

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

گرایش جداسازی

جداسازی مس از محیط آبی با استفاده از نانوکامپوزیت

های پلی پیروول و مقایسه با جاذب هایی از قبیل

آنتراسیت و کربن فعال

دانشجو : سمیه نوبهار

استاد راهنمای اول : دکتر مهدی پروینی

استاد راهنمای دوم : دکتر حسین عیسی زاده

آذر ۱۳۹۱

فهرست مطالب

فصل اول: مبانی تئوری و نظری

۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ پلیمرهای هادی
۲	۱-۲-۱ آشنایی با پلیمرهای هادی
۵	۱-۲-۲ تاریخچه پلیمرهای هادی
۶	۱-۲-۳ دوپه شدن پلیمرها
۸	۱-۲-۴ روش های سنتز پلیمرهای هادی
۸	۱-۴-۲-۱ پلیمریزاسیون الکتروشیمیایی
۸	۲-۴-۲-۱ پلیمریزاسیون شیمیایی
۹	۱-۴-۲-۱ تولید پلیمرهای هادی به روش کلوئیدی
۱۱	۳-۱ کامپوزیت ها
۱۲	۴-۱ نانو کامپوزیت ها
۱۳	۱-۴-۱ روش های سنتز کامپوزیت ها و نانو کامپوزیت های پلیمری
۱۴	۲-۴-۱ انواع ساختارهای موجود در نانو کامپوزیت ها
۱۵	۱-۲-۴-۱ در میان لایه قرار داده شده
۱۵	۲-۲-۴-۱ از هم گسیخته شده
۱۶	۳-۴-۱ کاربرد کامپوزیت ها و نانو کامپوزیت های پلیمرهای هادی
۱۶	۱-۳-۴-۱ کاربرد پلیمر در تهیه باتری های پرشدنی و خازنها
۱۷	۲-۳-۴-۱ کاربرد پلیمرهای هادی در سنسورها
۱۷	۳-۳-۴-۱ کاربرد پلیمرهای هادی در شناساگرها
۱۸	۴-۳-۴-۱ کاربرد های پزشکی

- ۱۸ ۵-۳-۴-۱ فن آوری جداسازی و تصفیه
- ۱۹ ۵-۱ آب
- ۱۹ ۱-۵-۱ استانداردهای آب
- ۲۱ ۲-۵-۱ تصفیه آب
- ۲۱ ۶-۱ جذب سطحی
- ۲۳ ۱-۶-۱ تاریخچه فرایند جذب سطحی در صنعت تصفیه آب
- ۲۴ ۲-۶-۱ کاربرد اصلی فرایند جذب سطحی
- ۲۴ ۱-۲-۶-۱ کاربرد جذب سطحی از فاز مایع
- ۲۵ ۷-۱ معادلات ایزوترم جذب
- ۲۵ ۱-۷-۱ معادله ایزوترم لانگمیر
- ۲۶ ۲-۷-۱ معادله ایزوترم فرنلیچ
- ۲۷ ۸-۱ مروری بر تحقیقات انجام شده در حذف فلزات سنگین
- ۲۹ ۹-۱ هدف از انجام تحقیق
- فصل دوم: بخش تجربی**
- ۳۲ ۱-۲ مشخصات دستگاهها
- ۳۳ ۲-۲ مشخصات مواد
- ۳۳ ۳-۲ روش تهیه پیرول با استفاده از افزودنیهای مختلف در محیط آبی
- ۳۳ ۱-۳-۲ تهیه پلی پیرول در محیط آبی
- ۳۴ ۲-۳-۲ تهیه نانو کامپوزیت پلی پیرول در محیط آبی با استفاده از دو دسیل هیدروژن
سولفات به عنوان پایدارکننده
- ۳۴ ۳-۳-۲ تهیه نانو کامپوزیت پلی پیرول در محیط آبی با استفاده پلی وینیل الکل به
عنوان پایدارکننده
- ۳۵ ۴-۳-۲ روش تهیه نانو کامپوزیت پلی پیرول با استفاده از اکسید فلزی در محیط آبی

۳۵ ۱-۴-۳-۲ تهیه نانو کامپوزیت کامپوزیت پلی پیروول / دی اکسید تیتانیم در محیط آبی

۳۶ ۲-۴-۳-۲ تهیه نانو کامپوزیت پلی پیروول / دی اکسید تیتانیم با استفاده از دو دسیل

هیدروژن سولفات به عنوان پایدارکننده محیط آبی

۳۶ ۳-۴-۳-۲ تهیه نانوکامپوزیت پلی پیروول / دی اکسید تیتانیم با استفاده از پلی

وینیل الکل به عنوان پایدارکننده در محیط آبی

۳۷ ۴-۲ آزمون ها

۳۷ ۱-۴-۲ شکل شناسی ذرات

۳۷ ۲-۴-۲ بررسی ساختار

۳۸ ۵-۲ جداسازی یون مس از محلول آبی با استفاده از کامپوزیت و نانوکامپوزیت های پلی پیروول

۳۸ ۱-۵-۲ آماده سازی محلول مس در آب

۳۸ ۲-۵-۲ روش جداسازی یون مس

۳۹ ۳-۵-۲ روش تعیین غلظت یون مس

فصل سوم: نتایج آزمایشگاهی

۴۲ ۱-۳ شکل شناسی

۴۲ ۱-۱-۳ شکل شناسی نمونه های پلی پیروول سنتز شده در محیط آبی

۴۵ ۲-۱-۳ شکل شناسی نانو کامپوزیت های پلی پیروول / اکسید تیتانیم در محیط آبی

۴۷ ۲-۳ بررسی ساختمان شیمیایی کامپوزیت ها

۵۰ ۳-۳ بررسی ساختار نانوکامپوزیت توسط آنالیز XRD

۵۴ ۴-۳ جداسازی مس از محلول آبی با استفاده از نانوکامپوزیت های و پلی پیروول

۵۴ ۱-۴-۳ بررسی تأثیر عوامل مختلف در جداسازی یون مس

۵۴ ۱-۱-۴-۳ تعیین مناسب برای حذف یون مس از محلول آبی

۵۶ ۲-۱-۴-۳ اثر تغییر میزان غلظت اولیه محلول بر روی میزان جداسازی

۳-۴-۱-۳ بررسی تأثیر زمان اختلاط بر روی حذف یون مس از محلول آبی ۵۸

۳-۵ بررسی معادلات ایزوترم جذب ۶۰

۳-۶ جداسازی مس از محلول آبی با استفاده از آنتراسیت و کربن فعال ۶۲

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۴-۱ خلاصه تحقیقات ۶۵

۴-۲ نتیجه گیری ۶۵

۴-۳ پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۶۶

مراجع ۶۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: استانداردهای آب آشامیدنی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱۹
- جدول ۲-۱: استانداردهای آب آشامیدنی ۲۰
- جدول ۱-۲: مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق ۳۲
- جدول ۲-۲: اسامی و مشخصات مواد مورد استفاده در این تحقیق ۳۳
- جدول ۳-۲: داده‌های استاندارد ۳۹
- جدول ۱-۳: اثر تغییر pH بر روی درصد جداسازی مس ۵۵
- جدول ۲-۳: اثر تغییر میزان غلظت یون مس بر روی درصد جداسازی مس ۵۷
- جدول ۳-۳: اثر تغییر زمان اختلاط بر روی درصد جداسازی مس ۵۹
- جدول ۴-۳: ثوابت جذب یون مس توسط پلی پیرول ۶۲
- جدول ۵-۳: درصد حذف مس بوسیله آنتراسیت و کربن فعال ۶۳

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ ساختار شیمیایی مهمترین پلیمر های هادی ۴
- شکل ۱-۲ احاطه شدن سطح پلیمر بوسیله پایدارکننده ۱۰
- شکل ۱-۲ نمودار کالیبراسیون دستگاه جذب اتمی ۴۰
- شکل ۱-۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول در محیط آبی ۴۳
- شکل ۳-۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول با استفاده از ماده افزودنی دودسیل هیدروژن سولفات سدیم با غلظت $2g/L$ ۴۳
- شکل ۳-۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول با استفاده از ماده افزودنی دودسیل هیدروژن سولفات سدیم با غلظت $5g/L$ ۴۴
- شکل ۳-۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول با استفاده از پلی وینیل الکل با غلظت $5g/L$ ۴۴
- شکل ۳-۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول/ TiO_2 ۴۵
- شکل ۳-۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول / TiO_2 با استفاده از دو دسیل هیدروژن سولفات با غلظت $5g/L$ ۴۶
- شکل ۳-۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی پلی پیروول/ TiO_2 با استفاده از پلی وینیل الکل با غلظت با غلظت $5g/L$ ۴۶
- شکل ۳-۸ طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی پیروول بدون حضور پایدارکننده در محیط آبی ۴۷
- شکل ۳-۹ طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی پیروول در حضور دو دسیل هیدروژن سولفات سدیم به عنوان پایدارکننده ۴۸
- شکل ۳-۱۰ طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی پیروول در حضور پلی وینیل الکل به عنوان پایدارکننده ۴۸
- شکل ۳-۱۱ طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی پیروول/ TiO_2 بدون حضور پایدارکننده ۴۹

- شکل ۳-۱۲ طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی پیرویل / TiO_2 در حضور دو دسیل هیدروژن سولفات
سدیم به عنوان پایدارکننده
- شکل ۳-۱۳ طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی پیرویل / TiO_2 در حضور پلی وینیل الکل به عنوان
پایدارکننده
- شکل ۳-۱۴ منحنی XRD مربوط به پلی پیرویل خالص
- شکل ۳-۱۵ منحنی XRD مربوط به TiO_2 خالص
- شکل ۳-۱۶ منحنی نانوکامپوزیت پلی پیرویل / TiO_2 بدون حضور پایدارکننده
- شکل ۳-۱۷ منحنی نانوکامپوزیت پلی پیرویل / TiO_2 در حضور دو دسیل هیدروژن سولفات به عنوان
پایدارکننده
- شکل ۳-۱۸ منحنی نانوکامپوزیت پلی پیرویل / TiO_2 در حضور پلی وینیل الکل به عنوان
پایدارکننده
- شکل ۳-۱۹ اثر تغییر pH بر روی حذف یون مس با استفاده از نانوکامپوزیت پلی پیرویل
- شکل ۳-۲۰ اثر تغییر میزان غلظت یون مس بر درصد جداسازی با استفاده از نانوکامپوزیت پلی
پیرویل
- شکل ۳-۲۱ نمودار تأثیر زمان اختلاط روی حذف مس از محلول آبی با استفاده از نانوکامپوزیت
پلی پیرویل
- شکل ۳-۲۲ ایزوترم جذب لانگمیر
- شکل ۳-۲۳ ایزوترم جذب فرنلیچ

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: استانداردهای آب آشامیدنی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱۹
- جدول ۲-۱: استانداردهای آب آشامیدنی ۲۰
- جدول ۱-۲: مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق ۳۲
- جدول ۲-۲: اسامی و مشخصات مواد مورد استفاده در این تحقیق ۳۳
- جدول ۳-۲: داده‌های استاندارد ۳۹
- جدول ۱-۳: اثر تغییر pH بر روی درصد جداسازی مس ۵۵
- جدول ۲-۳: اثر تغییر میزان غلظت یون مس بر روی درصد جداسازی مس ۵۷
- جدول ۳-۳: اثر تغییر زمان اختلاط بر روی درصد جداسازی مس ۵۹
- جدول ۴-۳: ثوابت جذب یون مس توسط پلی پیرول ۶۲
- جدول ۵-۳: درصد حذف مس بوسیله آنتراسیت و کربن فعال ۶۳

کامپوزیت‌ها^۱ یا مواد مرکب، از جمله مواد مهندسی جدیدی هستند که در توسعه و کاربرد آنها متخصصان فراوانی از رشته‌های مختلف نظیر متالوژی، سرامیک، پلیمر، علوم و مهندسی مواد، مهندسی شیمی، مکانیک جامدات، مکانیک شکست مواد، کامپیوتر سهم فراوانی داشته‌اند. با مخلوط کردن فیزیکی دو یا چند ماده علاوه بر اینکه موادی سبکتر و محکمتر از مصالح سنتی نظیر فلزات، سرامیک‌ها، چوب‌ها و پلیمرهای معمولی بدست می‌آید، حتی می‌توان برای هر کاری، ویژگی‌های مورد نیاز را ایجاد کرد. رسیدن به این هدف حتی با طراحی و ساخت دقیق مواد سنتی امکان پذیر نیست [۱]. در این میان نانوکامپوزیت‌ها^۲ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. ظهور مواد نانوکامپوزیت، تحول اساسی در خواص مکانیکی و حرارتی مواد ایجاد کرده‌است [۲،۳]. در بین نانوکامپوزیت‌ها توجه زیادی به نانوکامپوزیت‌های پلیمرهای^۲ معطوف است و روند تحقیقات و صنعتی شدن این مواد در سطح جهانی قابل توجه می‌باشد [۴].

در بین پلیمرهای رسانا، پلی‌پیرول به علت زیست‌سازگاری، آسانی پلیمرشدن و پایداری شیمیایی، در کاربردهای عملی همانند باتری‌های پرشده‌ای و خازن‌ها، خازن‌های اکتريکی و باطری‌های تلفن مورد توجه قرار گرفته است [۵].

۱-۲ پلیمر های هادی

۱-۲-۱ آشنایی با پلیمر های هادی

از زمان پیدایش پلیمرها، کاربرد این مواد به عنوان یک عایق در ذهن تصور می‌شد ولی در دهه های اخیر گروه جدیدی از پلیمرهای آلی سنتز شده‌اند که به طور مشخص از هدایت الکتریکی قابل ملاحظه‌ای

^۱-Composites

^۲-Conductive polymer

برخوردارند. البته عدم پایداری اغلب پلیمرهای هادی در مقابل آب و هوا، کاربرد آنها را محدود ساخته است [۶].

در دهه های اخیر امکان ساخت موادی به عنوان فلزات آلی با هدایتی بیش از مس حاصل گردیده است. عدم پایداری اغلب پلیمرهای هادی در مقابل آب و هوا کاربرد آنها را محدود ساخته است. با وجود تمامی مشکلات، باتریهای آلی که در آنها پلیمر جانشین فلز گردیده است اکنون به بازار راه یافته‌اند و افق روشنی را در این صنعت نمایان کرده‌اند. امروزه هیچ چیز نمی‌تواند مانع ورود ترانزیستورهای آلی به بازار الکترونیک و یا ساخت عصبهای مصنوعی در پزشکی گردد [۷].

از انواع این پلیمرها می‌توان، پلی‌استیلن، پلی‌تیوفن^۳، پلی‌پیرول^۴ و پلی‌آنیلین^۵ اشاره کرد. در شکل (۱-۱) ساختار شیمیایی برخی از این پلیمرها ارائه شده است.

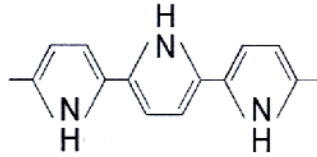
پیشرفت‌های بعدی حاکی از آن است که پلیمرهایی می‌توان ساخت که رسانایی آنها در دمای اتاق بهتر از مس و در واقع بهتر از هر ماده دیگری باشد [۸].

این پلیمرها حتی ممکن است در مواردی مانند هواپیما که وزن عامل محدودکننده می‌باشد جانشین سیم‌های مس شوند [۹]. پلیمرهای هادی خواص جالب نوری، مکانیکی و شیمیایی هم دارند که در مجموع با قابلیت آنها برای هدایت برق، این پلیمرها را برای کاربردهای جدیدی که از عهده مس بر نمی‌آیند مورد استفاده قرار می‌دهند. برای مثال: لایه‌های نازک پلیمر بر روی پنجره‌ها می‌تواند نور خورشید را جذب کنند و با بکار بردن پتانسیل الکتریکی مناسب می‌تواند رنگهای متفاوت تولید نمایند [۱۰].

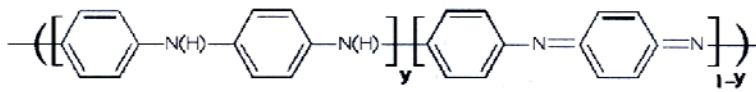
³ - Polythiophen

⁴ - Polypyrrole

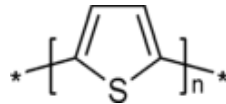
⁵ - Polyaniline



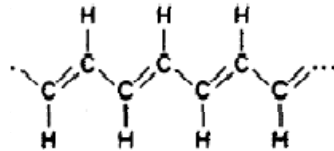
پلی پیروول



پلی آنیلین

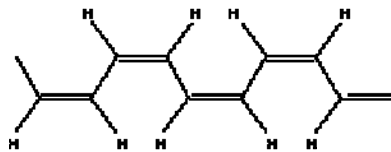


پلی تیوفن



پلی استیلن:

سیس



ترانس

شکل (1-1): ساختار شیمیایی مهمترین پلیمرهای هادی

از دیگر عوامل محدودکننده کاربرد پلیمرهای هادی، عدم حلالیت آنها در حلالهای معمولی و همچنین عدم ذوب این پلیمرها می باشد که تحقیقات وسیعی برای از بین بردن این محدودیتها در حال انجام می باشد.

مشکل عدم حلالیت یا کمی حلالیت در فرآیند تولید پلیمرهای هادی را می‌توان با استفاده از تولید کلونیدی پلیمرهای هادی کمی برطرف کرد [۱۱].

از جمله بحثهای رو به رشد و مورد علاقه پژوهشگران، تحقیق در مورد پلیمرهایی است که فعالیت الکتروشیمیایی دارند. این مواد با سامانه π هستند که ساختار الکترونی آنها به طور مشخص با فرآیندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی اصلاح شده و عموماً با عنوان فرایندهای دوپه شدن مطرح می‌شوند [۱۲].

۱-۲-۲ تاریخچه پلیمرهای هادی

کشف پلیمرهای هادی کاملاً اتفاقی بود. در اوایل سال ۱۹۷۰ یک دانشجوی کارشناسی ارشد در آزمایشگاه هیدکی شیراکاوا^۶ در انسیتیتو تکنولوژی توکیو سعی داشت از گاز استیلن معمول پلیمری بنام پلی‌استیلن بسازد. این پلیمر بصورت گردی تیره رنگ در سال ۱۹۵۵ برای نخستین بار سنتز شده بود اما اطلاعات زیادی در مورد آن منتشر نشده بود [۱۳].

دانشجوی شیراکاوا بجای گرد، یک ورقه براق نقره‌ای تهیه کرد که شبیه ورقه آلومینیوم بود ولی مانند سلوفان کش می‌آمد. با نگاهی به دستور کار تهیه پلیمر، دانشجوی مذکور به اشتباه خود پی برد. او هزار بار بیش از دستور داده شده کاتالیزور افزوده بود. او در واقع پلی‌استیلن ساخته بود اما در شکلی متفاوت با هرگونه پلی‌استیلنی که قبلاً تهیه شده بود [۱۴].

برای این که پلیمرها رسانای جریان برق شوند، اندکی از مواد شیمیایی را توسط فرایندی که دوپه کردن^۷ نامیده می‌شود وارد پلیمر می‌کنند. روش دوپه کردن خیلی ساده‌تر از روشی است که برای دوپه کردن نیمه‌رساناهای متداول مانند سیلیسیم بکار می‌برند. عمل دوپه کردن فراتر از انحلال ساده یک ناخالصی در پلیمر است و دوپه کردن می‌تواند بعنوان یک واکنش اکسایش - کاهش در هر دو حالت مورد توجه قرار گیرد. دوپه کردن به روشهای شیمیایی و الکتروشیمیایی انجام می‌گیرد. در سال ۱۹۷۷ مک‌دیوار مید و آلی

^۶ -Hideki Shirakawa

^۷ -Doping

جی‌هیگر پلی‌استیلین را توسط ید (I_7) دوپه کردند، ورقه‌های براق نقره‌ای پلیمر شیراکاوا به ورقه‌های فلزی طلایی رنگ تبدیل شدند و رسانایی پلی‌استیلین به بیش از یک میلیارد بار افزایش یافت و در واقع اولین بار در سال ۱۹۷۷ هدایت در پلیمرهای هادی به پای مس رسید [۱۵، ۱۶].

در این پلیمرها، حساسیت به گرما و هوا، انحلال‌پذیری، سهولت قالب‌گیری و قابلیت الکتریکی بسته به نوع پلیمر و روش سنتز آن، بسیار متفاوت است. پلی‌پارافنیلین، پلی‌تیوفن، پلی‌پیرول و پلی‌آنیلین بخاطر مجموعه خصوصیاتشان به مقدار زیادی مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما پلی‌استیلین هنوز الگوی پلیمرهای هادی محسوب می‌شود و اکثر مطالعات روی آن انجام می‌گیرد. همچنین نشان داده شده که بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به این پلیمر می‌باشد [۱۷].

۱-۲-۳ دوپه شدن پلیمرها

جریان الکتریسیته بی‌شک ناشی از حرکت آزاد الکترون‌ها بوجود می‌آید. در جامدات که حاوی شبکه‌ای وسیع از اتم‌ها هستند، الکترون‌ها درون و بین حالت‌های مجزای انرژی که نوار انرژی نامیده می‌شوند حرکت می‌کنند. هر نوار انرژی ظرفیت معینی برای الکترون‌ها دارد، در ضمن می‌تواند خالی هم باشد. برای انتقال جریان الزاماً نوار انرژی نبایستی کاملاً پر یا خالی باشند. در فلزات نوارهای انرژی کاملاً پر شده نیستند برای همین الکترون‌های موجود در آن قدرت تحریک و آزادی عمل لازم برای رسانش الکتریکی را دارند. نوار انرژی در اجسام عایق و نیمه‌رسانا کاملاً پر و یا کاملاً خالی هستند. بالاترین نوار اشغال شده الکترون والانس (VB) و پایین‌ترین نوار خالی که درست در بالای آن واقع شده است نوار هدایت (CB) نامیده می‌شود. در عایق‌ها این دو نوار توسط یک شکاف بزرگ انرژی از هم جدا شده‌اند. در نیمه‌رساناها این شکاف قدری کمتر است برای همین الکترون‌ها با جذب انرژی از یک منبع حرارتی یا نوری می‌توانند از این شکاف عبور کنند [۱۸، ۱۹].

وضعیت الکترونی پلیمرها مانند عایق و نیمه رساناهاست. بطوریکه نوار والانس آنها پر و نوار هدایتشان خالی است و بین این دو نوار یک شکاف بزرگ انرژی (منطقه غیر مجاز) قرار دارد [۲۰،۲۱]. این موضوع آشکار، علت عدم رسانش در پلیمرهای رسانا در حالت خنثی که علی رغم داشتن پیوندهای دوگانه مزدوج بالا، همانند یک عایق عمل می کنند را بیان می دارد [۲۲،۲۳].

یکی از ویژگیهای بی نظیر پلیمرهای رسانا در مقایسه با نیم رساناهای تجاری و فلزات این است که با عمل دوپه کردن توسط معرفهای اکسند یا کاهنده، رسانش این مواد را می توان از محدوده عایق تا فلز کنترل کرد. دوپه کردن عموماً به دلیل دارا بودن شکل شناسی رشته ای می تواند عملی پیچیده و مبهم باشد. بنابراین درک عمل دوپه کردن نیاز به شناخت بسیار دقیقی از پلیمر دارد، یعنی درباره اینکه دوپه کننده به درون الیاف و رشته های ناشی از یک واکنش شیمیایی با درون یا سطح زنجیرهاست یا یک جذب سطحی در سطح پلیمر، باید اطمینان حاصل کرد. امروزه عمل دوپه کردن برای بسیاری از سیستم های پلیمری به کار گرفته شده است [۲۴].

اصطلاح دوپه کردن از لغت نامه اجسام نیم رسانا گرفته شده است. زیرا مواد پذیرنده و دهنده الکترون می توانند موجب افزایش رسانایی پلیمرهای با سیستم π مزدوج شوند، بنابراین عمل دوپه کردن فراتر از انحلال ساده یک ناخالصی در پلیمر هست. بطور کلی پلیمرهایی که سیستم π مزدوج دارند می توانند بطور برگشت پذیر در دمای اتاق دوپه شوند.

اصطلاح دوپه کردن مترادف اکسایش یا کاهش است. دوپه کردن به دو صورت برداشتن الکترونها از نوار والانس (دوپه کردن مثبت) و یا با افزودن الکترون به نوار هدایت (دوپه کردن منفی) انجام می گیرد. دوپه کردن پلیمر سبب می شود که:

الف) انتقال بار صورت گیرد (توسط اکسایش یا دوپه کردن نوع P و کاهش یا دوپه کردن نوع N)

ب) یک بار مخالف به درون شبکه پلیمر نفوذ کند.

ج) بتوان بطور همزمان با عمل دوپه کردن پتانسیل شیمیایی را کنترل کرد.

دو خاصیت ساختاری مهم در پلیمر وجود دارد که عمل دوپه کردن را آسان می‌سازد.

۱- فضای شکل شناختی زیاد و نیروهای بین زنجیره‌ای ضعیف، نفوذ یون دوپه‌کننده را میان زنجیره‌های پلیمر ممکن می‌سازد.

۲- بدلیل قوی بودن پیوندهای درون زنجیری، پلیمر در حین فرایند نفوذ دوپه‌کننده تغییر شکل نمی‌دهد و از این رو عمل دوپه کردن یک عمل برگشت‌پذیر خواهد بود. برگشت دادن فرایند دوپه کردن^۸ را می‌توان با اندازه‌گیری ضریب جذب کنترل کرد [۲۵].

۴-۲-۱ روشهای سنتز پلیمرهای هادی

پلیمرهای رسانا بطور کلی به روشهای الکتروشیمیایی، شیمیایی و کلوئیدی سنتز و دوپه می‌شوند.

۱-۴-۲-۱ پلیمریزاسیون الکتروشیمیایی

در این روش معمولاً دو الکتروود رسانا مانند طلا و پلاتین در محلول مونومر و یون دوپه‌کننده در یک حلال مناسب غوطه‌ور می‌شوند و یک پتانسیل الکتریکی بین الکتروودها اعمال می‌شود که موجب کنده شدن الکترون از مونومرهای مجاور الکتروود مثبت می‌شود. این فرآیند موجب تشکیل مرکز فعال کاتیونی در مونومر می‌شود که به تشکیل فیلم پلیمر به روی سطح الکتروود می‌انجامد. از آنجایی که این فیلم رساناست. هیچ‌گونه ممانعتی برای تبادل بار در فیلم در حال رشد وجود ندارد، نتیجتاً سطح الکتروود برخلاف پلیمرهای عایق فعال می‌باشد.