

## الکترو سنتز مواد آلی - راهی برای کاربرد بیشتر. یک بررسی کوتاه

### چکیده

علیرغم تاریخچه طولانی، الکترو سنتز هرگز در آزمایشگاه‌های سنتز آلی یا برای تولید ترکیبات آلی در صنعت، یک روال معمول نبوده است. یک دلیل عمده ماهیت مراجع است. این بررسی، تقاضای کاربران الکتروسنتز را برجسته و برای مقالات روشن می‌سازد. نشان دادن تبدیل بالای واکنش‌دهنده به محصول و همچنین جداسازی محصول خالص در مقیاس موردنظر و راندمان بالا برای شیمی‌دانان سنتز جذاب است. علاوه بر این ضروری است که برخی جزئیات در مقاله مانند شرح مفصل روش کار، به ویژه سلول الکترولیز (هندسه، ابعاد، مواد ترکیب دهنده و منابع، رژیم انتقال جرم و غیره) و همه پارامترهای کنترل (حلال، غلظت واکنش‌دهنده‌ها) و الکترولیت، pH، جریان سلولی، دما و غیره) استفاده شده ذکر شود.

### 1. مقدمه

الکترو سنتز مواد آلی دارای تاریخچه تقریبی 200 ساله است و مراجع زیادی در این زمینه وجود دارد. در طول سال‌ها، بسیاری از کتاب‌ها و مرورها (نمونه‌های اخیر) به‌طور مرتب الکترودهای متنوعی را در شیمی مورد توجه قرار داده‌اند، اما الکترولیز هنوز یک روش مورد استفاده برای تهیه ترکیبات مواد آلی در آزمایشگاه و صنعت است. چرا؟ یک دلیل، ماهیت آن در مراجع است. الکترو سنتز مواد آلی برای شیمی‌دانان آلی بسیار بد عرضه می‌شود. لازم است که انجام الکترولیز ترکیبات آلی با چندین هدف جداگانه به رسمیت شناخته شود:

- کمک به تفسیر ولتامتری.
- پیشنهاد یک مسیر برای سنتز آزمایشگاهی یک مولکول آلی.
- ایجاد یک مسیر تجاری برای ساخت یک ترکیب آلی.

آزمایشات مورد نیاز برای هر یک، به طور قابل توجهی متفاوت هستند و بسیاری از نویسندگان در مقالات خود به وضوح اهداف و دلایل گزارش الکترولیز خود را بیان نمی کنند. به عنوان مثال، تفاوت عمده ای بین نشان دادن انجام یک واکنش الکترودی و اثبات الکترولیز به عنوان یک سنتز مفید آزمایشگاهی وجود دارد. بدتر از همه اسن است که کتابها و بررسیها اغلب برای ایجاد تمایز با شکست مواجه می شود که این مراجع را برای افراد غیر الکتروشیمیست گمراه کننده و گیج کننده می سازد. علاوه بر این، اغلب تلاش برای تکرار یک الکتروسنتز در آزمایشگاههای مختلف منجر به تنزل انتخاب پذیری و/یا راندمان می شود. اغلب این موارد از توضیحات ناکافی در جزئیات سلول الکترولیز (هندسه، ابعاد، ترکیب مواد، رژیم انتقال جرم و غیره) و شرایط الکترولیز (حلال، غلظت واکنش دهنده ها و الکترولیت، PH، سلول جریان، دما و غیره) ناشی می شود. البته، بسیار مهم است که اطلاعات در این مقاله دقیقاً دنبال شود. از این رو، در این بررسی نتایج تجربی با اهداف مختلف مشخص می شود و تغییراتی را پیشنهاد می کند که منجر به این ارائه یک روش سنتزی می گردد که به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

## 2. تفسیر ولتامتری

ولتامتری مولکولهای آلی را می توان با هدف توسعه روش آنالیز، درک تأثیر شرایط محلول یا مواد الکتروکود بر سرعت و یا انتخاب پذیری یک واکنش الکترودی یا تعریف مکانیزم و / یا سینتیک واکنش شیمیایی همگن انجام داد. سپس الکترولیز به تفسیر ولتامتری کمک می کند؛ زیرا این تنها راه قطعی برای تأیید محصول است و بنابراین تغییر شیمیایی به طور کلی منجر به پیک ولتامتری می شود. واضح است انجام الکترولیز در شرایط مشابه ولتامتری مفید است. از این رو، الکترولیزها معمولاً می توانند یک غلظت کم واکنش دهنده را به کار بگیرند که منجر به یک جریان کم سلولی می شود و یک غلظت بالا از الکترولیت، استفاده از سلول سه الکترودی و کنترل پتانسیو استاتیک و پتانسیل الکتروکود کار را ممکن می سازد. همچنین منطقی است که زمان الکترولیز تنها با مصرف کم واکنش دهنده و حداقل تغییرات در محیط محلول محدود شود، زیرا این امر در آزمایشات ولتامتری نیز وجود دارد.

## 3. سنتز آزمایشگاهی

در این آزمایشگاه، یک الکترولیز با سایر روش‌های تبدیل مواد اولیه به محصول مورد نظر و در واقع سنتز محصول مورد نظر با سایر مواد اولیه رقابت خواهد کرد. باید تأکید کرد که تنها نشان دادن تبدیل برخی از واکنش‌دهنده‌ها به محصول یک "سنتز" نیست؛ یک سنتز یک روش برای تولید مقدار مطلوب از محصول خالص است. شیمی‌دانان آلی از مقدار مورد نیاز (معمولاً 10 میلی‌گرم تا 100 گرم) خود آگاه هستند و این رویکرد را با توجه به دسترس‌پذیری مواد اولیه، شرایط راحت سنتز (از جمله در دسترس بودن تجهیزات مناسب) و انتخاب‌پذیری با اهمیت رو به رشد عوامل سبز انتخاب می‌کنند. شکی نیست که الکترولیز می‌تواند یک روش سبز باشد. این روش اکسیداسیون / کاهش را بدون استفاده از مقادیر استوکیومتری واکنشگرهای ردوکس و / یا واکنشگرهای سمی یا خطرناک ممکن می‌سازد و تبدیل کلی، نزدیک به دما و فشار محیط انجام می‌شود. شیمی‌دانان سنتز انتظار تبدیل بالای واکنش‌دهنده به محصول و همچنین انتخاب‌پذیری خوب تا راندمان نسبی 1.0 را دارند. همچنین جداسازی ساده محصول خالص جذابیت این روش را افزایش می‌دهد. از الزامات سنتز، کاهش قابل‌توجه در غلظت واکنش‌دهنده همراه با تولید محصول است.

در بسیاری از الکترولیزها، تبدیل مورد نظر با سایر تغییرات بزرگ در محیط الکترولیز، اغلب با تجمع پروتون‌ها یا هیدروکسید همراه است، بنابراین برای یک سنتز موفقیت‌آمیز، تبدیل نباید تحت تأثیر تغییرات در ترکیب محلول قرار گیرد یا سنتز باید شامل مراحل به حداقل رسانی تغییرات باشد. مهم است که بدانیم که حتی با بهره‌وری نسبی جریان 1.0، تشکیل محصول با مقدار مورد نیاز برای سنتز مناسب، موجب ایجاد جریان سلولی قابل‌توجه می‌شود (به‌عنوان مثال 5.5 A برای تولید 10 گرم در ساعت محصول با وزن مولکولی 100 Da در یک واکنش الکتروکود شامل  $2e^-$  مولکول واکنش‌دهنده). استفاده از چنین جریان‌های سلولی احتمالاً به سلول‌هایی نیاز دارد که دارای الکترودهایی با اندازه قابل‌توجه هستند. ابعاد الکتروکود به دانسیته جریان بستگی دارد و برای کاهش اندازه تجهیزات، دانسیته جریان  $50 \text{ mA cm}^{-2} <$  باید مدنظر قرار گیرد. از آنجائی که دانسیته جریان به غلظت واکنش‌دهنده و رژیم انتقال جرم بستگی دارد، یک حلالیت قابل‌قبول از واکنش‌دهنده ( $0.1 \text{ M} <$ ) و هم زدن یا

جریان کارا در محلول لازم است. طراحی سلولی به هندسه الکترود و توزیع پتانسیل روی سطح الکترود کار، تأثیر ترکیب شیمیایی الکترود مقابل و رژیم انتقال جرم نیاز دارد. چنین جریان‌های سلولی نیز فراتر از توانایی آماری پتانسیواستاتیک تجاری است. با این وجود این اهمیت ندارد زیرا جریان و پتانسیل و الکترولیزهای آزمایشگاهی که پارامترهای مستقلی نیستند به راحتی با منبع تغذیه فعلی ارزان قیمت کنترل می‌شوند، اگرچه کاهش جریان سلول در طی الکترولیز می‌تواند مفید باشد. در یک سنتز آزمایشگاهی تنها انتخاب پذیری واکنش و راندمان بالای محصول ضروری است. از این رو، حیاتی است که الکترولیز در شرایطی انجام شود که واکنش الکترود منجر به تمیز کردن حد واسط واکنش گردد و این حد واسط توسط یک مسیر غالب به محصول مورد نظر تجزیه می‌شود. ساختار واکنش‌دهنده، مواد الکترود، ترکیب محلول و دما می‌تواند بر انتخاب پذیری واکنش اثر بگذارد. مهم است که تشخیص دهیم که سنتز مواد آلی احتمالاً شامل بسترهای چندعاملی هستند و از این رو نیاز است که از دیگر گروه‌های عاملی در مولکول واکنش‌دهنده مطلع شویم. در حال حاضر ترکیبات ساده با یک گروه عاملی فعال تنها، زیاد مطالعه شده است. آب یک حلال ایده‌آل برای الکترولیز است. الکترولیت‌ها بسیار محلول هستند و این محلول‌های آبی رسانایی بالا دارند. علاوه بر این، اکسیداسیون/کاهش الکتروشیمیایی آب (که ممکن است به عنوان یک واکنش رقابتی در الکترود کار یا به عنوان واکنش اصلی در الکترودهای مقابل انجام شود) منجر به تشکیل گاز و تغییر pH می‌شود. حلال‌های آلی برای سنتز جذاب‌تر هستند (حلالیت بیشتر مواد آلی و غیره). متأسفانه، رسانایی محلول‌های الکترولیتی در حلال‌های آلی به طور قابل توجهی متفاوت است، اما به ندرت به محلول‌های آبی بستگی دارد. این باعث افزایش ولتاژ سلولی می‌شود (لزوماً یک مشکل نیست) اما منجر به توزیع بیشتر پتانسیل روی سطح الکترود کار می‌گردد؛ برای مثال، استفاده بعدی از الکترودهای سه بعدی محدود می‌شود تا جریان سلول افزایش یابد. علاوه بر این، واکنش‌های الکترود در حلال‌های آلی به طور کلی پیچیده است و به خصوص حلال‌های آپروتیک در معرض کاتالیزور اسیدی/بازی، به طور همگن تجزیه شود. این عوامل می‌تواند به یک محلول محصول آلوده منجر شود که مانع جداسازی محصول خالص می‌گردد. استفاده از مخلوط‌های آبی/آلی یا الکل یا کربوکسیلیک اسید به عنوان یک حلال برای اکسیداسیون می‌تواند موجب سازگاری بیشتر شود. آندهای حل شده

سنتز هایی را شامل می شوند که می توانند به کاهش کاتدی در حلال های APROTIC کمک کند. پلاتین به طور گسترده ای برای اکسیداسیون های آندی در مراجع استفاده می شود اما این الکترودها در ابعاد مورد نیاز برای سنتز بسیار گران هستند. کامپوزیت گرافیت یا پلیمر کربن یک انتخاب منطقی تر است. محدوده وسیع تر مواد برای کاهش کاتدی در دسترس هستند، برای مثال کربن، سرب، فولاد، نیکل و مس. بسیاری از این مواد در دسترس هستند به عنوان مش و فوم ها و همچنین صفحات، امکانات زیادی برای طراحی سلول دارند. سهولت در سنتز به این معنی است که تجهیزات مورد نیاز (سلول ها، الکترودها، الکترونیک کنترل) به آسانی قابل دسترس باشند. بلافاصله سلول های بشری پیش قدم می شوند. تمام آزمایشگاه ها بشرهایی با حجم های مختلف دارند و جالب است که فرض کنیم که الکترولیز فقط نیاز به غوطه ور کردن دو الکتروود در یک بشر و شاید یک پوشش برای حفظ محیط اکسیژن دارد. متأسفانه، سلول های بشری کلا بد عمل می کنند. به دست آوردن نسبت بالای مساحت سطح الکتروود فعال به حجم محلول و انتقال کارآمد جرم، انتخاب پذیری و تبدیل بالا و همچنین جریان بالای سلول زمان سنتز منطقی امکان پذیر است. تکمیل الکترولیز در عرض چند دقیقه حداکثر چند ساعت جذاب است. علاوه بر این، مدت زمان الکترولیز می تواند به واکنش شیمیایی همگن (به خصوص هیدرولیز یا سولولیز) رقابتی با الکتروود منجر شود. رویکرد دیگر سلول های ساخته شده بر اساس صفحات میکروسکوپی است، اما این سلول ها تنها برای سنتز در مقیاس چند میلی گرم مناسب هستند. جایگزین این سلول ها، خریداری یک سلول تجاری و تعداد سلول offflow (به عنوان مثال خانواده الکتروسول، سل الکتراسیل، سلول C-Flow) در دسترس با بازیابی محلول واکنش دهنده است یا یک کانال توسعه یافته الکترولیز که با عبور محلول واکنشگر از یک مسیر تنها اجازه تبدیل بالای واکنشگر به محصول را می دهد (به عنوان مثال سلول Syrris، خانواده آمونیت). با این حال مهم است که بپذیریم که هر سلول الکترولیز تنها برای تولید محصول در یک محدوده مقدار تعریف شده طراحی شود؛ به عنوان مثال، سلول های آمونیت طراحی شده برای سنتز در مقادیر 0/1 تا 50 گرم بر ساعت طراحی شده اند. افزایش قابل توجه مقیاس ممکن است به تغییر در طراحی سلول نیاز داشته باشد. از این رو، قبل از خرید یک سلول، مهم است که مقدار مورد نیاز برای تولید محصول و اهمیت تبدیل بالای واکنش دهنده به محصول را در نظر بگیریم.

البته، عملکرد سلول‌های جریان تجاری می‌توان با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی تکرار شود و تولید سلول‌های الکترولیز به تلاش و زمان نیاز دارد. تعدادی از طرح‌های سلولی با هندسه‌های مختلف شرح داده شده است. سهولت در سنتز اغلب با جداسازی مستقیم محصول توصیف می‌شود. این فرآیند به تبدیل کامل واکنش‌دهنده به محصول و عدم حضور غلظت بالای الکترولیت در محیط واکنش منجر می‌شود. چنین راندمانی به استفاده از سلول‌های دارای کانال‌های طولانی و سلول‌ها یا شکاف‌های بین الکترودی باریک کمک می‌کند. راندمان جریان (بار) تنها زمانی در سنتز آزمایشگاهی مهم است که واکنش‌های رقابتی (اکسیداسیون/ کاهش واکنش‌دهنده به محصولات جایگزین یا حلال / الکترولیت) منجر به از دست دادن انتخاب پذیری یا پیچیده‌تر کردن جداسازی محصول خالص می‌شود؛ بهره‌وری انرژی هرگز به مقیاس آزمایشگاهی مربوط نیست. همچنین یک سنتز راحت نیاز به بررسی شیمیایی الکتروود دیگر دارد. عبارت بار، همان مقدار تغییر شیمیایی در الکتروود مقابل مانند الکتروود کار است و مهم است که شیمی الکتروود مقابل، عملکرد الکتروود کار را تضعیف نکند. علاوه بر این، مسیر  $F_2$  بار در الکتروود کار باعث تغییرات قابل توجهی در ترکیب محلول الکترولیز، به‌طور معمول تشکیل اسید یا باز در یک کاتد (معمولاً به غلظت بیشتر از  $1\text{ M}$ ) می‌شود. در یک استراتژی متداول که از یک سلول تقسیم‌شده استفاده می‌شود، ترکیب شیمیایی الکتروودهای مقابل،  $\text{pH}$  ثابت را در محلول الکترولیز حفظ می‌کند که این رویکرد می‌تواند شیمی رقابتی را ارتقا دهد. استراتژی‌های دیگر برای الکتروود متقابل در یک سلول تقسیم‌نشده عبارت‌اند از 'سنتز زوج' و 'حل شدن آندهای فلزی'. ترکیبات شیمیایی آند و کاتد را به طور متناوب می‌توان با یک غشای نفوذپذیر یونی یا جداکننده متخلخل جدا کرد، اما باید دانست که انتقال یون بین آند و کاتد، پیش‌نیاز الکترولیز در سلول است و برخی از انتقالات واکنش‌دهنده و محصول بین محفظه‌ها زمانی رخ می‌دهد که یک گرادیان غلظتی وجود داشته باشد. علاوه بر این، مواد جداساز مناسب می‌توانند منبع مشکل باشند و در عمل، جداساز/ غشا همیشه داری نقص است و می‌تواند موجب پیچیده‌تر کردن طراحی سلول گردد. یک ضرورت مطلق برای یک مقاله پیشنهاد سنتز آزمایشگاهی با شرح جزئیات مفصل روش، به‌ویژه تجهیزات الکترولیز است. این باید شامل شرح کامل طرح سلول، ابعاد سلول، الکتروودها (مواد اولیه، پیش تیمار، هندسه، موقعیت و ابعاد)، جداساز در صورت استفاده، حجم‌های

محلول، غلظت هر دو واکنش‌دهنده و الکترولیت، دما، رژیم انتقال سلول و محتوای سلول، همچنین جداسازی و شناسایی محصول باشد. تعریف رژیم انتقال جرم در یک محلول همزده شده به بیان سرعت چرخش و موقعیت و شکل همزن نیاز دارد درحالی‌که در یک سلول جریان، سرعت جریان، ابعاد کانال، طراحی محلول ورودی و خروجی و حضور/طراحی ارتقادهندگان آشفته‌گی باید بیان گردد. بدون چنین اطلاعات دقیق، سنتز را نمی‌توان با موفقیت از یک آزمایشگاه به دیگری منتقل کرد.

#### 4. تولید تجاری

درحالی‌که الکترولیز برای هیدرودیم‌ریزاسیون آکریلونیتریل به آدیونیتریل در مقیاس  $100,000$  تن در سال استفاده شده است، بازار ترکیبات آلی اغلب بسیار کوچک است. در صنایع دارویی، کشاورزی، صنایع غذایی و شیمیایی خوب، مقیاس تولید موردنیاز به بیش از 1 تا 100 کیلوگرم در روز افزایش می‌یابد. این امر به جریان‌های سلولی در محدوده 20 تا 5000 آمپر و مساحت‌های الکتروود در محدوده  $50 \text{ m}^2$ – $200 \text{ cm}^2$  نیاز دارد. احتمالاً طراحی سلول با یک صفحه موازی، الکترولیزگر جریان است اگرچه طرح‌های دیگر، به‌عنوان مثال سلول دیسکی دوقطبی BASF از لحاظ تجاری استفاده شده است. مقیاس پایین‌تر با یک جفت الکتروود تنها در یک سلول جریان با صفحات موازی قابل‌دستیابی است درحالی‌که مقیاس بالاتر را می‌توان برای تعدادی از چنین سلول‌ها در یک پشته به دست آورد. چندین محرک برای توسعه فرایندهای صنعتی الکترو ارگانیک وجود دارد. این شامل (الف) کاهش هزینه محصول (ب) کاهش تعداد مراحل در یک سنتز چندمرحله‌ای و (ج) کاهش خطرات مرتبط با تولید آن است. این امر مستلزم جانشینی واکنشگرهای سمی / خطرناک از جمله بسیاری از حلال‌های آلی، اجتناب از جریان‌های انتشار واکنشگرهای مصرف‌شده و عملیات در دمای / فشار محیط است. همچنین یکی دیگر از نتایج ممکن برای واکنشگر یک فرآیند الکترولیتیک، کاهش مقدار محصولات جانبی مصرفی است. بازیافت حلال‌ها و / یا الکترولیت‌ها یک مزیت است. واضح است که یک ضرورت برای توسعه یک فرآیند صنعتی جدید، چشم‌انداز سودمندی آن است. این محصول باید یک بازار پایدار یا در حال توسعه داشته باشد و در قیمت بسیار بالاتر از

واکنش‌دهنده قابل‌فروش باشد. واکنش‌دهنده نیز باید در دسترس باشند. انتخاب پذیری و تبدیل بالا (اگرچه نه لزوماً در یک‌بار عبور محلول واکنش از میان سلول) و همچنین یک روش آسان برای جداسازی محصول خالص مهم است. درواقع، شرایط الکترولیز به‌شدت تحت تأثیر به‌مطابقت موارد موردنیاز برای جداسازی محصول نیاز دارد. به‌عنوان مثال، یک الکترولیت با خواص خاص (به‌عنوان مثال به‌راحتی استخراج یا تقطیر شده) می‌تواند انتخاب شود. هنگامی که تبدیل واکنشگر به محصول موردنیاز کامل باشد فرایندها ممکن است به‌صورت دسته‌ای عمل کنند که در آن کسر محلول مخزن به‌طور مداوم برای جداسازی محصول برداشته می‌شود. تبدیل کامل می‌تواند با استفاده از یک الکتروود سه‌بعدی یا یک سلول با یک کانال طویل یا یک سیستم بازیافت با افزایش زمان الکترولیز ترجیحاً با کاهش برنامه‌ریزی‌شده در جریان سلول به‌صورت ناپیوستگی در غلظت واکنشگر اتفاق افتد. تجربه (یا محاسبه قانون فارادی) نشان می‌دهد که زمانی که اقتصاد فرآیند بسیار مهم باشد مصرف برق خیلی پایین خواهد بود. به احتمال زیاد، هزینه سرمایه‌گذاری برای سلول (های) الکترولیز غالب است. از آنجاکه اندازه/تعداد سلول‌ها با دانسیته جریان تعیین می‌شود، سنتر هدف باید در شرایطی انجام شود که دانسیته جریان تا حد ممکن بالا به‌طور ایده‌آل نزدیک به  $100 \text{ mA cm}^{-2}$  است. علاوه بر این، توصیه می‌شود که از مواد الکتروودهای گران‌قیمت و جداکننده‌ها اجتناب شود. پلاتین یک شروع‌کننده است و الکتروودهای کربن، سرب و فولاد نیز جذاب هستند. سلول‌های تقسیم‌نشده نه‌تنها از یک جداکننده جلوگیری اجتناب می‌کنند، بلکه تعداد اجزای سلولی و تجهیزات کمکی (مانند پمپ و لوله) نیز کاهش می‌یابد. عملیات پایدار این تکنولوژی در طول دوره گسترده (به ترتیب ماه) بدون جایگزینی الکتروودها و جداسازها ضروری است. الکتروودها در معرض خوردگی و فرسایش قرار دارند و پایداری آن‌ها همیشه موردتوجه قرار گرفته است. درحالی‌که توسعه یک فرآیند تجاری، احتمالاً به دنبال یک سنتر آزمایشگاهی موفق به دست می‌آید، مقیاس یک سنتر آزمایشگاهی موفق همیشه نمی‌تواند افزایش یابد؛ چالش‌های مختلف برآورده می‌شوند. از این‌رو، سنتر آزمایشگاهی و الکترولیز صنعتی باید به‌عنوان فعالیت‌های مرتبط اما جداگانه در نظر گرفته شود. به‌ناچار، فناوری سلول متفاوت خواهد بود. در توسعه فرایندهای صنعتی، انتخاب سلول‌هایی که در بازار آزاد موجود هستند سودمندند و مقیاس آن‌ها به تقاضای محصول بستگی دارد. بازهم،

طرح‌های سلولی با صفحات موازی به راحتی این خواسته‌ها را برآورده می‌کنند. در اسرع وقت، فرآیندهای آزمایشی باید در سلول انتخاب شده انجام شود. طراحی یک فرایند جدید، فرصتی است برای طراحی یک بسته کامل جدید از تبدیل واکنش دهنده به محصول و بررسی مجدد انتخاب الکترولیت، الکترودها و گیره و همچنین تلاش برای ترکیب فرآیندهای واحد است. شکل واکنش دهنده موجود و مورد نظر برای محصول (خالص یا محلول مناسب برای ترکیب شیمیایی بیشتر) به صورت ویژگی آن‌ها شناخته شده است. پایداری عملکرد ضروری است (و پایداری الکترودها و سایر اجزای سلولی موضوعی است که باید مورد توجه قرار گیرد) و ترکیب فرآیندهای واحد بسیار مطلوب خواهد بود. در انتخاب واکنش‌ها برای توسعه، تأکید باید بر (الف) تبدیل با افزایش قابل توجه در مقدار (ب) محصولات با بازارهای باثبات و احتمالاً گسترده و (ج) محصولات تولید شده اخیر توسط یک فناوری با موانع قابل توجه مواجه است، به عنوان مثال بر اساس واکنشگرهای سمی/خطرناک یا تولید جریان‌های قابل توجه از محصول جانبی. در گذشته، اهداف به طور عمده بر اساس دشواری در پیدا کردن واکنشگرهای ردوکس و شرایط مناسب برای تبدیل بسیار انتخابی، انتخاب شده است؛ اگر یک واکنش با واکنشگرهای شیمیایی غیرممکن باشد، بعید است در الکترودهای بسیار انتخابی باشد.

## 5. نتیجه گیری‌ها

در حالی که اکسیداسیون‌های الکتروشیمیایی و کاهش مولکول‌های آلی گزارش شده است، تنها چند مقاله می‌توانند ادعا کنند که یک "سنتز" را گزارش داده است. معمولاً نویسندگان تمایل دارند تشکیل محصولات (اغلب هنوز در محلول الکترولیز) را نشان دهند بدون اینکه حرکتی برای جداسازی محصول خالص که یک کمیت مفید است، داشته باشند. "سنتز" درخواست شیمیدانان دیگر برای تهیه محصول با روش شناخته شده است که به توضیحات مفصل همه مراحل نیاز دارد. هنگامی که این روش شامل الکترولیز باشد، شرح مفصلی از سلول مورد استفاده ضروری است؛ طراحی سلول، هندسه و ابعاد، عملکرد واکنش را حداقل به اندازه مواد الکتروود و شرایط محلول تحت تأثیر قرار می‌دهد اما به طور گسترده‌ای برای مطالعه سیستماتیک در مراجع نادیده گرفته می‌شود. بیان نوع سلول و

مواد الکتروود کافی نیست؛ تعریف کامل سلول الکتروولیز و شرایط کار شامل نوع سلول، ابعاد سلول، الکتروودها (مواد، پیش تیمار، هندسه و ابعاد)، حجم‌های محلول، غلظت هر دو واکنشگر و الکتروولیت، دما و همچنین جریان سلول و تمام پارامترهای تعیین‌کننده رژیم انتقال جرم (سرعت چرخش و موقعیت همزن یا سرعت جریان، طراحی ورودی و خروجی سلول، حضور پیش برندگان آشفستگی) باید مدنظر قرار گیرد. مقالات نیز باید روش‌هایی را در نظر بگیرند که در مقایسه با روش‌های رقابتی سودمندند. متأسفانه، "سنتز" فقط برای تشکیل یک میزان خاص از محصول مناسب خواهد بود. افزایش مقدار محصول با افزایش اندازه سلول، غلظت رآکتور یا زمان الکتروولیز تنها تأثیر محدودی دارند. افزایش قابل‌توجه در مقدار محصول نیاز به طراحی مجدد سلول الکتروولیز و شرایط عملیاتی دارد. اگر تمام مقالاتی که الکتروولیزهای ترکیبات مواد آلی را گزارش می‌کنند دیدگاه روشنی برای اهداف الکتروولیز داشته باشند بسیار مفید خواهد بود. اگر هدف یک "سنتز" باشد، آماده‌سازی یک مقدار قابل‌توجه از محصول باید توصیف شود که شامل شرح کامل و دقیق از جمله شرایط سلولی و الکتروولیز باشد. آینده الکترو سنتز به‌طور مستقیم با انتشار مقالات بیشتر مورد نیاز و توجه شیمیدانان آلی و ارزیابی انتقادی مراجع موجود بهتر خواهد شد. نیاز هست که نویسندگان کتاب / مرور، کاملاً روشن کنند که کدامیک از مقالات واقعاً یک سنتز را گزارش می‌کنند.