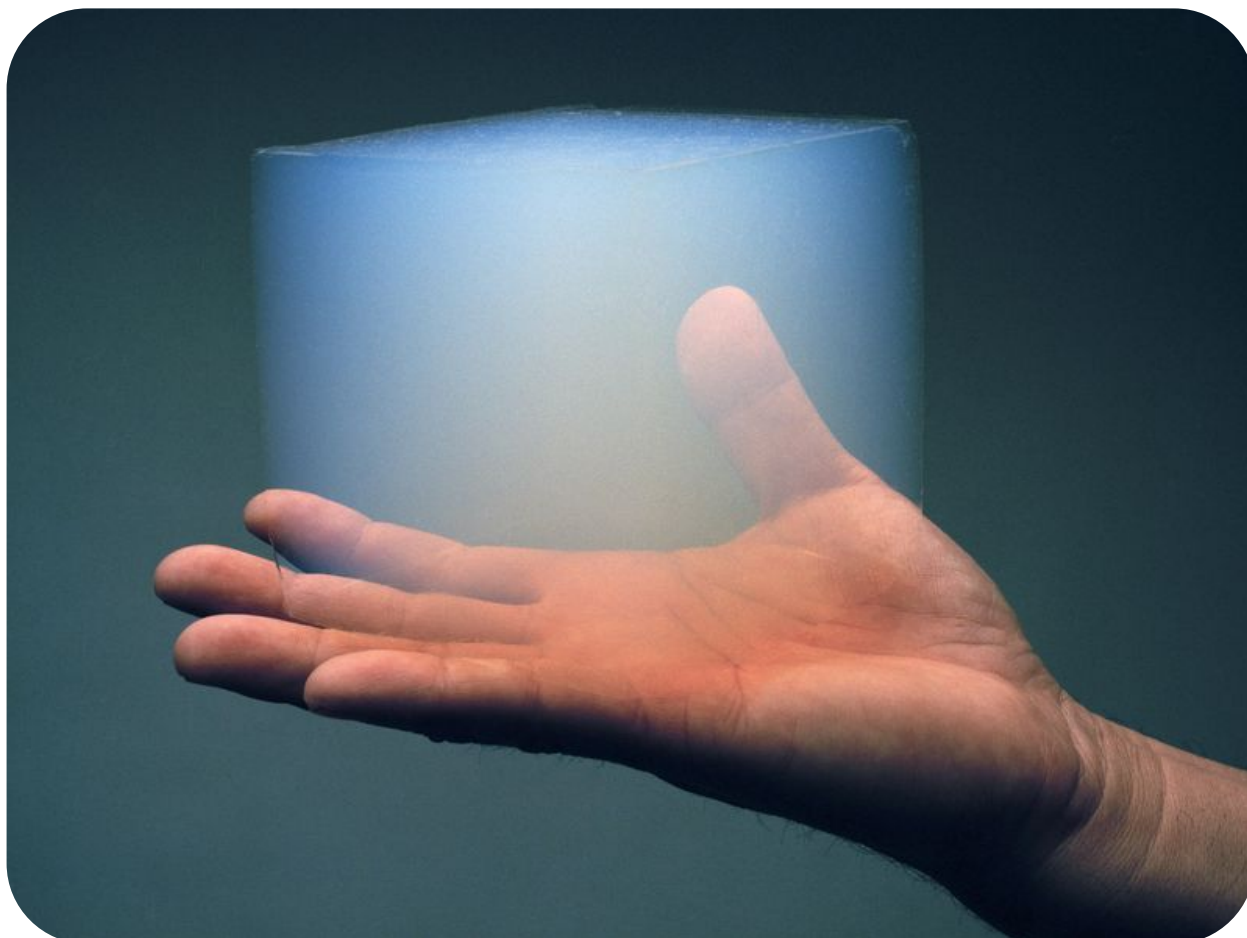




گزارش های دوره ای مقدمه ای بر فناوری آيروژل (AEROGEL)

فهرست مطالب

فهرست مطالب.....	۱
۱. مقدمه.....	۲
۲. فناوری و ویژگی‌ها.....	۲
۲.۱ خواص و انواع آبروژل‌ها.....	۲
۲.۲ کاربرد گسترده در صنایع مختلف.....	۴
۲.۳ کاربرد فناوری نانو.....	۸
۳. بازار و چشم انداز آتی.....	۸
رفرنس.....	۱۲

۱. مقدمه

آبروژل^۱ (هواژل) ماده‌ای نانو متخلخل سنتز شده از یک ژل است که در آن جزء مایع ژل با یک گاز بدون افت حجمی جایگزین شده است. معمولاً آبروژل‌ها با روش سل-ژل^۲ تولید می‌شوند. آبروژل‌ها در موارد مختلفی مانند عایق حرارتی در شیشه‌ها و سقف‌های نیمه شفاف، کاتالیست به علت سطح ویژه بالا، مواد آبریز، عایق‌بندی لباس فضانوردان، محافظت حرارتی غواصان و سیستم‌های انتقال دارو به کار می‌روند [۱]. شکل (۱) نمایی از خاصیت‌های حائز اهمیت این ماده را نشان می‌دهد.



شکل ۱.۱ (۱) عایق بسیار مناسب حرارت (۲) تحمل بار ۲٫۵ کیلوگرمی توسط یک تکه ۲ گرمی از آبروژل

۲. فناوری و ویژگی‌ها

۲.۱ خواص و انواع آبروژل‌ها

بطور کلی خواص متعددی برای این مواد در نظر گرفته می‌شود که در جدول (۱) مختصراً به آن پرداخته شده است [۲].

^۱ Aerogel

^۲ Sol-gel

جدول ۱. خواص آبروژل‌ها	
خواص	توضیح
خواص نوری	خواص نوری آبروژل‌ها به شرط تولید بستگی دارد. این مواد در روشنایی به رنگ زرد و در تاریکی آبی دیده می‌شود. روش‌های مختلف حذف آب یا رطوبت از ساختار آبروژل‌ها و شرایط واکنش از جمله پارامترهای مهم و مؤثر در خاصیت نوری آبروژل‌ها مطرح هستند
خواص مکانیکی	شکندگی انعطاف‌پذیری و پایداری ابعاد از جمله پارامترهای مهم در خواص مکانیکی آبروژل‌ها هستند. فشار الاستیک در آبروژل‌ها در حدود ۲-۴ درصد واستحکام کششی نیز در حدود 0.02 N/mm^2 است. آبروژل‌هایی که از طریق کاتالیزور اسیدی یا خنثی تهیه می‌شوند نسبت به آبروژل‌هایی که به وسیله کاتالیزور بازی سنتز می‌شود دو برابر سفتی بیشتری دارند.
هدایت گرمایی	هدایت گرمایی آبروژل‌ها تابعی از پارامترهایی است: ۱- انتقال گرما به وسیله فاز جامد ۲- انتقال گرما به وسیله فاز گازی ۳- انتقال گرما به وسیله بازتابش.
دیواره‌های شفاف	آبروژل‌ها به شدت اشعه فرو سرخ راجذب می‌کنند و کمترین ضریب هدایت گرمایی در میان جامدها را دارا می‌باشد که از آن‌ها به عنوان یک عایق حرارتی شفاف استفاده می‌شود که مانعی برای انتقال نور خورشید و انتقال حرارت مناسب است. ۹۱٪ از تابش ورودی در سطح زمین نهفته است که طول موج‌های ۴۰۰-۲۰۰ نانومتر می‌باشد که در آن شفافیت آبروژل‌ها کمتر از شیشه معمولی است. با این وجود در مقایسه با شیشه آبروژل‌ها یک عایق حرارتی منحصر به فردند که برای تجمع کارآمد تر انرژی خورشیدی و حفظ گرمای ارائه شده از سیستم‌های گرمایشی استفاده می‌شوند.

آبروژل‌ها برحسب ترکیب شیمیایی ژل آن‌ها، به چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند که شامل آبروژل‌های معدنی (شامل سیلیکا آئروژل، آلومینا آئروژل و...) آبروژل‌های آلی، آبروژل‌های کربنی و آبروژل‌های هیبریدی دسته بندی می‌شوند. شکل (۲) دسته بندی کلی این مواد را نشان می‌دهد.

آبروژل‌های معدنی

- سیلیکا ژل‌ها، اولین ژل‌های معدنی سنتز شده در شرایط اسیدی سنتز بودند. البته امروزه ژل‌های آلی طبیعی متداول‌تر هستند. امکان تبدیل همه فلزات یا اکسیدهای نیمه‌هادی به ژل وجود دارد. متداول‌ترین آبروژل‌های معدنی عبارتند از: آبروژل سیلیکا، آبروژل‌های پایه تیتانیوم، زیرکونیوم، قلع، آلومینیوم، وانادیم، کروم، آهن، تانتالیوم، مولیبدن و نئوبیم. هم‌چنین می‌توان آبروژل‌های اکسیدهای دوتایی یا سه تایی را هم سنتز کرد. البته این آبروژل‌ها به دلیل طبیعت سرامیکی خود بسیار شکننده هستند.

آبروژل‌های معدنی

- آبروژل‌های آلی با استفاده از پیش‌ماده‌های آلی سنتز می‌شوند، به‌طوری‌که حین سنتز آن‌ها پلیمرهای آلی با پیوند کوالانسی قوی (کربن-کربن) تولید می‌شود.

آبروژل‌های کربن

- آبروژل‌های کربن اولین بار در سال ۱۹۹۰ سنتز شدند. روش متداول برای سنتز این آبروژل‌ها، گرماکافت آبروژل‌های آلی در درجه حرارت‌های بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است که در نتیجه آن، آبروژل‌های آلی تبدیل به آبروژل کربنی هادی الکتریسته می‌شوند.

آبروژل‌های هیبریدی

- سنتز آبروژل‌هایی با استفاده از ترکیبات آلی - معدنی که با نام آبروژل‌های هیبریدی هم شناخته می‌شوند، باعث افزایش چشم‌گیر کاربردهای آبروژل‌ها می‌شود. به عنوان مثال، با ورود ساختارهای آلی به زمینه سیلیکایی، خواص آب‌گریزی و الاستیکی آن‌ها بهبود می‌یابد. آبروژل‌های هیبریدی معمولاً با روش سل-ژل سنتز می‌شوند. یکی از اصلی‌ترین مزایای آبروژل‌های هیبریدی نسبت به سایر آبروژل‌ها، شکنندگی کمتر آن‌ها است.

شکل ۲. دسته بندی کلی آبروژل‌ها

۲.۲ کاربرد گسترده در صنایع مختلف

آبروژل، به دلیل دارا بودن ساختار نانو و مقدار تخلخل زیاد، خواص بسیار جالب و بی‌نظیری دارند. این خواص باعث می‌شوند تا از آبروژل‌ها در کاربردهای متنوع و گسترده‌ای استفاده شود. در جدول (۲) برخی از این کاربردها گزارش شده است [۳].

جدول ۲. کاربرد گسترده آبروژل در صنایع مهم

نوع کاربرد	توضیحات
عایق‌های حرارتی	یکی از کاربردهای برجسته آبروژل‌ها، به‌خصوص آبروژل‌های سیلیکایی، استفاده از آن‌ها به‌عنوان عایق‌های حرارتی است که نسبت به سایر عایق‌ها مانند پلی‌استایرن منبسط شده (EPS)، بازدهی و کارایی بهتری دارند.
عایق‌های صوتی	آبروژل‌ها امیدانس آکوستیک بسیار پایینی دارند و به‌عنوان کاندیدای مناسبی برای ساخت تجهیزات جاذب صدا و ضربه مطرح هستند. کارایی عایق آکوستیکی کامپوزیت‌های سیلیکا آبروژل محدوده فرکانس پایین بسیار عالی است.
الکترونیک و تجهیزات انرژی	مورد استفاده در باتری‌ها، الکتروود خازن، مواد دی‌الکتریک، ذخیره‌کننده انرژی، صفحه نمایش و نیمه هادی.
حامل مواد مختلف	از آبروژل‌ها به‌عنوان حامل ترکیبات مختلف مانند رنگ‌دانه‌ها در داروسازی و کشاورزی استفاده می‌شود.
کاتالیست‌ها	مشهورترین آبروژل مورد استفاده در کاربردهای کاتالیستی، آبروژل سیلیکا-آلومینا با کلرید روی ($ZnCl_2$) است.
حسگرها	به‌دلیل دارا بودن سطح داخلی بالا، از آبروژل‌ها در ساخت سنسورهای شیمیایی-زیستی استفاده می‌شود. سنسورهای ساخته شده با آبروژل‌ها حساسیت بالایی دارند.
مواد ساختمانی	آبروژل‌ها چگالی بسیار پایینی دارند و برای ساخت مواد سبک بسیار مناسب هستند. البته، پایداری مکانیکی این مواد چالشی بزرگ بر سر راه استفاده موفقیت‌آمیز از آن‌ها در مواد ساختمانی است. راه‌کارهای مختلفی برای غلبه بر این چالش معرفی شده است که یکی از آن‌ها، اصلاح پلیمرها با الیاف طبیعی مانند سلولز است.
ضربه‌گیرها	از آبروژل‌ها به‌دلیل تردی بالای آن‌ها، در ضربه‌گیرها استفاده می‌شود؛ چرا که جذب انرژی سنتیکی آن‌ها بسیار عالی است.

سیلیکا آبروژل‌ها در پنجره‌های عایق کاربرد دارند که مانع از ورود و خروج گرما می‌شوند. از جمله مزایای دیگر آبروژل‌ها آتشگیر نبودن آن‌هاست. این عایق‌ها در سیستم‌های گرمایش و سرمایش، باتری‌های با کاربرد دمای بالا، عایق لوله‌ها، مخازن تحت گرما و سرما، لوله‌آگروز ماشین، به‌عنوان پوشش جاذب انرژی خورشید در سلول‌های خورشیدی جهت ذخیره‌سازی انرژی و... می‌توانند به کار برده شوند. خواص نوری آبروژل‌ها به شرایط تولید آنها بستگی دارد. این مواد در روشنایی به رنگ زرد و در تاریکی به رنگ آبی دیده می‌شوند. روش‌های مختلف حذف حلال، حذف آب یا رطوبت از ساختار آبروژل و شرایط واکنش از جمله پارامترهای مهم و موثر در خاصیت نوری آبروژل‌ها مطرح هستند. ر حال حاضر در سطح دنیا از ترکیبات آبروژلی برای عایق‌کاری دما استفاده می‌کنند؛ زیرا کارایی آن‌ها نسبت به عایق‌های مرسوم قدیمی از نظر میزان مصرف و فضای اشغال‌شده بسیار بیشتر است. همچنین آبروژل‌ها در مقایسه با عایق‌های مضر مانند آزبست‌ها و پشم شیشه، معضلات محیط‌زیستی ندارند. اگرچه قیمت این محصولات می‌تواند بالا باشد اما نسبت به قیمت انرژی در کشورهای غربی به‌خصوص آمریکا و با توجه به واقعی بودن قیمت انرژی از آبروژل‌ها برای عایق‌کاری و جلوگیری از هدررفت انرژی استفاده، شکل (۳).



شکل ۳. نمایی از عایق‌کاری لوله‌های خطوط سرد و گرم

یکی دیگر از کاربردهای این محصول در حوزه پاکسازی لکه‌های نفتی می‌باشد، هرچند کاربرد فناوری نانو برای پاکسازی آلودگیهای نفتی هنوز در مراحل ابتدایی است، ولی برای آینده امیدوارکننده است. در پنج سال گذشته، علاقه به جستجوی روشهای یافتن راه‌حلهای مناسب برای پاکسازی آلودگیهای نفتی با استفاده از نانومواد به صورت جهانی رشد چشمگیری داشته است. به طور کلی دو مسیر تصفیه اصلی برای آلودگی شناخته شده است:

جذبی و واکنشی. هردوی این روش‌ها می‌توانند به عنوان فرآیندهای پاکسازی در محل یا خارج از محل به کار برده شوند. درمورد آبهای آلوده نفتی، روشهای مرسوم برای حل مشکل نشت حجیم نفت معمولا کافی نیستند.

نانومواد که برای پاکسازی آلودگیهای نفتی شامل به کار می‌روند، عبارتند از: ۱- آبروژل‌ها (آبروژل آبگریز، آبروژل سیلیکایی عامل دار شده با تریفلوئوروکربن، آئوروسها)، ۲- پخش کننده‌های نانویی (میسلهای تشکیل-دهنده محلولهای کلوئیدی مواد شیمیایی بر پایه زیستی)، ۳- نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی (اکسید آهن، نانورسها، آهن/کربن، اکسید آهن/کربن، نانوکامپوزیت های پلیمری مغناطیسی)، ۴- غشاها (بر پایه نانوسیم های اکسید منگنز)، ۵- فومها (ابرآب گریزها و ابرچربی دوستها)، ۶- فیلترها و پدها (فیلترهای کتانی آبدوست یا دافع چربی، کاغذهای فیلتر ابرچربی دوست و یا ابرآب گریز)، ۷- نانوساختارهای کربنی (گرافن کرمی شکل، اسفنجهای نانو لوله های کربنی)، ۸- ارگانوکل (رس های آلی) آب گریز نانوساختار، ۹- نانو و میکرو اکسید تیتانیوم برای تجزیه فتوکاتالیستی. کارهای اولیه بر روی آبروژل ها، اهمیت این ماده را برای پاکسازی آب نشان می دهد.

بطور کلی کاربرد محصولات بلکنت در صنایع مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است.



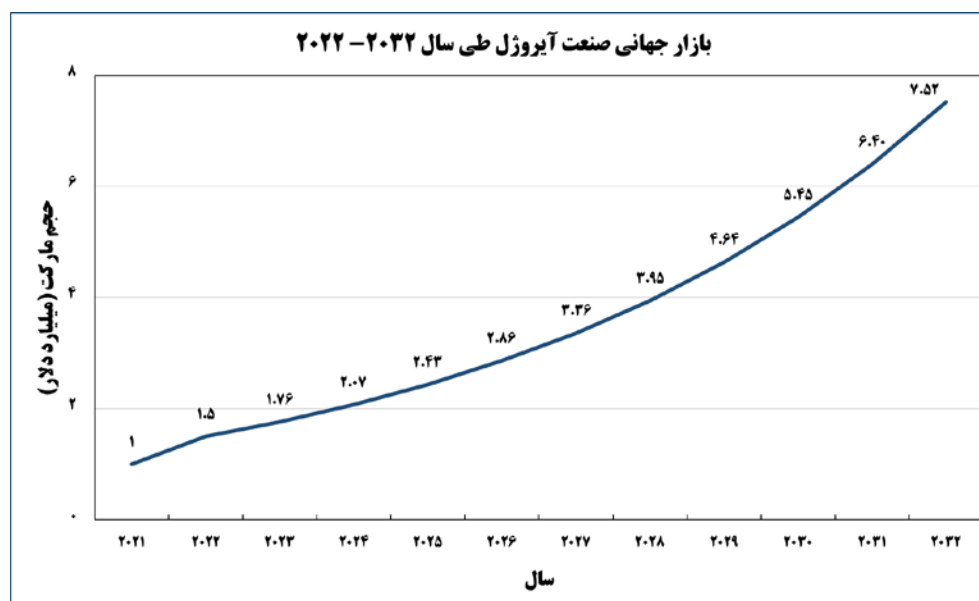
شکل ۴. عایق کاری لوله‌های خطوط سرد و گرم

۲.۳ کاربرد فناوری نانو

آبروژل‌ها اگرچه بر اساس تعاریف جزء نانومواد قرار نمی‌گیرند اما خواص ساختاری نانومقیاسی را دارا می‌باشند. آبروژل سیلیس معمول‌ترین نوع آبروژل است که از سیلیکاژل مشتق می‌شود. آبروژل‌ها حاوی میکروتخلخل‌ها (حفرات با قطر کمتر از ۲ نانومتر)، مزوتخلخل‌ها (حفرات با قطر بین ۲ تا ۵۰ نانومتر) و ماکروتخلخل‌ها (حفرات با قطر بیش از ۵۰ نانومتر) هستند و عمدتاً میانگین قطر حفرات حدود ۲۰ نانومتر است. این مواد خواص بی‌نظیری مانند پایداری ابعادی، سطح ویژه (بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ مترمربع بر گرم)، تخلخل (۸۵ تا ۹۹٫۸ درصد)، چگالی پایین، هدایت حرارتی کم، شفافیت بالا و ثابت دی الکتریک بسیار پایین هستند.

۳. بازار و چشم انداز آتی

با توجه به گزارش بین المللی futuremarketinsights منتشر شده در سال ۲۰۲۲، حجم بازار جهانی آبروژل‌ها ۱٫۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۲ ارزیابی شده است که پیش‌بینی می‌شود که با تجربه یک نرخ رشد مرکب سالیانه ۱۷٪ به ۷٫۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۳۲ برسد [۴]. شکل (۵) روند کلی این بازار را طی دوره ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۲ نشان می‌دهد.



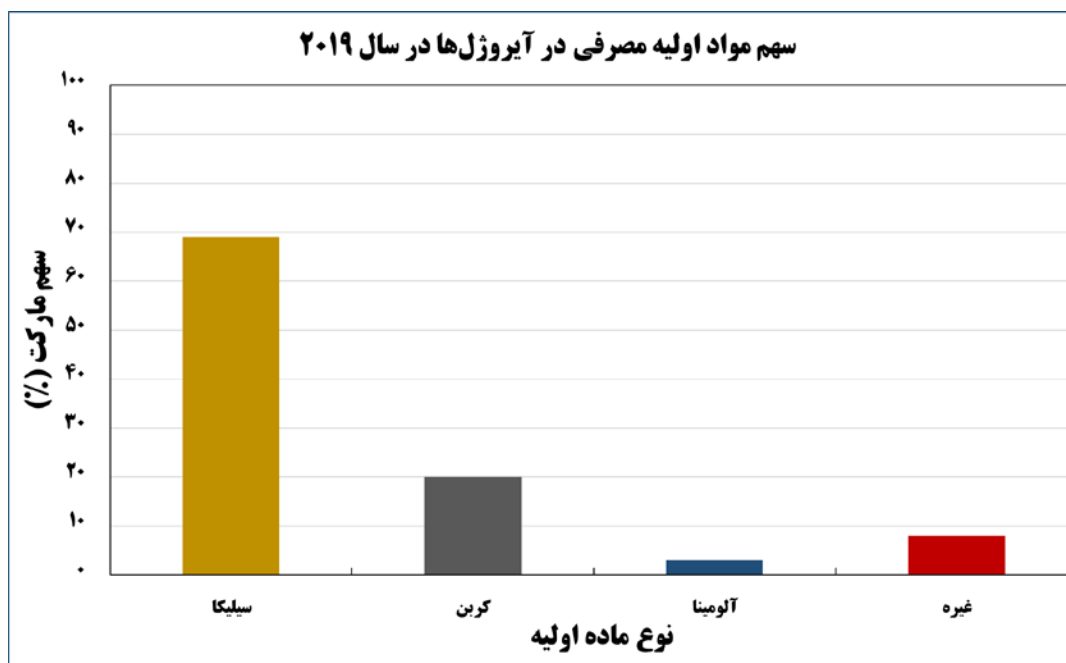
شکل ۵. روند جهانی محصولات آبروژل طی سال های ۲۰۲۲-۲۰۳۲

• بازار از منظر موقعیت جغرافیایی

بر اساس گزارش تحلیلی وبگاه Alliedmarketresearch در خصوص بازار آبروژل‌ها طی سال‌های ۲۰۲۷-۲۰۱۹، آمریکای شمالی پیش‌تاز بازار محصولات آبروژل در سال ۲۰۱۹ معرفی شد و سهم بازار ۳۹,۱ درصد را به خود اختصاص داد که دلیل آن افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به گرم شدن کره زمین است که به نوبه خود، پذیرش راه حل‌های عایق مانند آبروژل را در کاربردهای صنعتی و خانگی مانند ساختمان‌ها و صنایع مرتبط با پالایشگاه‌های نفت و گاز افزایش می‌دهد [۵].

• بازار از منظر نوع ماده اولیه

در سال ۲۰۱۹، بخش سیلیکا آبروژل بیشترین سهم را با ۶۹ درصد در بازار جهانی به خود اختصاص داد. این امر به این واقعیت نسبت داده می‌شود که آبروژل‌های سیلیکا دارای خواص منحصر به فرد عایق حرارتی و ویژگی‌هایی مانند سبک وزنی، خنثایی شیمیایی و قابلیت استفاده مجدد می‌باشند، شکل (۶).



شکل ۶. روند جهانی محصولات آبروژل طی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۳۲

• بازار از منظر فرم و شکل

در سال ۲۰۱۹، بلانکت به دلیل افزایش استفاده از آن در عایق کاری ساختمان و صنعت نفت و گاز، با سهم ۶۹ درصدی در بازار جهانی آبروژل، بزرگترین مولد درآمدی در این بازار بود. بیشترین کاربرد این محصولات از منظر نوع پس از بلنکت‌ها به ترتیب مربوط به ذرات، بلوک‌ها و پانل‌ها می‌باشد.

• بازار آبروژل بر اساس کاربرد در صنایع

در سال ۲۰۱۹، صنایع نفت و گاز با سهم بازار ۵۶ درصد بیشترین درآمدزایی را داشت. این امر به خنثایی شیمیایی و هدایت حرارتی کمتر آبروژل نسبت داده می‌شود که آن را به ماده‌ای مناسب برای عایق بندی خط لوله تبدیل می‌کند.

• بازیگران اصلی این حوزه

در این خصوص تعدادی از شرکت‌های مطرح در حوزه تولید محصولات مرتبط با آبروژل در جدول (۳) گزارش شد.

جدول ۳. شرکت‌های مطرح در زمینه ساخت کمپرسورهای بدون روغن		
نام شرکت	ملیت	لوگو
ARMACELL INTERNATIONAL S.A.	لوکزامبورگ	
ACTIVE AEROGELS	پرتغال	
AEROGEL TECHNOLOGIES LLC	آمریکا	
ASPEN AEROGELS INC.	آمریکا	
BASF SE	آلمان	

	آمریکا	CABOT CORPORATION
 	آمریکا	DOW INC
	سنگاپور	JIOS AEROGEL CORPORATION
	سوئد	SVENSKA AEROGEL AB
	انگلستان	THERMABLOK AEROGELS LIMITED

درفرئس

۱. Wikipedia. *Aerogel*. ۲۰۲۲; Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>.
۲. education, N. ۲۰۲۱; Available from: <https://nanoeducation.ir/article-detail/%D9%A5%D8%B9%D8%B1%D9%A1%DB%AC/K%hiewdwYWZwNTIEQldvbWhtUDczZz%9/>.
۳. Noroozi, M., et al., *Nanostructure of aerogels and their applications in thermal energy insulation*. ACS Applied Energy Materials, ۲۰۱۹. ۲(۸): p. ۵۳۱۹-۵۳۴۹.
۴. futuremarketinsights, *Aerogel Market Overview (2022-2032)*. ۲۰۲۲.
۵. Alliedmarketresearch, *Aerogel Market Outlook (2020-2027)*. ۲۰۲۰.



Santa-co.ir



Info@santa-co.ir



۰۲۱-۵۸۱۵۶۱۰۰



**خیابان شهید بهشتی، خیابان یکم بخارست،
پلاک ۲۱**



صنایع نانوتک آینده