

## بررسی سینتیکی تشکیل استئارات روی در فاز جامد و تأثیر آب و کاتالیزورهای اسیدی بر آن

فریدون اشرفی\*، محسن افتاده\*\*، علی بهبودی املشی\*\*\*

### چکیده

صابون‌های فلزی نمک اسیدهای چرب هستند که کاربردهای صنعتی گسترده‌ای در صنایع آرایشی - بهداشتی، داروسازی، لاستیک، پلیمر و پتروشیمی دارند و به‌عنوان پایدارکننده‌های گرمایی و نوری و نیز ضدکف و ضدرطوبت به کار می‌روند. از جمله صابون‌های فلزی بسیار بااهمیت و کاربردی در صنایع، استئارات‌های فلزی هستند. در این کار پژوهشی، تشکیل روی استئارات  $(C_{17}H_{35}COO)_2Zn$  از مواد اولیه هیدروکسید روی،  $Zn(OH)_2$  و اکسید روی  $(ZnO)$  با اسید استتاریک  $(C_{17}H_{35}COOH)$  در فاز جامد، از لحاظ سینتیکی بررسی شد. واکنش فاز جامد در یک آسیاب پره‌ای برقی، به‌عنوان رآکتور اختلاطی انجام شد که علاوه بر آسیاب کردن مواد، باعث افزایش سطح تماس بین مواد واکنش‌دهنده نیز می‌شود. مقدار بهینه آب در بود کاتالیزور و در نبود کاتالیزور و نیز مقدار بهینه کاتالیزورهای اسیدی تعیین گردید. تغییر دمایی در طول واکنش، به‌عنوان مهم‌ترین عامل زیست‌محیطی و در فاصله‌های زمانی برابر، نسبت به دمای آغازین آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است. در پایان، بازده واکنش هیدروکسید روی با استتاریک اسید در نبود کاتالیزور، در بهترین حالت ۷۲/۱۱ درصد به دست آمد که در بود کاتالیزور فرمیک اسید به ۹۵/۹۹ درصد افزایش یافت. برای واکنش اکسید روی و استتاریک اسید در نبود کاتالیزور و در بهترین حالت بازده واکنش ۷۶/۶۱ درصد است، که در بود کاتالیزور فرمیک اسید به ۹۱/۹۸ درصد می‌رسد. بازده هر دو

\* عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز ساری.

\*\* عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز ساری.

\*\*\* عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز ساری.

[fferydoun\\_ashrafi@hotmail.com](mailto:fferydoun_ashrafi@hotmail.com)

واکنش در حضور کاتالیزور استیک اسید به‌طور تقریبی، مشابه با فرمیک اسید بود، ولی با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده، فرمیک اسید به‌عنوان کاتالیزور بهتر مشخص شد. نمودار تغییرات مقدار روی باقی‌مانده، پیشرفت واکنش و تغییرات نقطه ذوب برای حالت‌های بهینه رسم گردید. برای اطمینان از تشکیل محصول طیف‌های FT-IR نیز در پایان واکنش بررسی شد. برای درک بهتر از واکنش، سازوکار انجام واکنش‌های سطح بر اساس ماهیت فیزیکوشیمیایی سطوح ارائه شده است.

**کلیدواژه:** صابون‌های فلزی، واکنش فاز جامد، استئارات روی، کاتالیزورهای اسیدی، سازوکار واکنش.

## مقدمه

به‌طور کلی صابون‌های فلزی را در صنعت، از واکنش محلول آبی نمک سدیم یک اسید چرب و یا مخلوط اسیدهای چرب با محلول آبی نمک مورد نظر (Ba, Ca, Al, Zn, Sr, Mg) و غیره) در یک محیط آبی تهیه می‌کنند (Greenwood & Earnshaw, 1984; Richard Lewis, 2001). با توجه به اهمیت و کاربرد گسترده استئارات‌های فلزی در صنایع مختلف، تولید این‌گونه مواد به شیوه‌های بهینه مورد توجه قرار گرفته است. از آنجاکه استئارات‌های فلزی را با استفاده از واکنش‌های مواد اولیه مختلف مانند اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌ها با اسیدهای چرب گوناگون می‌توان تهیه کرد؛ بنابراین گستره تولید این مواد نیز بسیار متنوع خواهد بود (Kirk, 2000; Schumann & Siekmann, 1993). به‌طور کلی مهم‌ترین روش‌های تولید صابون‌های فلزی عبارت‌اند از:

۱. رسوب‌گیری در فاز آبی؛

۲. تشکیل گرانول در فاز جامد.

در هر دو روش، واکنش تشکیل استئارات روی از هیدروکسید و اکسید روی به‌صورت معادله‌های زیر است:

اما با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، مشخص شده که واکنش تشکیل استئارات روی در فاز آبی دارای مشکلات خاصی است که از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. انحلال‌پذیری پایین روی هیدروکسید و روی اکسید در آب. به همین دلیل نمی‌توان از آنها محلول‌هایی با غلظت چند مولار، که در مطالعات سینتیکی متداول است، تهیه کرد (Kirk, 1975).
  ۲. به علت پایین بودن  $K_s$ ، با حضور کمترین مقادیر یون روی، انحلال‌پذیری آن به‌شدت کاهش می‌یابد. ضمن اینکه افزایش دما نیز موجب کاهش بیشتر انحلال‌پذیری می‌شود (Ibid).
  ۳. صاف کردن محلول با توجه به نوع رسوب از مشکلات فرایند در فاز آبی است (calcium Stearate Processing).
  ۴. تشکیل استئاریک اسید مذاب و سپس تبدیل آن به آمونیوم استئارات، به مقدار زیادی آب و انرژی گرمایی برای تشکیل محلول مذاب تا دمای مورد نظر نیاز دارد (Ibid).
- از این‌رو، با توجه به اهمیتی که روش فاز جامد پیدا می‌کند، تشکیل این استئارات فلزی را در حضور مقدار ناچیز آب (فاز نیم - جامد) و کاتالیزور بررسی کردیم. همان‌طور که نتیجه‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهند، وجود مقدارهای کم آب برای انجام واکنش لازم است. میزان آب در نسبت‌های مولی ۰/۲۵ تا ۷ نسبت به هیدروکسید روی و اکسید روی بررسی شد. مقدار بهینه نسبت‌های مولی آب به هیدروکسید روی و نیز آب به اکسید روی، به ترتیب ۰/۲۵ و ۱ بوده است. نسبت‌های کاتالیزوری نیز در کمترین مقدار، یعنی ۰/۰۵ و ۰/۱ به ترتیب برای

هیدروکسید و اکسید روی به کار برده شد (بهبودی املشی، ۱۳۸۴).

### دستگاه‌ها و مواد

دستگاه‌هایی که از آنها در این پژوهش استفاده شده است عبارت‌اند از:

۱. بیناب‌سنج جذب اتمی **GBC Scientific Equipment DUAL Sens AA**

۲. بیناب‌سنج نوری مادون قرمز - تبدیل فوریه **SHIMADZU FTIR - 8400S**

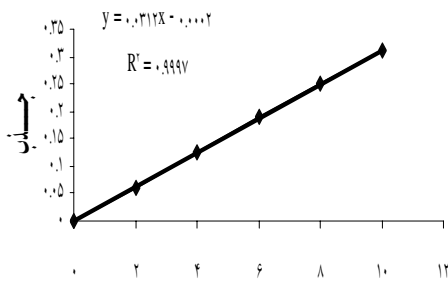
۳. آسیاب برقی معمولی **moulinex** با دور تنظیم‌شونده تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه.

مواد به کاررفته همگی با درجه خلوص آزمایشگاهی و از نوع **Merck** بودند.

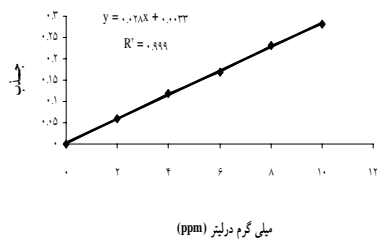
### روش کار و نتایج آزمایش

اساس و روش کار بر اساس اندازه‌گیری خلوص مواد اولیه (هیدروکسید و اکسید روی) برای رسم منحنی کالیبراسیون برای این مواد بوده است تا بتوان بر پایه داده‌های جذب اتمی به دست آمده از هر آزمایش، محاسبات سیتیکی را برای رسم منحنی‌های مرتبه اول و دوم به کار برد. منحنی کالیبراسیون برای اکسید و هیدروکسید روی در نمودار ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که می‌بینیم نمودارها ضریب هم‌بستگی ( $R^2$ ) بالایی دارند (شکل ۱ و ۲) که نشان دهنده خلوص بالای مواد واکنش‌دهنده (۵۲ درصد وزنی برای هیدروکسید روی و ۹۸ درصد وزنی برای اکسید روی) به کار رفته هستند.

یادآور می‌شویم که ناخالصی هیدروکسید روی ۵۲ درصد وزنی که به عنوان خالص‌ترین نوع در دسترس این ماده در بازار در این پژوهش به کار رفته، آب است.



شکل ۱: منحنی کالیبراسیون اکسید روی



شکل ۲: منحنی کالیبراسیون هیدروکسید روی

اسید چرب مورد استفاده نیز شامل ۶۰ درصد وزنی استئاریک اسید و ۴۰ درصد وزنی پالمیتیک اسید بوده است که با توجه به دارا بودن زنجیره بلند هیدروکربنی پالمیتیک اسید و وجود ساختارهای مشابه بین این دو اسید (بر پایه طیف‌های استاندارد موجود) مشکلی در تهیه استئارات روی پیش نیامد. جذب نمونه هابه کمک دستگاه جذب اتمی **GBC مدل Sens AA** خوانده شد. واکنش‌های تشکیل استئارات روی با نسبت‌های مولی معینی در یک آسیاب پره‌ای برقی معمولی **moulinex** به عنوان راکتور واکنش صورت گرفت. دور موتور و توان مصرفی این دستگاه در حد قابل قبولی است. دور موتور تا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه قابل تنظیم بود، حد قابل قبول برای انجام واکنش، بر اساس تجربه، بالاتر از ۲۰۰۰ دور بر دقیقه است. زمان انجام واکنش، با توجه به تغییرهای ظاهری مشاهده‌شده در بافت محصول، ۱۲ دقیقه برای هر نسبت مولی از

معین آب (۰/۲۵) برای هیدروکسید روی و ۱ برای اکسید روی) برای این دو واکنش تشکیل بوده است. دمای واکنش نیز با تعیین یک دماسنج معمولی در رآکتور واکنش، در طول انجام واکنش اندازه‌گیری شد. با توجه به داده‌های موجود در مورد تغییر دمایی، مشخص شد که دما در طول آزمایش رو به افزایش است (بین C ۳۷<sup>o</sup> و C ۴۷/۵<sup>o</sup>). نکته مهم در اندازه‌گیری تغییرات دمایی، به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور زیست‌محیطی، کنترل آن تا دمای C ۶۰<sup>o</sup>، نقطه ذوب استئاریک اسید است، زیرا دما نباید از این میزان بالاتر رود چرا که به تجزیه اسید استئاریک منجر خواهد شد. در واکنش‌های انجام‌شده در این پژوهش تا زمان ۱۲ دقیقه دما به‌خودی‌خود تحت کنترل بوده است (بهبودی املشی، ۱۳۸۴).

آب در نظر گرفته شد. پس از تهیه محلول‌های مختلف، جذب آن‌ها در فاصله‌های زمانی یکسان اندازه‌گیری شد. یادآور می‌شویم که انجام واکنش تا زمان بیشتر از ۱۲ دقیقه، به رآکتور قوی‌تری نیاز دارد. نتایج بهینه برای نمونه در نسبت‌های مولی آب برابر با ۰/۲۵ و ۱ برای دو ماده روی هیدروکسید و روی اکسید در دو جدول ۱ و ۲ آورده شده است. با توجه به این پارامترهای سینتیکی، نمودارهای مرتبه یکم و دوم برای هرکدام رسم گردید. نتایج به‌دست آمده از این نمودارها و مقایسه آنها نشان می‌دهد که می‌توان مرتبه واکنش را ۲ در نظر گرفت (شکل‌های ۳ و ۴). نکته مهم در بررسی‌های تجزیه‌ای پارامترهای سینتیکی، بالا بودن راندمان واکنش (۷۶/۶۱ درصد برای هیدروکسید روی و ۷۲/۱۱ درصد برای اکسید روی) در یک نسبت مولی

جدول ۱: نتایج به‌دست آمده برای نمونه مورد آزمایش با نسبت مولی آب ۰/۲۵ و نسبت کاتالیزوری ۰/۰۵، در بود فرمیک اسید در واکنش روی هیدروکسید با استئاریک اسید

زمان (دقیقه)	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲
جرم (گرم)	۰/۳۷۳	۰/۱۲۰	۰/۰۵۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵
Zn <sup>۲+</sup> %	۱۵/۰۱	۴/۸۳	۲/۰۵	۱/۳۹۵	۱/۰۵۹	۰/۶۹۰	۰/۶۰۲
Zn <sup>۲+</sup> /%Zn <sub>۱</sub>	۰/۰۶۶	۰/۲۰۷	۰/۴۸۷	۰/۷۱۶	۰/۹۴۴	۱/۴۵	۱/۶۶
ln(%Zn <sub>(۰)</sub> / %Zn <sub>(t)</sub> )	۰	۱/۱۳	۱/۹۹	۲/۳۸	۲/۶۵	۳/۰۸	۳/۲۲
%Y	۰	۶۷/۸۲	۸۶/۴۱	۹۰/۷۱	۹۲/۹۴	۹۵/۴۰	۹۵/۹۹
دما (C)	۳۷	۳۹	۴۱	۴۲/۵	۴۴	۴۶	۴۷/۵

جدول ۲: نتایج به دست آمده برای نمونه مورد آزمایش با نسبت مولی آب ۱ و نسبت کاتالیزوری ۱/۰، در بود فرمیک اسید در واکنش روی اکسید با استتاریک اسید

زمان (دقیقه)	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲
جرم (گرم)	۰/۲۴۸	۰/۱۰۹	۰/۰۶۲	۰/۰۴۹	۰/۰۳۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲۰
$\%Zn^{2+}$	۹/۹۷	۴/۳۸۵	۲/۴۸۸	۱/۹۸۴	۱/۲۷۷	۱/۰۵۷	۰/۸
$\%Zn^{1+}$	۰/۱	۰/۲۲۸	۰/۴۰۲	۰/۵۰۴	۰/۷۸۳	۰/۹۴۶	۱/۲۵
$\ln(\%Zn_{(0)} / \%Zn_{(t)})$	۰	۰/۸۲	۱/۳۹	۱/۶۱	۲/۰۶	۲/۲۴	۲/۵۲
%Y	۰	۲۲/۸۱	۴۰/۱۹	۸۰/۱۰	۸۷/۱۹	۸۹/۴۰	۹۱/۹۸
دما (°C)	۳۶	۳۷/۵	۳۹/۵	۴۱/۵	۴۳	۴۵	۴۷/۵

جرم (گرم): جرم روی واکنش نداده (باقی مانده).

زمان (دقیقه): مدت زمان مخلوط کردن مواد اولیه.

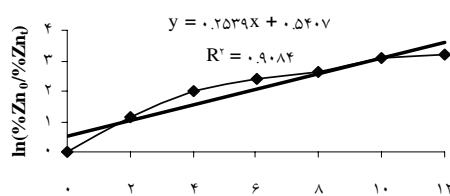
%Y: درصد مصرف روی هیدروکسید (بازدهی واکنش)

زمان (دقیقه): مدت زمان مخلوط کردن مواد اولیه.

$\%Zn^{2+}$ : درصد روی واکنش نداده (باقی مانده).

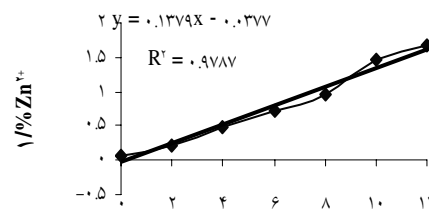
پایان واکنش و همچنین تغییر نقطه ذوب محصول نهایی است که به عنوان مهم ترین شاخص ها در تأیید دستیابی به محصول مورد نظر می توانند، به کار روند (بهبودی املشی، ۱۳۸۴؛ US Patent, 1995). نمودارهای ۵ و ۶ تغییر درصد روی باقی مانده را در پایان واکنش ها و در بود کاتالیزور به ترتیب برای روی هیدروکسید و روی اکسید نشان می دهند.

با در نظر گرفتن راندمان ها، استفاده از کمترین مقدار کاتالیزور، عملی درست خواهد بود، چون مقادیر کم کاتالیزور راندمان واکنش را بالاتر می برند (جدول های ۱ و ۲) (کاپه لس و یلسکی، ۱۳۶۵؛ لاتام، ۱۳۶۵). یادآور می شویم که در سایر نسبت های مولی آب و کاتالیزور نیز بررسی های سینتیکی مشابهی را می توان انجام داد (بهبودی املشی، ۱۳۸۴). از پارامترهای سینتیکی بسیار مهم در این واکنش ها مقدار درصد روی باقی مانده در



زمان (دقیقه)

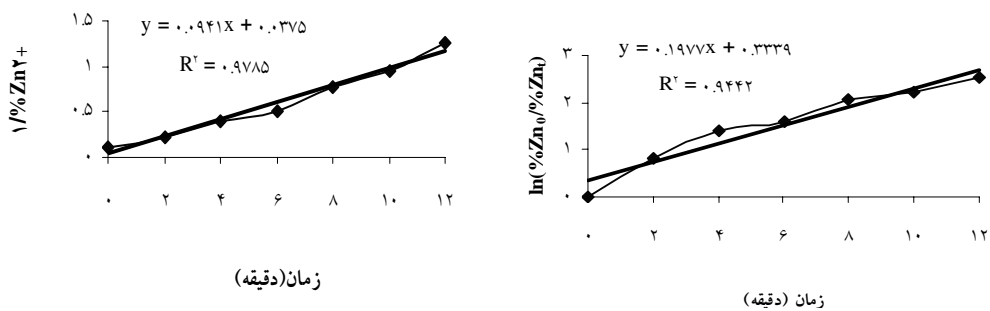
(الف) (ب)



زمان (دقیقه)

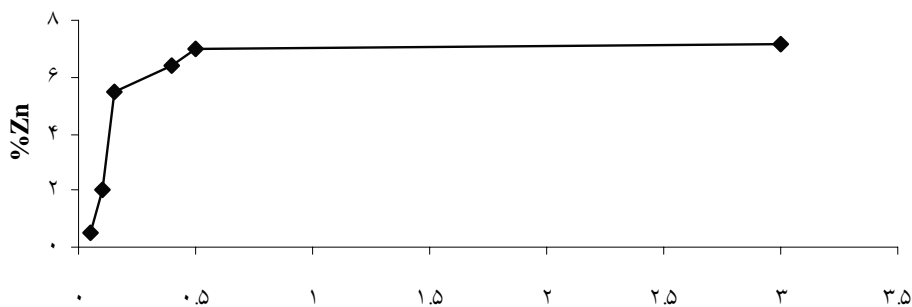
شکل ۳: نمودارهای سینتیکی مرتبه یکم (الف) و دوم (ب) برای واکنش روی هیدروکسید با استتاریک اسید در نسبت

مولی آب ۰/۲۵ و نسبت مولی کاتالیزور ۰/۰۵



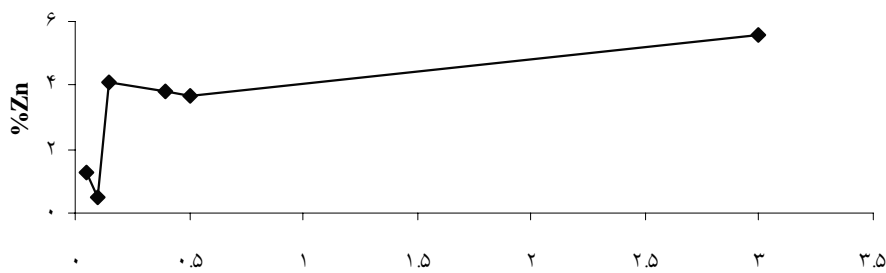
(الف)(ب)

شکل ۴: نمودار سینتیکی مرتبه یکم (الف) و دوم (ب) برای واکنش روی اکسید با استتاریک اسید، در نسبت مولی آب ۱ و نسبت مولی کاتالیزور ۰/۱



نسبت مولی کاتالیزور N

شکل ۵: تغییر درصد روی باقی مانده در پایان واکنش روی هیدروکسید با استتاریک اسید در بود کاتالیزور فرمیک اسید برحسب نسبت های مولی کاتالیزور N

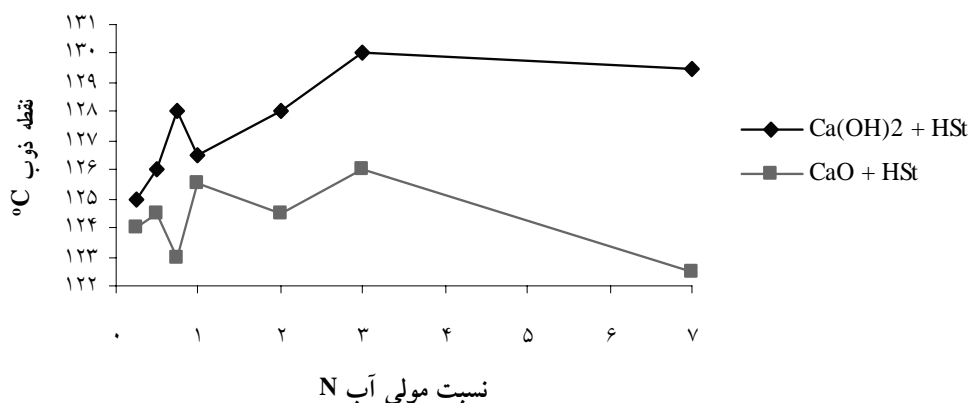


نسبت مولی کاتالیزور N

شکل ۶: تغییر درصد روی باقی مانده در پایان واکنش روی اکسید با استتاریک اسید در بود کاتالیزور فرمیک اسید برحسب نسبت های مولی کاتالیزور N

شکل ۷ نشان می‌دهد که نقطه ذوب محصول در نبود کاتالیزور و در نسبت‌های مولی بهینه آب (۰/۲۵) برای روی هیدروکسید و ۱ برای روی اکسید)، تا چه میزان به محدوده نقطه ذوب استئارات روی خالص، یعنی  $120-125^{\circ}\text{C}$  نزدیک است. این موضوع بیانگر تشکیل روی استئارات با راندمان بالاست.

همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ۶ می‌بینیم، کمترین مقدار روی باقی مانده، به ترتیب به نسبت‌های بهینه مولی کاتالیزور اسید فرمیک ۰/۰۵ برای واکنش روی هیدروکسید و ۰/۱ برای واکنش روی اکسید است. این بدان معناست که واکنش با این نسبت‌های کاتالیزور در شرایط بهینه قرار دارد.

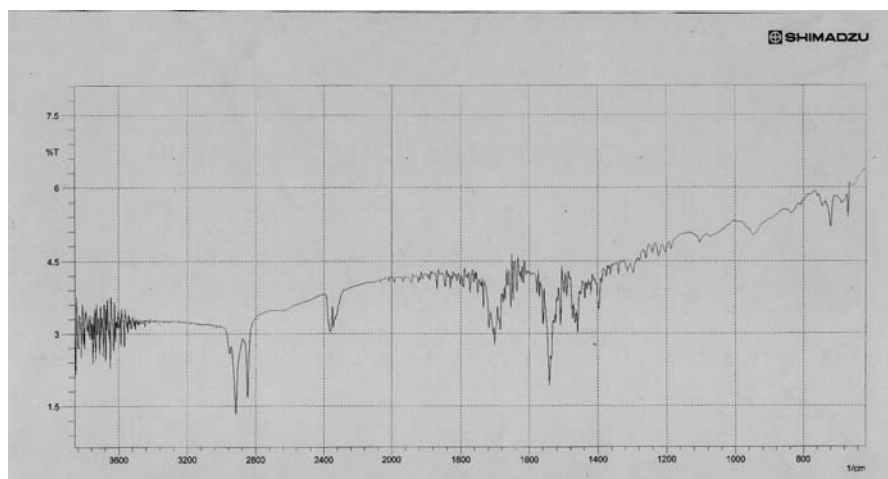


شکل ۷: تغییر نقطه ذوب در پایان واکنش‌ها و در نبود کاتالیزور در نسبت‌های مولی مختلف آب N

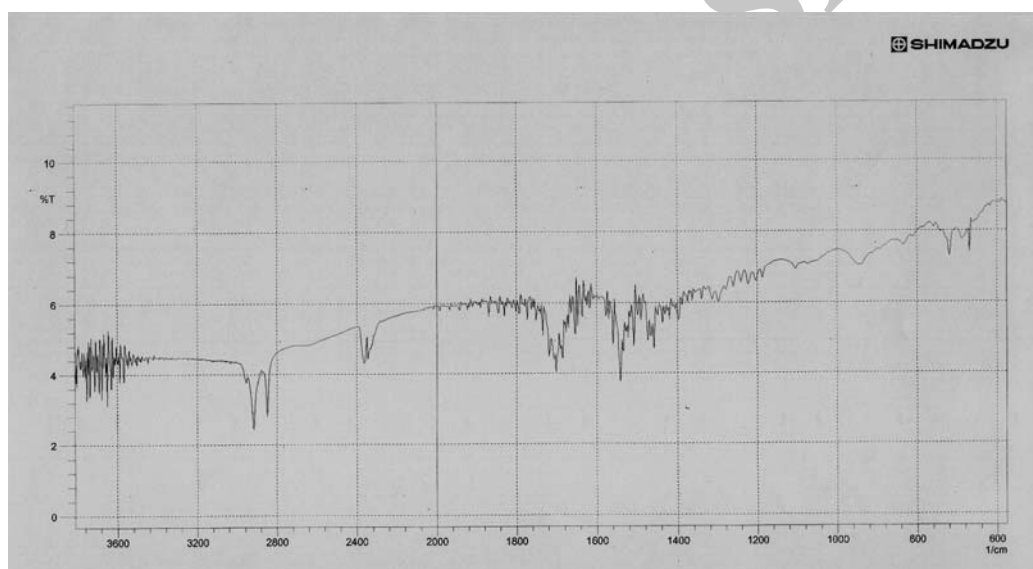
نسبت مولی کاتالیزور ۰/۰۵ در نبود کاتالیزور داشتیم، طیف‌ها را در این دو نسبت مولی آشکارسازی کردیم. برای اطمینان بیشتر از تشکیل محصول، طیف‌سنجی را در سایر نسبت‌های مولی نیز انجام دادیم، ولی بهترین طیف‌ها که دارای پیک‌های به نسبت تیزی بودند، در نسبت‌های بهینه گفته شده به دست آمد. شکل ۸ طیف محصول نهایی را در نسبت مولی ۰/۲۵ برای آب و در نبود کاتالیزور و شکل ۹ طیف محصول نهایی را در همین نسبت برای آب و در نبود کاتالیزور فرمیک اسید با نسبت مولی ۰/۰۵ نشان می‌دهد.

مرتبه واکنش‌ها نیز با توجه به میزان ضریب هم‌بستگی نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴، دو پیشنهاد می‌شود.

به منظور بررسی بیشتر و اطمینان کامل از تشکیل محصول نهایی، یعنی استئارات روی در زمان‌های پایانی واکنش و در نسبت‌های مولی مختلف، به گرفتن طیف به روش طیف‌سنجی FT-IR اقدام کردیم که در نتیجه، با مقایسه با طیف‌های استاندارد، توانستیم از تشکیل محصول نهایی اطمینان یابیم. از آنجایی که بالاترین بازده را در نسبت مولی ۰/۲۵ (نسبت به آب) در نبود کاتالیزور و در



شکل ۸: طیف FTIR محصول نهایی واکنش روی هیدروکسید با استتاریک اسید در پایان دقیقه ۱۲ و نسبت مولی ۰/۲۵ از آب در نبود کاتالیزور



شکل ۹: طیف FTIR محصول نهایی واکنش هیدروکسید با استتاریک اسید در پایان دقیقه ۱۲ و نسبت‌های مولی ۰/۲۵ برای آب و ۰/۰۵ برای کاتالیزور در بود کاتالیزور فرمیک اسید

با فرض این‌که در پایان واکنش مخلوطی از مواد اولیه و محصول وجود داشته باشد، می‌توان طیف‌های موجود را تفسیر کرد. در این طیف‌ها تشکیل استتارات روی به‌عنوان یک استر و با نظر به نبود پیک OH اسیدی در محدوده  $2900-3300\text{ cm}^{-1}$  و با نظر به وجود سه پیک تیز که در محدوده  $1700-1350\text{ cm}^{-1}$  که بیانگر C-O

نکته قابل توجه آن است که طیف آشکارسازی شده در نسبت مولی کاتالیزور ۰/۱ برای روی اکسید تفاوتی با طیف آشکارسازی‌شده در نسبت مولی کاتالیزور ۰/۰۵ برای روی هیدروکسید اکسید ندارد، که می‌توان آن را به بازده بالای محصول در هر دو مورد نسبت داد.



گروههای هیدروکسید واکنش پذیر تبدیل می‌شود، ولی هنوز بخش زیادی از آب اضافه شده روی لایه‌های هیدروکسید جذب سطحی شده است. علت این امر کند بودن سرعت تشکیل یون‌های هیدروکسید نسبت به سرعت جذب مولکولهای آب روی بلورهای روی اکسید است (US Patent, 1992b).

گمان می‌رود که تشکیل صابون‌های فلزی با سرعت بیشتری نسبت به تشکیل گروههای هیدروکسید انجام می‌شود. در هر مورد از افزایش آب مقدار یونهای هیدروکسید در ضمن انجام فرایند به‌طور تقریبی ثابت است و به همین دلیل منحنی پیشرفت واکنش، به شکل همین منحنی برای فرایندهای تعادلی است. با در نظر گرفتن اینکه تشکیل صابون‌های فلزی در فاز جامد واکنش در سطح است، امکان تشکیل یون‌های آزاد روی و استئارات وجود ندارد. به عبارت دیگر، با مخلوط کردن شدید مواد، امکان تماس سطحی بخش‌های عمل‌نکرده اسید چرب و سطوح اکسید را فراهم می‌کنیم (US Patent, 1994; 1995). تشدید چسبندگی در مقدارهای مولی بالاتر آب (نسبت مولی ۷) با استفاده از الگوهای اکسیدهای سطحی توجیه می‌شود، چون با افزایش آب لایه‌های بیشتری از آن با پیوند هیدروژنی بر روی سطح‌های بلورهای اکسید روی تشکیل می‌شوند. از برهم‌کنش ذرات آب پوشیده، پیوندهای هیدروژنی جدیدی بین آنها تشکیل می‌شود که سبب به هم چسبیدن ذرات بلور و سرانجام به هم چسبیدن توده مخلوط واکنش می‌شود (US Patent, 1992b; 1995). در نتیجه، با تکیه بر الگوی سطح‌های اکسیدی می‌توان نتایج تجربی را به صورت قابل قبولی تفسیر کرد (بهبودی املشی، ۱۳۸۴).

کشنی بوده، به روشنی آشکار است. وجود پیک  $C=O$  در محدوده  $1735-1750\text{cm}^{-1}$  که نشان‌دهنده گروه کربونیل در استر است دلیلی بر تشکیل استئارات روی، به‌عنوان یک استر خواهد بود. یادآور می‌شویم که مزدوج شدن این گروه با زنجیر بلند هیدروکربنی استئارات روی، جذب را به سمت فرکانس‌های پایین‌تر انتقال می‌دهد. شاهد این ادعا وجود پیک  $C=O$  اورتون در محدوده  $2300-2400\text{cm}^{-1}$  است که دلیلی بر وجود گروه کربونیل استری خواهد بود. پیک‌های موجود در ناحیه پایین‌تر از  $3000\text{cm}^{-1}$  نیز به علت وجود پیوندهای  $C-H$  از نوع هیبرید  $sp^3$  در زنجیر بلند هیدروکربنی است.

### بحث در سازوکار واکنش تشکیل ترکیب روی استئارات

با توجه به ماهیت فیزیکوشیمیایی سطوح اکسیدی و سازوکارهای تأثیر متقابل بین چنین سطوح پرانرژی‌ای با مواد آلی قطبی، می‌توان در مورد تأثیر آب بر بازده واکنش، سازوکار این واکنش را در سطح ارائه کرد (US Patent, 1984; 1983). در این واکنش، با اضافه کردن مقدارهای مختلف آب، سطوح ذرات هیدروکسید خشک آبدار می‌شود و ضمن تشکیل لایه هیدروکسید، لایه‌های متعدد آب نیز می‌توانند از راه پیوندهای هیدروژنی بر روی این لایه‌ها قرار گیرند (US Patent, 1992a; 1992b). آب تولیدشده دوباره بر روی لایه هیدروکسید جذب سطحی می‌شود و بخش کوچکی از آن تشکیل یون‌های هیدروکسید سطحی را آسان می‌سازد. با افزایش مقدار آب تا حد نسبت مولی ۷ بخش بیشتری از بلورهای روی اکسید آبدار به

## نتیجه گیری

با مقایسه نتایج کمی و کیفی به دست آمده از نمودارهای سینتیک و پیشرفت واکنش‌ها، می‌توان نتیجه‌گیری‌های زیر را از آن بیرون کشید:

۱. تشکیل روی استئارات از مواد اولیه استئاریک اسید و روی هیدروکسید یا روی اکسید در فاز جامد نیم - مرطوب امکان پذیر است.

۲. تغییر پیشرفت واکنش نسبت به زمان روند مشخصی دارد و آهنگ تغییر به طور کامل شبیه آن چیزی است که در مورد مایع‌ها و گازها مشاهده می‌شود.

۳. آب را نباید به عنوان حلال در نظر گرفت، زیرا کوچک‌ترین تغییر در مقدار آب بر روی سرعت واکنش اثر محسوسی دارد و میزان آب در رابطه سرعت یک پارامتر اساسی است (همان‌جا).

۴. با توجه به نمودارهای سینتیک واکنش‌ها در بود یا نبود کاتالیزور می‌توان گفت واکنش از نوع مرتبه ۲ است.

به این ترتیب می‌توان مزیت‌های فرایند فاز جامد را به ترتیب زیر یادآور شد:

۱. مزیت زیست‌محیطی: تولید نکردن پساب و کنترل دما.

۲. مزیت اقتصادی: مقرون به صرفه بودن فرایند از نظر هزینه پایین انرژی و بازده بالا.

۳. کیفیت محصول: درجه خلوص بالا و مناسب برای مصرف صنعتی.

## منابع

۱- بهبودی املشی، علی، بررسی سینتیک تشکیل استئارات روی در فاز جامد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور مرکز ساری، ۱۳۸۴.

۲- کریستوس کاپه لس، بنون ه. ج. بی. یلسکی، سیستم‌های سینتیک (شرح ریاضی سینتیک‌های شیمیایی در محلول)، ترجمه دکتر علیرضا قنبر پور، دانشگاه تهران، ۱۳۶۵.

۳- لاتام ج. ل.، سینتیک ساده واکنش‌ها، ترجمه دکتر علیرضا قنبر پور، دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۶۵.

4- Calcium Stearate Processing, NOSBTAP Rewiew Compiled by UCSAREP, Sep. (2002).

5- N.N.Greenwood and A.Earnshaw, Chemistry of the elements, First edition, perg. Press Ltd. (1984).

6- High Production Vol.(HPV) Chemical Challenge Program, Submitted to the US EPA, by The Petroleum HPV Testing Gprou, Dec. 31, (2003).

7- Kirk, Othmer, Concise Encyclopedia of Chemical Technology, 14th ed., John Wiley & Sons, Inc. (2000).

8- Kirk, Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, vol. 8, John Wiley & Sons, Inc. (1975).

9- Richard Lewis, jr., Condensed Chemical Dictionary, 4th edition, John Wiley & Sons, Inc. (2001).

10- Material Safety Data Sheet, Zinc Stearate, IMS Company, July 24, (2000).

11- K.Schumann, K.Siekman, Ulmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, VCH Publisher, Inc. (1993).

12- US Patent, 4,376,079, (1983).

13- US Patent, 4, 473, 504, (1984).

14- UK Patent, 5, 164, 523, (1992).

15- US Patent, 5, 175, 322, (1992).

16- US Patent, 5, 277, 832, (1994).

17- US Patent, 5, 439, 277, (1995). ■