطلق بر حسب هارتری
ΔE	انرژی نسبی
I	پیکربندی سیس
II	پیکربندی ترانس
Φ	زاویه دی هدرال
Θ	زاویه پیوندی
q_1	پارامتر جیلی
q_2	پارامتر جیلی
Q	پارامتر جیلی
λ	پارامتر جیلی
ν	کشش
δ	خمش داخل صفحه
γ	خمش خارج صفحه
Δ	تغییر شکل حلقه داخل صفحه
Γ	تغییر شکل حلقه خارج صفحه
ρ	روش ارتعاشی گهواره ای (Rocking) داخل صفحه
π	روش ارتعاشی گهواره ای خارج صفحه
ω	روش ارتعاشی جنبانه ای (Wagging)
t	روش ارتعاشی رقاصکی (Twisting)
S	روش ارتعاشی قیچی وار (Scissoring)
τ	پیچش

s

مقارن

a

نامقارن

فصل اول :

بررسی پیوند هیدروژنی

۱-۱- مقدمه

اندرکنش‌های بین مولکولی و به ویژه پیوند هیدروژنی در تنوع فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی نقش اساسی دارند. این پیوندها ضعیفتر از پیوندهای یونی و کووالانسی هستند اما قویتر از پیوندهای واندروالسی هستند. پیوند هیدروژنی نقش اساسی را در شیمی، زیست‌شناسی و بیوشیمی ایفا می‌کند. پیوند هیدروژنی گونه‌ای از نیروهای ثانویه ضعیف ولی دارای جهت‌گیری است و به سهولت می‌توان واحدهای قابل تشخیص و مجزایی را برای آن تشخیص داد. پیوند هیدروژنی در بسیاری از پدیده‌های مهم طبیعی مانند توزیع پروتئین‌ها و مکانیسم جهش‌های ژنتیکی نقش مهمی دارد. تشکیل پیوند هیدروژنی درون مولکولی باعث پیچش در این درشت‌مولکول‌ها شده و شکل خاصی به مولکول می‌دهد. به دلیل ارتباط مستقیم پیوند هیدروژنی با DNA لودین^۱ بیان کرد تبادل پروتون در اثر پدیده تونل‌زنی باعث اشتباهاتی در کدهای ژنتیکی می‌شود (۱).

پیوند هیدروژنی همچنین در توضیح الگوهای ساختمانی پروتئینها و مکانیسم جهش‌های ژنتیکی DNA نقش مهمی دارد. اجزای مارپیچ آلفا در ساختار پروتئین‌ها و اجزای مارپیچ دوگانه در ساختار توسط پیوند هیدروژنی بهم می‌پیوندند.

در میان انواع پیوند هیدروژنی پیوند در β -دی‌کربونیل‌ها به دلیل نقش مهمی که در درک فعالیت‌های بیولوژیکی دارند مورد توجه شیمیدان‌ها بوده است. به دلیل اهمیت فوق‌العاده‌ی آن

^۱ - Lowdin

بالتبع عنوان بسیاری از تحقیقات پیگیر و روزافزون را خواه مستقیم و خواه غیرمستقیم به خود اختصاص داده است.

۱-۲- تعریف و تاریخچه

در آغاز این دیدگاه وجود داشت که پیوند هیدروژنی نتیجه دو پیوند کووالانس توسط اتم هیدروژن است. از نظر تاریخی پیوند هیدروژنی اولین بار توسط ورنر^۲ در سال ۱۹۰۲ در بررسی ساختمان NH_4OH کشف شد و پیشنهاد کرد که بهتر است آمونیوم هیدروکسید به صورت $H-O...NH_3$ نوشته شود. او این برهمکنش را پیوند ثانویه نامید. در سال ۱۹۱۰ هانتزچ^۳ (۲) حضور یک چنین پیوندی را در استواستیک استر توصیف کرد. پس از آن مور^۴ (۳) در سال ۱۹۱۲ از پیوند مذکور برای توضیح خاصیت بازی قابل توجه تترا متیل آمونیوم هیدروکسید که در حد هیدروکسید پتاسیم است استفاده کرد. او پیشنهاد کرد که آمونیاک یا هریک از محصولات استخلافی آن می توانند نوع خاصی پیوند را با آب تشکیل دهند و کمپلکس حاصله قادر است به طور جزئی در آب به کاتیون و آنیون هیدروکسید تفکیک شود.



درحالیکه یون R_4N دارای هیدروژن متصل به نیتروژن نیست پس قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی نخواهد بود. تترا متیل آمونیوم هیدروکسید در محلول آبی به طور کامل تفکیک می شود (۴). در سال ۱۹۲۰ لایمر و رودبوش^۵ دو شیمیدان امریکایی مفهوم پیوند هیدروژنی را ضمن بررسی مایعات بسیار متجمع مانند آب با ثابت دی الکتریک بالا بیان داشتند: (جفت الکترون های روی مولکول آب قادر هستند نیروی کافی بر هیدروژن مولکول مجاور وارد کنند. نتیجه این عمل اتصال دو مولکول آب به یکدیگر است. که در اثر آن مایع متشکل از توده بزرگی از مولکول ها ایجاد می شود که در اثر تحریکات گرمایی به طور پیوسته در حال شکستن و تشکیل مجدد هستند).

² - Werner

³ - Hantzsch

⁴ - Moor

⁵ - Rodebush

در سال ۱۹۲۲ هاگینز^۶ در مقاله ای تحت عنوان " ساختمان الکترونی اتم ها " چنین اظهار داشت: ذره‌ای مانند H^+ در لایه والانس خود هیچ الکترونی ندارد بنابراین می‌تواند با ذره دیگری که دارای جفت الکترون تنهاست یک پیوند ضعیف بسازد.

شیمیدان انگلیسی از جمله سیدویک اثرات پیوند هیدروژنی برون مولکولی را تجمع و درون مولکولی را کیلیت شدن نامیدند.

پائولینگ^۷ در سال ۱۹۴۰ با انتشار کتاب خود تحت عنوان " طبیعت پیوند شیمیایی " این پیوند را به صورت زیر توصیف نمود:

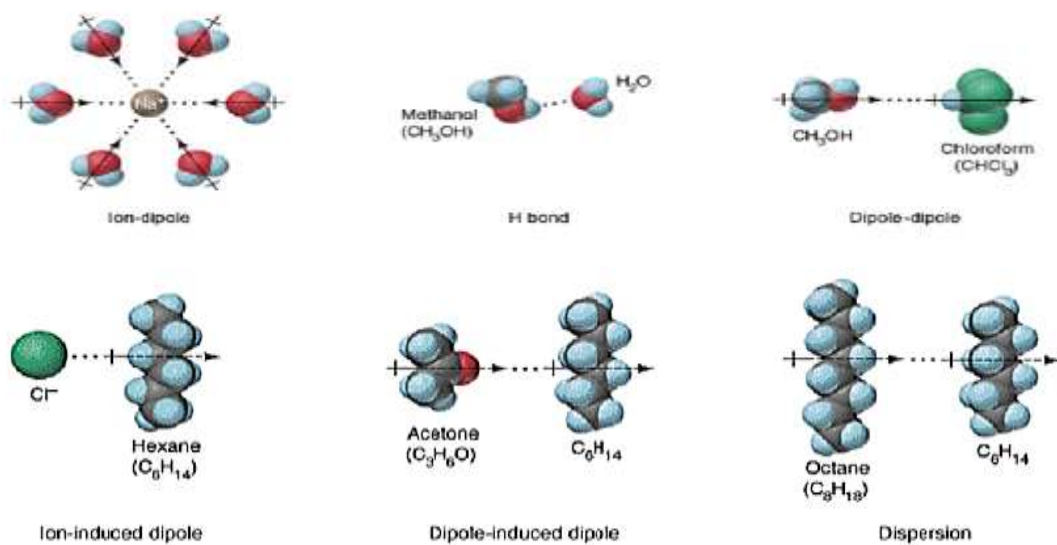
تحت شرایط معینی اتم هیدروژن بوسیله نیروی قوی به دو اتم به جای یک اتم متصل می‌شود به طوری که به نظر می‌رسد پیوندی بین آنها برقرار شده است. به چنین پیوندی " پیوند هیدروژنی " اطلاق می‌شود.

۱-۳- انواع برهمکنش‌ها:

دوقطبی القایی - دوقطبی القایی > دوقطبی - دوقطبی القایی > دوقطبی - دوقطبی القایی > یون - دوقطبی > نیروی جاذبه بین یونی پیوند هیدروژنی نوعی برهمکنش دوقطبی - دوقطبی قوی است.

^۶ - Huggins

^۷ - Pauling



۴-۱- طبقه بندی های مختلف پیوند هیدروژنی:

۴-۱-۱- قدرت پیوند هیدروژنی:

تاکنون طبقه بندی های گوناگونی برای پیوند هیدروژنی ارائه شده است. اما معمولی ترین آن طبقه بندی برحسب انرژی پیوند هیدروژنی است (۵).

۱- پیوندهای هیدروژنی بسیار قوی با انرژی $167.3 - 16.7$ kJ/mol

۲- پیوندهای هیدروژنی متوسط با انرژی $62.7 - 16.7$ kJ/mol

۳- پیوندهای هیدروژنی ضعیف با انرژی $16.7 - 4.184$ kJ/mol

بر اساس پراش اشعه X میزان قدرت این پیوند با توجه به فاصله $O \cdots O$ در سه دسته طبقه

بندی شده است (۶).

۴- پیوند ضعیف: در گستره $2.8 - 3.2$ Å

۵- پیوند متوسط: در گستره $2.6 - 2.8$ Å

۶- پیوند قوی: در گستره $2.4 - 2.6$ Å

عواملی مانند کشش حلقه، شکل هندسی مولکول و قدرت نسبی اسیدی و بازی گروه‌های دهنده و پذیرنده پروتون بر روی قدرت پیوند هیدروژنی موثر است.

جدول ۱-۱ ویژگی‌های پیوند هیدروژنی قوی، متوسط و ضعیف

ضعیف	متوسط	قوی	
یونی	غالباً یونی	غالباً کووالانس	اندرکش A-H...B
$A-H \leq H \dots B$	$A-H < H \dots B$	$A-H \approx H \dots B$	طول پیوندها
۲.۲-۳.۲	~۱.۵-۲.۲	~۱.۲-۱.۵	$^1H \dots B(A^0)$
۳.۲-۴	۲.۵-۳.۲	۲.۲-۲.۵	$A \dots B(A^0)$
۹۰-۱۵۰	۱۳۰-۱۸۰	۱۷۰-۱۸۰	زوایای پیوند
<۱۶.۷۳۶	۱۶۷.۷۳۶-۶۲.۷۶	۵۸.۵۷۶-۱۶۷.۳۶	انرژی پیوند (کیلوژول برمول)*
<۱۰%	۱۰-۲۵%	۲۵%	جابجایی نسبی فرکانس ارتعاش کششی زیر قرمز**
---	<۱۴	۱۴-۲۲	جابجایی شیمیایی H^1 بطرف میدان پایین (PPM)

* در سال ۱۹۸۰ توسط امسلی پیشنهاد شد.

** فرکانس ارتعاش کششی مشاهده شده نسبت به ارتعاش کششی X-H بدون پیوند هیدروژنی.