

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- اهمیت غربال‌های مولکولی.....
۴	۲-۱- ترکیبات مزوپور.....
۴	۱-۲-۱- ویژگی ترکیبات مزوپور.....
۵	۲-۲-۱- انواع مزوپورها.....
۶	۱-۲-۲-۱- مزوپورهای کربنی.....
۷	۲-۲-۲-۱- مزوپورهای سیلیسی.....
۸	۳-۲-۱- سنتز و ساختار مزوپورهای سیلیسی.....
۱۱	۱-۳-۲-۱- ترکیبات مزوپور سیلیسی با تقارن شش گوشه‌ای.....
۱۱	۱-۱-۳-۲-۱- ترکیب MCM-41.....
۱۲	۲-۱-۳-۲-۱- ترکیب SBA-15.....
۱۳	۲-۳-۲-۱- ترکیبات مزوپور سیلیسی با تقارن مکعبی.....
۱۳	۱-۲-۳-۲-۱- ترکیب MCM-48.....
۱۴	۲-۲-۳-۲-۱- ترکیب SBA-16.....

۱۸	.....	۳-۱- کاربرد ترکیب مزوپور SBA-16 در کاتالیز
۱۹	.....	۴-۱- طبقه بندی سیستم‌های کاتالیزی
۱۹	.....	۱-۴-۱- کاتالیزگر ناهمگن
۲۰	.....	۵-۱- کاتالیزگر پلی‌اکسومتالات
۲۱	.....	۱-۵-۱- ساختار کگین
۲۴	.....	۲-۵-۱- ساختار ولز- داوسون
۲۴	.....	۳-۵-۱- ساختار اندرسون- اونس
۲۴	.....	۴-۵-۱- ساختار دکستر- سیلورتون
۲۴	.....	۵-۵-۱- شیوه نامگذاری پلی‌اکسومتالات‌ها
۲۵	.....	۱۲-۶-۵-۱- تنگستو فسفوریک اسید
۲۶	.....	۱-۶-۵-۱- ساختار بلوری
۲۷	.....	۲-۶-۵-۱- پایداری گرمایی
۲۸	.....	۳-۶-۵-۱- حلالیت
۲۸	.....	۴-۶-۵-۱- پایداری در محلول
۲۸	.....	۵-۶-۵-۱- ویژگی‌های اکسایش-کاهش

۲۹	.....۱-۵-۷- کاربرد کاتالیزی پلی اکسومتالات
۲۹	.....۱-۷-۵-۱- مقایسه هترو پلی اسیدها با اسیدهای معمولی در کاربرد کاتالیزی
۳۰	.....۱-۶-۱- مروری بر مطالعات انجام شده بر روی بستر مزوپور SBA-16
۳۱	.....۱-۶-۱- روش‌های تثبیت کمپلکس‌های فلزات واسطه درون حفرات بستر مزوپور SBA-16
۳۱	.....۱-۱-۶-۱- سنتز با روش کشتی در بطری
۳۲	.....۱-۱-۶-۱- سنتز با روش در میان‌گیری
۳۲	.....۱-۶-۲- انواع کمپلکس‌های تثبیت شده درون حفرات بستر SBA-16 با روش کشتی درون بطری
۳۲	.....۱-۲-۶-۱- کبالت Co
۳۳	.....۱-۲-۶-۲- روتنیوم Ru
۳۳	.....۱-۲-۶-۳- مس Cu
۳۴	.....۱-۲-۶-۴- وانادیوم V
۳۴	.....۱-۲-۶-۵- طلا Au
۳۵	.....۱-۶-۳- انواع کمپلکس‌های تثبیت شده درون حفرات بستر SBA-16 با روش در میان‌گیری
۳۵	.....۱-۳-۶-۱- آهن Fe
۳۵	.....۱-۳-۶-۲- روتنیوم Ru

۳۵	.....۱-۳-۳-۶-۳-وانادیوم V
۳۷	.....۱-۴-۶-۴- تثبیت پلی اکسومتالات بر روی انواع بسترها
۳۷	.....۱-۴-۶-۱- تثبیت پلی اکسومتالات درون بستر مزوپور MCM-41
۳۸	.....۱-۴-۶-۲- تثبیت پلی اکسوتنگستات درون بستر مزوپور SBA-15
۳۸	.....۱-۴-۶-۳- تثبیت پلی اکسوتنگستات بر روی بستر نانوذرات مغناطیسی CoFe_2O_4
۳۹	.....۱-۴-۶-۴- تثبیت پلی اکسومتالات بر روی بستر مزوپور کربن نیتريد
۴۰	.....۱-۴-۶-۴- اپوکسایش اولفین‌ها با استفاده از ترکیبات پلی اکسومتالات به عنوان کاتالیزگر

فصل دوم: بخش تجربی

۴۲	.....۲-۱- مواد شیمیایی مورد استفاده
۴۲	.....۲-۲- حلال‌های مورد استفاده
۴۳	.....۲-۳- تجهیزات دستگاهی مورد استفاده
۴۴	.....۲-۴- تهیه و شناسایی ترکیب مزوپور SBA-16
۴۴	.....۲-۵- تهیه و شناسایی فسفوتنگستیک اسید با ساختار ولز-داوسون
۴۵	.....۲-۶- تثبیت فسفوتنگستیک اسید درون حفرات بستر مزوپور SBA-16
۴۵	.....۲-۶-۱- تهیه و شناسایی کاتالیزگر ناهمگن $\text{H}_6[\text{P}_2\text{W}_{18}\text{O}_{62}] / \text{SBA-16}$ تهیه شده با روش کشتی درون بطری

- ۲-۶-۲- تهیه و شناسایی کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با
 ۴۵ روش درمیان گیری
- ۲-۷-۱- اپوکسایش اولفین‌ها در حضور کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ و اکسنده H_2O_2
 ۴۶
- فصل سوم: بحث و نتیجه گیری**
- ۳-۱- اهمیت و هدف از انجام پژوهش.....
 ۴۸
- ۳-۲- شناسایی ترکیب مزوپور SBA-16.....
 ۴۹
- ۳-۱-۲- بررسی طیف FT-IR ترکیب مزوپور SBA-16 کلسینه نشده.....
 ۵۰
- ۳-۲-۲- بررسی طیف FT-IR ترکیب مزوپور SBA-16 کلسینه شده.....
 ۵۱
- ۳-۳- شناسایی کاتالیزگر فسفوتنگستیک اسید $32 H_2O$. $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ با ساختار ولز-داوسن.....
 ۵۲
- ۳-۱-۳- بررسی طیف FT-IR کاتالیزگر فسفوتنگستیک اسید $32 H_2O$. $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ با ساختار
 ۵۳ ولز-داوسن
- ۳-۴- شناسایی کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ اصلاح شده توسط گروه های
 ۵۴ اکتیل تری متوکسی سیلان
- ۳-۵- تثبیت فسفوتنگستیک اسید با ساختار ولز-داوسن درون نانو حفرات ترکیب مزوپور SBA-16 با
 ۵۵ روش کشتی درون بطری
- ۳-۱-۵- بررسی طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با روش
 ۵۶ کشتی درون بطری (سوکسله نشده)

۵۷	۳-۵-۲- بررسی طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با روش کشتی درون بطری (سوکسله شده).....
۵۸	۳-۶- تثبیت فسفوتنگستیک اسید با ساختار ولز-داوسن درون نانو حفرات ترکیب مزوپور SBA-16 با روش درمیان گیری.....
۵۹	۳-۶-۱- بررسی طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با روش درمیان گیری (سوکسله نشده).....
۶۰	۳-۶-۲- بررسی طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با روش درمیان گیری (سوکسله شده).....
۶۱	۳-۷- جذب فیزیکی گازها توسط جامدات مزوپور؛ ایزوترم نوع IV.....
۶۱	۳-۷-۱- بررسی نمودار جذب و واجذب نیتروژن بستر مزوپور کلسینه شده SBA-16.....
۶۲	۳-۷-۲- بررسی نمودار جذب و واجذب نیتروژن ترکیب مزوپور SBA-16 اصلاح شده توسط گروه‌های اکتیل تری متوکسی سیلان (SBA-16-C8).....
۶۳	۳-۷-۳- بررسی نمودار جذب و واجذب نیتروژن کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با روش درمیان گیری.....
۶۵	۳-۸- بررسی الگوی پراش اشعه ایکس کاتالیزگر $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با روش درمیان گیری.....
۶۷	۳-۹- بررسی تصاویر SEM.....
۶۸	۳-۱۰- بررسی تصاویر TEM.....

- ۱۱-۳- بررسی اپوکسایش اولفین‌ها در حضور کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ ۶۹
- ۱-۱۱-۳- نتایج تست کاتالیزی کاتالیزگر $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ تهیه شده با دو روش کشتی درون بطری و درمیان‌گیری ۷۰
- ۲-۱۱-۳- بررسی فعالیت کاتالیزی کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ بازیابی شده (تهیه شده با روش درمیان‌گیری) ۷۲
- ۱۲-۳- نتیجه‌گیری ۷۵

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۹	شکل ۱-۱ مکانیسم تشکیل لایه سیلیس.....
۱۰	شکل ۲-۱ مکانیسم تشکیل مزوپور سیلیسی.....
۱۱	شکل ۳-۱ ساختار ترکیبات مزوپور از خانواده M41S.....
۱۳	شکل ۴-۱ تصویر TEM مربوط به ترکیب SBA-15.....
۱۵	شکل ۵-۱ نمایش کلی از سنتز مزوپور SBA-16.....
۱۶	شکل ۶-۱ مسیر یونی برهم‌کنش بین ماده فعال سطحی و گونه‌های معدنی.....
۱۷	شکل ۷-۱ مسیر غیر یونی برهم‌کنش بین ماده فعال سطحی و گونه‌های معدنی.....
۱۸	شکل ۸-۱ تصویر TEM مربوط به ترکیب SBA-16.....
۱۸	شکل ۹-۱ الگو اشعه ایکس ترکیب SBA-16.....
۲۲	شکل ۱۰-۱ شکل سه هشت وجهی مشترک در لبه‌ها برابر یک واحد M_3O_{13}
۲۲	شکل ۱۱-۱ ایزومرهای α ، β ، γ ، δ و ε آنیون کگین $[XM_{12}O_{40}]^{x-8}$
۲۳	شکل ۱۲-۱ انواع اکسیژن‌های ساختار کگین.....
۲۳	شکل ۱۳-۱ (a) ساختار آنیون α -کگین $[XM_{12}O_{40}]^{x-8}$ و مشتقات حفره‌دار آن: (b) تک حفره‌ای، (c) سه حفره‌ای و (d) سه حفره‌ای $B-\{XM_9\}$

- شکل ۱-۱۴ ساختار بلوری $H_3[PW_{12}O_{40}] \cdot 6H_2O$ ۲۷
- شکل ۱-۱۵ تصویری از روش سنتز کشتی درون بطری ۳۱
- شکل ۱-۱۶ روش درمیان‌گیری کاتالیزگر درون حفرات SBA-16 ۳۲
- شکل ۱-۱۷ واکنش باز شدن حلقه اپوکسید در حضور کاتالیزگر ۳۳
- شکل ۱-۱۸ تثبیت نانوذرات اکسید مس درون حفرات بستر SBA-16 ۳۴
- شکل ۱-۱۹ تثبیت نانو ذرات طلا درون حفرات بستر SBA-16 ۳۴
- شکل ۱-۲۰ تثبیت کمپلکس [Fe(salen)] درون حفرات SBA-16 ۳۵
- شکل ۱-۲۱ تثبیت کمپلکس $Ru^{II}(bda)(pic)_2$ درون حفرات بستر SBA-16 ۳۶
- شکل ۱-۲۲ تثبیت کمپلکس VO(Salen) درون حفرات بستر SBA-16 ۳۶
- شکل ۱-۲۳ تثبیت کاتالیزگر پلی اکسومتالات درون بستر مزوپور MCM-41 ۳۷
- شکل ۱-۲۴ تثبیت پلی اکسوتنگستات درون بستر مزوپور SBA-15 ۳۸
- شکل ۱-۲۵ تثبیت پلی اکسوتنگستات بر روی بستر نانوذرات مغناطیسی $CoFe_2O_4$ ۳۹
- شکل ۱-۲۶ تثبیت پلی اکسومتالات بر روی بستر MCN ۴۰
- شکل ۳-۱ ساختار مولکولی پلورونیک F127 ۵۰
- شکل ۳-۲ مراحل تهیه ترکیب مزوپور SBA-16 ۵۰

- شکل ۳-۳ طیف FT-IR ترکیب مزوپور SBA-16 کلسینه نشده..... ۵۱
- شکل ۴-۳ طیف FT-IR ترکیب مزوپور SBA-16 کلسینه شده..... ۵۲
- شکل ۵-۳ طیف FT-IR کاتالیزگر همگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}].32H_2O$ ۵۳
- شکل ۶-۳ کاتالیزگر ناهمگن SBA-16 / $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ اصلاح شده توسط گروه های
اکتیل تری متوکسی سیلان..... ۵۴
- شکل ۷-۳ طرح کلی مراحل تثبیت کاتالیزگر با روش کشتی درون بطری..... ۵۵
- شکل ۸-۳ طیف FT-IR کاتالیزگر SBA-16 / $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ تهیه شده با روش کشتی درون بطری
(سوکسله نشده)..... ۵۶
- شکل ۹-۳ طیف FT-IR کاتالیزگر SBA-16 / $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ تهیه شده با روش کشتی درون بطری
(سوکسله شده) ۵۷
- شکل ۱۰-۳ طرح کلی مراحل تثبیت کاتالیزگر با روش درمیان گیری..... ۵۸
- شکل ۱۱-۳ طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن SBA-16 / $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ تهیه شده با
روش درمیان گیری (سوکسله نشده)..... ۵۹
- شکل ۱۲-۳ طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن SBA-16 / $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ تهیه شده با
روش درمیان گیری (سوکسله شده)..... ۶۰
- شکل ۱۳-۳ نمودار ایزوترم SBA-16 کلسینه شده..... ۶۲
- شکل ۱۴-۳ نمودار ایزوترم SBA-16-C8..... ۶۳
- شکل ۱۵-۳ نمودار ایزوترم کاتالیزگر ناهمگن SBA-16 / $H_6[P_2W_{18}O_{62}]$ تهیه شده با روش
در میان گیری..... ۶۴

- شکل ۱۶-۳ طیف XRD کاتالیزگر $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ (Θ ۰-۱۰) ۶۶
- شکل ۱۷-۳ طیف XRD کاتالیزگر $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ (Θ ۰-۸۰) ۶۶
- شکل ۱۸-۳ تصاویر SEM مربوط به کاتالیزگر $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ ۶۷
- شکل ۱۹-۳ تصاویر TEM مربوط به کاتالیزگر $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ ۶۸
- شکل ۱۶-۳ مکانیسم پیشنهادی اپوکسایش ۶۹
- شکل ۱۷-۳ واکنش پذیری آلایل الکل ها در واکنش اپوکسایش ۷۰
- شکل ۱۸-۳ طیف FT-IR کاتالیزگر ناهمگن $H_6[P_2W_{18}O_{62}] / SBA-16$ بازیابی شده
(تهیه شده با روش درمیان گیری) ۷۳

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۶	۱-۱- انواع مزوپوره‌های کربنی.....
۲۶	۲-۱- ساختارهای بلوری ۱۲- تنگستوفسفریک اسید با آب تبلور متفاوت.....
۴۲	۱-۲- مواد شیمیایی مورد استفاده.....
۴۲	۲-۲- حلال‌های مورد استفاده.....
۶۵	۱-۳- داده‌های مربوط به آنالیز BET ترکیبات SBA-16، SBA-16-C8 و SBA-16 /H ₆ [P ₂ W ₁₈ O ₆₂].....
۷۱	۲-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور کاتالیزگر ناهمگن H ₆ [P ₂ W ₁₈ O ₆₂] /SBA-16 تهیه شده با روش کشتی درون بطری.....
۷۲	۳-۳- نتایج تست کاتالیزی در حضور کاتالیزگر ناهمگن H ₆ [P ₂ W ₁₈ O ₆₂] /SBA-16 تهیه شده با روش درمیان‌گیری.....
۷۴	۴-۳- درصد تبدیل ۳-متیل ۲-بوتن ۱-ال در حضور کاتالیزگر H ₆ [P ₂ W ₁₈ O ₆₂] /SBA-16.....

فهرست نمودارها

۱-۳- نمودار میزان پیشرفت واکنش در هر مرحله از بازیابی کاتالیزگر با روش در میان‌گیری..... ۷۴

۲-۳- نمودار میزان پیشرفت واکنش در هر مرحله از بازیابی کاتالیزگر با روش کشتی درون بطری..... ۷۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت غربال‌های مولکولی^۱

نزدیک به شش دهه است که پیشرفت‌های تاریخی و سلسله وار در مواد غربال‌کننده مولکولی اتفاق افتاده است. این پیشرفت‌ها از زئولیت‌های آلومینو سیلیکاتی شروع شده و به مواد آمورف سیلیسی، کامپوزیت‌های متالوسیلیکات و متالوفسفات و در سال‌های اخیر به غربال‌های مولکولی مزوپور رسیده است [۱]. برخی از این غربال‌های مولکولی حالت بلوری داشته و اندازه تخلخل‌ها در آن‌ها یکسان است. اندازه یکنواخت تخلخل‌ها به خاطر ساختار بلوری آن‌ها پدید آمده است. جنس غربال‌های مولکولی از سیلیکات‌های سدیم و آلومینیا است که به صورت بلوری شکل و با درجات معین اندازه خلل و فرج تولید می‌شوند که فرآیند استفاده از آن‌ها در دهه ۷۰ میلادی به مرحله تجاری رسید. زئولیت‌ها مثالی از این گونه مواد هستند. اکثر غربال‌های مولکولی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند از جنس زئولیت هستند. غربال‌های مولکولی در صنعت نفت، برای خالص‌سازی جریان گاز و در آزمایشگاه شیمی برای جداسازی ترکیبات و خشک کردن مواد اولیه واکنش به کار می‌روند. مواد متخلخل با دارا بودن سطح منحصر به فرد، شکل ساختمانی و خواص حجمی در زمینه‌های مختلف از جمله فرآیندهای تعویض یونی^۲، جداسازی، کاربردهای کاتالیزی و ساخت حسگرها، جداسازی مولکول‌های زیستی و خالص‌سازی کاربرد دارند. این ترکیبات در منابع طبیعی و سیستم‌های زیست‌شناختی به فراوانی یافت می‌شوند. اندازه و نظم حفرات، کنترل‌کننده خواص آن‌ها است. در سال‌های اخیر سعی شده است تا با کنترل و دقت بالا، مواد متخلخلی با اندازه حفرات مشخص تولید شود [۲]. مساحت سطحی یک جامد، پس از متخلخل شدن افزایش می‌یابد و این امر سبب بهبود خواص کاتالیزی، جذبی و جذب سطحی^۳ آن می‌گردد. در مواد مزوپور، خواص جذبی و جذب سطحی آن‌ها، معرف قابلیت آن‌ها در رفع مشکلات زیست‌محیطی است. با توجه به جذب سطحی بالای این مواد، می‌توان از آن‌ها به عنوان غربال‌های مولکولی نیز استفاده کرد. در این صورت این مواد با واکنش‌های سطحی، برخی از مولکول‌ها را جدا می‌کنند. این مواد به دلیل سطح آزاد بالا، در واکنش‌های

1- Molecular Sieve

2- Ion Exchange

3- Adsorption

کاتالیزی نقش مهمی دارند [۳]. مواد متخلخل با توجه به قابلیت‌های که در استفاده به عنوان کاتالیزگر و یا بستر کاتالیزگر دارند به طور گسترده‌ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. بر طبق تعریف آیوپاک مواد متخلخل بر اساس دامنه قطر منافذ نانویی به سه دسته میکروپور، مزوپور و ماکروپور تقسیم می‌شوند:

۱. میکروپور^۱: موادی با حفره‌های ریز، با اندازه حفره‌های ۰-۲ نانومتر

۲. مزوپور^۲: موادی با حفره‌های متوسط، با اندازه حفره‌های ۲-۴۰ نانومتر

۳. ماکروپور^۳: موادی با حفره‌های درشت، با اندازه حفره‌های بزرگتر از ۵۰ نانومتر

البته اصطلاح نانوپور^۴، نیز به تازگی به کار برده می‌شود ولی به طور صریح تعریف نشده است و به حفراتی اشاره دارد که در اندازه نانومتر باشد. بهترین روش تولید مواد متخلخل، استفاده از گونه‌های قالب‌گذار^۵ است. به این ترتیب یک ترکیب آلی و گاهی اوقات یک ترکیب معدنی به عنوان نگه‌دارنده عمل می‌کند که در مراحل بعدی به صورت یک حفره در می‌آید و امکان کنترل توزیع اندازه و گاهی شکل منافذ را ممکن می‌سازد. همچنین از روش سل-ژل نیز می‌توان در ساخت مواد مبتنی بر ژل سود جست، مانند آئروژل‌ها که از انتشار یک گاز در یک ژل، به جامدی بسیار سبک گاهی فقط چهار برابر سنگین‌تر از هوا تبدیل می‌شود. از روش‌های مرسوم لیتوگرافی و تلفیق لیتوگرافی نرم با حکاکی، نیز می‌توان مواد متخلخل تهیه نمود. روش دیگر استفاده از پرتو فرابنفش^۶ است که مولکول‌ها را در لایه نازکی از سیلیکات خود آرا شده با ساختار متناوب، درهم می‌شکند و با قرار گرفتن محصول حاصل در معرض نور، جامد شدن سیلیس^۷ مطابق الگوی متناوب رخ می‌دهد. تغییر تابش نور اندازه حفره‌ها را تغییر می‌دهد [۴]. در خانواده میکروپورها معروف‌ترین اعضاء زئولیت‌ها می‌باشند که توزیع اندازه حفرات آن‌ها باریک و یکنواخت است. این ترکیبات به طور موفقیت آمیزی به عنوان کاتالیزگر در پالایش نفت،

1- Microporous

2- Mesoporous

3- Macroporous

4- Nanoporous

5- Template

6- Ultraviolet light

7- Silica

پتروشیمی و سنتز ترکیبات آلی به ویژه با مولکول‌هایی که با قطر کمتر از ۱۰ آنگستروم سروکار داریم، به کار برده می‌شوند. با وجود خواص مطلوب زئولیت‌ها هنگامی که واکنشگرهایی با اندازه بیش از ابعاد حفرات در فرآیند استفاده می‌شوند، این ترکیبات مناسب نیستند. در این مورد روش منطقی برای غلبه بر چنین محدودیتی حفظ کردن ساختار متخلخل و افزایش شعاع حفرات تا اندازه مزوپورها است [۵].

۱-۲- ترکیبات مزوپور

بسیاری از گونه‌های آلی قالب‌گذار^۱ به کار برده شده در سنتز زئولیت‌ها بر شیمی تشکیل ژل تأثیر می‌گذارند و به عنوان پرکننده حفرات در جامدات متخلخل حاصل، عمل می‌نمایند. در نتیجه تلاش‌هایی برای استفاده از گونه آلی قالب‌گذار بزرگتر صورت گرفت تا حفرات بزرگتری در مواد حاصل به وجود آید. این روش در مورد زئولیت‌ها چندان موفقیتی نداشت و منجر به کشف، دسته جدیدی از غربال‌های مولکولی شد. کشف خانواده M41S در سال‌های اخیر که یکی از اکتشافات مهیج در زمینه شیمی مواد است کاربرد غربال‌های مولکولی را به دامنه ترکیبات مزوپور نیز گسترش داد. مزوپورها به خاطر قطر حفره مناسب و همین‌طور شکل حفرات مناسب توجه بسیاری را برای پژوهش در سطح جهان برانگیخته‌اند. این مواد با توجه به کاربردهای بالقوه آن‌ها در فناوری جذبی^۲، جداسازی مولکولی^۳، تجزیه، الکترونیک، حسگر گاز و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶].

۱-۲-۱- ویژگی ترکیبات مزوپور

مواد مزوپور در مقایسه با مواد ماکروپور، اندازه حفره یکنواخت و یکسان و مساحت سطح بالاتری دارند و به عنوان بستر کاتالیزگر مناسب هستند و در مقایسه با مواد میکروپور نتایج نشان می‌دهد که مواد مزوپور به دلیل اندازه بزرگتر حفره و حجم بالا، از محدودیت کمتری برخوردار هستند. تا به حال مکانیسم‌های زیادی برای

1- Organic template
2- Absorption technology
3- Molecular separation

توضیح روش تهیه مواد متخلخل مزوپوری پیشنهاد شده است، که دلیل ارائه آن‌ها چگونگی برهمکنش بین ماده فعال سطحی^۱ و پیش ماده معدنی است که باعث تفاوت‌های آشکار بین مسیرهای مختلف سنتز مواد شکل گرفته و دسته‌بندی آن‌ها می‌شود [۷]. ماده فعال سطحی، ماده‌ای است که کشش سطحی آب را از طریق جذب سطحی به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. خاصیت ماده فعال سطحی، ناشی از ماهیت دوگانه ساختمان ملکولی آن است به این معنی که همزمان دارای گروه‌های آبدوست نقش سر و آبگریز نقش دم را ایفا می‌کنند. تعداد زیادی از آن‌ها در توده محلول به هم وصل شده و تشکیل توده‌ای به نام میسل می‌دهند. در واقع دم آن تشکیل یک هسته، مانند یک قطره روغن و سر یونی آن یک پوسته بیرونی می‌سازد که تماس مطلوب با آب را بهبود می‌بخشد. ماده فعال سطحی معمولاً به وسیله گروه‌های باردار یونی و غیریونی تقسیم بندی می‌شود. ماده فعال سطحی غیریونی در قسمت سر خود بی‌بار است [۸]. مشخص شده است که یک آرایه میسلی ماده فعال سطحی تحت تأثیر چند عامل از جمله فشار، حضور حلال و مواد حل شده در محیط واکنش قرار می‌گیرد. حلالیت این مولکول‌ها در دمای پایین کم است ولی با افزایش دما به تدریج زیاد می‌شود و در محدوده دمایی معینی، یک رشد سریع از خود نشان می‌دهد.

۱-۲-۲- انواع مزوپورها

- ❖ مزوپورهای کربنی^۲
- ❖ مزوپورهای سیلیسی^۳

1- Surfactant
2- Carbon mesoporous
3- Silica mesoporous

۱-۲-۲-۱- مزوپوره‌های کربنی

اگرچه مواد متخلخل کربنی گوناگونی با استفاده از روش‌های قدیمی سنتز شده‌اند، اما سنتز مواد متخلخل کربنی بسیار منظم هنوز چالش برانگیز است. در سال‌های اخیر سنتز مزوپوره‌های کربنی با حفرات یکنواخت و یک شکل بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از روش قالب‌گیری، از مواد متخلخل معدنی برای سنتز مواد متخلخل کربنی بسیار منظم استفاده شده است. انواع گوناگونی از مواد متخلخل کربنی با حفره‌های منظم میکروپور، مزوپور و ماکروپور با استفاده از قالب‌های معدنی سنتز شدند. سنتز مواد متخلخل کربنی با استفاده از قالب‌های زئولیتی، مزوپور سیلیسی، نانو ذرات سیلیسی و غشاهای آلومینایی می‌تواند انجام شود. مزوپوره‌های کربنی منظم (OMC) در سال ۱۹۹۹ توسط رتو^۱ و همکارانش سنتز شد. بعدها آن‌ها نوع جدیدی از OMC با نام CMK گزارش کردند. با استفاده از مزوپور سیلیسی MCM-48 موفق به سنتز یک مزوپور کربنی بسیار منظم شدند که آن را CMK-1 نامگذاری کردند [۹]. به طور مثال CMK-3 و CMK-5 با استفاده از قالب SBA-15، CMK-1 و CMK-4 با قالب MCM-48 سنتز می‌شوند (جدول شماره ۱-۱).

پیش ماده	قالب سیلیسی	OMC
ساکارز	MCM-48	CMK-1
ساکارز	SBA-1	CMK-2
ساکارز	SBA-15	CMK-3
استیلن	MCM-48	CMK-4
فورفوریل الکل	SBA-15	CMK-5

جدول ۱-۱- انواع مزوپوره‌های کربنی

این ترکیبات دارای مساحت سطح ویژه بالا، حجم حفره‌ی بزرگ و پایداری فیزیکی و شیمیایی بالایی هستند و به خاطر این ویژگی‌های خاص مورد توجه قرار گرفته‌اند. مزوپورهای کربنی کاربردهای متنوعی در جداسازی گازها، تصفیه آب، اپتیک، کاتالیزگر و به عنوان الکتروود در خازن‌های الکتروشیمیایی و پیل‌های سوختی دارند.

۱-۲-۲- مزوپورهای سیلیسی

مواد مزوپور سیلیسی از سال ۱۹۹۲ شناخته شده‌است. مواد مزوپور سیلیسی با مساحت سطح زیاد و ساختار منظم، کاربردهای بالقوه‌ای دارند. این مواد در ساخت وسایل الکترونیکی، پیل‌های سوختی و جداسازی جذبی به کار می‌روند و همچنین به عنوان کاتالیزگر در شیمی میهمان-میزبان^۱ شرکت می‌کنند. یکی از کاربردهای جدید این مواد که از سال ۲۰۰۰ به بعد مورد توجه واقع شد، کاربرد به عنوان سامانه‌های دارورسانی در بیماران سرطانی است. در مقایسه با کلوئیدهای آمورف و سامانه‌های دارورسانی پلیمری این مواد عوارض جانبی کمتری از خود نشان می‌دهند. یکی از ویژگی‌های جالب جامدات مزوپور در کاتالیز امکان‌ات متعدد اصلاح و تغییر آن‌ها است. اصلاحات برای تنظیم عوامل سطحی به منظور وارد نمودن عامل کاتالیزی و پایداری مزوپور صورت می‌گیرد. مواد مزوپور در کاتالیز اغلب به تنهایی به کار برده نمی‌شوند. در بیشتر موارد عوامل کاتالیزی با وارد نمودن محل‌های فعال در دیواره‌های سیلیسی یا رسوب دادن گونه‌های فعال روی سطح داخلی ماده مزوپور وارد می‌شوند. فایده استفاده از جامدات مزوپور سیلیسی در کاتالیز، مساحت سطح بسیار زیاد و حفرات بزرگی است که انتقال جرم را آسان می‌نماید [۱۰].