NAISL
Volume2, Number 1, 2019
Pages: 05-12
Print ISSN: 2588-6401
Online ISSN: 2588-641X
Website: shaajournal.msrt.ir

Aerogels: Mechanical Properties, Center Method, Application

Mohammadreza Maraki[1*]

Abstract

Aerogels are nanomaterials that have great potential for various applications and are challenging because of technological advances and market competitiveness. From an environmental point of view, aerogels are very good thermal insulation and they are very useful in oil and gas industry or in architectural engineering. Due to the low price of aerogels, these materials can compete with popular products such as azovil as fillers in a variety of chemicals and pharmaceuticals, rubber, toner inks, detergents, cosmetics and pharmaceuticals. In addition, proprietary applications of aerogels for high-tech products include sensors, catalysts, microelectronics. Depending on market demand, the development and development of aerogels will be expected in the long run. Forecasts suggest that these materials can have a large share of the world market as heat insulation.

Key Words:

Airgel,
Center,
Application,
Mechanical Properties

(*) Corrosponding author
1.Faculty of Materials Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran.
E-mail: Maraki@birjandut.ac.ir
Tel: 09306185534

نشریه رویکردهای نوین در آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال سوم، شماره ۱، ۱۳۹۸
صفحات ۱۲-۰۵
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸
وب‌سایت: shaajournal.msrt.ir

آئروژل: خواص مکانیکی، روش سنتر، کاربرد

محمدرضا مرکی[1*]

چکیده

محمدرضا مرکی

آئروژل‌ها، نانو موادی هستند که پتانسیل زیادی برای کاربردهای مختلف دارند و به خاطر پیشرفت‌های فناوری و رقابت پذیری بازار، مقوله‌ای چالش برانگیز است. از نقطه نظر زیست محیطی، آئروژل‌ها عایق حرارتی بسیار خوبی هستند و این خاصیت آن‌ها در صنعت نفت و گاز یا در مهندسی معماری بسیار کاربرد دارد. به دلیل قیمت پائین آئروژل‌ها، این مواد می‌تواند به عنوان پرکننده در محصولات متنوع در صنعت شیمیایی و داروسازی، لاستیک، جوهر تونر، مواد شوینده، مواد آرایشی و مواد داروئی با محصولات متداول مانند آزویل رقابت کنند. به علاوه کاربردهای اختصاصی آئروژل‌ها برای محصولات با فناوری بالا شامل سنسورها، کاتالیزورها، میکروالکترونیک می‌باشد. با توجه به تقاضای بازار، توسعه و پیشرفت آئروژل‌ها در طولانی مدت مورد انتظار خواهد بود. پیش بینی‌ها حاکی از آن است که این مواد می‌توانند به عنوان عایق حرارتی سهم بزرگی از بازار جهانی را به خود اختصاص دهند.

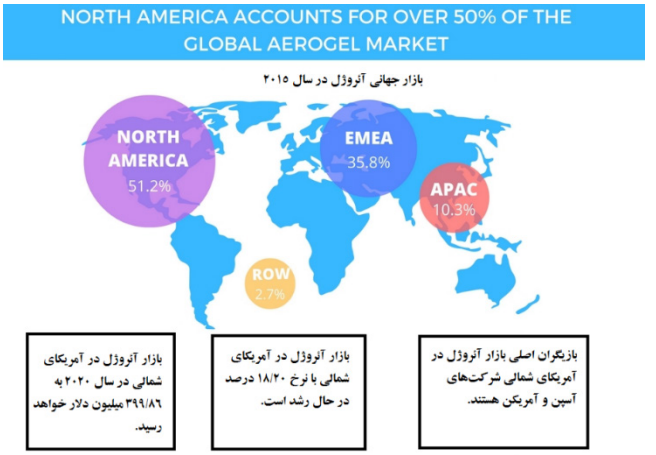
واژگان کلیدی:

آئروژل،
سنتر،
کاربرد،
خواص مکانیکی

(*) مسئول مکاتبات.
۱.هیات علمی گروه مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی بیرجند، ایران.
ایمیل: Maraki@birjandut.ac.ir
تلفن: ۰۹۳۰۶۱۸۵۵۳۴

۱ مقدمه

آئروژل‌ها اولین بار توسط استیون کیستلر در سال ۱۹۳۱ معرفی شدند[۱]. واژه «آئروژل» از دو واژه هوا و ژل تشکیل شده است. به‌طور کلی، آئروژل یک ماده بسیار سبک متخلخل است که از یک ژل مشتق می‌شود. در سنتز آئروژل، فاز مایع ژل با گاز (هوا) جایگزین می‌شود که در نتیجه آن، یک ماده با دانسیته و هدایت حرارتی پایین تولید می‌شود. حدود ۹۹/۸ درصد این نانومواد از هوا تشکیل می‌شود، بنابراین ساختار آن‌ها به صورت جامدی متخلخل با شبکه‌ای از تخلخل‌ها به‌صورت بسته‌های گازی است که باعث می‌شود آئروژل‌ها تقریباً بی‌وزن باشند[۲]. آئروژل سبک‌ترین و کم‌دانسیته‌ترین جامد شناخته شده است، به‌طوری‌که حدود ۹۹،۵-۵۰ درصد حجم آن را هوا تشکیل می‌دهد. این ژل‌ها سطحی حدود ۳۰۰۰-۲۵۰ مترمربع در هرگرم دارند، به طوری که سطح یک آئروژل با حجم یک اینچ مکعب، حدود یک زمین فوتبال است[۳]. معمولا آئروژل‌ها ساختارهایی بی‌شکل یا آمورف دارند و فاقد نظم کریستالی در ریزساختار خود هستند. به همین دلیل، این نانو مواد بسیار ترد بوده و شفافیت بسیار بالایی دارند. به دلیل خواص منحصر به فرد آئروژل‌ها، از آن‌ها در کاربردهای متنوعی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در مهندسی برق و در تولید حسگرها نیاز به موادی با سطح ویژه بالا وجود دارد. در کشاورزی، داروسازی و رهاسازی کنترل شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آئروژل‌ها به طور رضایت‌بخشی در این صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. هم‌چنین در کاربردهای هوافضا، از این نانومواد به عنوان ابزاری برای شناسایی گرد و غبار فضایی استفاده می‌شود. به‌دلیل قیمت پایین آئروژل‌ها، از آن‌ها به‌عنوان پرکننده در صنایع شیمیایی، داروسازی، جوهر، تونر، مواد شوینده و آرایشی استفاده می‌شود. شکل ۱ شمایی از بازار جهانی آئروژل در سال ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد[٤و٥]. آئروژل به عنوان بهترین ماده عایق حرارتی شناخته می‌شوند. دلیل اصلی هدایت حرارتی کم این نانو مواد، ساختار متخلخل آن‌ها است؛ به طوری که تخلخل‌های موجود در ساختار آن‌ها مانع سیلان پیوسته و مناسب حرارت می‌شود. یکی دیگر از دلایل عایق بودن آئروژل‌ها، محدود بودن مکانیزم‌های انتقال حرارت در آن‌ها است. به طور کلی، سه مکانیزم برای انتقال حرارت وجود دارد که عبارتند از: تابش، همرفت و رسانش[٦]. آئروژل‌ها دو مکانیزم همرفت و رسانش در انتقال حرارت را خنثی می‌کنند. دلیل اصلی برای حذف مکانیزم رسانش، وجود تخلخل‌های گازی بسیار زیاد در ساختار آئروژل‌ها و دلیل حذف مکانیزم همرفت، ناتوانی هوا در گردش در سر تا سر شبکه کریستالی آن‌ها است. با این وجود، انتقال حرارت توسط تابش، به دلیل امکان عبور امواج فروسرخ (این امواج توانایی انتقال حرارت دارند) از آئروژل‌ها انجام‌پذیر است. از آئروژل‌های سیلیکایی، به دلیل انتقال حرارت پایین در ساخت پنجره‌های عایق استفاده می‌شود. هدایت حرارتی آئروژل‌ها حتی از گازهای تشکیل دهنده آن‌ها هم کمتر است. دلیل این موضوع، اثر نودسن[۱] است. این اثر زمانی رخ می‌دهد که اندازه حفرات گازی، تقریباً برابر با پویش آزاد میانگین[۲] آن‌ها باشد[۷و۸].



شکل ۱- شمایی از بازار جهانی آئروژل در سال ۲۰۱۵.

۲- یک‌پارچگی آئروژل‌ها

برای استفاده موفقیت‌آمیز از آئروژل‌ها در کاربردهای مختلف، به ویژه در ابرعایق‌های حرارتی، تقویت خواص فیزیکی آن‌ها بدون آسیب زدن به خواص دیگر آن‌ها ضروری است. شفافیت آئروژل‌ها یکی از خواص فیزیکی مهم آن‌ها است که در استفاده از این نانو مواد در کاربردهای مختلف نقش بسزایی دارد. هم‌چنین، برای بهبود خواص مکانیکی آئروژل‌ها، انجام دو مرحله قبل از خشک کردن آن‌ها توصیه می‌شود که عبارتند از:

- شستن ژل مرطوب با محلول اتانول و آب.
- مرحله پیرسازی[۳] که طی آن، ژل شسته شده در تماس با محلول اتانولی که شامل پیش ماده سیلیکونی مانند تترامتیل ارتوسیلیکات است، قرار داده می‌شود. با اجرای این مراحل، سختی آئروژل‌ها بدون کاهش خواص ترآوایی آن‌ها افزایش می‌یابد[۹].

[۱] Knudsen Effect
[۲] Mean Free Path
[۳] Aging

۳- خواص مکانیکی آئروژل‌ها

از ویژگی‌های اصلی آئروژل‌ها می‌توان به سبکی و تردی آن‌ها اشاره کرد. با این وجود، استحکام آن به حدی است که قابلیت حمل با دست را داشته باشند. در مجموع، استحکام فشاری، کششی و الاستیسیته این مواد بسیار پایین است. خواص مکانیکی آئروژل‌ها وابستگی شدیدی به شرایط ساختاری آن‌ها مانند کیفیت به هم پیوستگی حفرات و دانسیته دارد. یکی از راهکارهای افزایش به هم پیوستگی ساختار آئروژل‌ها و بهبود خواص مکانیکی آن‌ها، قرار دادن ژل‌ها در محلول‌های آلکوکسید طی فرآیند پیرسازی است. با این روش، ژل‌ها در مقابل فشار موئینگی مقاوم‌تر می‌شوند[۱۰].

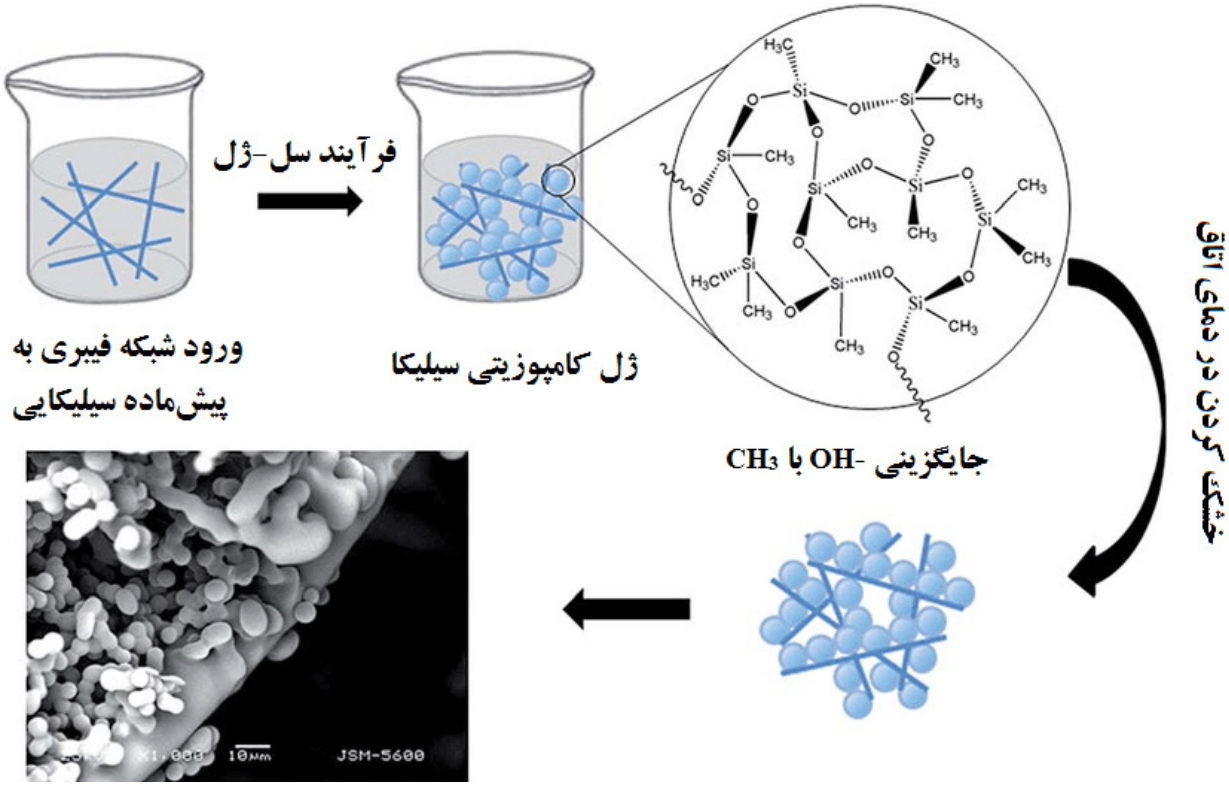
٤- روش‌های سنتز آئروژل‌ها

به‌طور کلی، روش‌های سنتز آئروژل‌ها مبتنی بر تولید آن‌ها توسط واکنش‌های پلیمریزاسیون ترکیبات مختلف به صورت ژل است. سپس ژل‌های مرطوب تولید شده با روش‌های مختلف خشک می‌شوند. محصول نهایی، موادی خشک با بافت بسیار متخلخل و سبک است.

٤-۱- فرآیند سُل – ژل

فرآیند سل-ژل در درجه حرارت‌های پایین (معمولاً کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) و در حالت مایع انجام می‌پذیرد. البته محصول نهایی به صورت جامد بوده و این مواد جامد در نتیجه فرآیند پلیمریزاسیون که شامل برقراری پل‌های بین اتم‌های فلز در مواد اولیه است، تشکیل می‌شوند. سنتز آئروژل‌ها با استفاده از فرآیند سل-ژل شامل دو مرحله است که عبارتند از:

- تشکیل ذرات جامد کلوئیدی جدا از هم با ابعاد نانومتری است.
- به هم پیوستن ذرات کلوئیدی موجود در حلال و تشکیل ژل است[۱۱].

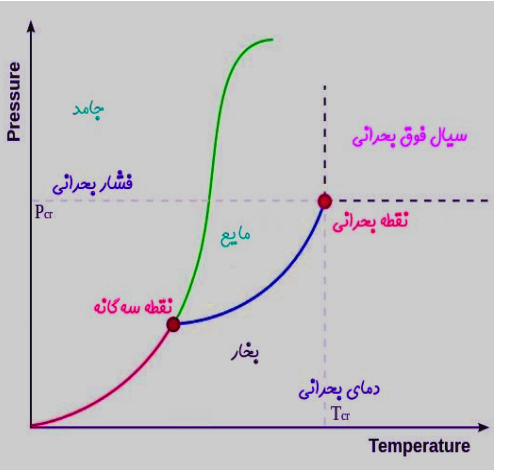


شکل ۲- شمایی از فرآیند سنتز آئروژل سیلیکایی با استفاده از فرآیند سل-ژل.

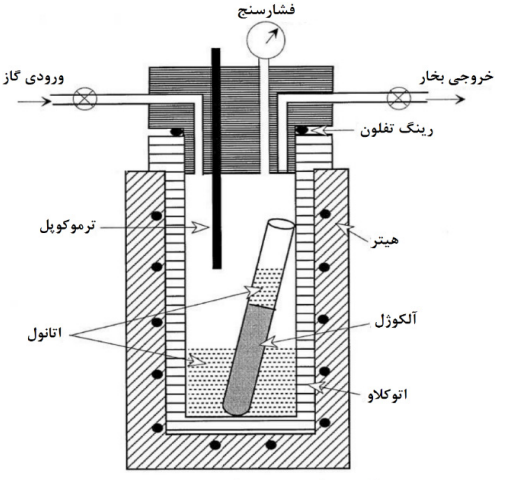
٤-٢- روش‌های تبدیل ژل مرطوب به آئروژل

٤-٢-١- خشک کردن با روش فوق بحرانی

این روش شامل حرارت‌دهی ژل‌های مرطوب در یک فضای بسته با فشار کنترل‌شده است. البته باید درجه حرارت و فشار این محیط را طوری تنظیم کرد که این مقادیر در ناحیه بحرانی مایعی که در خلل و فرج‌های ژل به دام افتاده است، قرار داشته باشد. در نتیجه می‌توان حلال را به‌صورت گاز از سیستم خارج کرد. شکل ۳ نحوه پیدا کردن نقطه بحرانی با استفاده از نمودارهای فشار- دما و شکل ٤ شماتیک از یک دستگاه اتوکلاو مورد استفاده برای خشک کردن به روش فوق‌بحرانی را نشان می‌دهند[۱۲].



شکل ۳- نحوه پیدا کردن نقطه بحرانی با استفاده از نمودارهای فشار-دما.



شکل ٤- شمایی از یک دستگاه اتوکلاو مورد استفاده برای خشک کردن به روش فوق بحرانی.

حلال‌های فوق بحرانی هم شبیه مایعات و هم شبیه گازها هستند، به‌طوری‌که مانند گازها پخش شده و دانسیته و هدایت گرمایی آن‌ها مشابه مایعات است. این حلال‌ها معمولاً فشار و حرارت بالایی دارند. هم‌چنین، حلال‌های فوق بحرانی کشش سطحی کمتری نسبت به مایعات دارند که این ویژگی باعث حفظ ساختار متخلخل آئروژل‌ها و جلوگیری از فروپاشی ساختار آن‌ها حین فرآیند خشک شدن می‌شود. جدول ۱ اسامی و ویژگی‌های تعدای از سیال‌های فوق بحرانی متداول را نشان می‌دهد[۱۳].

جدول ۱- اسامی و ویژگی‌های تعدای از سیال‌های فوق بحرانی متداول

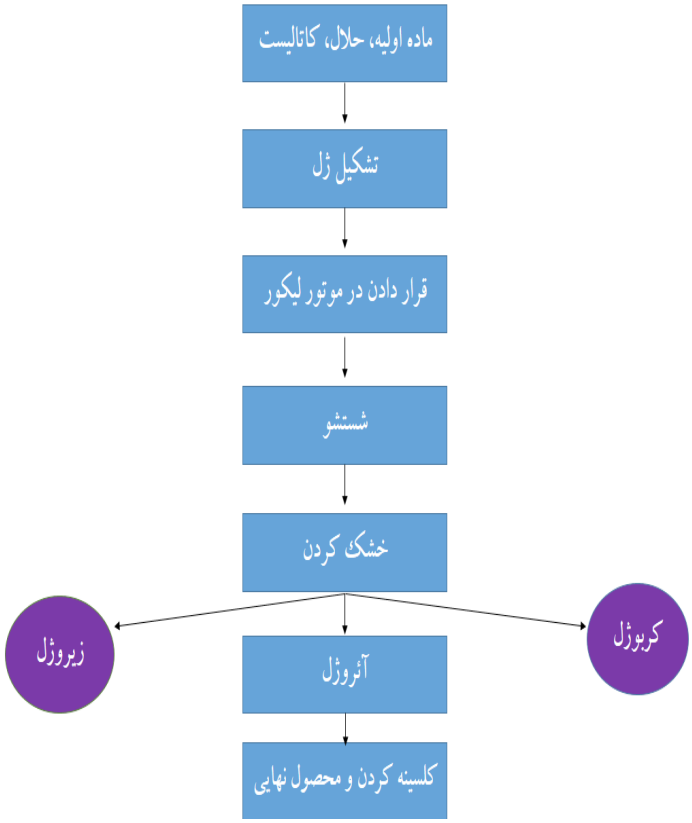
نوع سیال	دمای بحرانی (c)	فشار بحرانی (MPa)
آب	۳۷٤/۱	۲۲/۰٤
دی اکسید کربن	۳۱/۰	۷/۳۷
فریون ۱٦	۱۹/۷	۲/۹۷
استون	۲۳۵/۰	٤/٦٦
اکسید نیتروس	۳٦/٤	۷/۲٤
متانول	۲۳۹/٤	۸/۰۹
اتانول	۲٤۳/۰	٦/۳

۲-۲- سایر روش‌های خشک کردن

امکان خشک کردن ژل‌های آلی تولید شده در حلال‌های آلی با استفاده از تبخیر حلال در فشار محیط (بدون انقباض شدید) وجود دارد. هم‌چنین، در این شرایط می‌توان از سورفکتانت‌ها برای کاهش فشار موئینگی بهره برد. سایر روش‌های خشک کردن مرسوم عبارتند از:

- استفاده از افزودنی‌های شیمیایی کنترل‌کننده فرآیند خشک کردن
- فرآیندهای خشک کردن در فشار محیط؛ این روش‌ها قابلیت استفاده در مقیاس صنعتی را دارند.
- روش خشک کردن انجمادی؛ در این روش ابتدا مایع درون ژل منجمد شده و سپس با تصعید کردن خشک می‌شود. به مواد حاصل از این روش، کریوژل[۴] گفته می‌شود.

زیروژل‌ها[۵] به موادی گفته می‌شود که در شرایط معمولی خشک شده‌اند. این مواد تفاوت چندانی با آئروژل‌ها نداشته و اصلی‌ترین تفاوت آن‌ها با هم در تعداد و اندازه حفرات است؛ به‌طوری‌که آئروژل‌ها به دلیل خشک شدن با روش فوق بحرانی دارای حفرات بیشتر و بزرگ‌تری هستند. شکل ۵ فلوچارتی از مراحل سنتز آئروژل، کربوژل و زیروژل را نشان می‌دهد.



شکل ۵- فلوچارتی از مراحل سنتز آئروژل، کربوژل و زیروژل

[۴] Cryogel
[۵] Xylogel

۵- انواع آئروژل‌ها

آئروژل‌ها برحسب ترکیب شیمیایی ژل آن‌ها، به چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند:

- آئروژل‌های معدنی شامل سیلیکا آئروژل، آلومینا آئروژل و...
- آئروژل‌های آلی
- آئروژل‌های کربنی
- آئروژل‌های هیبریدی[۱۴].

۶- کاربردهای آئروژل‌ها

آئروژل‌ها، موادی بسیار متخلخل با حفره‌های نانومتری و چگالی پایین هستند که به‌طور گسترده‌ای در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. محدوده کاربردهای این نانومواد بسیار گسترده بوده و شامل معماری، نساجی، کاربردهای خانگی، محیط زیست، انرژی، صنعت خودروسازی و کاربردهای هوافضا می‌شود. هم‌چنین، آئروژل‌ها به‌دلیل دارا بودن خواص فیزیکی جالب توجه مانند هدایت حرارتی پایین و خواص مکانیکی مناسب مانند وزن کم و توانایی بالا در جذب انرژی، یک گزینه مناسب برای کاربرد در عایق‌های حرارتی و صوتی هستند. آئروژل، به دلیل دارا بودن ساختار نانو و مقدار تخلخل زیاد، خواص بسیار جالب و بی‌نظیری دارند. این خواص باعث می‌شوند تا از آئروژل‌ها در کاربردهای متنوع و گسترده‌ای استفاده شود. در ادامه برخی از این کاربردها معرفی خواهند شد[۱۵]:

- عایق‌های حرارتی
- عایق‌های صوتی
- الکترونیک و تجهیزات انرژی
- باتری‌ها
- الکترود خازن
- مواد دی‌الکتریک
- ذخیره‌کننده انرژی
- صفحه نمایش
- نیمه هادی
- کاتالیست‌ها
- حسگرها
- مواد ساختمانی
- ضربه‌گیرها

۷- نتیجه گیری

آئروژل‌ها، ژل‌هایی با حفره‌های نانومتری، چگالی پایین، تخلخل و مساحت داخلی بالا هستند. در این مقاله به بررسی خواص مختلف، روش‌های سنتز و معرفی انواع آئروژل‌ها و کاربردهای آن‌ها پرداخته شد. آئروژل سبک‌ترین و کم دانسیته‌ترین جامد شناخته شده است؛ به طوری‌که حدود ۹۹-۵/۵ درصد حجم آن را هوا تشکیل می‌دهد. تأکید شد که آئروژل به‌عنوان بهترین ماده عایق حرارتی شناخته شده‌اند. دلیل اصلی هدایت حرارتی کم این نانومواد، ساختار متخلخل آن‌ها است، به طوری که تخلخل‌های موجود در ساختار آن‌ها مانع سیلان پیوسته و مناسب حرارت می‌شود. آئروژل‌ها دو مکانیزم همرفت و رسانش در انتقال حرارت را خنثی می‌کنند. اشاره شد که شفافیت آئروژل‌ها یکی از خواص فیزیکی مهم آن‌ها است در کاربرد این نانومواد نقش بسزایی دارد. هم‌چنین راهکارهایی برای بهبود خواص مکانیکی این مواد ارائه شد. خواص مکانیکی آن‌ها وابستگی شدیدی به شرایط ساختاری آن‌ها مانند کیفیت به هم پیوستگی حفرات و دانسیته آن‌ها دارد. تأکید شد که روش‌های سنتز آئروژل‌ها مبتنی بر تولید آن‌ها توسط واکنش‌های پلیمریزاسیون ترکیبات مختلف به‌صورت ژل است. سپس ژل‌های مرطوب تولید شده با روش‌های مختلف خشک می‌شوند. روش سل-ژل به عنوان مرسوم‌ترین روش سنتز آئروژل‌ها معرفی شد. سپس به معرفی روش‌های خشک کردن ژل‌ها مرطوب مانند روش خشک کردن فوق بحرانی، پرداخته شد. گفته شد که آئروژل‌ها بر حسب ترکیب شیمیایی ژل آن‌ها، به چهار گروه معدنی، آلی، کامپوزیتی و هیبریدی دسته‌بندی می‌شوند. سپس، کاربردهای مهم آئروژل‌ها مانند کاربرد در الکترونیک و تجهیزات انرژی، کاربرد به‌عنوان عایق‌های حرارتی و صوتی، کاربرد در کاتالیست‌ها، مواد ساختمانی، ضربه‌گیرها و حسگرها معرفی شدند.

۸- مراجع

[1] Cuce, Erdem, Pinar Mert Cuce, Christopher J. Wood, and Saffa B. Riffat. "Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: a comprehensive review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 34 (2014): 273-299.

[2] Riffat, Saffa B., and Guoquan Qiu. "A review of state-of-the-art aerogel applications in buildings." International Journal of Low-Carbon Technologies 8, no. 1 (2012): 1-6.

[3] Schaefer, Dale W., and Keith D. Keefer. "Structure of random porous materials: silica aerogel." Physical review letters 56, no. 20 (1986): 2199.

[4] Hrubesh, Lawrence W. "Aerogel applications." Journal of Non-Crystalline Solids 225 (1998): 335-342.

[5] Salimian, S., A. Zadhoush, M. Naeimirad, R. Kotek, and S. Ramakrishna. "A review on aerogel: 3D nanoporous structured fillers in polymer-based nanocomposites." Polymer Composites 39, no. 10 (2018): 3383-3408.

[6] Lamy-Mendes, Alyne, Rui F. Silva, and Luisa Durães. "Advances in carbon nanostructure–silica aerogel composites: a review." Journal of Materials Chemistry A 6, no. 4 (2018): 1340-1369.

[7] Rao, A. Venkateswara, and D. Haranath. "Effect of methyltrimethoxysilane as a synthesis component on the hydrophobicity and some physical properties of silica aerogels." Microporous and Mesoporous Materials 30, no. 2-3 (1999): 267-273.

[8] Pierre, Alain C., and Gerard M. Pajonk. "Chemistry of aerogels and their applications." Chemical Reviews 102, no. 11 (2002): 4243-4266.

[9] Schmidt, M., and F. Schwertfeger. "Applications for silica aerogel products." Journal of non-crystalline solids 225 (1998): 364-368.

[10] Gurav, Jyoti L., In-Keun Jung, Hyung-Ho Park, Eul Son Kang, and Digambar Y. Nadargi. "Silica aerogel: synthesis and applications." Journal of Nanomaterials 2010 (2010): 23.

[11] Jones, Steven M. "Aerogel: space exploration applications." Journal of Sol-Gel Science and Technology 40, no. 2-3 (2006): 351-357.

[12]] Hrubesh, Lawrence W., and John F. Poco. "Thin aerogel films for optical, thermal, acoustic and electronic applications." Journal of non-crystalline solids 188, no. 1-2 (1995): 46-53.

[13] Alnaief, M., S. Antonyuk, C. M. Hentzschel, C. S. Leopold, S. Heinrich, and I. Smirnova. "A novel process for coating of silica aerogel microspheres for controlled drug release applications." Microporous and Mesoporous Materials 160 (2012): 167-173.

[14] Fesmire, James E. "Aerogel insulation systems for space launch applications." Cryogenics 46, no. 2-3 (2006): 111-117.

[15] Stergar, Janja, and Uroš Maver. "Review of aerogel-based materials in biomedical applications." Journal of Sol-Gel Science and Technology 77, no. 3 (2016): 738-752.