

مبانی شیمی آلی فلزی

تألیف

دکتر احمد شاه رضائی پاکدامن

متالون

سرشناسه: شاهرزایی پاکدامن، احمد، ۱۳۳۸ -
 عنوان و نام پدیدآور: مبانی شیمی آلی فلزی / تألیف احمد شاهرزایی پاکدامن.
 مشخصات نشر: تهران: متالون، ۱۳۸۹.
 مشخصات ظاهری: نه، ۱۴۷ ص.
 شابک: ۳۵۰۰۰ ریال 978-600-91085-5-8
 وضعیت فهرست نویسی: فیا.
 موضوع: شیمی آلی فلزی
 رده بندی کنگره: ۱۳۸۹ ۲م ۲ش / QD۴۱۱
 رده بندی دیوئی: ۵۴۷/۰۵
 شماره کتابشناسی ملی: ۲۱۳۷۰۵۶

متالون

- نام کتاب : مبانی شیمی آلی فلزی
- تألیف : دکتر احمد شاهرزایی پاکدامن
- نوبت چاپ : اول
- سال چاپ : ۱۳۸۹
- شمارگان : ۱۲۰۰ نسخه
- قیمت : ۳۵۰۰۰ ریال
- چاپخانه : قلم ۵۹ ۶۶۴۱-۲۵۱
- شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۹۱۰۸۵-۵-۸ ISBN: 978-600-91085-5-8
- آدرس مرکز بخش : تهران - خیابان حافظ - روبروی خیابان سمیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- تلفن کتابفروشی: ۶۶۴۶۵۳۹۲ (دفتر) ۸۸۸۹۵۹۶۹ فاکس ۶۶۹۵۰۹۸۲

پیشگفتار

این کتاب بیشتر به سنتز، واکنش و ساختمانهای مولکولی ترکیبات آلی فلزی (اورگانومالیک) تأکید دارد و کمتر به خواص اسپکتروسکوپی و کاربرد آن در کاتالیزورها و یا سنتز ترکیبات آلی و مکانیزم آن توجه داشته. منظور اصلی بیشتر آشنایی علاقمندان به این رشته بوده و مبنای شیمی آلی فلزی را به عنوان حیطه جدید معرفی کند و چنانچه عنوان نشان می دهد فقط شامل عاملهای اساسی و مفهوم شیمی آلی فلزی می باشد.

البته شیمی آلی فلزی رشته خیلی قدیمی می باشد که در سال ۱۷۶۰ میلادی متیل آرسنیک سنتز شد. اخیراً از ترکیبات آلی فلزی در صنایع PVC و همچنین کشنده های بیولوژی کاربرد فراوانی دارد. ترکیبات آلی فلزی نیز در سنتز ترکیبات آلی کاربرد دارد. برای مثال اورگانو روی، جیوه، عامل های گرینیارد و لیتیم را می توان برای سنتز بکار برد.

این کتاب در دو مجلد به چاپ خواهد رسید تا بتوانم تقریباً بطور کامل در خصوص تمام گروه های تناوب بجز گروه صفر (گاز های بی اثر) مطلب جمع آوری و به چاپ جهت معرفی بیشتر این حیطه جدید یعنی شیمی آلی فلزی انجام دهم.

در خاتمه جا دارد که از همسر و پسر (بهار رحیم زاده - شاعر) جهت ویرایش و گرد آوری مطالب از اینترنت سپاسگزاری کنم.

همچنین از آقای مهندس آرش شاه رضایی که من را در جمع آوری و گرد آوری این مجموعه یاری کردند صمیمانه تشکر و قدر دانی می کنم.

احمد شاه رضایی پاکدامن

فصل اول: مقدمه

- ۱ - ۱ - ۱ حیطه شیمی آلی فلزی ۱
- ۱ - ۲ - ۱ - ۲ مختصری تفسیر تاریخی ترکیبات آلی فلزی ۲
- ۱ - ۳ - ۱ - ۳ طبقه بندی ترکیبات آلی فلزی ۵

فصل دوم: پیوند فلز - کربن

- ۲ - ۱ - ۱ - ۲ انواع پیوندها ۷
- ۲ - ۱ - ۱ - ۲ - ۱ پیوند یونی ۸
- ۲ - ۱ - ۲ - ۱ - ۲ پیوند کووالانسی - سیگما (σ) (دو مرکزی دو الکترونی) ۸
- ۲ - ۱ - ۲ - ۱ - ۲ - ۳ پیوندهای گمبوند - الکترون (پیوندهای چند مرکزی متمرکز) ۹
- ۲ - ۱ - ۲ - ۱ - ۲ - ۴ پیوند متمرکز در سیستمای چند هسته ای ۹
- ۲ - ۱ - ۲ - ۱ - ۲ - ۵ پیوند داتیو با دخالت اوربیتال - d (سیگما دهند - پی گیرنده) ۹
- ۲ - ۲ - ۱ - ۲ - ۲ پیوندهای یونی فلز - کربن ۱۰
- ۲ - ۳ - ۱ - ۲ - ۲ پیوندهای کووالانسی سیگما (دو مرکزی دو الکترون) ۱۴
- ۲ - ۴ - ۱ - ۲ - ۲ پیوند های الکترون - ناقص (پیوندهای چند مرکزی متمرکز) ۱۶
- ۲ - ۵ - ۱ - ۲ - ۲ پیوندهای نامتمرکز در سیستمهای چند هسته ای ۲۰
- ۲ - ۶ - ۱ - ۲ - ۲ پیوند داتیو با دخالت اوربیتال - d ۲۲

فصل سوم: تکنیکهای آزمایشگاهی در شیمی آلی فلزی

- ۳ - ۱ - ۳ تجزیه و ترکیب مواد ۳۷
- ۳ - ۲ - ۳ خصوصیات ساختمانی و آنالیزنی ۴۲

فصل چهارم: ترکیبات آلی فلزی فلزات قلیائی

- ۴ - ۱ - ۴ ترکیبات اورگانو لیتیم ۴۵
- ۴ - ۱ - ۴ - ۱ طرز تهیه ۴۶
- ۴ - ۱ - ۴ - ۲ ساختمان ترکیبات اورگانو لیتیم ۴۹
- ۴ - ۲ - ۴ مشتقات آلی فلزی سدیم و فلزات قلیائی سنگین تر ۵۲

فصل پنجم: ترکیبات آلی فلزی عناصر گروه II

- ۵ - ۱ - ۵ ترکیبات اورگانوبریلیوم ۵۹
- ۵ - ۱ - ۵ - ۱ انواع ترکیبات اورگانوبریلیوم ۵۹
- I - ترکیبات از نوع BeR_2 ۵۹
- II - ترکیبات اضافی از نوع $\text{BeR}_2 \cdot n\text{D}$ (۲ یا ۱) $n =$ ۵۹

۶۰	III - ترکیبات آیونی بریلیوم سه و چهار کوئوردینته
۶۰	IV - مشتقات وابسته از نوع $RBeX$
۶۱	V - هیدریدهای نوع $RBeH$
۶۱	۱-۲ - ترکیبات دی اورگانو بریلیوم BeR_2 و مشتقاتشان
۶۶	۱-۳ - هالیدهای اورگانو بریلیوم
۶۷	۱-۴ - هیدریدهای اورگانو بریلیوم
۶۷	۲-۵ - ترکیبات اورگانو منیزیم
۶۸	۱-۲-۵ - مشتقات جانشین دو گانه MgR_2
۷۰	۲-۲-۵ - عاملهای گرینیار (هالیدهای اورگانو منیزیم)
۷۴	۳-۵ - ترکیبات آلی فلزی کلسیم، استرونتیوم و باریم
۷۵	۴-۵ - ترکیبات اورگانو روی
۷۶	۱-۴-۵ - مشتقات جانشین دو گانه ZnR_2
۷۹	۲-۴-۵ - هالیدهای اورگانو روی
۸۰	۳-۴-۵ - هیدریدهای اورگانو روی
۸۰	۵-۵ - مشتقات اورگانو کادمیم
۸۱	۱-۵-۵ - مشتقات جانشین دو گانه CdR_2
۸۳	۲-۵-۵ - مشتقات جانشین سه گانه $RCdX$
۸۴	۶-۵ - ترکیبات اورگانو جیوه
۸۵	۱-۶-۵ - مشتقات جانشین دو گانه HgR_2
۸۹	۲-۶-۵ - مشتقات جانشین سه گانه $RHgX$
	فصل ششم: ترکیبات آلی فلزی عناصر گروه A III
۹۷	۱-۶ - ترکیبات اورگانو بُر
۹۷	۱-۱-۶ - انواع ترکیبات اورگانو بُر شناخته شده
۹۷	I - ترکیبات یک هسته ای با بُر سه کوئوردینته
۹۸	II - ترکیبات حلقوی مرکب با بُر بصورت اتمهای مختلف الجنس
۹۹	III - ترکیبات خطی و حلقوی چند هسته ای با بُر سه کوئوردینته
۹۹	IV - ترکیبات یک هسته ای با بُر چهار کوئوردینته
۹۹	V - ترکیبات حلقه ای با بُر چهار کوئوردینته
۹۹	VI - کربناتها
۱۰۰	۲-۱-۶ - ترکیبات ترد آلکیل (آریل) بُر آنها BR_3 و مربوط به آن
۱۰۴	۳-۱-۶ - اورگانو بُرانه های هالوژندار R_nBX_{3-n}

۱۰۶	۴-۱-۶- اسیدهای اورگانو بر $R_nB(OH)_{3-n}$
۱۰۷	۵-۱-۶- استرهای اسیدهای اورگانو بریک (برانه‌ها آلکواکسید) $R_nB(OR')_{3-n}$
۱۰۸	۶-۱-۶- اورگانو برانه‌های آمینو $R_nB(NR'R'')_{3-n}$
۱۱۱	۷-۱-۶- ترکیبات اورگانو بر که شامل سولفورند
۱۱۲	۸-۱-۶- ترکیبات اورگانو بر که شامل فسفرند
۱۱۳	۹-۱-۶- کربرانه‌ها
۱۱۹	۲- ترکیبات اورگانو آلومینیوم
۱۲۰	۱-۲-۶- انواع ترکیبات اورگانو آلومینیوم
۱۲۱	۲-۲-۶- ترکیبات جانشین سه گانه اورگانو آلومینیوم
۱۲۴	۳-۲-۶- ترکیبات حلقوی مرکب از اتمهای مختلف الجنس با آلومینیوم داری اتمهای مختلف الجنس
۱۲۶	۴-۲-۶- ترکدبات یک هسته ای با آلومینیوم چهار کوئوردینته
۱۲۸	۵-۲-۶- دیمر، تریمر و تترامرهای حلقه ای شامل آلومینیوم چهار کوئوردینته
۱۲۸	۶-۲-۶- هالیدهای اورگانو آلومینیوم
۱۲۹	۷-۲-۶- هیدریدهای آلکیل آلومینیوم
۱۲۹	۸-۲-۶- اورگانو آلومینیوم های تیولها و آلکواکسیدها
۱۳۰	۳- ترکیبات اورگانو گالیوم
۱۳۱	۱-۳-۶- مشتقات جانشین سه گانه GaR_3
۱۳۳	۲-۳-۶- هالیدهای دی اورگانو گالیوم R_2GaX
۱۳۵	۳-۳-۶- پلیمرهای چند منومری حلقه ای با گالیوم چهار کوئوردینته
۱۳۸	۴- ترکیبات اورگانو ایندیم
۱۳۹	۱-۴-۶- مشتقات جانشین سه گانه InR_3
۱۳۹	۲-۴-۶- هالیدهای دی اورگانو ایندیم R_2InX
۱۳۹	۳-۴-۶- دی هالیدهای اورگانو ایندیم $RInX_2$
۱۴۲	۵- ترکیبات اورگانو تالیوم
۱۴۲	۱-۵-۶- مشتقات جانشین سه گانه TlR_3
۱۴۴	۲-۵-۶- مشتقات جانشین دو گانه R_2TlX
۱۴۵	۳-۵-۶- مشتقات جانشین یگانه $RTlX_2$
۱۴۶	۴-۵-۶- مشتقات یک ظرفیتی تالیوم

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه ای بر شیمی آلی فلزی

۱-۱- حیطه شیمی آلی فلزی (اورگانومتالیک):

شیمی آلی فلزی ضمن قدمت یک شاخه جدیدی از شیمی نیز می باشد. علت قدیمی بودنش بخاطر این است که اولین ترکیبات آلی فلزی در حدود ۲۴۰۰ سال قبل تهیه شده بود. در قرن نوزدهم بسیاری از مشتقات عنصرها شناخته شده بود. اما فقط در تعداد معدودی از آزمایشگاههای مجزا در این خصوص مورد بررسی قرار میگرفت. شیمی آلی فلزی جدید است، زیرا که از چهل سال قبل تاکنون ترکیبات آلی فلزی بعنوان یک رشته قالب توجه عموم قرار گرفته است و اکنون به صورت یک حیطه شناخته شده است که به صورت یک شاخه جدا در شیمی در آمده است. شیمی آلی فلزی ترکیبات شیمیایی است که در آن حداقل یک پیوند مستقیم بین کربن - فلز وجود داشته باشد. این پیوند می تواند کووالانسی ساده [مانند ترا اتیل سرب $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ یا پی (π) -داتیو] مانند فروسین $[\text{Fe}(\eta^5\text{-C}_5\text{H}_5)_2]$ یا حتی به صورت یونی قوئی [مانند اتیل سدیم $\text{C}_2\text{H}_5^+ \text{Na}^-$] باشد. بر طبق این اصل ترکیباتی مانند آلکواکسیدها [برای مثال تری اتاکسید آلومینیوم $[\text{Al}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3]$ و آمیدهای فلز] برای مثال $[\text{LiN}(\text{CH}_3)_2]$ کمپلکس های چیلیت (Chelate) [برای مثال استیل استنیتهای فلز] و یا نمک های فلز از اسیدهای کربواکسالیکی، گرچه اینگونه ترکیبات شامل هردو اتمهای فلز و گروه های آلی می باشد ولی هیچکدام از آن سیستمها شامل پیوند مستقیم فلز - کربن

نمی‌باشد پس بعنوان ترکیبات آلی فلزی شناخته نمی‌شوند. اینگونه ترکیبات مشتقات آلی فلزات هستند ولی جزء ترکیبات آلی فلزی نمی‌باشند تعریف فوق را می‌توان بطور واضحتری بیان کرد یعنی اینکه شیمی آلی فلزی شیمی است که در آن ترکیبات گروه آلی از طریق اتصال کربن به اتمی که الکترون‌گتیویش کمتر از کربن است متصل باشد.

بدین ترتیب مواد آلی از هالوژن سبکتر و دسته ای از ترکیبات مس و برنج از حیطه شیمی آلی فلزی خارج می‌باشند. بنابراین مشتقات آلی بر، سیلیسیم و آرسنیک فرض شده بصورت شبه فلز باشند. فسفر، خاطر موقعیتش در جدول تناوبی قدری جلب توجه کرده است. گرچه الکترون‌گتیویش از کربن به مقدار ناچیزی کم می‌باشد ولی ترکیباتشان معمولاً شامل شیمی آلی فلزی نمی‌باشد. ترکیبات آلی فسفر بسیار و متعدد می‌باشند که اقدام آن در محدوده شیمی آلی فلزی عملی و خیلی موثر خواهد بود که شاخه مستقلی به نام شیمی آلی اورگانوفسفر داشته باشد. همچنین خاصیت غیر فلزی فسفر خیلی آشکار است که حقیقتاً به سختی می‌توان بر چسب "آلی فلزی" (اورگانومتالیک) به آن زد. شاید زمانی، "شیمی آلی شبه فلزی" (Organometalloidal) توسعه بیشتری یابد که شامل مشتقات آلی عنصرهایی که دارای الکترون‌گتیویتی کمتر یا زیاد تر از کربن خواهد بود (شامل فسفر، گوگرد، سلنیوم، بر، سیلیسیم و آرسنیک) در حال حاضر تقریباً تمام عناصر به غیر از گاز های خنثی با پیوند عنصر- کربن ترکیباتی را تشکیل می‌دهند در نتیجه شیمی آلی فلزی مشتقات آلی از فلزات قلیا و قلیایی خاکی غیر واسطه ها (گروه های اصلی III-V) فلزات واسطه (عناصر قسمت d و بعلاوه لانتانید ها و اکتینیدها (Lanthanides and actinides) [و مقابله با شبه فلزها مانند بر، سیلیسیم و آنتی موان و تلوریوم را در بردارند.

۱-۲- مختصری در تغییر تاریخی ترکیبات آلی فلزی:

بدون واسطه شامل پیوند کووالانسی و پیوند سیگما (σ) بین فلز و کربن است. نظر کوتاهی بر تاریخچه شیمی آلی فلزی می‌تواند جالب توجه و آگاهی دهنده باشد. این شاخه بخصوص ارتباطی برای کامل شدن واکنش ها ندارد ولی به جاست که چند کلمه ای در باره گسترش

شیمی آلی فلزی گفته شود. دوران مدیدی را می توان برای گسترش شیمی آلی فلزی در نظر گرفت، اولین شیمی آلی فلزی از مشتقات گروه دی متیل آرسنیک (به نام کاکودیل) تهیه شده است که از تترامتیل دی آرسین $\text{Me}_2\text{As} - \text{AsMe}_2$ و دی متیل آرسینو اکسید $(\text{Me}_2\text{As})_2\text{O}$ تهیه می شود که سالها بعد توسط بونسن شناسائی شد. (حدود ۱۸۴۸) مشاهدات کاکودیل اولین نشانه دوره شیمی آلی فلزی بود. مرحله بعدی ترکیبی از مواد آلکیل روی (فرانکلند) (Frankland 1969) و فوراً به دنبال آن مشتقات آلی جیوه، آنتی موان، قلع، سرب، کادمیم، آلومینیم، منیزیم و دیگر عناصر گروه اصلی تهیه شد. تمام این ترکیبات قبل از سال ۱۸۷۰ صورت گرفت.

این مشتقات فلزات بدون واسطه که پیوند کووالانسی و پیوند سیگما (σ) بین فلز و کربن است را شامل می باشد. مواد آلی سیر نشده (مخصوصاً در الفین ها) متصل به فلزات واسطه بودند نامفهوم مانده بودند، توسعه مستقلی یافت. بدین ترتیب که تهیه کمپلکس پلاتین از اتیلن، $[\text{C}_2\text{H}_4\text{PtCl}_2]^-$ در سال ۱۸۲۷ توسط زایس (W.C. Zeise) تولد چشم گیری در شیمی آلی فلزی فلزات واسطه ایجاد کرد. همچنین این ترکیبات در بعضی آزمایشگاهها مشاهده و تعدادی دیگر از کمپلکس های الفین (برای مثال بوتادین) با فلزات واسطه تهیه شد. اهمیت این گونه مواد تا بعد از ۱۹۵۰ با اینکه فرمول ساختمانشان بقدر کافی شرح دادند ولی هنوز شناخته نشده بودند. دوران ۱۹۵۰-۱۸۷۰ با تحقیقات پیوند سیگما (σ) در مشتقات آلی فلزی با فلزات بدون واسطه همراه بود. بر روی این مواد در قرن بیستم تحقیقات بسیاری انجام گرفت. تأکید بسزائی روی ترکیبات و کاربردهای آنها در صورت عاملها در تهیه مواد آلی داشتند. طی این دوران شیمی آلی فلزی به اندازه قالب شیمی آلی قدیمی توسعه یافت و نیز جلب توجه شیمی معدنی را بخود برانگیخت. تحقیقات کمی روی ساختمان این گونه ترکیبات صورت گرفت ولی بخش عظیمی از مقدمات کار در زمینه مکانیزم و مفاهیم واکنش ادامه داشته بود. این دوران با نامهای گرینارد (Grignard)، شلنک (Schlenk)، کیپینگ (Kipping)، گیلمن (Gilman)، زیگلر (Ziegler)، روچوو (Rochow)، نسمنیاو (Nesmeyanov) و غیره مشرف بود که راه را برای ترکیبات مشتقات آلی فلزی اکثر فلزات باز کردند. شیمی آلی فلزی فضائی قبل از ۱۹۵۰

در شیمی کربنیل ها تمرکز داشته و برای مدتی هم به صورت مواد کوئوردنیت دهنده عمل می کردند. یکسری اکتشافات توسط موند (Mond) که اولین کسی است کربنیل های نیکل و آهن تهیه کرده بود و خواص شیمیائی شان بعد از ۱۹۳۰ توسط هیبر (Hiber) توسعه یافت. اساس اینکار برای پیشرفتهای بیشتر شیمی آلی فلزی فلزات واسطه بعد از سال ۱۹۵۰ مطرح شده بود. کشف فروسین در ۱۹۵۱ نقطه عطفی بود برای توسعه بیشتر که توسط فیشر و ویلکینسون (Fischer and Wilkinson) در فصل با ارزشی از شیمی آلی فلزی قرار دادند. این اکتشافات و شناسائی نوع جدید پیوند بین فلزات و مولکولهای سیر نشده آلی حرکت بسیار سومندی در اینگونه مواد داشت و در بیان حاضر شیمی آلی فلزی را به نتیجه رساند.

با کشف فروسین دوره قدیمی شیمی آلی فلزی رو به اتمام گذاشت و عصر جدیدی رو به آغاز نمود. با معرفی تحقیقات روش های فیزیکی که یکی از جزئیات اطلاعات درباره ساختمان و پیوند مواد آلی فلزی می باشد که امکان آسانتر شدن درک خصوصیات این ترکیبات را فراهم ساخت. البته، شیمی آلی فلزی عناصر غیر واسطه به طور جالبی پیشرفتش را ادامه می داد، این دوره جدید با فوائد مشتقات فلز واسطه شکوفاتر شد.

با درک رابطه میان کاتالیزها و تشکیل مواد آلی فلزی اخیراً در رابطه با فعالیت حیاتی شان در شیمی آلی فلزی ابعاد جدیدی را به شیمی آلی فلزی اضافه کرد و باشناسائی از فعالیت حیاتی بعضی از مواد آلی فلزی که باعث به وجود آمدن حوزه جدیدی به نام بیوشیمی آلی فلزی شد (Bio-Organometallic Chemistry).

در اینجا لازم است که فوائد صنعتی مواد آلی فلزی را ذکر کنیم. کاربردشان در ترکیبات آلی برای مدتهای طولانی استفاده در آزمایشگاهی محدود می شد، ولی حالاً روشهای صنعتی مستلزم تهیه مواد آلی فلزی می باشد. استفاده کاتالیزور زیگو - ناتا (Ziegler-Natta) (ترکیبات اورگانوآلومینیوم - تیتانیوم) برای پلیمر کردن الفینهای ترکیبات اورگانو سلیسیوم، تترا اتیل - و تترا متیل سرب به صورت مشتقات ضد اکتائی برای بنزین، سموم، اورگانو قلع ها برای مقاومتهای پلیمری فقط پاره ای از اهمیت اینگونه را می توان ذکر کرد. انتظار که صنعت شیمی آلی فلزی هنوز نقش خیلی مهمی در فناوری آینده ایفاء بکند.

۱-۳ طبقه بندی ترکیبات آلی فلزی:

ترکیبات آلی فلزی از نظر نوع و ساختمان اختلاف زیادی باهم دارند، با تعیین ساختمان الکترونی و نوع پیوند اتم اصلی (اتم مرکزی) که به قرار گرفتن عنصر در جدول تناوبی مربوط می باشد. بنابراین، ترکیبات آلی فلزی را می توان به صورت مشتقات عناصر گروه اصلی (فقط شامل اوربیتالهای s - و p - و پیوندهای الکترونی) و مشتقات فلزات واسطه (شامل اوربیتالهای d - و شاید هم f -) طبقه بندی کرد. عناصر گروه اصلی معمولاً "به صورت پیوندهای کووالانسی (σ) تشکیل پیوند فلز-کربن می دهند به غیر از فلزات قلیائی و قلیائی خاکی که به صورت ترکیبات یونی قوئی میباشند.

ترکیباتی که با عناصری مانند لیتیم، بر و آلومینیم هستند به صورت ساختمان الکترونی ناقص می باشد. به عنوان نمونه برای عناصر واسطه تشکیل کمپلکس پی (π) که مستلزم پیوند های داتیو می باشد و می توانند به صورت پیوند های کووالانسی سیگما (σ) فلز کربن را تشکیل بدهند. توزیع نوع پیوند ها و میزان طبقه بندی برای ترکیبات آلی فلزی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. این پیوندها در فصل ۲ شرح داده می شود.

در این کتاب مشتقات آلی فلزی عناصر گروه اصلی ابتدا بررسی و بر طبق جدول تناوبی ارائه می شود. برای مشتقات فلز واسطه واضح است که بر طبق کار بردش در انواع لیگاند تقسیم بندی می شود که می توان با ساختمان الکترونی فلزات نسبت به هم بهتر ربط داد.

Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

1

2

3

4

شکل ۱-۱- طبقه بندی ترکیبات آلی فلزی

(۱) ترکیبات یونی، (۲) ترکیبات کووالانسی سیگما، (۳) ترکیبات کووالانسی سیگما و کمپلکس یونی، (۴) ترکیبات الکترونی ناقص