



دانشگاه زنجان

دانشکده علوم - گروه شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش شیمی معدنی

سنتز و شناسایی کمپلکس‌های جدید آهن و مس با لیگاندهای دهنده نیتروژن و

اکسیژن

استاد راهنما:

دکتر حسن حسینی منفرد

استاد مشاور:

دکتر هاشم شهروس وند

نگارش:

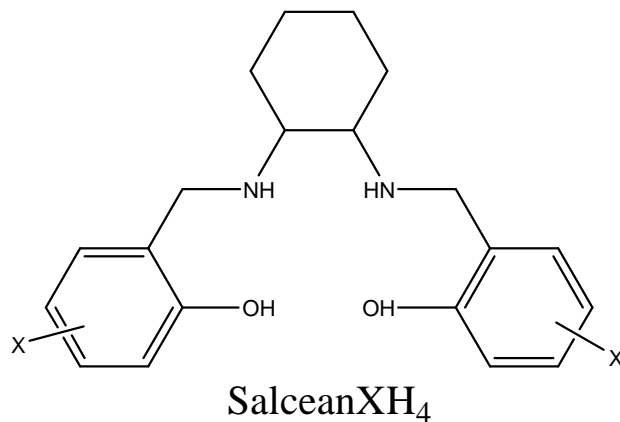
سوسن سلیمانی بآبادی

تیر ماه ۱۳۹۰



## چکیده

دو لیگاند چهار دندانه دهنده ONNO از دسته سالان، کمپلکس‌های آهن- سالان  
[ $(NCS)Fe(H_2L^1)$ ] (۱)، [ $Fe(Cl)(H_2L^1)$ ] (۲)، [ $Fe(N_3)(H_2L^1)$ ] (۳)، [ $(NCS)Fe(H_2L^2)$ ] (۴) و پنج  
کمپلکس مس [ $Cu(H_2L^1)$ ]  $NO_3$  (۵)،  $Na [Cu (H_2L^2)(NCS)]$  (۶)، [ $Cu_2(H_2L^2)_2$ ]  $NO_3$  (۷)،  
[ $Na[Cu(N_3)(H_2L^2)]$ ] (۸)، [ $Na[Cu(N_3)(H_2L^1)]$ ] (۹) سنتز شدند.  $-N,N' = H_4L^1 = SalceanH_4$  بیس  
(O- هیدروکسی بنزیل)- ۱، ۲- دی آمینو سیکلو هگزان و  $-N,N' = H_4L^2 = SalceanBrH_2$  بیس (O-  
هیدروکسی-۵-برمو بنزیل)- ۱، ۲- دی آمینو سیکلو هگزان به ترتیب از واکنش سالیسیل آلدهید و ۵-  
برمو ۲- هیدروکسی بنزآلدهید با سیکلو هگزان ۱، ۲- دی آمین و سدیم بور هیدرید به دست آمدند.  
لیگاندها و کمپلکس‌ها به وسیله روش‌های طیف سنجی UV-Vis،  $^1H$  NMR،  $^{13}C$  NMR و IR  
شناسایی شدند. و ساختار تک بلور کمپلکس‌های ۴ تا ۹ با X-ray مشخص می‌شوند.



کلید واژه: آهن، مس، کمپلکس، سالان، ساختار

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول - مقدمه
۱	۱-۱ بیوشیمی آهن
۳	۱-۲ بیوشیمی مس
۴	۱-۳ لیگاند باز شیف
۵	۱-۴ تاریخچه سنتز کمپلکس‌های باز شیف
۶	۱-۵ لیگاندهای سالن
۹	۱-۶ لیگاند سالالین
۱۲	۱-۷ لیگاندهای سالان
۱۲	۱-۷-۱ نامگذاری لیگاندهای سالان
۱۴	۱-۷-۲ روش‌های تهیه لیگاند سالان
۱۶	۱-۷-۳ مروری بر کمپلکس‌های سالان-فلز
۱۶	۱-۷-۳-۱ کمپلکس وانادیم-سالان
۱۷	۱-۷-۳-۲ کمپلکس نیوبیم-سالان
۲۱	۱-۷-۳-۳ کمپلکس زیرکونیم-سالان

۲۱	۱-۷-۳-۴ کمپلکس آلومینیم- سالان
۲۲	۱-۷-۳-۵ کمپلکس تیتانیوم- سالان
۲۴	۱-۷-۳-۶ کمپلکس قلع- سالان
۲۵	۱-۷-۳-۷ کمپلکس- ایتیریم- سالان
۲۶	۱-۷-۳-۸ کمپلکس آهن- سالان
۲۸	۱-۷-۳-۹ کمپلکس اورانیوم- سالان
۲۹	۱-۸ اهداف پایان نامه

#### فصل دوم-بخش تجربی

۳۰	۲-۱ مواد شیمیایی
۳۰	۲-۲ لوازم و دستگاهها
۳۱	۲-۳ سنتز لیگاندها
۳۱	۲-۳-۱ سنتز لیگاند $H_2L^1$
۳۲	۲-۳-۲ سنتز لیگاند $H_4L^1$
۳۳	۲-۳-۳ سنتز لیگاند $H_2L^2$
۳۴	۲-۳-۴ سنتز لیگاند $H_4L^2$
۳۵	۲-۴ سنتز کمپلکسها
۳۵	۲-۴-۱ سنتز کمپلکس $[Fe(NCS)(H_2L^1)]$ (۱)

- ۳۵ ۲-۴-۱ سنتز کمپلکس  $[Fe(Cl)(H_2L^1)]$  (۲)
- ۳۶ ۲-۴-۳ سنتز کمپلکس  $[Fe(N_3)(H_2L^1)]$  (۳)
- ۳۶ ۲-۵ سنتز تک بلور
- ۳۶ ۲-۵-۱ سنتز کمپلکس  $[Fe(NCS)(H_2L^2)]$  (۴)
- ۳۷ ۲-۵-۲ سنتز کمپلکس  $[Cu_2(H_2L^1)_2] NO_3$  (۵)
- ۳۷ ۲-۵-۳ سنتز کمپلکس  $Na [Cu (H_2L^2)(NCS)]$  (۶)
- ۳۸ ۲-۵-۴ سنتز کمپلکس  $[Cu_2(H_2L^2)_2] NO_3$  (۷)
- ۳۸ ۲-۵-۵ سنتز کمپلکس  $Na [Cu(N_3)(H_2L^1)]$  (۸)
- ۳۸ ۲-۵-۶ سنتز کمپلکس  $Na [Cu(N_3)(H_2L^2)]$  (۹)

### فصل سوم-نتایج و بحث

- ۴۰ ۳-۱ بررسی و تفسیر نتایج سنتز و شناسایی لیگاندها

۳-۱-۱ سنتز و شناسایی لیگاند N و N' - سیکلو هگزان - دی - ایل - بیس سالیسیدین

- ۴۰ ایمین  $(H_2L^1)$

۳-۱-۲ سنتز و شناسایی لیگاند N, N' - بیس (O - هیدروکسی بنزیل) - ۱، ۲ - دی آمینو

- ۴۶ سیکلو هگزان  $(H_4L^1)$

۳-۱-۳ سنتز و شناسایی لیگاند N و N' - سیکلو هگزان - دی - ایل - بیس ۵-برمو

- ۵۵ سالیسیدین ایمین  $(H_2L^2)$

۳-۱-۴ سنتز و شناسایی لیگاند N, N' - بیس (O - هیدروکسی ۵-برمو بنزیل) - ۱، ۲ -

- ۵۹ دی آمینو سیکلو هگزان  $(H_4L^2)$

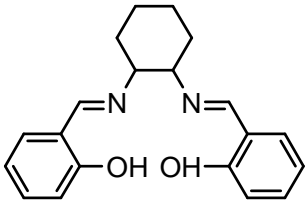
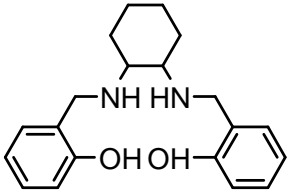
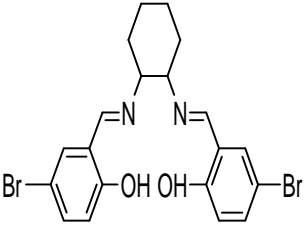
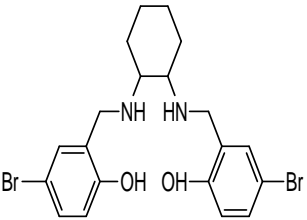
- ۶۵ ۲-۳ بررسی و تفسیر نتایج حاصل از سنتز کمپلکس‌ها
- ۶۵ ۱-۲-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $[\text{Fe}(\text{NCS})(\text{H}_2\text{L}^1)]$  (۱)
- ۶۸ ۲-۲-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $[\text{FeCl}(\text{H}_2\text{L}^1)]$  (۲)
- ۷۲ ۳-۲-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $[\text{Fe}(\text{N}_3)(\text{H}_2\text{L}^1)]$  (۳)
- ۷۶ ۳-۳ تفسیر نتایج و شناسایی تک بلورها
- ۷۶ ۱-۳-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $[\text{Fe}(\text{NCS})(\text{H}_2\text{L}^2)]$  (۴)
- ۸۰ ۲-۳-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $[\text{Cu}_2(\text{H}_2\text{L}^1)_2] \text{NO}_3$  (۵)
- ۸۵ ۳-۳-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $\text{Na} [\text{Cu}(\text{H}_2\text{L}^2)(\text{NCS})]$  (۶)
- ۸۹ ۴-۳-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $[\text{Cu}_2(\text{H}_2\text{L}^2)_2] \text{NO}_3$  (۷)
- ۹۳ ۵-۳-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $\text{Na} [\text{Cu}(\text{N}_3)(\text{H}_2\text{L}^1)]$  (۸)
- ۹۷ ۶-۳-۳ تهیه و شناسایی کمپلکس  $\text{Na} [\text{Cu}(\text{N}_3)(\text{H}_2\text{L}^2)]$  (۹)
- ۱۰۲ ۴-۳ نتیجه‌گیری کلی

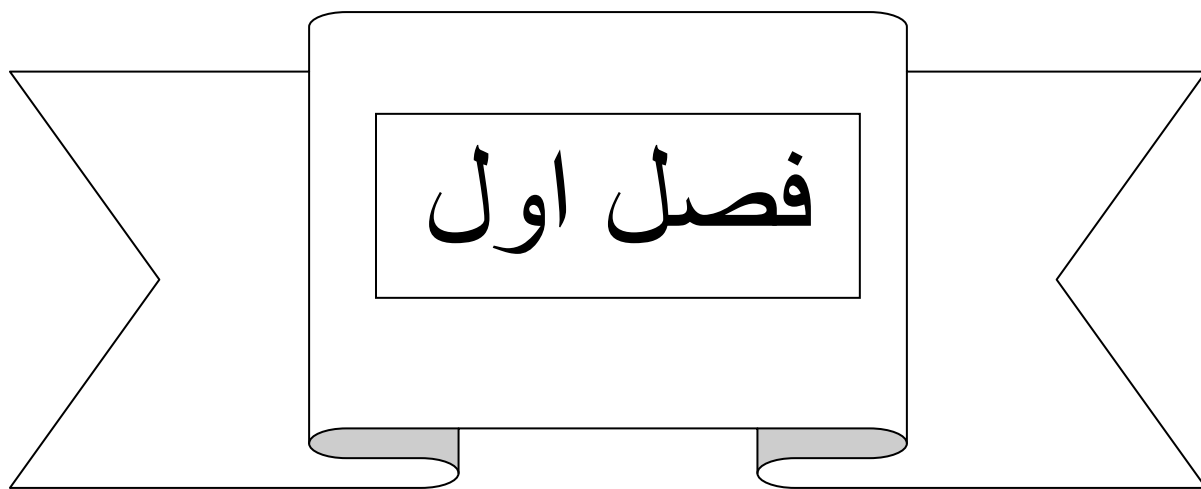
#### فصل چهارم- منابع و مراجع

- ۱۰۳ منابع و مراجع



### جدول علایم اختصاری

نام آیوپاک لیگاند	فرمول عمومی	فرمول شیمیایی	علامت اختصاری	ساختار لیگاند
$N,N'$ -سیکلو هگزان-دی-ایل- بیس (سالیسیلیدن ایمین)	$SalcenH_2$	$C_{20}H_{22}N_2O_2$	$H_2L^1$	
$N,N'$ -بیس (O) هیدروکسی بنزیل- ۱، ۲-دی آمینو سیکلو هگزان	$SalceanH_4$	$C_{20}H_{26}N_2O_2$	$H_4L^1$	
$N,N'$ -سیکلو هگزان-دی-ایل- بیس (۵-برمو سالیسیلیدن ایمین)	$SalcenBrH_2$	$C_{20}H_{22}N_2O_2Br_2$	$H_2L^2$	
$N,N'$ -بیس (O) هیدروکسی-۵-برمو بنزیل- ۱، ۲-دی آمینو سیکلو هگزان	$SalceanBrH_4$	$C_{20}H_{26}N_2O_2Br_2$	$H_4L^2$	



## ۱-۱ بیوشیمی آهن

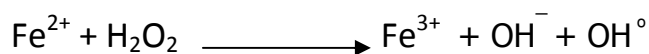
شیمی آهن در بیوشیمی معدنی، علم مواد و کاتالیست مطالعه می شود، شیمی آلی فلزی آهن با کشف پنتا کربونیل آهن در سال ۱۸۹۱ بنیان نهاده شد. با کشف فروسن<sup>۱</sup> و ساختار  $\pi$  آن در اواسط قرن بیستم شیمی معدنی آهن بسیار مهم تر شد [۱].

آهن فراوان ترین فلز واسطه در سیستم های زیستی است. مقدار کلی آهن موجود در بدن فرد بالغ سه تا چهار گرم تخمین زده شده است [۲]. که حدود ۶۵٪ آهن بدن به شکل هموگلوبین وجود دارد، حدود ۴٪ دیگر آهن به شکل میوگلوبین، ۱٪ به شکل ترکیبات مختلف هم که موجب پیش برد اکسایش درون سلولی می شوند، ۱٪ به صورت ترکیب با پروتئین ترانسفرین در پلاسمای خون وجود دارد و ۱۵٪ الی ۳۰٪ آن به شکل فریتین ذخیره می شود [۳]. فریتین یک پروتئین کروی است که از ۲۴ واحد تشکیل شده است و دور تا دور آن را ۴۵۰۰ اتم آهن (III) فرا گرفته است. با توجه به اینکه آهن مورد نیاز سلول، آهن (II) است. آهن (II) آزاد در بدن نمی تواند وجود داشته باشد زیرا در واکنش با

---

<sup>1</sup> Ferrocene

هیدروژن پراکسید رادیکال هیدروکسیل تولید می‌کند که عامل اکسنده قوی است و قادر است به سلول‌ها آسیب برساند. در صورتی که این واکنش با آهن (III) صورت نمی‌گیرد. به همین دلیل در موقع نیاز سلول به آهن، آهن (III) ذخیره شده در فریتین به آهن (II) کاهش می‌یابد [۴].



مقدار زیاد آهن سلول، به علت فراوانی آن در پوسته زمین نیست، بلکه بیشتر به خاطر توانایی منحصر به فرد آهن مثل خواص فیزیکی و شیمیایی، حالت اکسایشی متنوع، پتانسیل اکسایش کاهش و پیکربندی اسپین الکترون در پاسخ به لیگاندهای مختلف محیطی است [۵]. که این امکان را می‌دهد تا آهن نقش کوفاکتور پروتئین‌ها را بازی کند. آهن یک کوفاکتور ضروری برای پروتئین‌های گوناگون از قبیل سیتوکروم‌ها، پروتئین‌های شامل هم و پروتئین‌های آهن-گوگرد است. آنزیم‌های دارای آهن برای فرایندهای زیست شیمی شامل انتقال اکسیژن، تنفس و متابولیسم سلولی، متابولیسم داروها و سنتز DNA به این عنصر نیاز دارند [۲]. در مجموع، آهن در مقایسه با مس و نیکل برای اهداف فیزیولوژی، فلزی مناسب است و خواص منحصر به فرد و مشترک با این عناصر دارد [۵].

در سی سال گذشته در زمینه کی‌لیت‌های آهن برای بیماری‌هایی مثل تالاسمی ماژور تلاش‌های زیادی انجام شده‌است. کی‌لیت‌های آهن باعث رشد و افزایش سلول‌ها می‌شوند [۶]، در نتیجه سلول‌های تومور به منظور افزایش تعداد سلول‌های خود نیازمند آهن هستند، بنابراین آهن هدف مناسبی برای برداشتن سلول‌های سرطانی است [۷]. بر هم کنش NO با پروتئین‌های آهن بیان شده در زیر به تشکیل کمپلکسی منجر می‌شود که باعث حذف سلول‌های تومور می‌شود.

(۱) محدود کننده سرعت آنزیم در سنتز DNA، آنزیم‌های کاهنده ریونکلوئیدها [۸]

(۲) پروتئین ذخیره کننده آهن (فریتین) [۹]

(۳) پروتئین‌های شامل هم [۱۱۰ و ۱۱۱]

(۴) آنزیم‌های خوشه ای [Fe-S] که مرحله نهایی سنتز هم را کاتالیز می‌کنند [۱۲].

## ۱-۲ بیوشیمی مس

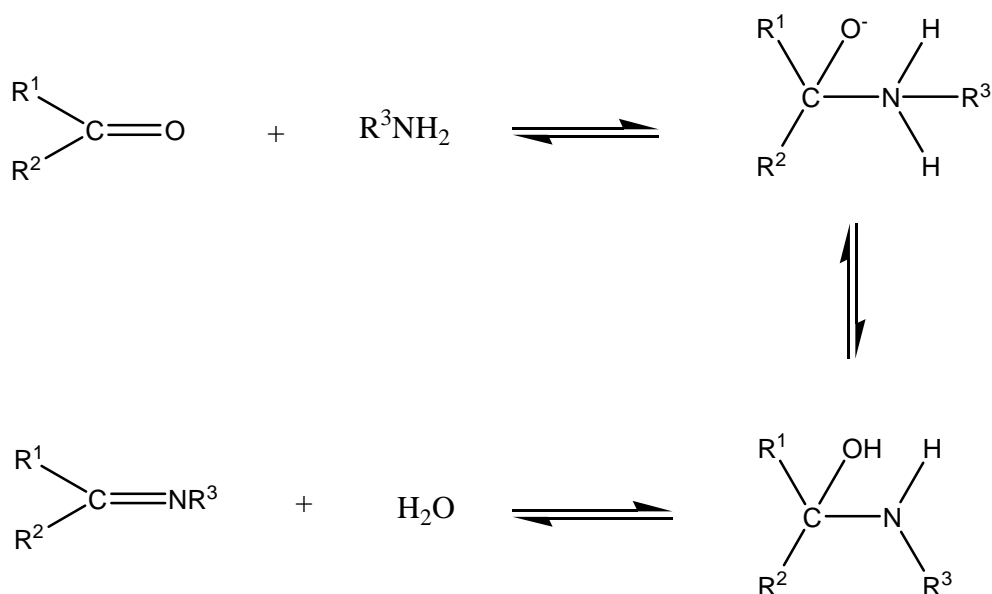
مس ترکیبات گوناگونی دارد که بسیاری از آن‌ها رنگی هستند. دو حالت اکسایش اصلی مس +۱ و +۲ هستند. گرچه کمپلکس‌هایی با عدد اکسایش +۳ نیز شناخته شده است [۱۳]. حالت اکسایش مس که در بدن گزارش شده به صورت  $Cu^+(d^{10})$ ،  $Cu^{2+}(d^9)$  و  $Cu^{3+}(d^8)$  است [۱۴].

آنزیم‌های فلزی متنوع و فراوانی از مس در حیوانات و گیاهان وجود دارد. یک دسته از آن‌ها در انتقال الکترون (مانند آزرین، پلاستونین، لاکاز) بعضی در واکنش‌های اکسیژن‌دار کردن (مانند تیروسیناز، آسکوربات اکسیداز) و یک سری نیز در انتقال اکسیژن (همچون هموسیانین) ایفای نقش می‌کنند. بیش‌ترین مرکز فعالیت مس در پروتئین‌های خارج سلول یا در ماهیچه است [۱۵].

خارج از سیستم‌های زیستی، یون مس (I) آرایش  $d^{10}$  اغلب خطی و کوئوردیناسی است. با این وجود، آرایش‌های مثلثی یا هرمی و علاوه بر این چهار کوئوردیناسی چهار وجهی نیز مشاهده شده است. یون مس (II) با آرایش  $d^9$  اغلب دارای آرایش هشت وجهی انحراف یافته است که انحراف یان-تلر را نشان می‌دهد. یون مس (II) آرایش مسطح مربعی دارد از شواهد چنین بر می‌آید که یون‌های مس در آنزیم‌ها به صورت انحراف یافته و دارای آرایش متغیر است [۱۴].

## ۱-۳ لیگاند باز شیف

ترکیباتی که شامل یک پیوند ایمین یا یک گروه آزو میتین (-RH=N-) باشند بازشیف نامیده می-شوند و معمولاً از تراکم آمین نوع اول با یک ترکیب فعال کربونیل دار به دست می-آید. این ترکیبات را با نام شیف<sup>۱</sup>، کسی که اولین بار آن‌ها را در سال ۱۸۶۴ گزارش کرد، باز شیف می-نامند [۱۶]. واکنش تهیه باز شیف برگشت پذیر است. لازمه‌ی انجام این واکنش وجود آب است که با گذر از حدواسط کربونیل آمین پیشرفت می-کند و محصولات آن (آمین نوع اول و ترکیب کربونیل فعال دار) را از طریق تقطیر با بنزن جدا می-کنند. کاتالیست اصلی این واکنش اسید است اما به طور غیر معمول آمین‌های آلیفاتیک نیز مورد نیاز است.



شکل ۱-۱ مکانیسم واکنش تهیه باز شیف

<sup>1</sup> Schiff

بازهای شیف که نقش مهمی در توسعه شیمی کوردیناسیون دارند [۱۷] به عنوان مولکول‌های پذیرنده یون‌های فلزی در فرایند انتقال، استخراج و کمپلکس کردن این یون‌ها مورد توجه هستند. مولکول‌های باز شیف که امروزه در مطالعات کمپلکس شدن یون‌های فلزی به کار برده می‌شوند به لحاظ اتم‌های دهنده در ساختار خود از تنوع زیادی برخوردارند. وجود اتم‌های دهنده اکسیژن، نیتروژن و گوگرد در آن‌ها موجب بهبود کمپلکس‌کنندگی آن‌ها می‌شود. اگر یک گروه آریل به اتم کربن یا نیتروژن متصل شود باز شیف تهیه شده پایدار خواهد بود. در غیر این صورت، این ترکیبات به طور سریع تجزیه یا پلیمری می‌شوند [۱۸ و ۱۹]. در عرصه بیوشیمی معدنی، کمپلکس‌های باز شیف علاقه زیادی به اشغال مراکز محل فعال پروتئین‌های فلزی و آنزیم‌ها دارند [۲۰].

#### ۱-۴ تاریخچه سنتز کمپلکس‌های باز شیف

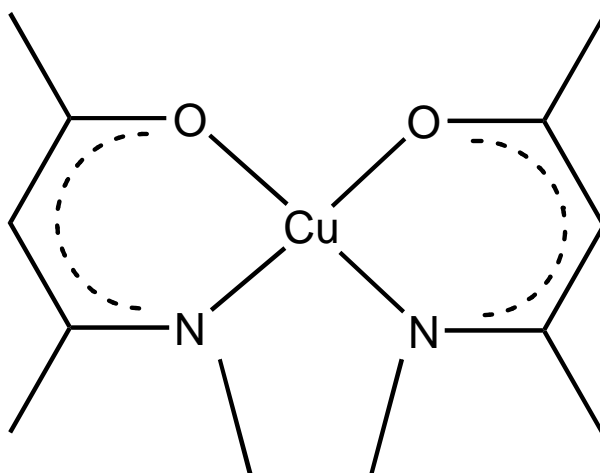
کمپلکس‌های مشتق شده از بازهای شیف بیش از صد سال است که شناخته شده‌اند. یورگنسن<sup>۱</sup>، ورنر<sup>۲</sup>، اتلینگ<sup>۳</sup>، در سال ۱۸۴۰ محصول بلوری سبز تیره را از واکنش مس(II) استات، سالیسیل آلدهید و آمین جدا کردند. این محصول بیس(سالیسیل آلدیمینو) مس(II) بود، مشتقات آریل و فنیل این ترکیب نیز در سال ۱۸۶۹ توسط شیف جداسازی شدند [۱۸ و ۲۱]. اولین کمپلکس بتا-کتو آمین‌ها در سال ۱۸۸۹ توسط کومیس<sup>۴</sup> به صورت کمپلکس مس پایدار تهیه و جداسازی شد [۲۲].

<sup>1</sup> S.M.Jorgenson

<sup>2</sup> Werner

<sup>3</sup> Etling

<sup>4</sup> Combes



شکل ۱-۲ ساختار اولین کمپلکس سنتز شده از باز شیف با یون مس

## ۱-۵ لیگاندهای سالن

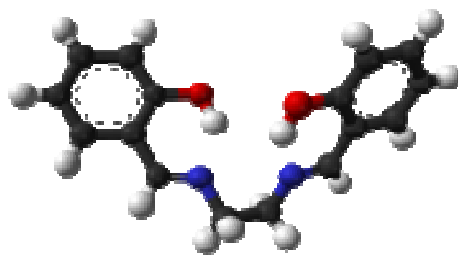
سالن<sup>۱</sup> نام عمومی لیگاندهای باز شیفی است که دارای دو گروه آزو متین می باشند و از برهم کنش سالیسیل آلدهید و اتیلن دی آمین ها به وجود می آیند. این لیگاندها در شیمی کوردیناسون و کاتالیست های همگن استفاده می شوند. سالن ها یا ایمینو فنولات ها را با توجه به یکسان بودن یا نبودن ترکیبات کربونیل دار و یا عدم وجود تقارن در ترکیب آمینی به دو گروه متقارن یا نامتقارن تقسیم می کنند [۱۸ و ۲۱]. لیگاندهای سالن، جامد، دارای رنگ زرد روشن و در حلال های آلی قطبی حل می شوند. لیگاندهای چهاردندانه آنیونی سالن به لیگاندهای چهار دندانه ای ماکروسیکل دار مثل پورفرینات<sup>۲</sup>، کورین<sup>۳</sup>، بیس (دی اتیل گلوکسیات) و بسیاری بازهای شیف شباهت دارند.

<sup>1</sup> Salen

<sup>2</sup> porophyrinat

<sup>3</sup> corrin





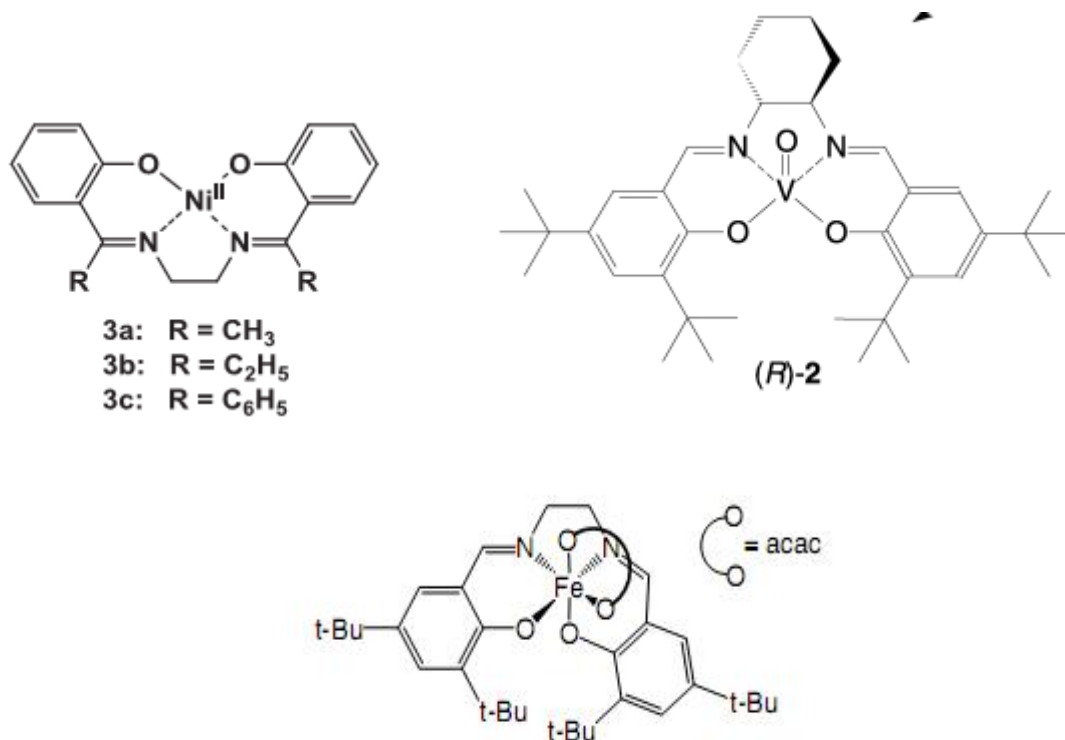
شکل ۱-۳ نمای کلی لیگاندهای سالن

لیگاندهای سالن اولین بار توسط پفیفر<sup>۱</sup> تهیه شد [۲۳]. در سال ۱۹۳۸ تسوماکی<sup>۲</sup> کمپلکسی از لیگاند سالن با کبالت (II) گزارش کرد که به طور برگشت پذیری با  $O_2$  پیوند داشت و به دنبال آن تحقیقات زیادی برای تهیه کمپلکس‌های کبالت از سالن‌ها و لیگاندهای مرتبط به سالن، به دلیل توانایی آن‌ها در ذخیره و انتقال اکسیژن انجام شد [۲۴]. لیگاندهای سالن با بیشتر فلزات واسطه تشکیل کمپلکس می‌دهند. در بسیاری از حالات کمپلکس هرم مربعی با ساختار  $M(\text{Salen})L$  و یا فضای کئوردیناسیون هشت‌وجهی با استوکیومتری  $M(\text{Salen})L_2$  مانند  $\text{VO}(\text{Salen})$  و  $\text{Co}(\text{Salen})\text{Cl}(\text{py})$  تشکیل می‌دهند. سالن‌ها با یون‌های  $d^8$  کمپلکس‌های مسطح مربعی کم اسپین مانند  $\text{Ni}(\text{Salen})$  می‌دهد.

---

<sup>1</sup> Pfeiffer

<sup>2</sup> Tsumaki



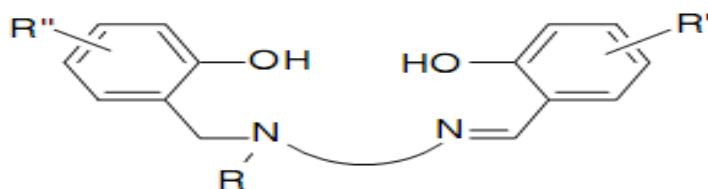
شکل ۱-۴ تعدادی از کمپلکس‌های سالن-فلز با آرایش هندسی متفاوت [۲۵ و ۲۶ و ۲۷]

در طول دهه‌های گذشته شیمی‌دان‌ها مدارک قابل توجهی مبنی بر مزایای کاتالیست‌های متقارن ارائه داده‌اند. از جمله‌ی این کمپلکس‌ها، کمپلکس‌های فلز-سالن کایرال است که اثبات شده یکی از مستعدترین کاتالیست‌ها است. این کمپلکس‌ها در دسترس، دارای تنوع ساختاری و دارای توان بالا در القا کردن عنصر بی‌تقارنی هستند که سبب عملکردهای مختلف این کاتالیست می‌شود. این ترکیب‌ها به عنوان کاتالیست‌های عالی برای گستره وسیعی از تبدیل‌ها آلی شامل اپوکسایش، آزیریدین‌دار

کردن، سولفوکسیددار کردن، واکنش مایکل<sup>۱</sup>، باز شدن حلقه اپوکسید و واکنش هنری<sup>۲</sup> به کار می-روند [۲۸].

### ۱-۶ لیگاند سالالن

لیگاندهای سالنی که یک پیوند ایمین آن احیا شده باشد به لیگاندهای سالالن<sup>۳</sup> یا سالن نیمه احیا شده معروف هستند (شکل ۱-۵). سنتز لیگاندهای سالالن شامل دو مرحله تراکم سازی است. از تراکم یک گروه آمین دی آمین با یک اکی والان سالیسیل آلدهید یک نیمه از لیگاند سالن به وجود می آید (تشکیل یک پیوند ایمین) و به دنبال آن یک تراکم مانیک<sup>۴</sup> به وسیله دومین گروه آمین دی آمین با یک اکی والان فرمالدهید و یک اکی والان فنل صورت می گیرد و با ایجاد پیوند C-N نیمه دیگر لیگاند تشکیل می شود. شکل ۱-۶ نمای کلی سنتز دو نوع از اولین لیگاندهای سالالن سنتز شده با بازده های متوسط را نشان می دهد.



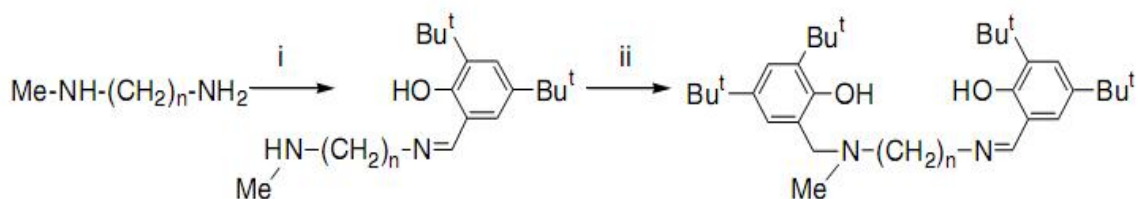
شکل ۱-۵ ساختار عمومی لیگاند سالالن

<sup>1</sup> Michael

<sup>2</sup> Henry

<sup>3</sup> Salalen

<sup>4</sup> Mannich

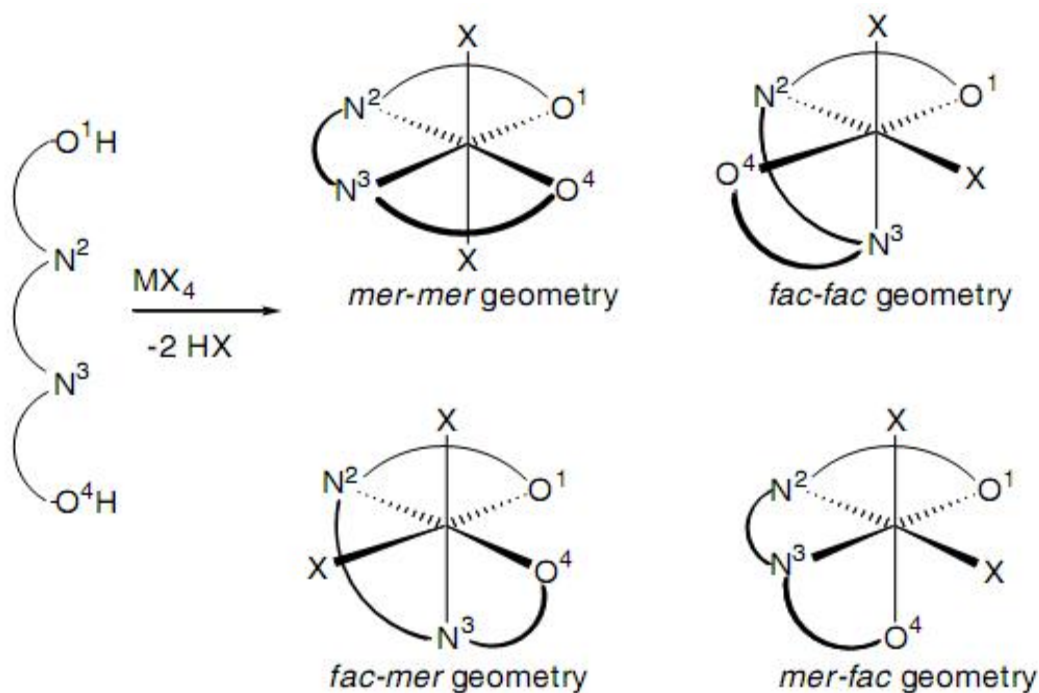


شکل ۱-۶ مراحل سنتز اولین لیگاندهای سنتز شده سالان (لیگاند ۱،  $n=2$  و لیگاند ۲،  $n=3$ ) (i) ۳، ۴- دی ترسیو

بوتیل سالیسیل آلدهید (ii) ۲، ۴- دی ترسیو بوتیل فنل، فرمالدهید آبی

برای لیگاندهای نامتقارن حالات مختلف برای اتصال به اتم مرکزی وجود دارد که در شکل ۱-۷

نشان داده شده است. برای لیگاندها متقارن سالن و سالان ایزومرهای mer-fac و fac-mer یکی است.



شکل ۱-۷ حالات ممکن برای اتصال لیگاندهای چهاردندانه‌ای متوالی به اتم مرکزی در ساختار هشت‌وجهی