

## کاربرد حلال‌های اتکتیک عمیق در صنایع نفت و گاز

کیوان طریقی، دکتری مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) ■ دکتر عباس نادری فر و دکتر غلامرضا پازوکی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) ■ حامد صداقت‌زادگان اصفهانی\*، کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

### چکیده

حلال‌های اتکتیک عمیق<sup>۱</sup> تحت عنوان گروه حلال‌های جدید سبز و پایدار در خصوص جداسازی و خالص‌سازی مواد و محصولات در فرآیندهای استخراج مورد توجه مجامع علمی فراوانی قرار گرفته است. تاکنون حلال‌های آلی فرار و مایعات یونی در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گرفتند در حالی که این حلال‌ها در شرایط عملیاتی، خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار مطلوبی را از خود نشان داده‌اند که با مایعات یونی برابر تقریباً یکسان است، خواصی نظیر فشار بخار کم، حفظ حالت فیزیکی مایع در دامن‌های دمایی وسیع، پایداری حرارتی بالا، اشتعال‌پذیری پایین و قابلیت حلالیت بالا، هزینه‌ی پایین مواد اولیه‌ی مورد نیاز جهت سنتز این دسته از حلال را به اشتراک می‌گذارند. حلال‌های اتکتیک پایین به دلیل داشتن خواص فیزیکی بسیار مطلوب، جایگزین مناسبی برای حلال‌های مایعات یونی هستند و در زمینه‌های متفاوتی نظیر سنتز مواد شیمیایی، بیوشیمی، فرآیندهای جداسازی و خالص‌سازی، الکتروشیمی، کاتالیست و... بسیار مورد استفاده و توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله به بررسی کاربردهای این حلال‌های نوظهور اتکتیک عمیق در فرآیندهای جداسازی در صنعت نفت و گاز مانند حذف ترکیبات کوگردار، شیرین‌سازی گاز طبیعی و... پرداخته می‌شود.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۱۰/۱۶  
تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۱۰/۱۹  
تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۱۰/۲۲

### واژگان کلیدی:

حلال‌های اتکتیک، فرآیندهای جداسازی، حلال‌های فرار.

### مقدمه

آلی<sup>۲</sup> رایج صنعت قرار گیرد. معمولاً واژه‌ی "سبز" به دلیل فشار بخار ناچیز و اشتعال‌پذیری کم مایعات یونی که از نظر نگرانی‌های زیست‌محیطی ارزش افزوده‌ای هستند با نام آنها همراه است. با این حال، سنتز مایعات یونی شامل چندین مرحله‌ی مصنوعی است که اغلب منجر به تولید فرآورده‌های جانبی و تولید پسماند می‌شوند. گزارش‌های ارائه شده نشان می‌دهد این حلال‌ها از نظر سمیت کاملاً بی‌خطر بوده و در محیط‌زیست به راحتی تجزیه می‌شوند. [۵ و ۴] هزینه‌های بالای خرید مواد اولیه و سنتز مایعات یونی، کاربردهای صنعتی این حلال را محدود کرده است. [۶] در سال ۲۰۰۳ نسل جدید از حلال‌های پایدار تحت عنوان حلال‌های اتکتیک عمیق کشف شد. [۷] حلال اتکتیک عمیق حداقل از یک پیونددهنده‌ی هیدروژن<sup>۳</sup> و حداقل یک گیرنده‌ی هیدروژن<sup>۴</sup> تشکیل شده است که از طریق پیوند هیدروژن با یکدیگر در ارتباط هستند و مخلوطی با دمای ذوب به مراتب کمتر از اجزای تشکیل‌دهنده، می‌باشند. [۸-۱۳] برای اکثر حلال‌های اتکتیک نقطه‌ی ذوب، قابل اندازه‌گیری نیست، به همین دلیل از دمای انتقال شیشه‌ای<sup>۵</sup> استفاده می‌شود و حلال‌های اتکتیک عمیق تحت عنوان مخلوط‌هایی با دمای انتقال پایین<sup>۶</sup> شناخته می‌شوند. [۱۱] حلال‌های اتکتیک عمیق از

در دهه‌ی اخیر شاهد افزایش استفاده از فناوری سبز در صنایع قدیمی نفت و گاز هستیم. تحقیقات اخیر به دنبال دست‌یابی به فرآیندهایی با ایمنی بیشتر، اقتصادی‌تر، دوست‌دار محیط‌زیست و در عین حال کارآمد و بهینه‌تر است و تعدد مقالات منتشر شده در زمینه‌ی مهندسی سبز و پایدار، تاییدکننده‌ی این موضوع است. در این مسیر مایعات یونی به عنوان اولین حلال پیش‌تاز در جهت سبز شدن صنایع، در رده‌های مختلف فرآیند، مانند ساخت مواد شیمیایی، بیوشیمی، فناوری‌های جداسازی، الکتروشیمی و کاتالیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. [۱] به طور کلی حلال‌های یونی، نمک‌های مذابی با نقطه ذوب پایین‌تر از دمای ۳۷۳ درجه‌ی کلون هستند. [۲] حلال‌های یونی از کاتیون و آنیون‌های بارداری تشکیل شده‌اند که به وسیله‌ی پیوندهای یونی در کنار یکدیگر قرار گرفته و باعث کم بودن فشار بخار آنها می‌شوند. علاوه بر این، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی واحدی مانند پایداری حرارتی، ویسکوزیته و قطبیت هستند که با تغییر ترکیب آنیون و کاتیون‌ها می‌توان آنها را متناسب با شرایط مورد انتظار تنظیم کرد. [۳] عدم فراریت مایعات یونی سبب شده که این دسته از حلال‌ها به عنوان گزینه‌ی مناسبی در جایگزینی حلال‌های فرار

\* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (sedaghatzadegan@aut.ac.ir)



و پایدار برای تولید سوخت‌های سازگار با محیط‌زیست، مفید و کارآمد بودن حلال‌های اتکتیک عمیق در صنایع نفتی توسط دانشمندان مورد بررسی قرار گرفته است. کاملاً مشخص شده است که وجود ترکیبات آروماتیک در داخل سوخت، از یک طرف باعث افزایش دانسیته و روان‌کنندگی و به موجب آن به‌سوزی و افزایش بیشتر گرما می‌شود، اما از طرف دیگر مخاطرات زیست‌محیطی را در بر خواهد داشت [۱۴]. لذا بهینه‌سازی ترکیبات آروماتیک به علت وجود آزنوتروپ‌های مختلف با هیدروکربن‌های آلیفاتیک به یکی از مهمترین چالش‌های صنعت پالایش و پتروشیمی تبدیل شده است. حلال‌های اتکتیک عمیق عملکرد بسیار خوبی در شکست نقطه‌ی آزنوتروپ و جداسازی ترکیبات آروماتیک و هیدروکربن‌های آلیفاتیک داشته‌اند. [۱۵-۱۸] تعدادی از تحقیقات پیرامون حلال‌های اتکتیک عمیق در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد استخراج ترکیبات آروماتیک به شدت به دما بستگی دارد

نظر بسیاری خواص فیزیکی از جمله فشار بخار پایین، داشتن حالت فیزیکی مایع در دامنه‌ی دمایی وسیع، پایداری حرارتی بالا و اشتعال‌پذیری پایین بسیار شبیه مایعات یونی هستند، در حالی که بسیاری از پارامترهای نامطلوب مایعات یونی را دارا نیستند. حلال‌های اتکتیک عمیق به سادگی از طریق مخلوط کردن مواد اولیه‌ی ارزان‌قیمت که ذاتاً طبیعی بوده و قابلیت بازگشت به محیط‌زیست را دارند، سنتز می‌شوند. بر اساس تغییر بنیان‌های دهنده و گیرنده‌ی پیوند هیدروژنی، می‌توان به خواص متنوعی برای حلال‌های اتکتیک عمیق دست پیدا کرد. شایان ذکر است که سبز و پایدار بودن این حلال‌ها به شدت تابع موادی است که در سنتز انتخاب می‌شوند.

**کاربرد حلال‌های اتکتیک عمیق در فرآیندهای نفتی**  
در تحقیقات انجام شده به منظور دست‌یابی به فرآیندهای سبز

بازیابی حلال گزارش داده است. [۲۱] سایر تحقیقات انجام شده از حذف کامل آلاینده‌های گوگرددار با راندمان بالا در عین حال بازیابی کامل حلال اتکتیک عمیق گزارش داده‌اند. [۲۵-۲۲] یکی دیگر از موضوعات جدید مورد توجه در زمینه‌ی خالص‌سازی نفت، حذف گلیسرول از بیوفیول به وسیله‌ی حلال اتکتیک عمیق است. [۲۶] بیوفیول یک سوخت پاک و قابل برگشت است که از روغن گیاهان و چربی حیوانات به دست می‌آید. سوخت‌های بیودیزل آلودگی سمی و گازهای گلخانه‌ای کمتری نسبت به سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند.

این ماده از کاتالیست شدن و تغییر گروه‌های آلکیل‌های بلند زنجیر مثل (متیل، اتیل یا پروپیل) ایجاد می‌شوند. گلیسرول محصول نامطلوب فرآیند ترنسسیس تریفیکیشن<sup>۸</sup> است که وجود آن در سوخت خودرو باعث افزایش ویسکوزیته و به سبب آن افزایش آسیب به موتور خودرو در زمان احتراق می‌باشد. گزارش‌ها نشان می‌دهد از آب برای شستشوی گلیسرول از بیودیزل استفاده می‌شود، اما این کار سبب هدررفت مقدار بسیار زیادی آب می‌شود که از نظر زیست‌محیطی بسیار نامطلوب است. [۲۷] پژوهشی که ابوت و همکاران انجام دادند در دو حالت جداسازی را بررسی کردند. در ابتدا تلاش کردند مخلوط اتکتیک گلیسرول را با اضافه کردن نمک خالص آمونیوم به بیودیزل خام ایجاد کنند، اما موفقیت‌آمیز نبوده و علت را آنتالپی تشکیل مخلوط اتکتیک در نظر گرفتند.

در ادامه حذف گلیسرول را به وسیله‌ی حلالی که از مخلوط نمک‌های آمونیوم با گلیسرول و نسبت مولی ۱:۲ تشکیل داده بودند بررسی کردند و به نتیجه‌ی حذف ۹۹ درصدی گلیسرول از سوخت بیودیزل خام دست پیدا کردند. آنها برای بازیابی کولین کلراید از حلال ۱- بوتانول استفاده کردند که نتایج ۲۵ درصد کولین کلراید قابل بازیابی است. [۲۶]

شهباز و همکاران در پژوهش انجام شده حذف گلیسرول آزاد موجود در نمونه‌های روغن نارگیل را به وسیله‌ی حلال اتکتیک عمیق که بر پایه‌ی گلیسرول نباشد، مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داده‌اند که جداسازی گلیسرول به کمک تمام حلال‌های اتکتیک سنتز شده بازده بالای ۹۹ درصد داشتند. [۲۸ و ۲۹]

جدول ۱ به طور خلاصه پژوهش‌های انجام شده به وسیله‌ی حلال‌های اتکتیک عمیق به منظور جداسازی و استخراج را نشان می‌دهد.

به طوری که افزایش دما باعث بهبود استخراج آروماتیک می‌شود، همچنین حلال‌های اتکتیک در فاز غنی از ترکیبات هیدروکربنی وارد نمی‌شوند، این نکته بسیار حائز اهمیت است زیرا بازگردانی حلال بعد از استخراج بیشتر و به راحتی انجام شده و باعث کاهش اتلاف حلال می‌شود.

گنزالس و همکاران، جداسازی بنزن از هگزان با استفاده حلال‌های اتکتیک عمیق را مورد بررسی قرار دادند. پژوهش آنها نشان داد که گزینش‌پذیری حلال‌های اتکتیک عمیق، بسیار بالاتر از سولفولان بوده، همچنین هیچ مقداری از حلال اتکتیک وارد فاز غنی از هگزان نشده است. [۱۶]

رودریگز و همکاران با استفاده از حلال‌های اتکتیک عمیق بر پایه‌ی تتراگزیل آمونیوم بروماید پژوهشی را انجام دادند و عملکرد حلال‌های جدید را با حلال‌های آلی رایج مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که دما تاثیر بسیار کمی بر روی جداسازی دارد. [۱۸]

معمولا در صنعت از حلال‌های سولفولان و اتیلن گلیکول برای این دسته از فرآیندهای جداسازی استفاده می‌شود. [۱۹] هر دو حلال سمی، فرار و آتش‌گیر هستند، از این رو استفاده از حلال‌های اتکتیک عمیق به عنوان جایگزین مناسب که مابنی استخراج سبز یعنی کاهش انرژی مصرفی، تولید محصولات طبیعی قابل بازیافت، افزایش ایمنی، افزایش کیفیت استخراج یا تولید محصولات را رعایت می‌کنند، مورد توجه قرار می‌گیرد. [۲۰] به دنبال هدف جایگزینی حلال‌های اتکتیک عمیق با حلال‌های آلی، از آنها در حذف اجزای گوگردی موجود در ترکیبات آروماتیک مانند تیوفن از سوخت استفاده شد، منبع اصلی تولید H<sub>2</sub>S و SO<sub>x</sub>، از احتراق سوخت‌های حاوی ترکیبات گوگرددار هستند.

اتحادیه‌ی اروپا و سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا قوانین سخت‌گیرانه‌ای به منظور جلوگیری از افزایش غلظت آلاینده‌های گوگردی موجود در سوخت تنظیم و اجرا کرده‌اند. برای مثال استفاده از ترکیبات آلی فرار برای حذف آلاینده‌های گوگردار، استفاده از حلال‌های اتکتیک عمیق بر پایه‌ی کربوکسیلیک اسید برای حذف ترکیبات گوگردار سوخت خودروها است.

لی ژینگ و همکاران به منظور حذف تیوفن، بنزوتیوفن و دی‌بنزوتیوفن از اکتان از حلال‌های اتکتیک عمیق پژوهشی را انجام داده‌اند. نتایج آنها نشان داد که این فرآیند جداسازی تابعیت دمایی ندارد. به منظور دست‌یابی به جداسازی با راندمان بالای ۹۸ درصد می‌بایست استخراج، حداقل در سه مرحله انجام شود. آنالیز NMR<sup>۷</sup> از عدم تخریب ساختار حلال اتکتیک پایین بعد از جداسازی و



## کاربردهای منتخب حلال‌های اتکتیک عمیق برای فرآیندهای جداسازی

مراجع	دما (کلوین)	حلال اتکتیک عمیق	روش استخراج	-	ناخالصی
[۱۸]	۲۹۸ ۳۰۸	THABr:EG, THABr:EG ۱:۲ THABr:EG, THABr:EG ۱:۲	LLE	هگزان	بنزن
[۱۵]	۳۰۰ ۳۰۸ ۳۱۸	MTPPBr:EG 1:4, 1:6, 1:8 MTPPBr:EG 1:4, 1:6, 1:8 MTPPBr:EG 1:4, 1:6, 1:8	LLE	هگزان	بنزن
[۱۷]	۳۱۳ ۳۲۳ ۳۳۳	TBPBr:EG, TBPBr:Sul 1:2, 1:4, 1:6, 1:8 TBPBr:EG, TBPBr:Sul 1:2, 1:4, 1:6, 1:8 TBPBr:EG, TBPBr:Sul 1:2, 1:4, 1:6, 1:8	LLE	هگزان	تولون
[۱۶]	۲۹۸ ۳۰۸ ۳۱۸	ChCl:LA, ChCl:Gly 1:2 ChCl:LA, ChCl:Gly 1:2 ChCl:LA, ChCl:Gly 1:2	LLE	هگزان	بنزن
[۲۱]	۲۹۳ – ۳۲۳	TBABr:FA 1:1	LLE	اکتان	بنزوتیوفن تیوفن دی‌بنزوتیوفن
[۲۲]	۲۹۸	ChCl:MA/Gly/EG/Pr, TMACl:Gly/EG/PAA, TBACl:MA/Gly/TEG/EG/PAA/CA/Pr/PEG 1:2	LLE	اکتان	بنزوتیوفن
[۲۳]	۳۰۳-۳۴۳	TBPBr:stantone choline dihydrate 1:1	LLE	اوکتان دکان ایزو اکتان تولون	دی‌بنزوتیوفن تیوفن
[۲۴]	۲۹۳	Chlorinated paraffins-52:AlCl3:Toluene/Benzene/p-xylene/o-xylene/Ethylbenzene 1:6:18	LLE	هیپتان	بنزوتیوفن
[۲۵]	۲۹۸	TBABr:EG/TEG, MTPPBr:EG 1:4 TBABr:Sul 1:7	LLE	هیپتان	تیوفن
[۲۶]	۳۱۳	AChCl/TPABr/EACl/ChCl/Cl2EMe3:Gly 1:2	LLE	روغن سویا	گلیسرول
[۲۸]	۲۹۸	ChCl:EG in 1:1.7, 1:2, 1:2.23, 1:2.45 ChCl:TFAA in 1:1.5, 1:1.7, 1:1.94, 1:2.45	LLE	روغن نارگیل	گلیسرول
[۲۹]	۲۹۸	ChCl:EG 1:1.7, 1:2, 1:2.23, 1:2.45 ChCl:EG 1:75, 1:2, 1:2.5 ChCl:TFAA 1:1.75, 1:2, 1:2.5 MTPPBr:Gly 1:2, 1:3, 1:4 MTPPBr:EG 1:3, 1:4, 1:5 MTPPBr:TEG 1:3, 1:4, 1:5	LLE	روغن نارگیل	پتاسیم هیدروکسید

### کاربرد حلال‌های اتکتیک عمیق در شیرین‌سازی گاز

گاز طبیعی به طور عمده از متان ( $CH_4$ ) تشکیل شده است، همچنین حاوی گازهای اسیدی ناخواسته‌ای مانند دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) و سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) است. فرآیند حذف دی‌اکسید کربن از جریان گاز طبیعی اصطلاحاً شیرین‌سازی گاز نامیده می‌شود.

این فرآیند از نظر زیست‌محیطی و کاهش گازهای گلخانه‌ای بسیار حائز اهمیت است، از طرف دیگر وجود کربن دی‌اکسید در سیال گازی باعث تشکیل هیدراته در لوله و گرفتگی خطوط انتقال جریان گاز می‌شود. از نگاه ترمودینامیکی وجود کربن دی‌اکسید در گاز طبیعی باعث کاهش ظرفیت گرمایی گاز در هنگام سوختن می‌شود. [۳۰] در نیروگاه‌ها برای حذف کربن دی‌اکسید از مونودی‌اتانول-آمین (MEA) استفاده می‌شود که باعث ایجاد نگرانی برای سازمان‌های محیط زیستی شده است.

ترکیبات آمینی با گذشت زمان حلال‌های موجود در فرآیند را تجزیه و تخریب می‌کنند که باعث هدررفت حلال و صرف انرژی‌های فراوان برای بازتولید حلال می‌شوند. حلالیت کربن دی‌اکسید در مایعات یونی و حلال‌های اتکتیک عمیق به عنوان کلاس جدیدی از حلال‌های نوظهور که غیرسمی، کارآمد و با فراریت بسیار کم هستند باعث شده که جایگزین مناسبی به جای حلال‌های آمین در جذب کربن دی‌اکسید باشند. در یک پژوهش مقایسه‌ای حذف کربن دی‌اکسید به وسیله‌ی سه حلال اتکتیک عمیق در بازه‌ی دمایی ۳۰۸ تا ۳۱۸ درجه‌ی کلون و فشار بالاتر از ۲ مگاپاسکال مورد بررسی قرار گرفت. حلال‌ها از ترکیب تترا (متیل، اتیل، بوتیل) آمونیوم بروماید با نسبت مولی ۱:۲ به همراه لاکتیک‌اسید سنتز شده‌اند. نتایج نشان داد که حلالیت  $CO_2$  با فشار، رابطه‌ی مستقیم و با دما رابطه‌ی غیرمستقیم دارد، همچنین هرچه زنجیره‌ی آلکیل بلندتر شود، حلالیت آن نیز بیشتر می‌شود که احتمالاً به دلیل حجم آزاد بیشتر موجود برای جذب است. نتایج حلالیت گزارش شده در این پژوهش با اختلاف بسیار اندک، پایین‌تر از داده‌های مایعات یونی سنتز شده با فلوتور بود و علت آن ظرفیت جذب بالای کربن دی‌اکسید بیان شده است. [۳۱]

در مقاله‌ی دیگری که در زمینه‌ی شیرین‌سازی گاز انجام شده است، موضوع تاثیر نسبت مولی مواد سنتز حلال اتکتیک مورد بررسی قرار گرفته است. حلال از مخلوط تترا بوتیل آمونیوم کلراید به همراه لاکتیک‌اسید سنتز شده است. نتایج آنها بیان می‌کند که با افزایش غلظت دهنده‌ی پیوند هیدروژنی، حلالیت گاز کاهش می‌یابد. نویسنده‌ی مقاله علت را کاهش مقدار نمک در حلال

اتکتیک بیان کرده است که باعث کاهش حجم آزاد مورد نیاز برای جذب می‌شود. [۳۲]

لو و همکاران از کولین کلراید و فورفوریل‌الکل با نسبت‌های مولی ۱:۳، ۱:۴ و ۱:۵ برای سنتز حلال اتکتیک استفاده کردند. آنها مشاهده کردند افزایش نسبت مولی دهنده‌ی پیوند هیدروژنی سبب افزایش حلالیت و جذب کربن دی‌اکسید به درون حلال می‌شود که نتیجه‌ای بر خلاف گزارش قبلی است. [۳۳]

علی و همکاران در پژوهش انجام شده به دنبال سنتز حلال اتکتیک بر پایه‌ی ترکیبات آمینی بودند. برای این کار با اضافه کردن نمک آمونیوم به (مونو، دی، تری) اتانول آمین سنتز حلال انجام شده است. نتایج آنها نشان داد که حلال‌های اتکتیک آمینی نسبت به حلال‌های اتکتیک دوقطبی مانند اتیلن گلیکول یا گلیسرول کربن دی‌اکسید بیشتری جذب کرده‌اند، با این حال موضوع حساسیت خوردگی آمین باعث وجود نگرانی می‌شود. [۳۴ و ۳۵]

در جدول ۲ خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده برای جذب کربن دی‌اکسید به وسیله‌ی حلال‌های اتکتیک عمیق بیان شده است. در همه‌ی مقالات مشخص شده، گزارش کرده‌اند که حلالیت کربن دی‌اکسید در حلال اتکتیک با فشار، رابطه‌ی مستقیم و با افزایش دما کاهش می‌یابد. مکانیسم جذب کربن دی‌اکسید به حجم آزاد یا برهم‌کنش مولکولی میان کربن دی‌اکسید و حلال اتکتیک وابسته است که این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. با این وجود، نتایج امیدوارکننده است و با تحقیق و بهینه‌سازی بیشتر حلال‌های اتکتیک عمیق می‌توانند یک جایگزین کم‌هزینه و پایدار به عنوان حلال‌های شیرین‌کننده‌ی گاز طبیعی باشند.

حلال‌های اتکتیک عمیق کلاس جدیدی از حلال‌ها هستند که به سادگی از مواد کم‌هزینه و طبیعی تهیه شده‌اند. انتخاب مواد اولیه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین، تا حدود زیادی به "سبب بودن" و ویژگی‌های پایدار آنها کمک می‌کند. حلال‌های اتکتیک عمیق هنوز زمینه‌ی جدیدی برای تحقیق است. پایداری حرارتی حلال‌های اتکتیک عمیق به دلیل حساسیت برهم‌کنش پیوندهای هیدروژن نسبت به دما هنوز یک چالش است.

بازسازی و یا بازیابی مجدد حلال‌های اتکتیک در کاربردهای بسیار معدودی گزارش شده است که نیاز به مطالعه و تحقیق بیشتری دارد. انتظار می‌رود حلال‌های اتکتیک عمیق به عنوان حلال‌های پایدار، نقش مهمی را در آینده ایفا کند. ارزش اقتصادی، بهره‌وری و تجدیدپذیر بودن و سایر ویژگی‌های حلال‌های اتکتیک عمیق، همه خصوصیات بسیار جذاب برای سرمایه‌گذاری‌های کلان در زمینه‌های فرآوری نفت و گاز هستند. ■



مراجع	فشار (MPa)	دما (K)	حلال	جذبشونده
۳۲ و ۳۱	بالترا از ۲	۳۰۸-۳۱۸	TMACl/TEACl/TBACl:LA 1:2 TBACl:LA 1:3	CO <sub>2</sub>
۳۳	بالترا ۰/۶	۳۰۳-۳۳۳	ChCl:LevA/FurA 1:3, 1:4, 1:5	CO <sub>2</sub>
[۳۴]	۰/۱	۲۹۸	ChCl:TEG 1:4 ChCl:EG 1:4, 1:8 ChCl:Urea 1:2.5, 1:4 ChCl:Gly 1:3, 1:8 ChCl:MEA/DEA 1:6 BTPPCl:Gly 1:12 BTPPBr:EG 1:12 MTPPBr:Ea 1:6, 1:7, 1:8	CO <sub>2</sub>
[۳۵ و ۳۶]	۰/۱	۳۰۸-۳۶۳	MEA.Cl:EDA 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 Urea.Cl:EDA 1:3	CO <sub>2</sub>
۳۷	بالترا از ۲	۳۰۳-۳۴۸	ChCl:LA 1:2	CO <sub>2</sub>
[۳۸]	بالترا ۰/۱۶	۳۰۹-۳۲۹	ChCl:Urea, ChCl:EG 1:2	CO <sub>2</sub>

## پانویس‌ها

1. Deep Eutectic Solvents
2. Volatile Organic Solvents
3. Hydrogen Bond Donor
4. Hydrogen Bond Acceptor
5. Glass Transition Temperature
6. Low Transition Temperature Mixtures
7. Nuclear Magnetic Resonance
8. Transesterification

## منابع

- [1]. Pena-Pereira, F. and J. Namieśnik, Ionic liquids and deep eutectic mixtures: sustainable solvents for extraction processes. *ChemSusChem*, 2014. 7(7): p. 1784-1800.
- [2]. Welton, T., Ionic liquids in catalysis. *Coordination chemistry reviews*, 2004. 248(21-24): p. 2459-2477.
- [3]. Gordon, C.M., New developments in catalysis using ionic liquids. *Applied Catalysis A: General*, 2001. 222(1-2): p. 101-117.
- [4]. Peric, B., et al., (Eco) toxicity and biodegradability of selected protic and aprotic ionic liquids. *Journal of hazardous materials*, 2013. 261: p. 99-105.
- [5]. Pham, T.P.T., C.-W. Cho, and Y.-S. Yun, Environmental fate and toxicity of ionic liquids: a review. *Water research*, 2010. 44(2): p. 352-372.
- [6]. Deetlefs, M. and K.R. Seddon, Assessing the greenness of some typical laboratory ionic liquid preparations. *Green Chemistry*, 2010. 12(1): p. 17-30.
- [7]. Abbott, A.P., et al., Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures. *Chemical Communications*, 2003(1): p. 70-71.
- [8]. Ruß, C. and B. König, Low melting mixtures in organic synthesis—an alternative to ionic liquids? *Green Chemistry*, 2012. 14(11): p. 2969-2982.
- [9]. Dai, Y., et al., Ionic liquids and deep eutectic solvents in natural products research: mixtures of solids as extraction solvents. *Journal of natural products*, 2013. 76(11): p. 2162-2173.
- [10]. de Maria, P.D. and Z. Maugeri, Ionic liquids in biotransformations: from proof-of-concept to emerging deep-eutectic-solvents. *Current opinion in chemical biology*, 2011. 15(2): p. 220-225.
- [11]. Francisco, M., A. van den Bruinhorst, and M.C. Kroon, Low-transition-temperature mixtures (LTTMs): A new generation of designer solvents. *Angewandte Chemie international edition*, 2013. 52(11): p. 3074-3085.
- [12]. Zhang, Q., et al., Deep eutectic solvents: syntheses, properties and applications. *Chemical Society Reviews*, 2012. 41(21): p. 7108-7146.
- [13]. Smith, E.L., A.P. Abbott, and K.S. Ryder, Deep eutectic solvents (DESS) and their applications. *Chemical reviews*, 2014. 114(21): p. 11060-11082.
- [14]. Althuluth, M., et al., The ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium tris (pentafluoroethyl) trifluorophosphate as alternative extractant for BTEX separation. *Fluid Phase Equilibria*, 2015. 405: p. 17-24.
- [15]. Kareem, M.A., et al., Liquid-liquid equilibria for the ternary system (phosphonium based deep eutectic solvent-benzene-hexane) at different temperatures: A new solvent introduced. *Fluid Phase Equilibria*, 2012. 314: p. 52-59.
- [16]. Gonzalez, A.S., et al., Liquid-liquid equilibrium data for the systems {LTTM+ benzene+ hexane} and {LTTM+ ethyl acetate+ hexane} at different temperatures and atmospheric pressure. *Fluid Phase Equilibria*, 2013. 360: p. 54-62.
- [17]. Kareem, M.A., et al., Phase equilibria of toluene/heptane with tetrabutylphosphonium bromide based deep eutectic solvents for the potential use in the separation of aromatics from naphtha. *Fluid Phase Equilibria*, 2012. 333: p. 47-54.

■ ادامه منابع در (دبیرخانه) موجود است.