

Review Article



DOI: 10.22034/ijche.2022.322850.1168



DOR: 20.1001.1.17355400.1402.22.126.2.1



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license(CC BY-NC-ND 4.0).

A Review of Applications and Methods of Preparation of Magnesium Hydroxide and its Effective Factors

N. Esfandiari^{1*}, T. Soleymani², M. Javidfar²

1- Assistant Professor of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvasht, Iran

2- PhD Student of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvasht, Iran

Email: esfandiari_n@miau.ac.ir

Abstract

Magnesium hydroxide is a substance with the chemical formula $Mg(OH)_2$ that is found in nature as an inorganic mineral of brucite. This chemical compound can be synthesized in the form of a solid white powder. It has very little solubility in water. Magnesium hydroxide belongs to a group of compounds of a unique nature due to its large number of desirable properties and applications. Magnesium hydroxide is one of the main antacid compounds such as magnesium milk as well as laxatives. Of course, this compound is also used in other fields such as the food industry, water, and wastewater treatment, and the production of fire retardant sprays. In industrial laboratories, this compound is also used to form and synthesize many chemical compounds such as magnesium oxide. This compound is known as a food additive by the U.S. Food and Drug Administration completely wholesome. For this reason, manufacturers of pharmaceutical products and dietary supplements use this compound. There are many factors that cause the acidification of industrial effluents and wastewater. One of the steps that are necessary for the process of water treatment and distance is pH neutralization. Researchers use magnesium hydroxide for this purpose. Considering the importance of this material in this study, applications and methods of preparation of magnesium hydroxide including precipitation, sonochemical, electrochemical, microwave radiation, etc. were investigated and the factors affecting it were investigated. The advantages and disadvantages of each method and the parameters affecting the final product have been investigated in each method.

Received: 3 January 2022

Accepted: 21 February 2022

Page Number: 39-54

Keywords:

Magnesium Hydroxide,
Production,
Application,
Advantage,
Disadvantage

Please Cite this Article Using:

Esfandiari, N., Soleymani, T., Javidfar, M., "A Review of Applications and Methods of Preparation of Magnesium Hydroxide and its Effective Factors", Iranian Chemical Engineering Journal, Vol. 22, No. 126, pp. 39-54, In Persian, (2023).



DOI: 10.22034/ijche.2022.322850.1168



DOR: 20.1001.1.17355400.1402.22.126.2.1

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

مروری بر کاربرد و روش‌های تهیه هیدروکسید منیزیم و عوامل مؤثر بر آن

نادیا اسفندیاری^{۱*}، طاهره سلیمانی^۲، میثم جاویدفر^۲

۱- استادیار مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

پیام نگار: esfandiari_n@miau.ac.ir

چکیده

هیدروکسید منیزیم ماده‌ای است با فرمول شیمیایی $Mg(OH)_2$ که در طبیعت به صورت کانی معدنی بروسیت یافت می‌شود. این ترکیب شیمیایی به شکل یک پودر جامد سفیدرنگ قابل سنتز است که انحلال پذیری بسیار کمی در آب دارد. هیدروکسید منیزیم با توجه به خواص ویژه و کاربردهای مختلفش طرفدار پیدا کرده است. هیدروکسید منیزیم یکی از ترکیبات اصلی آنتی‌اسیدی چون شیر منیزیم و هم‌چنین ملین‌هاست. البته این ترکیب به جز داروسازی و پزشکی در زمینه‌های دیگری هم‌چون صنایع غذایی، تصفیه آب و پساب و تولید افشانه‌های بازدارنده آتش کاربرد دارد. به‌غیر از موارد گفته‌شده، در آزمایشگاه‌های صنعتی از این ترکیب برای تشکیل و سنتز بسیاری از ترکیبات شیمیایی هم‌چون اکسید منیزیم استفاده می‌شود. سازمان غذا و داروی آمریکا این ترکیب را به‌عنوان یک افزودنی غذایی، کاملاً سالم و بی‌خطر شناخته است. از همین رو تولیدکنندگان فراورده‌های دارویی و مکمل‌های غذایی از این ترکیب استفاده می‌کنند، لذا با توجه به اهمیت این ماده، در این پژوهش به بررسی روش‌های سنتز هیدروکسید منیزیم- که شامل ترسیب، سونوشیمیایی، الکتروشیمیایی، استفاده از امواج مایکروویو است- و هم‌چنین کاربرد آن پرداخته شد. برتری‌ها و کاستی‌های هر یک از روش‌ها و شاخص‌های مؤثر بر محصول نهایی در هر یک از روش‌ها بررسی شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

شماره صفحات: ۳۹ تا ۵۴

کلیدواژه‌ها:

هیدروکسید منیزیم،

تولید،

کاربرد،

برتری‌ها،

کاستی‌ها

* مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه مهندسی شیمی

استناد به مقاله:

اسفندیاری، ن.، سلیمانی، ط.، جاویدفر، م.، "مروری بر کاربرد و روش‌های تهیه هیدروکسید منیزیم و عوامل مؤثر بر آن"، نشریه مهندسی شیمی ایران، سال بیست و دوم، شماره ۱۲۶، صص. ۵۴-۳۹، (۱۴۰۲).

۱. مقدمه

نانوفناوری علمی است که به طراحی، تولید، بررسی ویژگی‌ها و کاربرد مواد در مقیاس نانو می‌پردازد. امروزه با پیشرفت علم در زمینه نانومواد، ذراتی در مقیاس نانو- برای موارد مختلف از جمله مواد دارویی- تولید می‌شوند. نانوذرات به‌عنوان مواد اولیه برای تولید ساختارهای پیچیده استفاده می‌شوند. استفاده از نانوذرات باعث بهبود و تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌شود. تولید مواد در مقیاس نانو در سال‌های اخیر گسترش یافته است. هیدروکسید منیزیم یکی از این مواد است. هیدروکسید منیزیم خواص ویژه‌ای از جمله خاصیت ضد باکتریایی، سمی و پایداری حرارتی دارد. این خواص باعث استفاده گسترده از آن در صنایع مختلف شده است [۱-۶]. ثابت انحلال‌پذیری هیدروکسید منیزیم پایین است؛ بنابراین ترسیب آن از محلول‌های دارای منیزیم با استفاده از ماده قلیایی، یکی از روش‌های تهیه این ماده است [۷]. هیدروکسید منیزیم در زیست‌فناوری، حفاظت از محیط زیست، ساختمان‌سازی، الکتروشیمی و داروسازی استفاده می‌شود [۸-۱۰]. در این مطالعه، روش‌های مختلفی برای تهیه هیدروکسید منیزیم اعم از روش ترسیب^۱، سونوشیمیایی^۲، سل-ژل^۳، الکتروشیمیایی و روش‌های هیدروترمال^۴، مایکروویو و رسوب فاز بخار بررسی شد. برتری‌ها و کاستی‌های هر یک از روش‌ها و عوامل تأثیرگذار بر روی محصول نهایی بررسی شد. با این بررسی و تقسیم‌بندی، بر اساس میزان ماده مورد نیاز و تجهیزات در دسترس می‌توان تصمیم‌گیری کرد که از کدام روش برای تولید این ماده استفاده شود. پس از انتخاب روش، عوامل مؤثر بر کنترل اندازه و توزیع اندازه ذرات مشخص است. بررسی کاربرد هیدروکسید منیزیم کمک می‌کند تا در سنتز این ماده به‌منظور کاربرد خاص، سعی شود از روشی استفاده شود که خواص مورد نظر را ایجاد کند.

۲. روش‌های تولید هیدروکسید منیزیم

۲-۱ روش حلال گرمایی^۵ یا هیدروترمال

در تولید مواد با روش هیدروترمال، از واکنش‌های شیمیایی در

محلول‌های آبی تحت فشار و در دمای بالاتر از نقطه جوش برای متبلور کردن مواد استفاده می‌شود. از برتری‌های اصلی پودرهای سنتز شده به روش هیدروترمال، می‌توان به کم‌بودن کلوخه‌شدگی، علاوه بر کنترل عالی اندازه بلورها و ریخت‌شناسی اشاره کرد [۱۱، ۱۲].

محصولات تولید شده با روش هیدروترمال، معمولاً همگن است. تعدادی از محلول‌های آبی مختلف وجود دارد که قادر هستند هم نقش حلال و هم نقش محیط واکنش را داشته باشند. استفاده از آن‌ها در روش هیدروترمال در میان سایر موارد، روند انتشار، جذب و یونیزه کردن را تسریع می‌کند، حلالیت و همگن‌سازی محصولات را بهبود می‌بخشد و در نتیجه سینتیک واکنش‌های شیمیایی و تبلور را با کیفیت می‌کند. در روش هیدروترمال بلورهای هیدروکسید منیزیم با اندازه‌های ۱۰ نانومتر × ۵۰ نانومتر و با سطح ویژه ۱۰۰ متر مربع امکان تولید دارد [۱۳].

بزرگترین کاستی این روش، دمای بالاست که باعث ایجاد محدودیت استفاده از آن در مقیاس صنعتی می‌شود. فرایند تولید هیدروکسید منیزیم با روش هیدروترمال در اتوکلاو از جنس فولاد ضدزنگ انجام می‌شود که با یک لایه نازک تفلون روکش می‌شود تا در مقابل خوردگی محافظت شود. یک ماده اولیه حاوی منیزیم (نمک‌های منیزیم) در راکتور قرار می‌گیرد و حلال به‌میزان ۷۰ درصد از حجم کل راکتور به آن اضافه می‌شود. اتوکلاو کاملاً بسته می‌شود و سپس برای مدت زمان مشخصی تحت تأثیر دمای بالا قرار می‌گیرد. بعد از خنک‌شدن، محصول شسته و خشک می‌شود [۱۴]. به فرایندی که در آن محلول‌های آبی با محلول‌های دیگر یا با یک حلال در شرایط فوق بحرانی یا تقریباً فوق بحرانی جای‌گزین می‌شوند، فرایند حلال گرمایی می‌گویند. استفاده از روش‌های حلال گرمایی اغلب به‌مقدار قابل توجهی ناخالصی‌های موجود در محصولات تولید شده با سنتز هیدروترمال را کاهش می‌دهد [۱۵، ۱۶].

بالاً و همکاران سطح زئولیت سیلیکا و سیلیکا آلومینیوم را با یک لایه رسوب هیدروکسید منیزیم، با استفاده از روش حلال گرمایی پوشش دادند. یک سطح هیدروکسید منیزیم با حجم منافذ قابل توجه تشکیل شد. استفاده از این پوشش باعث بهبود خاصیت چسبندگی زئولیت/ بسیار شد [۱۵]. نتایج آزمایشی که دینگ و

1. Precipitation
2. Sonochemical
3. Sol-Gel
4. Hydrothermal
5. Solvothermal

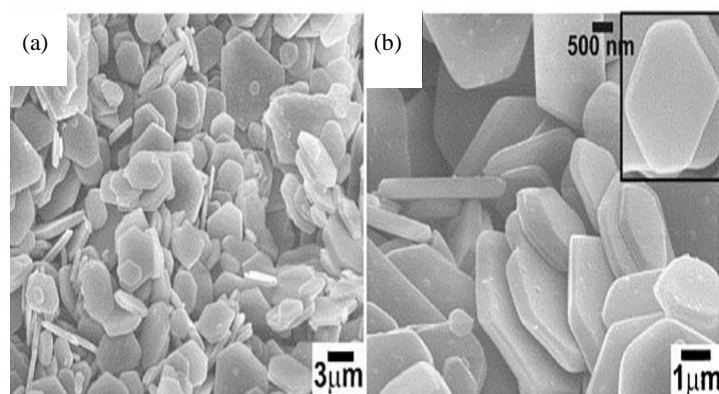
6. Bae

همکاران انجام دادند، کنترل مؤثر اندازه و شکل ذرات محصول تولیدی را با روش هیدروترمال نشان داد [۱۳]. یان و همکاران تأثیر ریخت‌شناسی^۱ محصول به pH و دما را مطالعه کردند [۱۷]. کوماری و همکاران [۱۸] هیدروکسید منیزیم را با استفاده از نمک‌های مختلف منیزیم تهیه کرد. بسته به شرایط واکنش (زمان، دما)، ریخت‌شناسی به ترتیب پس از ۳ ساعت، ۱۲ ساعت و ۴۸ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه با درجه بالایی از خلوص به صورت میکرودیسک، نانودیسک و چندوجهی به دست آمد (شکل (۱)).

گونگ^۲ و همکاران سنتز مستقیم نانوذره هیدروکسید منیزیم را از راه فرایند هیدروترمال با استفاده از بروسیت و در حضور لاکتات منیزیم انجام دادند. لاکتات منیزیم در انتقال گروه‌های هیدروکسی از بروسیت به نانوذره هیدروکسید منیزیم نقش دارد. هیدروکسید منیزیم حاصل، ذراتی به اندازه ۳/۸ نانومتر داشت که این ماده را برای استفاده به عنوان کاتالیزور مناسب می‌کند [۱۹]. در تحقیقی دیگر چن^۳ و همکاران هیدروکسید منیزیم را در اندازه نانو با استفاده از روش هیدروترمال آمونیاک تولید کردند. اسید سیتریک و مونواتانول آمین به ترتیب برای رسوب آمونیاک در فرایند هیدروترمال به واکنش اضافه می‌شوند تا تبلور و پراکندگی هیدروکسید منیزیم را بهبود بخشند. آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی و تجزیه گرما وزنی برای بررسی مواد انجام گرفت. نتایج نشان داد که نانوصفحه هیدروکسید منیزیم با قدرت پراکندگی بالا با قطر ۲۴۶ نانومتر تولید شده است [۲۰].

۲-۲ روش سونوشیمیایی

سونوشیمی یکی از روش‌های تولید نانوذرات در محیط مایع است. در این روش از امواج فراصوت کمک گرفته می‌شود. استفاده از امواج صوتی با شدت بالا در یک سیال، تولید حباب‌های ریز بسیار می‌کند. حباب‌ها ابتدا کوچک هستند و سپس رشد کرده، به اندازه بحرانی می‌رسند. در این حالت حباب‌ها از بین می‌روند و باعث افزایش دما و فشار موضعی در همان منطقه می‌شوند. هنگامی که از این روش استفاده می‌شود، توان و بسامد امواج فراصوت نیز بر مشخصات نانوذرات تولیدی تأثیر دارند. در این روش امواج فراصوت قدرتمند در فرکانس‌های بین ۲۰ کیلوهرتز و ۱۰ مگاهرتز استفاده می‌شوند. امواج فراصوت باعث تشکیل و فروپاشی میکروحباب‌ها، تولید نقاط داغ^۴ در دمای بالا (تقریباً ۵۰۰ کلوین) و تحت فشار حدود ۱۰۰۰ اتمسفر می‌شود. در مقایسه با روش‌های مرسوم برای سنتز نانومواد، روش سونوشیمیایی امکان افزایش سرعت واکنش و سنتز مواد با اندازه کوچک‌تر و شکل همگن را فراهم می‌کند. یک برتری سنتز سونوشیمیایی توانایی به دست آوردن کلاس‌های مختلف مواد با تغییر در محیط واکنش است. هنگامی که ماده اولیه آلکان‌های با نقطه جوش زیاد مانند دکان یا هگزادکان تحت امواج فراصوت قرار می‌گیرد، نانومواد حاصل از آن به شکل پودر با تخلخل زیاد تولید می‌شود. در حالی که اگر از لیگاندهای بسپاری استفاده شود، محصولات کلوئیدی هستند.

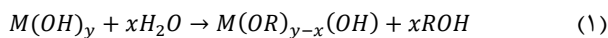


شکل ۱. عکس SEM از میکروذره هیدروکسید منیزیم سنتز شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس برای زمان ۳ ساعت در بزرگ‌نمایی‌های مختلف [۱۸].

Figure 1. SEM image of micro magnesium hydroxide synthesis at 200° and 3 h with different scale [18].

واکنش می‌دهند. مدتی است که از روش سل-ژل برای تهیه اکسیدهای فلز به شکل نانومتری استفاده می‌شود. در این فرایند بر اساس آبکافت مواد اولیه فلز واکنش دهنده، معمولاً آلکوکسیدها، هیدروکسید فلز تولید می‌شود. چگالش مولکول‌ها، که با حذف آب همراه است، منجر به تشکیل یک شبکه ساختاری به شکل یک ژل متخلخل متراکم می‌شود. جداسازی حلال و خشک شدن مناسب ژل، یک هیدروکسید فلزی به شکل پودر تشکیل می‌دهد [۲۳ و ۲۴].

تجزیه حرارتی از راه احتراق یا آهک‌نگی در کوره‌ها برای تولید اکسید فلز استفاده می‌شود. فرایندهای آبکافت و خشک کردن تأثیر بسیاری بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی محصول نهایی دارند. آبکافت یک فلز آلکواکسید یک واکنش نوکلئوفیلی (هسته‌دوستی) با آب است. واکنش آن در زیر نشان داده شده است.



یک شاخص مهم در فرایندهایی که منجر به تشکیل اکسیدهای فلزی با روش سل-ژل می‌شود، سرعت آبکافت و چگالش است. آبکافت کند منجر به تولید ذرات با قطر کوچک‌تر می‌شود. فلزات با الکترون‌گاتیویته بیشتر، کندتر آبکافت می‌شوند. به عنوان مثال سرعت آبکافت تیتانیوم اتواکسید (Ti(OEt)₄) تقریباً ۵ برابر سریع‌تر از تترا اورتوسیلیکات است. سرعت ژل شدن سیلیکون آلکو اکسید طولانی‌تر از سرعت ژل شدن تیتانیوم آلکو اکسید است. انتخاب حلال‌ها در فرایند سل-ژل نیز قابل توجه است. به عنوان مثال، تهیه یک ژل از Si(OMe)₄ با استفاده از اتانول به عنوان حلال منجر به تولید محصولی با سطح ویژه ۳۰۰ مترمربع در گرم می‌شود، در حالی که هنگام استفاده از متیل الکل، سطح ویژه تنها ۱۷۰ متر مربع در گرم است. هم‌چنین در این روش حذف حلال‌ها و خشک شدن محصول مهم است. بدین ترتیب امکان دستیابی به نانوذرات اکسیدهای فلزی با خواص منحصر به فرد وجود دارد [۲۵]. مثلاً خشک شدن با استفاده از تبخیر تحت فشار مویرگی منجر به انقباض شبکه ژل و تشکیل ساختار مشخصی می‌شود که به عنوان زیروژل شناخته می‌شود. از طرف دیگر، خشک شدن فوق بحرانی با استفاده از یک راکتور فشار بالا می‌تواند از انقباض بیش از حد شبکه ژل جلوگیری و ساختاری با حفره‌های تقریباً دست‌نخورده

سونگ^۱ و همکاران، یکی از پیشگامان سنتز فراصوت هیدروکسید منیزیم هستند که با استفاده از کلرید منیزیم و هیدروکسید سدیم یک روش ساده برای سنتز ایجاد کردند. روش پیشنهادی نیاز به استفاده از یک فاز آلی با نقطه جوش بالا، متشکل از نفت سفید و پارافین دارد. برای اطمینان از کنترل اندازه ذرات، این سامانه هم‌چنین شامل یک اصلاح‌کننده به صورت پلی‌اکسی اتیلن سوربیتان مونوستارات^۲ است. راکتور حاوی فاز آلی در یک حمام اولتراسوند با یک میکسر چرخشی و تحت امواج با فرکانس ۳۹ کیلوهرتز قرار گرفت. بسترسازی انرژی به طور همزمان و در مدت زمان ۱۵ دقیقه اضافه شدند، سپس رسوب حاصل با استفاده از سانتریفیوژ جدا، شسته و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن خلأ خشک شد. این آزمایش نشان داد که استفاده از امواج فراصوت در طول سنتز، رشد بلورهای هیدروکسید منیزیم را محدود می‌کند. استفاده حتی از مقدار کمی مونوستارات پلی‌اکسی اتیلن سوربیتان کنترل بهتر اندازه ذرات را امکان پذیر می‌کند و منجر به تولید نهایی با خواص پراکندگی مطلوب می‌شود. هنگامی که از امواج فراصوت همراه با اصلاح‌کننده استفاده شد، این محصول رسوب کندتری را به نمایش می‌گذارد [۲۱].

علوی و همکاران مطالعه‌ای را بر اساس امواج فراصوت برای سنتز هیدروکسید منیزیم انجام دادند. در این فرایند از استات منیزیم و هیدروکسید سدیم استفاده کردند. هیدروکسید منیزیم حاصل سوزنی شکل و با اندازه ذرات در محدوده ۱۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر بود. به طور خلاصه، در مقایسه با سایر روش‌ها، در روش سونوشیمیایی نیازی به استفاده از درجه حرارت بالا نیست و مشکل کنترل شاخص‌های فرایند، مانند pH و فشار را امکان‌پذیر می‌کند [۲۲].

۳-۲ روش سل-ژل

از متداول‌ترین روش‌های تولید نانوذرات در فاز مایع، سل-ژل است؛ سهولت روش تولید نانوذرات با این روش، تجهیزات ساده مورد استفاده، باعث کاربرد گسترده این روش در تولید نانوذرات شده است. یکی از مواد اولیه متداول در فرایند سل-ژل آلکوکسیدهای فلزی^۳ است. آلکوکسیدهای فلزی به راحتی با آب

1. Song
 2. Polyoxyethylene Sorbitan Monostearate
 3. Metal Alkoxide

ایجاد کند، که معروف به ایروژل است. مواد ایروژل سبک هستند و معمولاً تخلخل و سطح ویژه بالاتری نسبت به زیروژل‌ها دارند [۲۶]. کلابوند^۱ و همکاران از روش سل-ژل با استفاده از منیزیم آلکو اکسید و آب، سنتز هیدروکسید منیزیم را انجام دادند. آن‌ها یک هیدروکسید منیزیم زیروژل با مساحت سطح و تخلخل زیاد به‌عنوان نتیجه آبکافت به دست آوردند. این محصول به سطح بالایی از خلوص رسیده و دارای ساختاری متبلور و متخلخل با توزیع منافذ همگن است. فرایند سل-ژل یکی از مهم‌ترین شگردها برای سنتز اکسیدهای فلز به‌شکل نانوذرات با توجه به شرایط مناسب برای کنترل روند واکنش است. از کاستی‌های آن می‌توان به احتمال زیاد تجمع محصولات و هم‌چنین به‌دست آوردن مواد در مقیاس نسبتاً کوچک اشاره کرد [۲۸ و ۲۷].

۴-۲ روش الکتروشیمیایی

روش الکتروشیمیایی برای سنتز هیدروکسید منیزیم کمتر مطالعه و گزارش‌های کمی از این روش در مقالات علمی ارائه شده است که این امر بیشتر به دلیل هزینه‌های نسبتاً بالای تولید و اغلب کیفیت پایین محصولات نهایی (ترکیبات، ناخالصی‌های ناشی از واکنش‌های جانبی) است. با این وجود، سنتز الکتروشیمیایی هم‌چنان مورد توجه محققان است؛ زیرا امکان ایجاد مواد با ریخت‌شناسی متمایز و خصوصیات الکترومغناطیسی جالب را فراهم می‌کند [۲۹ و ۳۰]. تولید هیدروکسید منیزیم با استفاده از روش الکتروشیمیایی به‌وسیله دین امانی و کامات انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد که گروه کربونیل اصلاح‌کننده در جذب در سطوح فلزی و معدنی، به‌طور قابل توجهی ابعاد آن را افزایش می‌دهد و باعث شکل‌گیری ریخت‌شناسی مناسبی می‌شود [۳۱].

زو^۲ و همکاران هیدروکسید منیزیم را با افزودن سدیم استات^۳ تهیه کردند. در این حالت محلول نیترات منیزیم برق‌کافت شد. در نتیجه جذب اصلاح‌کننده در صفحه هیدروکسید منیزیم، بلورهایی با شکل گل به دست آمد. در نمونه‌های سنتز شده نانو تسمه‌ها و نانو صفحه‌های سه‌بعدی اکسید منیزیم با سطح بالا و کوئوردیناسیون پایین یون‌های اکسید با لبه‌های زبر مشاهده شد. این نانو ساختارها خصوصیات حسگری عالی الکتروشیمیایی را نسبت به اسید

1. Klabunde
2. Zou
3. Sodium Acetate

اسکوروبیک^۴ نشان می‌دهد [۲۹]. در مطالعه‌ای، دو الکتروود ساخته‌شده از منیزیم فلزی با استفاده از جریان متناوب در محلول آبی کلرید آمونیوم حل می‌شوند که در این فرایند برای آند از میله‌ها و صفحه‌های منیزیم با خلوص ۹۹/۸٪ استفاده و صفحه‌های فولادی به‌عنوان کاتد استفاده شد. الکتروولیت محلول کلرید آمونیوم با pH در محدوده ۱۰-۶ بود. برق‌کافت با استفاده از جریان مستقیم در آند و کاتد انجام شد و دمای مطلوب برای این فرایند ۳۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس است. پس از انجام فرایند، رسوب هیدروکسید منیزیم از محلول، جدا و با آب دیونیزه شسته می‌شود تا یون‌های کلراید حذف شوند، سپس هیدروکسید منیزیم را در محفظه خشک‌کن در دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک و سپس آهکینه می‌کنند [۳۲].

۴-۵ روش ترکیبی تابش‌دهی امواج مایکروویو و هیدروترمال

در چند دهه اخیر، تولید مواد در اندازه نانو با واکنش‌های شیمیایی و استفاده از روش تابش‌دهی امواج مایکروویو طرفدار پیدا کرده است. استفاده از این امواج، باعث گرم‌شدن مولکول‌هایی با بارالکتریکی غیریک‌نواخت می‌شود. استفاده از مایکروویو، گرمای یک‌نواختی در فرایند ایجاد می‌کند [۳۳ و ۳۴].

از برتری‌های استفاده از امواج مایکروویو، زمان کم واکنش است که آن را برای کاربردهای صنعتی مناسب می‌سازد. حمام‌های روغنی و حمام‌های شنی روش‌های حرارت‌دهی قدیمی‌تر است. این روش‌های حرارتی قدیمی، ممکن است یک گرادیان دمایی در ماده ایجاد کنند و سبب تجزیه محصول یا تولید محصولات جانبی شود؛ اما حرارت‌دهی به‌وسیله امواج مایکروویو کنترل شده است و دما به‌طور یک‌نواخت افزایش می‌یابد. بنابراین کمتر محصولات جانبی یا تجزیه محصولات انجام می‌گیرد [۳۵].

معمولاً برای سنتز هیدروکسید منیزیم از ترکیب روش تابش‌دهی امواج مایکروویو با روش هیدروترمال استفاده می‌شود. استفاده از ترکیب روش مایکروویو و روش هیدروترمال سبب بهبود تبلور پودرهای به‌دست‌آمده می‌شود و زمان واکنش را کوتاه می‌کند. بال^۵ و همکاران از ترکیب دو روش تابش‌دهی امواج مایکروویو و هیدروترمال، برای سنتز هیدروکسید منیزیم-با استفاده از کلرید منیزیم، استات منیزیم و فلز منیزیم به‌عنوان منابع منیزیم-استفاده کردند [۳۶].

4. Ascorbic Acid
5. Beall

۶-۲ روش نشست بخار شیمیایی

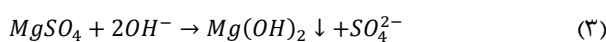
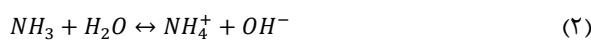
در تولید نانو ذرات با روش نشست شیمیایی بخار، پیش‌ماده‌ها تبخیر و وارد رآکتور CVD می‌شوند. در رآکتور پیش‌ماده به سازوکار جذب سطحی بر روی بستر قرار می‌گیرد. دمای بستر تنظیم می‌شود. مولکول‌های جذب‌شده با سایر گازها واکنش می‌دهد. نتیجه این واکنش، فیلم جامد بر روی بستر است. از این روش برای ساخت بسیاری از مواد مانند مواد نیمه‌رسانا و سرامیک‌ها استفاده می‌شود [۳۷].

لی و همکاران برای سنتز هیدروکسید منیزیم با این روش از یک عامل رسوب‌زا در حضور سورفکتانت ژلاتین و پلی‌وینیل‌الکل استفاده کردند. اکسید منیزیم ۸۵ درصد به‌عنوان ماده اولیه منیزیم و کود نیتروژن ۹۵ درصد به‌عنوان شیرابه و از آمونیاک به‌عنوان عامل رسوب‌دهنده و برای جلوگیری از کلوخه‌شدن از سورفکتانت استفاده شد. کود نیتروژن در ۲۰ لیتر آب مقطر حل می‌شود، مقدار معینی اکسید منیزیم اضافه می‌شود تا pH محیط را در محدوده ۸ تا ۹ حفظ کند. محلول سوسپانسیون برای ۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده می‌شود. سپس محلول سوسپانسیون به رآکتور حباب گاز آمونیاک منتقل می‌شود. با افزودن گاز آمونیاک رسوب هیدروکسید منیزیم در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود. سپس هیدروکسید منیزیم تولیدی دو بار با آب مقطر شسته و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس با خشک‌کن خلأ خشک می‌شود. خواص محصولات به‌وسیله XRD، SEM تجزیه و تحلیل شد. سازوکار رشد بلورهای هیدروکسید منیزیم به‌وسیله سورفکتانت، غلظت یون‌ها و مقدار اولیه PH واکنش بررسی شد و نتایج نشان داد که میانگین اندازه ذرات هیدروکسید منیزیم تولیدی برابر با ۲ میکرومتر است. هم‌چنین نشان داده شد که نانوصفحات هیدروکسید منیزیم دارای پایداری زیادی است که یک بازدارنده شعله مؤثر است [۳۸].

۷-۲ استفاده از دولمیت^۱ برای تهیه هیدروکسید منیزیم

دولومیت یک کانی خشک کربناته و جزو سنگ‌های رسوبی با فرمول شیمیایی کربنات کلسیم منیزیم است. ژیانگ و همکاران استحصال منیزیم از سنگ معدن فسفات دولومیتی را با استفاده از اسید پساب رقیق از تولید رنگ‌دانه دی‌اکسید تیتانیوم پیشنهاد کردند. آنان

نشان دادند که دولومیت ممکن است به‌طور انتخابی با یون هیدروژن در اسید رقیق حل شود. توانایی یون هیدروژن در حمله به آپاتیت با قدرت بین یونی قوی اسید رقیق، مهار می‌شود. با استفاده از اختلاف حلالیت عناصر مربوطه، یک فرایند رسوبی دومرحله‌ای ایجاد شد تا آهن به‌طور انتخابی از منیزیم حذف شود. یک فرایند برای تصفیه بیشتر شیرابه با استفاده از روش ته‌نشینی/لیچینگ و اکسایش نیز بررسی شد. پس از آن، هیدروکسید منیزیم با خلوص بالا با ته‌نشینی از محلول تصفیه‌شده با آمونیاک به‌عنوان رسوب تهیه شد (واکنش ۲ و ۳). از سدیم دودسیل سولفات به‌عنوان اصلاح‌کننده استفاده شد [۳۹].



۸-۲ استفاده از سرپانتین^۲

طی دهه‌های اخیر، اثر گلخانه‌ای به مشکلی جهانی تبدیل شده است. جذب و ذخیره کربن یکی از اصلی‌ترین راه‌های کاهش انتشار دی‌اکسید کربن است؛ استفاده از مواد معدنی ترسیبی یکی از نامزدهای بزرگ جذب و ذخیره کربن است. سرپانتینیت، حاوی عمدتاً سرپانتین، ماده اولیه بسیار خوبی برای کربناسیون مواد معدنی دی‌اکسید کربن است؛ زیرا دارای مقادیر زیاد موجود، توزیع گسترده و سختی نسبتاً کم است؛ سرپانتین نامی است برای گروه بزرگی از کانی‌های معدنی که از این فرمول کلی تبعیت می‌کنند. در فرمول $(X)_2(Y)_2O_5(OH)_4$ یکی از فلزات زیر است: منیزیم، آهن، نیکل، آلومینیوم، روی یا منگنز و Y سیلیکون، آلومینیوم یا آهن خواهد بود. کانی‌های سرپانتین در جایی ایجاد می‌شوند که پریدوتیت، دونیت و سایر سنگ‌های اولترامافیک دچار دگرگونی هیدروترمال می‌شوند [۴۰]. هیدروکسید منیزیم ممکن است از سرپانتین به روش‌های مختلف برای جداسازی دی‌اکسید کربن با ترسیب کربن تهیه شود. ژائو و همکاران هیدروکسید منیزیم را از سرپانتین با استفاده از لیچینگ اسید سولفوریک به‌عنوان اولین مرحله از فرایند کربناسیون معدنی دی‌اکسید کربن آماده کردند. شکل (۲) یک عکس و تصویر SEM را از یک تکه سرپانتین

2. Serpentine

1. Dolomite

روش ترسیب هیدروکسید منیزیم از محلول نمک‌ها و یک عامل قلیایی که معمولاً آمونیاک و هیدروکسید سدیم است، استفاده می‌شود [۴۲-۴۴].

در این روش اغلب ماده اولیه منیزیم نمک‌های غیر آلی مانند کلرید منیزیم و سولفات منیزیم است؛ در حالی که از نمک‌های آلی به ندرت استفاده می‌شود [۴۵]. شاخص‌های فرایند تأثیر چشمگیری بر ساختار و خصوصیات ریخت‌شناسیک و پراکندگی محصول دارند، از این روی، محققان زیادی آزمایش‌هایی را با هدف تعیین شرایط واکنش - که تأثیر مطلوب‌تری بر روند واکنش و خلوص محصول دارند - انجام دادند. اغلب تجزیه و تحلیل‌ها بر روی دبی، میزان و غلظت عامل‌های رسوب‌زا و خواص جرمی و حجمی و دمای واکنش رسوبی و روش خشک کردن است. بر اساس آخرین تحقیقات، خصوصیات نهایی محصول به‌ویژه ریخت‌شناسی آن به شدت به نوع ماده اولیه و عامل قلیایی مورد استفاده بستگی دارد [۴۶ و ۴۷]. در واکنش‌هایی که برای سنتز ترکیبات شیمیایی استفاده می‌شود، معمولاً رایج است که ترکیبات اصلاح‌کننده علاوه بر عامل‌های مشخص شده به واکنش اضافه می‌شود. اصلاح سامانه واکنش با افزودن یک ماده شیمیایی (آلی یا غیرآلی) ممکن است منجر به تغییر در خصوصیات اصلی محصولات شود. انتخاب روش مناسب عامل اصلاح‌کننده به نوع پرکننده‌ها و روش‌های به‌دست‌آوردن آن‌ها و شاخص‌های فرایند کامپوزیت مورد نظر بستگی دارد.

نشان می‌دهد. جداکردن مگنتیت با جداسازی مغناطیسی از سیلیکات غنی از منیزیم مشکل خواهد بود؛ به‌همین دلیل پس از فرایند لیچینگ اسید آهن، شیرابه و بقایای لیچینگ با روش استخراج حلال و جداسازی مغناطیسی به‌ترتیب بازیافت می‌شود. بازده لیچینگ منیزیم با افزایش دوز اسید سولفوریک افزایش می‌یابد. همزدن و امواج فراصوت، روش‌های مؤثری برای جداسازی لایه محصول و باعث تجزیه کامل‌تر سنگ معدنی می‌شوند. حدود ۹۵٪ آهن از شیرابه و باقی‌مانده‌های لیچینگ بازیافت شد و مواد غنی از آهن به‌عنوان محصول فرعی به دست آمد. پس از استخراج آهن، می‌توان از محلول غنی از منیزیم و با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم، پودر غنی از هیدروکسید تهیه کرد [۴۱].

۲-۹ روش ترسیب

یکی از ساده‌ترین روش‌های شیمیایی برای تولید نانوذرات، روش ترسیب است؛ فشار در فرایند ترسیب، فشار اتمسفریک و دما، دمای محیط یا بالاتر است. نوع نمک اولیه بر روی اندازه و شکل نانوذرات تولیدشده تأثیر می‌گذارد. از برتری‌های این روش می‌توان تولید مقدار زیادی از نانوذره با کنترل توزیع اندازه ذرات را برشمرد. افزودن موادی هم‌چون سورفکتانت‌های آلی سرعت هسته‌سازی را کنترل می‌کند و نانوذرات با اندازه بزرگ‌تری به دست می‌آید. در



شکل ۲. سمت چپ عکس و سمت راست تصویر الکترونی روبشی سرپانتیت [۴۱].

Figure 2. Left: Photograph, Right: SEM image of serpentinite [41].

هیدروکسید منیزیم تأثیر می‌گذارد که به‌وسیله شکل، اندازه و توزیع اندازه ذرات تعریف می‌شود. شکل‌گیری ذرات سنتز شده می‌تواند به اشکال مختلف مانند سوزن، لوله، الیاف، پلاکت، میله باشد. هیدروکسید منیزیم می‌تواند از منابع معدنی-مانند منیزیت، سرپانتین، دولومیت و نمک‌های معدنی تهیه شود. هم‌چنین این ماده از روش‌های مختلفی مانند روش سنتز سل-ژل، رسوب شیمیایی، الکتروشیمیایی، هیدروترمال، روش‌های مبتنی بر میکروامولسیون، رسوب بخار شیمیایی، مایکروویو، سونوشیمی و احتراق- به دست آید. هر یک از این روش‌ها کاستی‌ها و برتری‌های خود را دارد. مثلاً محصولات سنتز شده با استفاده از روش هیدروترمال همگن هستند. هم‌چنین در روش ترکیبی هیدروترمال همراه با امواج مایکروویو زمان واکنش کوتاه‌تر می‌شود؛ در حالی که روش سونوشیمیایی یک راه ایده‌آل برای به‌دست آوردن نانومواد است، اگرچه به شرایط خاص نیاز دارد. با این حال، بسیاری از روش‌های ذکر شده دارای کاستی‌های خاصی از جمله شرایط اقتصادی نامطلوب و اغلب عملکرد نامناسب هستند. مشکل دیگر نیاز به استفاده از افزودنی‌های آلی یا کاتالیزور در طول سنتز است؛ زیرا این مواد بر خلوص محصول تأثیر منفی می‌گذارد. در جدول (۱) به‌طور کلی مقایسه روش‌های تهیه هیدروکسید منیزیم ارائه شده است. با مقایسه روش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در صورت نیاز به تولید زیاد این ماده، روش ترسیب کارآمد است. از آنجایی که این روش نیاز به تجهیزات پیچیده‌ای ندارد، پس به لحاظ اقتصادی نیز مناسب است. این روش معمولاً در دمای محیط و فشار اتمسفریک انجام می‌پذیرد و این یکی دیگر از برتری‌های این روش است.

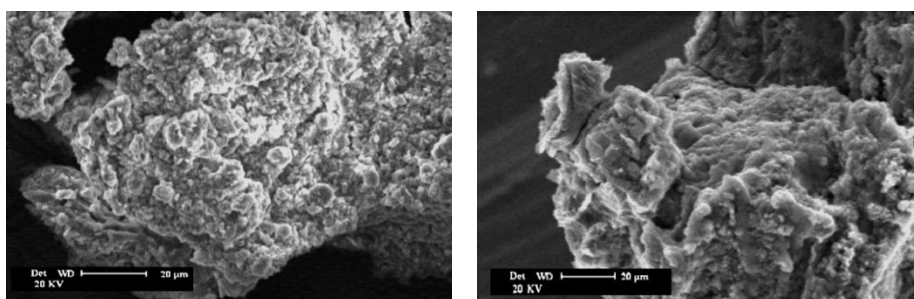
پیلارسکا^۱ و همکاران گروهی از ترکیبات غیر یونی را به‌عنوان اصلاح‌کننده برای تولید هیدروکسید منیزیم استفاده کردند. آنان از پلی‌اتیلن گلایکول با جرم ملکولی ۲۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۲۰۰ در غلظت‌های ۱٪، ۲٪ و ۵٪ و از نمونه‌های هیدروکسید منیزیم رسوب داده شده با استفاده از سولفات منیزیم هیدراته و هیدروکسید سدیم، تحت شرایط مشخص فرایند استفاده کردند. هنگامی که از پلی‌اتیلن با جرم ملکولی ۲۰۰ با غلظت ۲ درصد استفاده شد، نانوذراتی با اندازه ۲۸ تا ۷۹ نانومتر با خواص آب‌دوست و سطح ویژه نسبتاً بزرگ به دست آمد. مشخص شد که غلظت ۲٪ محلول PEG منجر به چینش متقاطع زنجیره‌های اصلاح‌کننده می‌شود که پوشش خوب سطح بلور را تضمین می‌کند و کلوخه شدن را کاهش می‌دهد. فرم اصلاح شده هیدروکسید منیزیم خیلی مطلوب‌تر از فرم غیر اصلاح شده است [۴۸].

علمداری و همکاران ترسیب هیدروکسید منیزیم را با استفاده از تلخابه بررسی کردند. تأثیر ماده قلیایی سود بر تولید ذرات در محلول سنتزی و تلخابه مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفت. با استفاده از مدل، سرعت هسته‌سازی و رشد تعیین شد. تصویری از ذرات ایجاد شده از محلول سنتزی و تلخابه در شکل (۳) نمایش داده شده است [۴۹].

ترسیب هیدروکسید منیزیم از پساب حاوی منیزیم مطالعه شد و نتایج مطالعه نشان داد که این ماده ارزشمند می‌تواند به‌خوبی از پساب بازیافت شود [۵۰].

۳. مقایسه روش‌های تهیه هیدروکسید منیزیم

روش سنتز و شرایط فرایند بر خواص فیزیکی و شیمیایی



شکل ۳. ذرات هیدروکسید منیزیم ترسیب شده از محلول سنتزی و تلخابه [۴۹].

Figure 3. Magnesium Hydroxide particle precipitated from synthesis solution and bitter[49].

جدول ۱. روش‌های سنتز هیدروکسید منیزیم.

Table 1. Magnesium Hydroxide Synthesis Methods.

Magnesium hydroxide synthesis method	Effective parameters	Disadvantage	Advantage	Ref
Sonochemical	Concentration of raw materials, frequency of ultrasonication, ultrasonication power, time, additives and surface effective factors	Most of the substances used in this method are toxic. The possibility of nanoparticle agglomeration in this method is very high.	Production of nanoparticles at high scale and high speed. Control of effective parameters on this method	[22,51-53]
hydrothermal	Raw material concentration, solvent type, temperature, pH	The process requires high temperatures.	Product with specified particle size and high purity	[13, 17,54]
sol-gel	Time, hydrolysis temperature, drying temperature, type and volume of catalyst, initial concentration of precursor	High price of raw materials, long process, crack formation during heating and drying	No need for complex equipment and variety of products	[25, 26, 55]
Electrochemical	density, temperature, metal concentration, time	High cost, undesirable quality of nanoparticles	Fabrication of nanomaterials with various morphology suitable electromagnetic properties	[56-57]
Chemical vapor deposition	Temperature, time, gas flow, gas type	High temperature	Its adhesion is better than physical methods. The process can be controlled at normal pressure.	[38]
Microwaves	Time, microwave power, salt warming rate, middle product calcination temperature	Short crystallization time, homogeneous nucleation	Short reaction time, high purity, suitable morphology, high specific area	[34-36]
Precipitation	Temperature, pH, raw material concentration	Production of nanoparticles with desired size is difficult.	Use of water as solvent, high efficiency and purity, adjustment of reaction conditions	[58-61]

۴. کاربردهای هیدروکسید منیزیم

کاربردش را در زمینه‌های مختلف آسان کرده است. از این ماده به عنوان عامل ضدباکتری، خنثی‌کننده آلاینده‌های اسیدی آب، مواد پرکننده در صنعت کاغذ، ماده خنثی‌کننده در داروها، مواد افزودنی کود، مواد نسوز و بازدارنده شعله و پیش‌ماده برای تولید اکسید منیزیم استفاده می‌شود. در جدول (۲) کاربردهای هیدروکسید منیزیم در زمینه‌های مختلف آورده شده است.

در حال حاضر هیدروکسید منیزیم بیشتر به‌عنوان یک بازدارنده شعله‌نه تنها در ترکیب با مواد بسیاری مانند کوپلیمر اتیلن وینیل استات، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن، بلکه با پارافین، سیلوکسان‌ها و پنبه نیز استفاده می‌شود. هم‌چنین به‌عنوان یک عامل ضدباکتری و خنثی‌کننده آلاینده‌ها در تصفیهٔ پساب شناخته می‌شود. قلیائی بودن، آبدوستی، پایداری حرارتی و سمیت کم هیدروکسید منیزیم

جدول ۲. کاربردهای هیدروکسید منیزیم.

Table 2. Application of Magnesium Hydroxide.

Title	Application of Magnesium Hydroxide	Ref
Use as an antibacterial agent	Magnesium hydroxide as an antibacterial was investigated in two ways, the first was to observe the behavior of bacteria in a magnesium hydroxide suspension. The second was related to wood pulp during paper production.	[61-63]
Use in wastewater treatment	There are many factors that cause acidification of industrial effluents and wastewater. One of the steps that is necessary in water treatment process is pH neutralization. Specialists use magnesium hydroxide for this purpose.	[64-67]
Use as a paper preservative	Therefore, this material is used as a paper preservative.	[68]
Use as a component of membranes	Magnesium hydroxide is reversed in the production of organic-inorganic composite membranes with polyvinylidene fluoride (PVDF) based on phase inversion method.	[69]
Use as a booster for starch-based bioennocomposite films	Magnesium hydroxide at high concentrations is used to improve thermal stability of starch-based bioennocomposite.	[70]
Use as a fire retardant	Magnesium hydroxide has smoke and fire inhibition properties and is therefore used to produce fire extinguishing chemicals.	[71-76]
Improvement of platinum catalyst	Production of magnesium and aluminum hydroxide layers and placing on a catalytic base to improve its properties	[77]
Improvement of Catalyst 1-Butyl-3-Methyl Limidazolium	In order to increase the resistance and specific surface of the catalyst 1-butyl-3-methylimidazoleium, two layers of magnesium hydroxide and aluminum hydroxymaxy were placed on it.	[78]
Activation of fungal bacteria	Magnesium hydroxide nanoparticles with dimensions of 7.75 nm were produced from seaweed to activate fungal bacteria.	[79]
Adsorbent of pollution	Magnesium hydroxide is a stable material with high specific surface area with many active points for separation of contamination.	[80-82]
Improves magnesium hydroxide as a fire retardant	Improving the properties of magnesium hydroxide will make it better at controlling fire and stopping smoke.	[83-87]
Adsorbent of pollution	Magnesium hydroxide with specific surface area and controlled pore volume was used to absorb lead and cadmium ions. Kinetic modeling was also investigated.	[88]
Construction of catalyst for the removal of nitrate	Magnesium hydroxide/magnesium oxide composite was made with cationic resin. it was used to absorb nitrate.	[89]
Bio magnesium hydroxide	Magnesium hydroxide nanoparticles were biocomposed and used to reduce hyperglycemia in diabetic rats.	[90]
Capsule Coating	Hydroxy magnesium was used as a coating of iron capsules and then it was used to absorb ciproflaxacin	[91]
Hydrophobic coating	The coating was used as a nanocomposite compound to reduce corrosion.	[92, 93]
Filler	Magnesium hydroxide with polycarbolactone was produced as microsphere and investigated as filler of its properties..	[94]

۵. نتیجه‌گیری

هیدروکسید منیزیم در سال‌های اخیر با توجه به خواص، ریخت‌شناسی، سمی نبودن، فعالیت ضدباکتریایی و سایر خواص، توجه بسیاری را جلب است. عنایت به این موارد، هیدروکسید منیزیم را قادر می‌سازد تا در بسیاری از راه حل‌های فناوری‌های نوآورانه، کاربردهای منحصر به فردی پیدا کند. در این پژوهش به کاربردهای زیاد این ماده در زمینه‌های مختلف از جمله تصفیهٔ پساب، به‌عنوان عامل ضد باکتری، بازدارندهٔ شعله و غیره اشاره شد. محققان اغلب به ارتباط قوی بین انواع کاربرد هیدروکسید منیزیم و ریخت‌شناسی بسیار متنوع آن توجه می‌کنند که در اشکال نانوصفحه، نانومیله، نانولوله، نانوسیم، نانوبلت و غیره تولید می‌شود. هم‌چنین در این پژوهش امکان تهیهٔ هیدروکسید منیزیم در مقیاس میکرو و نانو با روش‌های گوناگون شرح داده شد که از جملهٔ این روش‌ها می‌توان به روش سل-ژل، سونوشیمیایی، ترسیب، هیدروترمال، امواج میکروویو، استفاده از مواد معدنی اشاره کرد. متداول‌ترین روش برای به‌دست‌آوردن هیدروکسید منیزیم در مقیاس آزمایشگاهی یا صنعتی ترسیب است که امکان تولید یک ماده با کیفیت خوب را با تجهیزات ساده و ارزان‌قیمت فراهم می‌کند. در فرایند ترسیب، دما، زمان واکنش و نوع مادهٔ قلیایی شاخص‌های تأثیرگذار بر روی رشد ذرات است. روش نشت بخار شیمیایی با توجه به دمای بالای مورد نیاز در فرایند توصیه نمی‌شود. در روش هیدروترمال، حلال/ محلول نقش مهمی در ماهیت بلورهای تولیدی دارد. شکل ذرات به‌دست‌آمده به شرایط فرایند (نوع نمک، دما، زمان واکنش، pH و محلول) وابسته است. در استفاده از امواج میکروویو زمان و توان تابش بر روی اندازهٔ ذرات و درجهٔ بلوری تأثیر می‌گذارد. در آینده، موضوع هیدروکسید منیزیم توسعه می‌یابد؛ محققان روش‌های جدیدی را برای سنتز آن به‌منظور تولید موادی با خواص فیزیکی و شیمیایی و کاربردی بهتر توسعه می‌دهند. موادی با چنین خواصی قطعاً به‌عنوان حامل‌های کاتالیزور، حسگرهای مدرن، جاذب‌های فعال و سایر کاربردهای جالب به کار خواهند رفت. یک گام بسیار مهم و ابتکاری مطمئناً ترکیب هیدروکسید منیزیم با بیوسپارهای گسترده خواهد بود. این امر مواد ترکیبی چندمنظوره را برای کاربردهای خاص ارائه می‌دهد.

مراجع

- [1] Suihkonen, R., Nevalainen, K., Orell, O., Honkanen, M., Tang, L., Zhang, H., Zhang, Z., Vuorinen, J., "Performance of epoxy filled with nano- and micro-sized magnesium hydroxide", *Journal of Materials Science*, 47: pp.1480-1488, (2012).
- [2] Song, G., Ma, S., Tang, G., Yin, Z., Wang, X., "Preparation and characterization of flame retardant form stable-phase change materials composed by EPDM, paraffin and magnesium hydroxide", *Energy*, 35: pp. 2179-2183, (2010).
- [3] Ma, H., Chen, Z., Mao, Z., "Controlled growth of magnesium hydroxide crystals and its effect on the high-temperature properties of cotton/magnesium hydroxide composites", *Vacuum*, 95: pp. 1-5, (2013).
- [4] Wang, Q., "Preparation and surface modification of Mg(OH)₂/siloxane nanocomposite 5flame retardant", *Journal of Polymer Engineering*, 35: pp. 113-117, (2015).
- [5] Liu, L., Hu, J., Zhuo, J., Jiao, C., Chen, X., Li, S., "Synergistic flame retardant effects between hollow glass microspheres and magnesium hydroxide in ethylene-vinyl acetate composites", *Polymer Degradation and Stability*, 104: pp. 87-94, (2014).
- [6] Hewitt, F., Rhebat, D. E., Witkowski, A., Hull, T. R., "An experimental and numerical model for the release of acetone from decomposing EVA containing aluminium, magnesium or calcium hydroxide fire retardants", *Polymer Degradation and Stability*, 127: pp. 65-78, (2016).
- [7] Song, X., Tong, K., Sun, S., Sun, Z., Yu., J., "Preparation and Crystallization Kinetics of Micron-Sized Mg (OH)₂ in a Mixed Suspension Mixed Product Removal Crystallizer", *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 7(2): pp. 130-138 (2013).
- [8] Li, H., Liu, S., Zhao, J., Feng, N., "Removal of reactive dyes from wastewater assisted with kaolin clayby magnesium hydroxide coagulation process", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 494: pp. 222-227, (2016).
- [9] Wang, K., Zhao, J., Li, H., Zhang, X., Shi, H., "Removal of cadmium (II) from aqueous solution by granular activated carbon supported magnesium hydroxide", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61: pp. 287-291, (2016).
- [10] Bouraie, M. E., Masoud, A. A., "Adsorption of phosphate ions from aqueous solution by modified bentonite with magnesium hydroxide Mg(OH)₂", *Applied Clay Science*, 140: pp. 157-164, (2017).
- [11] Wang, Q., Li, C., Guo, M., Sun, L., Hu, C., "Hydrothermal synthesis of hexagonal magnesium hydroxide nanoflakes", *Materials Research Bulletin*, 51: pp. 35-39, (2014).

- [12] Zhou, J., Wang, W., Cheng, Y., Zhang, Z., "Facile hydrothermal synthesis and characterization of porous magnesium oxide for parachlorophenol adsorption from the water", *Integrated Ferroelectrics*, 137: pp. 18–29, (2012).
- [13] Ding, Y., Zhang, G., Wu, H., Wang, L., Qian, Y., "Nanoscale magnesium hydroxide and magnesium oxide powders: control over size, shape, and structure via hydro thermal synthesis", *Chemistry of Materials*, 13: pp. 435–440, (2001).
- [14] Byrappa, K., Adschiri, T., "Hydrothermal technology for nanotechnology", *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 53: pp. 117–166, (2007).
- [15] Bae, T. H., Liu, J., Thompson, J. A., Koros, W. J., Jones, C. W., Nair, S., "Solvothermal deposition and characterization of magnesium hydroxide nanostructures on zeolite crystals", *Microporous and Mesoporous Materials*, 139: pp. 120–129, (2011).
- [16] Zhao, Z., Dai, H., Dub, Y., Denga, J., Zhanga, L., Shi, F., "Solvo-or hydrothermal fabrication and excellent carbon dioxide adsorption behaviors of magnesium oxides with multiple morphologies and porous structures", *Materials Chemistry and Physics*, 128: pp. 348–356, (2011).
- [17] Yan, C., Xue, G., Zou, L., Yan, X., Wang, W., "Preparation of magnesium hydroxide nanoflowers", *Journal of Crystal Growth*, 282: pp. 448–454, (2005).
- [18] Kumari, L., Li, W. Z., Vannoy, C. H., Leblanc, R. M., Wang, D. Z., "Synthesis, characterization and optical properties of Mg(OH)₂ micro-/nanostructures and its conversion to MgO", *Ceramics International*, 35: pp. 3355–3364, (2009).
- [19] Gong, W., Wu, D., Cheng, Z., Pang, H., Lin, Y., Ning, G., "Direct synthesis of porous Mg(OH)₂ nanoplates from natural brucite", *Materials Research Bulletin*, 48: pp. 1333–1337, (2013).
- [20] Chen, Y., Zhou, T., Fang, H., Li, S., Yao, Y., Fan, B., Wang, J., "A novel preparation of nanosized hexagonal Mg(OH)₂ as a flame retardant", *Particuology*, 24: pp. 177–182, (2016).
- [21] Suslick, K. S., Hyeon, T., Fang, M., Cichowlas, A. A., "Sonochemical synthesis of nanostructured catalysts", *Materials Science and Engineering: A*, 204: pp. 186–189, (1995).
- [22] Alavi, M. A., Morsali, A., "Synthesis and characterization of Mg(OH)₂ and MgO nanostructures by ultrasonic method", *Ultrasonics Sonochemistry*, 17: pp. 441–446, (2010).
- [23] Cai, Y., Wu, D., Zhu, X., Wang, W., Tan, F., Chen, J., Qiao, X., Qiu, X., "Sol-gel preparation of Ag-doped MgO nanoparticles with high efficiency for bacterial inactivation", *Ceramics International*, 43: pp. 1066–1072, (2017).
- [24] Wilkes, G., Huang, H., Glaser, R., "New inorganic organic hybrid materials through the sol-gel processes", *Advances in Chemistry*, 224: pp. 207–226, (1990).
- [25] Boisson, A., Rigacci, A., Lemote, D., Rodier, E., Aclard, P., "Drying of silica gels to obtain aerogels: phenomenology and basic techniques", *Drying Technology*, 21: pp. 593–628, (2003).
- [26] Narske, R. M., "Surface chemistry of nanocrystalline oxides of magnesium and aluminium, *Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*", CRC Press, New York, 2004.
- [27] Utamapanya, S., Klabunde, K. J., Schlup, J. R., "Nanoscale metal oxide particles/clusters as chemical reagents synthesis and properties of ultrahigh surface area magnesium hydroxide and magnesium oxide", *Chemistry of Materials*, 3: pp. 175–181, (1991).
- [28] Koper, O., Lagadic, I., Volodin, A., Klabunde, K., "Alkaline-earth oxide nanoparticles obtained by aerogel methods. Characterization and rational for unexpectedly high surface chemical reactivities", *Chemistry of Materials*, 9: pp. 2468–2480, (1997).
- [29] Zou, G., Chen, W., Liu, R., Xu, Z., "Morphology-tunable synthesis and characterizations of Mg(OH)₂ films via a cathodic electrochemical process", *Materials Chemistry and Physics*, 107: pp. 85–90, (2008).
- [30] Huang, F., Yuan, Z., Zhan, H., Zhou, Y., Sun, J., "Synthesis and electrochemical performance of nanosized magnesium tin composite oxides", *Materials Chemistry and Physics*, 83: pp. 16–22, (2004).
- [31] Dinamani, M., Kamath, P. V., "Electro synthesis of Mg(OH)₂ coatings on stainless steel substrates", *Journal of Applied Electrochemistry*, 34: pp. 899–902, (2004).
- [32] Przyłuski, J., Pałka, E., "Preparation of magnesium oxide of high purity", Patent PL-68071, (1974).
- [33] Al-Hazmi, F., Umar, A., Dar, G. N., Al-Ghamdi, A. A., Al-Sayari, S. A., Al-Hajry, A., Kim, S. H., Al-Tuwirqi, R. M., Alnowaiserb, F., El-Tantawy, F., "Microwave assisted rapid growth of Mg(OH)₂ nanosheet networks for ethanol chemical sensor application", *Journal of Alloys and Compounds*, 519: pp. 4–8, (2012).
- [34] Aal, N. A., Al-Ghamdi, A. A., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu, F., Farooq, W. A., "Novel bulk synthesis of magnesium oxide nanobelts by microwave hydrothermal route", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 70: pp. 14–18, (2014).
- [35] Komarneni, S., "Nano phase materials by hydrothermal, microwave-hydrothermal and microwave-solvothermal methods", *Current Science Association*, 85: pp. 1730–1734, (2003).

- [36] Beall, G. W., Duraia, E. M., El-Tantawy, F., Al-Hazmi, F., Al-Ghamdi, A. A., "Rapid fabrication of nanostructured magnesium hydroxide and hydromagnesite via microwave-assisted technique", *Powder Technology*, 234: pp. 26–31 (2013).
- [37] Sun, L., He, H., Liu, C., Ye, Z., "Local super-saturation dependent synthesis of MgO nanosheets", *Applied Surface Science*, 257: pp. 3607–3611, (2011).
- [38] Li, X., Ma, C., Zhao, J., Li, Z., Xu, S., Liu, Y., "Preparation of magnesium hydroxide nanoplates using a bubbling setup", *Powder Technology*, 198: pp. 292-297, (2010).
- [39] Xiong, Y., Wu, B., Zhu, J., Fan, X., Cai, P., Wen, J., Liu, X., "Preparation of magnesium hydroxide from leachate of dolomitic phosphate ore with dilute waste acid from titanium dioxide production", *Hydrometallurgy*, 142: pp. 137–144, (2014).
- [40] Nduagu, E., Bergerson, J., Zevenhoven, R., "Life cycle assessment of CO₂ sequestration in magnesium silicate rock- A comparative study", *Energy Conversion and Management*, 55: pp. 116–126, (2012).
- [41] Zhao, Q., Liu, C., Jiang, M., Saxén, H., Zevenhoven, R., "Preparation of magnesium hydroxide from serpentinite by sulfuric acid leaching for CO₂ mineral carbonation", *Minerals Engineering*, 79: pp. 116–124, (2015).
- [42] Guo, H., Hu, H., Xie, J., Cheng, P., Yao, J., Liu, Y., "Gaseous ammonia: Superior to aqua ammonia in the precipitation of Mg(OH)₂ under mild conditions", *RSC Advances*, 4: pp. 28822–28825, (2014).
- [43] Pilarska, A., Nowacka, M., Pilarski, K., Pauksza, D., Klapiszewski, L., Jesionowski, T., "Preparation and characterisation of unmodified and modified with poly (ethylene glycol) magnesium hydroxide", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49: pp. 701–712, (2013).
- [44] Song, X., Sun, S., Zhang, D., Wang, J., Yu, J., "Synthesis and characterization of magnesium hydroxide by batch reaction crystallization", *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 5: pp. 416–421, (2011).
- [45] Alvarado, E., Torres-Martinez, L. M., Fuentes, A. F., Quintana, P., "Preparation and characterization of MgO powders obtained from different magnesium salts and the mineral dolomite", *Polyhedron*, 19: pp. 2345–2351, (2000).
- [46] Yun, L., Wang, B. H., Jing, D., Lv, X., Yu, C. Y., Wang, G., Huang, L. X., Mujumdar, A. S., "Drying kinetics of magnesium hydroxide of different morphological micro nanostructures", *Drying Technology*, 27: pp. 523–528, (2009).
- [47] Wang, B. H., Zhang, W. B., Zhang, W., Yu, C. Y., Wang, G., Huang, L. X., Mujumdar, A. S., "Influence of drying processes on agglomeration and grain diameters of magnesium oxide nanoparticles", *Drying Technology*, 25: pp. 715–721, (2007).
- [48] Pilarska, A., Wysokowski, M., Markiewicz, E., Jesionowski, T., "Synthesis of magnesium hydroxide and its calcinates by precipitation method with the use of magnesium sulfate and poly (ethylene glycols) ", *Powder Technology*, 235: pp. 148–157, (2013).
- [49] Alamdari, A., Rahimpour, M. R., Esfandiari, N., Nourafkan, E., "Kinetics of magnesium hydroxide precipitation from sea bittern", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47: pp. 215-221, (2008).
- [50] Yam, B. J. Y., Le, D. K., Do, N. H., Nguyen, P. T. T., Thai, Q. B., Phan-Thien, N., Duong, H. M., "Recycling of magnesium waste into magnesium hydroxide aerogels", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5): p. 104101, (2020).
- [51] Momenian, H. R., Gholamrezaei, S., Salavati-Niasari, M., Pedram, B., Mozaffar, F., Ghenbari, D., "Sonochemical synthesis and photocatalytic properties of metal hydroxide and carbonate (M: Mg, Ca, Sr or Ba) nanoparticles", *Journal of Cluster Science*, 24: pp. 1031–1042, (2013).
- [52] Baidukova, O., Skorb, E. V., "Ultrasound-assisted synthesis of magnesium hydroxide nanoparticles from magnesium", *Ultrasonics Sonochemistry*, 31: pp. 423–428, (2016).
- [53] Suslick, K. S., Hyeon, T., Fang, M., Cichowlas, A. A., "Sonochemical synthesis of nanostructured catalysts", *Materials Science and Engineering: A*, 204: pp. 186–189, (1995).
- [54] Byrappa, K., Adschiri, T., "Hydrothermal technology for nanotechnology", *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 53: pp. 117–166, (2007).
- [55] Ouraipryvan, P., Sreethawong, T., Chavadej, S., "Synthesis of crystalline MgO nanoparticle with mesoporous-assembled structure via a surfactant-modified sol-gel process", *Materials Letters*, 63: pp. 1862–1865, (2009).
- [56] Li, H., Li, M., Qiu, G., Li, C., Qu, C., Yang, B., "Synthesis and characterization of MgO nanocrystals for biosensing applications", *Journal of Alloys and Compounds*, 632: pp. 639–644, (2015).
- [57] Przyłuski, J., Borocho, E., Kolbrecka, K., Rochalska, M., Włosiński, W., Patent PL-127298, "Preparation of magnesium oxide", (1985).
- [58] Wang, P., Li, C., Gong, H., Wang, H., Liu, J., "Morphology control and growth mechanism of magnesium hydroxide nanoparticles via a simple wet precipitation method", *Ceramics International*, 37: pp. 2061–2066, (2011).

- [59] Fellner, P., Híveš, J., Khandl, V., Králik, M., Jurišová, J., Liptaj, T., Pach, L., "Preparation of magnesium hydroxide from nitrate aqueous solution", *Chemical Papers*, 65: pp. 454–459, (2011).
- [60] Li, X., Shi, T., Chang, P., Hu, H., Xie, J., Liu, Y., "Preparation of magnesium hydroxide flame retardant from light calcined powder by ammonia circulation method", *Powder Technology*, 260: pp. 98–104, (2014).
- [61] Song, X., Sun, S., Zhang, D., Wang, J., Yu, J., "Synthesis and characterization of magnesium hydroxide by batch reaction crystallization", *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 5: pp. 416–421, (2011).
- [62] Dong, C., Cairney, J., Sun, Q., Maddan, O. L., He, G., Deng, Y., "Investigation of Mg(OH)₂ nanoparticles as an antibacterial agent", *Journal of Nanoparticle Research*, 12: pp. 2101–2109, (2010).
- [63] Eivazzadeh-Keihan, R., Khalili, F., Aghamirza MoghimAliabadi, H., Maleki, A., Madanchi, H., Ziaei Ziabari, E., Salimi Bani, M., "Alginate hydrogel-polyvinyl alcohol/silk fibroin/magnesium hydroxide nanorods: A novel scaffold with biological and antibacterial activity and improved mechanical properties", *International Journal of Biological Macromolecules*, 162: pp. 1959-1971, (2020).
- [64] Jung, W. K., Koo, H. C., Kim, K. W., Sook, S., Kim, S. H., Park, Y. H., "Antibacterial activity and mechanism of action of silver ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*", *Applied and Environmental Microbiology*, 62: pp. 3187–3195, (2008).
- [65] Li, H., Liu, S., Zhao, J., Feng, N., "Removal of reactive dyes from wastewater assisted with kaolin clay by magnesium hydroxide coagulation process", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 494: pp. 222–227, (2016).
- [66] Wang, K., Zhao, J., Li, H., Zhang, X., Shi, H., "Removal of cadmium (II) from aqueous solution by granular activated carbon supported magnesium hydroxide", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61: pp. 287–291, (2016).
- [67] Bouraie, M. E., Masoud, A. A., "Adsorption of phosphate ions from aqueous solution by modified bentonite with magnesium hydroxide Mg(OH)₂", *Applied Clay Science*, 140: pp. 157–164, (2017).
- [68] Giorgi, R., Bozzi, C., Dei, L., Gabbiani, C., Ninham, B. W., Baglioni, P., "Nanoparticles of Mg(OH)₂: synthesis and application to paper conservation", *Langmuir*, 21: pp. 8495–8501, (2005).
- [69] Dong, C., He, G., Li, H., Zhao, R., Han, T., Deng, Y., "Antifouling enhancement of poly (vinylidene fluoride) microfiltration membrane by adding Mg(OH)₂ nanoparticles", *Journal of Membrane Science*, 388: pp. 40–47, (2012).
- [70] Moreira, F. K. V., Pedro, D. C. A., Glenn, G. M., Marconcini, J. M., Mattoso, L. H. C., "Brucite nanoplates reinforced starch bio nanocomposites", *Carbohydrate Polymers*, 92: pp. 1743–1751, (2013).
- [71] Balakrishnan, H., Hassan, A., Isitman, N. A., Kaynak, C., "On the use of magnesium hydroxide towards halogen-free flame-retarded polyamide-6/polypropylene blends", *Polymer Degradation and Stability*, 97: pp. 1447–1457, (2012).
- [72] Liany, Y., Tabei, A., Farsi, M., Madanipour, M., "Effect of nanoclay and magnesium hydroxide on some properties of HDPE/wheat straw composites", *Fibers and Polymers*, 14: pp. 304–310, (2013).
- [73] Hui, X., Xin-rong, D., "Preparation and properties of superfine Mg(OH)₂ flame retardant", *Trans. Nonferrous Metals*, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16: pp. 488–492, (2006).
- [74] Shen, H., Liu, Y., "One-step synthesis of hydrophobic magnesium hydroxide nanoparticles and their application in flame-retardant polypropylene composites", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 26(10): pp. 2199-2205, (2018).
- [75] Liu, H., Zong, R., Lo, S., Hu, Y., Zhi, Y., "Fire Extinguishing Efficiency of Magnesium Hydroxide Powders under Different Particle Size", *Procedia Eng.*, 211: pp. 447-455, (2018).
- [76] Lu, Y., Wu, C., Xu, S., "Mechanical, thermal and flame retardant properties of magnesium hydroxide filled poly (vinyl chloride) composites: The effect of filler shape", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 113: pp. 1-11, (2018).
- [77] Belskaya, O. B., Leont'eva, N. N., Zaikovskii, V. I., Kazakov, M. O., Likhoholov, V. A., "Synthesis of layered magnesium-aluminum hydroxide on the γ -Al₂O₃ surface for modifying the properties of supported platinum catalysts", *Catalysis*, 334: pp. 249-257, (2019).
- [78] Alhumaimess, M. S., Alshaimi, I. H., Hassan, H. M. A., El-Sayed, M. Y., Alshammari, M. S., Aldosari, O. F., Alshammari, H. M., Kamel, M. M., "Synthesis of ionic liquid intercalated layered double hydroxides of magnesium and aluminum: A greener catalyst of Knoevenagel condensation", *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(3): pp. 321-333, (2020).
- [79] Govindaraju, K., Anand, K. V., Anbarasu, S., Theerthagiri, J., Revathy, S., Krupakar, P., Durai, G., Kannan, M., Subramanian, K.S., "Seaweed (*Turbinaria ornata*)-assisted green synthesis of magnesium hydroxide[Mg(OH)₂] nanomaterials and their anti-mycobacterial activity", *Materials Chemistry and Physics*, 239: p. 122007, (2020).
- [80] Liu, X., Liao, C., Lin, L., Gao, H., Zhou, J., Feng, Z., Lin, Z., "Research progress in the environmental application of magnesium hydroxide nanomaterials", *Surfaces and Interfaces*, 21: p. 100701, (2020).

- [81] Tsuchiya, K., Fuchida, S., Tokoro, C., "Experimental study and surface complexation modeling of fluoride removal by magnesium hydroxide in adsorption and coprecipitation processes", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8: p. 104514, (2020).
- [82] Jiang, D., Yang, Y., Huang, C., Huang, M., Chen, J., Rao, T., Ran, X., "Removal of the heavy metal ion nickel (II) via an adsorption method using flower globular magnesium hydroxide", *Journal of Hazardous Materials*, 373: pp. 131-140, (2019).
- [83] Bi, Q., Yao, D., Yin, G. Z., You, J., Liu, X. Q., Wang, N., Wang, D. Y., "Surface engineering of magnesium hydroxide via bioinspired iron-loaded polydopamine as green and efficient strategy to epoxy composites with improved flame retardancy and reduced smoke release", *Reactive and Functional Polymers*, 155: p. 104690, (2020).
- [84] Wang, C., Liu, J., Wang, Y., Han, Z., "Enhanced flame retardance in polyethylene/magnesium hydroxide/polycarbosilane blends", *Materials Chemistry and Physics*, 253: p. 123373, (2020).
- [85] Zhang, Y., Wu, L., Deng, X., Deng, Y., Wu, X., Shi, L., Li, M., Liu, Q., Cheng, X., Li, Z., "Improving the flame retardance of hydrophobic silica aerogels through a facile post-doping of magnesium hydroxide", *Advanced Powder Technology*, 32(6): pp. 1891-1901, (2021).
- [86] Yao, M., Wu, H., Liu, H., Zhou, Z., Wang, T., Jiao, Y., Qu, H., "In-situ growth of boron nitride for the effect of layer-by-layer assembly modified magnesium hydroxide on flame retardancy, smoke suppression, toxicity and char formation in EVA", *Polymer Degradation and Stability*, 183: p. 109417, (2021).
- [87] Meng, W., Wu, H., Wu, R., Wang, T., Wang, A., Ma, J., Xu, J., Qu, H., "Fabrication of surface-modified magnesium hydroxide using Ni²⁺ chelation method and layer-by-layer assembly strategy: Improving the flame retardancy and smoke suppression properties of ethylene-vinyl acetate", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 610: pp. 125712, (2021).
- [88] Zhu, H., Li, L., Chen, W., Tong, Y., Wang, X., "Controllable synthesis of coral-like hierarchical porous magnesium hydroxide with various surface area and pore volume for lead and cadmium ion adsorption", *Journal of Hazardous Materials*, 416: p. 125922, (2021).
- [89] Nguyen, T. T., Tran, V. A. K., Tran, L. B., Phan, P. T., Nguyen, M. T., Bach, L. G., Padungthon, S., Ta, C. K., Nguyen, N., "Synthesis of cation exchange resin-supported iron and magnesium oxides/hydroxides composite for nitrate removal in water", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 32: pp. 378-384, (2021).
- [90] Afolabi, O. B., Oloyede, O. I., Aluko, B. T., Johnson, J. A., "Biosynthesis of magnesium hydroxide nanomaterials using *Monodora myristica*, antioxidative activities and effect on disrupted glucose metabolism in streptozotocin-induced diabetic rat", *Food Bioscience*, 41: p. 101023, (2021).
- [91] Falyouna, O., Maamoun, I., Bensaida, K., Tahara, A., Sugihara, Y., Eljamal, O., "Encapsulation of iron nanoparticles with magnesium hydroxide shell for remarkable removal of ciprofloxacin from contaminated water", *Journal of Colloid and Interface Science*, 605: pp. 813-827, (2022).
- [92] Zhang, S. J., Cao, D. L., Xu, L. K., Tang, J. K., Meng, R. Q., Li, H. D., "Corrosion resistance of a superhydrophobic dodecyltrimethoxysilane coating on magnesium hydroxide-pretreated magnesium alloy AZ31 by electrodeposition", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 625: pp. 126914, (2021).
- [93] Jin, Q., Tian, G., Li, J., Zhao, Y., Yan, H., "The study on corrosion resistance of superhydrophobic magnesium hydroxide coating on AZ31B magnesium alloy", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 577: pp. 8-16, (2019).
- [94] Shin, S. W., Jang, Y. D., Ko, K. W., Kang, E. Y., Han, J. H., Bedair, T. M., Kim, I. H., Son, T. I., Park, W., Han, D. K., "PCL microspheres containing magnesium hydroxide for dermal filler with enhanced physicochemical and biological performances", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 80: pp. 854-861, (2019).