آیروژل، سبک‌ترین مادهٔ جامد در جهان

علی هدایتی
کارشناس ارشد شیمی و معلم شیمی میانه

چکیده

ژل‌ها از پراکنده شدن قطره‌های بسیار ریز مایع در محیط پیوستهٔ یک جامد تشکیل می‌شوند. این مواد در گروه‌هایی شامل هیدروژل، اورگانوژل، آیروژل و زیروژل طبقه‌بندی شده‌اند. خشک‌کردن ژل‌ها در شرایط فرابحرانی، پس از جایگزین شدن فاز مایع با یک گاز به تولید ماده‌ای می‌انجامد که چگالی بسیار کمی دارد و آن را آیروژل می‌نامند. آیروژل‌ها از خلل و فرج‌های فراوانی برخوردارند و از این‌رو به عنوان ماده‌ای عایق گرما در ساخت اَبَر خازن‌ها، نورگیرها و حذف عنصرهای سمّی آب کاربرد دارند. شیمی‌دانان به کمک روش سل ـ ژل، ذره‌هایی بسیار ریز در اندازهٔ نانومتر تهیه کرده‌اند و آن را در دماهای بسیار کم به مواد گوناگون تبدیل می‌کنند که آیروژل‌ها در میان این مواد جای دارند.

کلیدواژه‌ها: هیدروژل، آیروژل، خشک‌کردن فرابحرانی، روش سل ـ ژل.

مقدمه

کلوییدها با توجه به حالت ذره‌های پراکنده شده و حالت محیطی که در آن پخش شده‌اند به چند گروه تقسیم می‌شوند. ذره‌های مایع در ژل‌ها، در محیط پیوستهٔ یک فاز جامد پراکنده شده‌اند. امروزه دانشمندان به کمک روش‌های پیشرفته، ژل‌ها را خشک و به آیروژل[1] تبدیل می‌کنند. این مواد خواصی ویژه و کاربردهای تازه‌ای دارند.

شیمی‌دانان برای تهیه ذره‌های بسیار ریز در حد نانو، از روش سُل ـ ژل[2] استفاده می‌کنند که در آن، ذره‌های کلوییدی همگن پس از تشکیل و لخته‌شدن، به ژل تبدیل می‌شوند. این ژل‌ها پس از خشک‌شدن، آیروژل‌های ویژه را تشکیل می‌دهند. آیروژل‌ها به دلیل خلل و فرج فراوان و سطح بسیار بزرگ کاربردهای گوناگونی در صنایع یافته‌اند. برای تهیه آیروژل‌ها می‌توان از سیلیسیم اکسید (سیلیکا)، آلومینیم اکسید (آلومینا)، کربن و... استفاده کرد. گفتنی است که ایمنی آیروژل‌ها به طبیعت فاز جامد آن‌ها بستگی دارد و آیروژل‌های یاد شده سمّی یا سرطان‌زا نیستند اما برخی که رطوبت گیرند می‌توانند برای پوست و چشم زیان‌بار باشند.

ژل‌ها

این مواد حالتی نرم و ضعیف، تا سفت و سخت مانند ژلاتین دارند و از یک سامانه دوفازی شامل یک جامد و یک مایع تشکیل شده‌اند. فاز مایع به صورت قطره‌هایی کوچک درون شبکه‌های سه‌بعدی از ذره‌های جامد به‌دام افتاده است. استحکام ژل‌ها از همین شبکه سه‌بعدی نتیجه می‌شود که خود، ناشی از برهم‌کنش میان فاز مایع و جامد از نوع فیزیکی یا شیمیایی است. آب، روغن و هوا از جمله فازهای مایع ژل‌ها هستند. از آن‌جا که از دیدگاه وزنی یا حجمی، بیش‌ترین بخش ژلِ فعال را فاز مایع آن تشکیل می‌دهد، چگالی ژل‌ها به چگالی سیال یا فاز مایع آن‌ها وابسته است.

انواع ژل

● هیدروژل‌ها

رشته‌های آب دوست شامل پلیمرهای طبیعی یا مصنوعی بسیار جاذب را هیدروژل[3] می‌نامند. گاه، ذره‌های کلوییدی این ژل‌ها از محیط پیوسته آب منعقد شده‌اند، مانند: سیلیکون و پلی وینیل الکل.

● اورگانوژل‌ها

جامدهایی بی‌شکل و غیرشیشه‌ای هستند. فاز مایع اورگانوژل‌ها[4] را یک حلال آلی یا روغن تشکیل می‌دهد.

● زیروژل‌ها

اگر ژل به روش‌های معمولی خشک شود با از دست دادن فاز مایع، منقبض‌شده کاهش حجم پیدا می‌کند. این نوع ژل را چروکیده یا زیروژل[5] می‌خوانند.

● آیروژل‌ها

چنانچه خشک‌کردن ژل به کمک روش فرابحرانی[6] انجام گیرد، حذف فاز مایع از ژل به گونه‌ای روی می‌دهد که انقباض و کاهش حجم ژل را در پی نخواهد داشت. این ژل‌ها چگالی بسیار کمی دارند.

آیروژل‌ها و خواص آن

کشف آیروژل‌ها در سال ۱۹۶۱، توسط استیون کیستلر[7] روی داد. نخستین آیروژل از ژل سیلیکا تهیه شد و پس از آن بود که آیروژل‌هایی از آلومینیم اکسید، کروم II اکسید، قلع اکسید و کربن نیز ساخته شد. این ژل‌ها به دلیل ظاهر نیمه‌شفاف و شیوهٔ پراکندگی نور، به دود منجمد[8] یا هوای جامد[9] نیز معروفند.

آیروژل‌ها، جامدهای سخت و شکننده‌ای هستند که اندازه ذره‌ها در آن‌ها به حدود ۲ تا ۵ نانومتر می‌رسد. خلل و فرج این مواد بسیار است و حفره‌هایی به قطر کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر

دانشمندان به کمک روش‌های پیشرفته، ژل‌ها را خشک و به آیروژل تبدیل می‌کنند

استحکام ژل‌ها از همین شبکه سه‌بعدی نتیجه می‌شود که خود، ناشی از برهم‌کنش میان فاز مایع و جامد از نوع فیزیکی یا شیمیایی است

دارنـد. ذره‌های آیروژل که در شـبکه‌های سـه بعـدی با یکدیگـر پیوند دارند توده‌ای بسـیار محکم ایجاد کرده‌اند چنان‌که هر ۲ گرم از آن‌ها می‌توانند یک وزنه ۲۵۰۰ گرمی را تحمل کنند.

سـیلیکا، یکی از آیروژل‌های معروف است که بـرای آن چگالـی ۱/۹ ،٤ و حتی $1mg/cm^3$ گزارش شده است. اگر بدانیم که چگالی هوا در دمای ۲۰°C و فشـار ۱atm برابـر $1/2\ mg/cm^3$ اسـت، پس باید سیلیکا را سـبک‌ترین ماده در جهان به‌شمار آوریم.

کاربردهای آیروژل

✓ رسـانش گرمایی بسیار کم سـیلیکا آن را به عنوان عایق بسـیار خوبی در برابر گرما معرفی می‌کند. این آیروژل حتی پرتوهای فروسرخ نور را به خوبی جذب می‌کند و از این‌رو در ساختار نورگیرهای ساختمان کاربرد یافته است.

✓ آیروژل‌های کربن خلل و فرج بسـیار زیادی دارنـد و به علت برخورداری از سـطح بسـیار بزرگ، در سـاخت اَبَر خازن‌هـا به‌کار می‌روند. ایـن خازن‌ها مقاومت کـم و ظرفیت الکتریکی بسـیار زیـاد دارند. گفتنی اسـت که رسـانایی الکتریکی کربن به چگالی آن وابسته است.

✓ به دلیل سـطح بزرگ آیروژل‌هـا می‌توان از آن‌ها برای جمع‌آوری مایع‌های باقی‌مانده بر یک سطح استفاده کرد.

✓ از دانه‌هـای ریز آیروژل بـرای تقویت عایق گرمایی مواد نورگیر استفاده می‌شود.

✓ به دلیل سازگاری زیست‌شناختی، می‌توان از آیروژل‌ها در سامانهٔ رهاکننده دارو بهره گرفت؛ دارو بـه کمک کربـن دی‌اکسـید فرابحرانی بر سطح آیروژل جذب می‌شود و در حفره‌های آن جای می‌گیرد و سـپس با سرعتی کنترل شده در بدن آزاد می‌شود.

✓ شـیمی‌دانان آیروژل‌هایی طراحی کرده‌اند که در حذف برخـی عنصرهای سـنگین هم‌چون ارسـنیک، اورانیم و کروم از آب‌های زیرزمینی مناسـب بوده‌اند. پژوهش در تولید آیروژل‌هایی کـه بتوان به کمک آن‌ها مواد معدنی و آلی را از یکدیگر جدا کرد، هم‌چنان ادامه دارد.

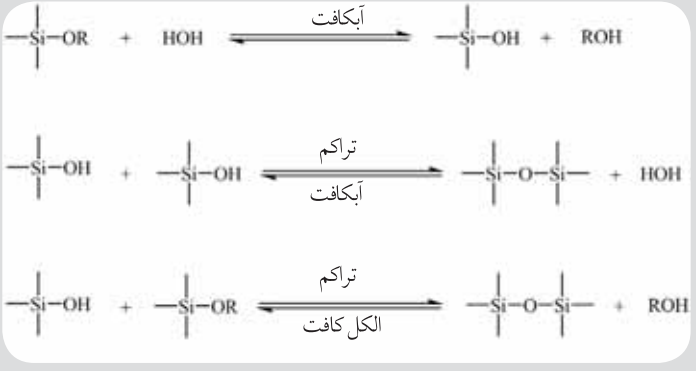
اگـر بدانیم که چگالـی هوا در دمای ۲۰°C و فشار ۱atm برابر $1/2\ mg/cm^3$ اسـت، پس باید سیلیکا را سبک‌ترین ماده در جهان به‌شمار آوریم

خشک‌کردن به شیوه فرابحرانی

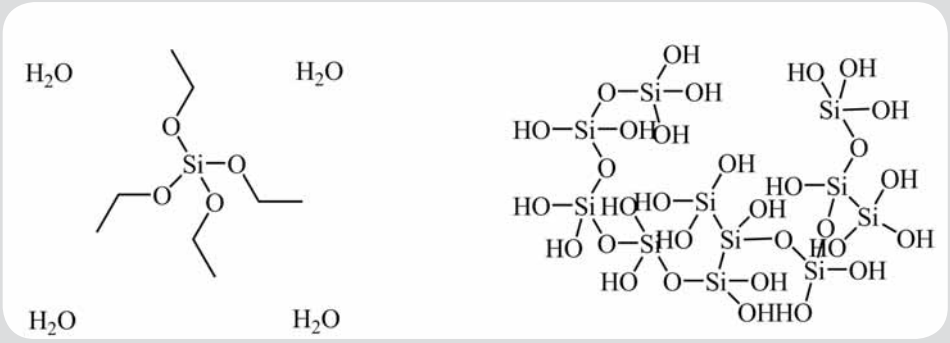
در ایـن روش، فاز مایع موجـود در ژل به کمک یک حلال امتزاج‌پذیر مانند استون برداشته می‌شـود و گازی هم‌چـون کربن دی‌اکسـید با فشـار زیاد به سـامانه تزریق می‌شـود تا جای مایـع را بگیرد. اگر دما به بالاتر از نقطه بحرانی کربن دی‌اکسـید افزایش یابد و فشار سامانه نیز به تدریج کم شـود، مایع از ژل می‌گریزد و گاز جـای آن را می‌گیرد. ژل‌هایـی که به این روش خشک می‌شـوند با افت حجمی روبه‌رو نبوده، چگالی بسیار کمی خواهند داشت.

تهیه ژل به روش سل ـ ژل

ایـن روش بـه ته‌نشـین‌کردن محلول‌های شـیمیایی نیز معروف اسـت و شیوه‌ای مناسب بـرای تولید ذره‌های بسـیار ریـز در حد ۱۰۰ نانومتر، خالص و همگن به‌شمار می‌رود. به این ترتیب کیفیت مواد سـاخته شـده از این ذره‌ها بهبود می‌یابد.



شیمی‌دانان آیروژل‌هایی طراحی کرده‌انـد کـه در حـذف برخی عنصرهـای سـنگین هم‌چـون ارسـنیک، اورانیـم و کـروم از آب‌هـای زیرزمینـی مناسـب بوده‌اند



شکل ۱ تشکیل ذره‌های کلوییدی (سُل) در محلول

در روش سل ـ ژل معمولاً از آلکوکسیدهای فلزی به عنوان پیش ماده، و از الکل به عنوان حلال استفاده می‌شود. افزایش آب به این محیط باعث آبکافت الکوکسیدهای فلزی و انجام واکنش تراکمی می‌شود:

پس از آن، مولکول‌های جدا به کمک پیوندهای Si-O-Si به هم متصل می‌شوند و درشت مولکول‌های جدید و پراکندهٔ کلوییدی (سُل) را پدید می‌آورند.

افزودن کاتالیزگرهای اسیدی یا بازی به این واکنش‌ها سرعت می‌بخشد.

در ادامه، ذره‌های کلوییدی شبکه‌های سه بعدی تشکیل می‌دهند و فاز مایع را درون خود به دام می‌اندازد. به این ترتیب ژل تشکیل می‌دهند و سرانجام ته‌نشین می‌شوند.

دانشمندان با روش سل ـ ژل ذره‌های خالص با قطر نانو تهیه کرده‌اند و آن‌ها را در دماهای پایین‌تر به سرامیک‌های پیشرفته، الیاف سرامیکی نسوز و نوری[10]، غشاهای متخلخل و محافظ[11]، روکش‌های الکتریکی و دی‌الکتریکی، اَبَر رساناها، الیاف تقویت‌کننده[12] سازه‌ها، عایق گرما، شیشه، کاتالیزگرها و... تبدیل می‌کنند. طراحان به کمک این روش شکل‌های گوناگون از یک ماده از جمله غشای نازک[13]، الیاف، گرد، قطعه‌های متراکم[14] را می‌سازند. به این شیوه ژل‌هایی با خواص گوناگون و آیروژل‌ها بسیار متخلخل تولید شده‌اند.

1. aerogel
2. sol-gel
3. aquagel
4. organogel
5. xerogel
6. super critical drying
7. Kistler, S.S.
8. solid smoke
9. solid air
10. optical and refractory ceramic fibers
11. protective and porous films
12. high temperature superconductors
13. thin films
14. sintering

۱. شیمی با نگرش تحلیلی، جلد دوم، مؤلفان (غلامعباس پارسافر، افشین شفیعی، مهدی جلالی هروی، علی‌پور جوادی و مجتبی باقرزاده)، چاپ اول، ۱۳۸۸، مؤسسه فرهنگی فاطمی

2. C. Pierre, G.M. Pajonk. "Chemistry of Aerogels and their Applications". *Chemical Reviews* 102 (11): 4243-4265. (2002)

3. Hench, L.L; J.K. West. "The Sol-Gel Process". *Chemical Reviews* 90: 33 (1990)

4. Prochazka, S.; Klug, F.J. "Infrared-Transparent Mullite Ceramic". 66: 874 *Journal of the American Ceramic Society* (1983)

5. Roger, C., and all. "Formation of porous metal oxides via sol-gel type hydrolysis of metal alkoxide complexes modified with organic templates" Journal of materials chemistry (1992)

6. en.wikipedia.org/wiki/Main_Page (2011)