

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تهران

پردیس علوم

دانشکده شیمی

سنتز نانوکامپوزیت‌های قابل انبساط و دیرسوز حاوی
آب به عنوان عامل پفزا

نگارش

رفیعه‌السادات نوروزیان امیری

استاد راهنما

دکتر نادر طاهری قزوینی

استاد مشاور

دکتر ناصر شریفی سنجانی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته شیمی کاربردی گرایش پلیمر

بهمن ۱۳۸۷



بنام خدا

دانشگاه تهران

پرديس : علوم

دانشکده : شیمی

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیات داوران پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم رفیعه السادات نوروزیان امیری در رشته شیمی کاربردی گرایش پلیمر با عنوان : " سنتز نانوکامپوزیتهای قابل انبساط و دیسوز حاوی آب به عنوان عامل پف زا "

را در تاریخ ۸۷/۱۱/۱۳

به عدد به حروف

یا نمره نهایی : ۲۰ بیست تمام

و درجه : عالی ارزیابی نمود

ردیف	مشخصات هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا موسسه	امضاء
۱	استاد راهنما استاد راهنمای دوم (حسب مورد):	دکتر نادر طاهری فزونی	استادیار	تهران	
۲	استاد مشاور :	دکتر ناصر شریفی مستجانی	دانشیار	تهران	
۳	استاد مدعو : (داور داخلی)	دکتر حسین مهدوی	دانشیار	تهران	
۴	استاد مدعو : (داور داخلی)				
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی پردیس یا دانشکده شیمی :	دکتر حسین مهدوی	دانشیار	تهران	

تذکر: این برگه پس از تکمیل توسط هیات داوران در نخستین صفحه پایان نامه درج می گردد.

تقدیم بہ

پیشگاہ مقدس امام زمان

پدر و مادر مهربانم
که هر چه دارم از آنها و از آن آنهاست

ہمسر عزیزم

چکیده

در این کار پژوهشی نانوکامپوزیت پلی استایرن-نانورس اصلاح شده قابل انبساط با آب سنتز گردید. در ابتدا نانورس اصلاح شده بصورت یکنواخت در مونومر استایرن پراکنده گردید. طی فرایند پلیمریزاسیون، آب به کمک نشاسته وارد دانه‌ها شده و در نهایت دانه‌های پلی استایرن-نانورس اصلاح شده‌ی کروی بدست آمد. ترکیب نتایج میکروسکوپی الکترونی عبوری و پراش پرتو ایکس حاکی از ناسازگاری نانورس با بیشترین غلظت اصلاح کننده آلی و بزرگترین فاصله میان صفحات (d_{001}) با ماتریس پلی استایرن بود. این مشاهدات برای اولین بار با استفاده از مفهوم میان افزایی وارون (Inverse intercalation) که بیانگر فرار مولکولهای پلیمر از میان صفحات نانورس پس از رسیدن به طولی بحرانی است، توجیه گردید. ناسازگاری بین پلیمر و مولکولهای طویل سورفکتانت دلیل اصلی وقوع این پدیده است. از سوی دیگر، مورفولوژی‌های متفاوتی از حالت میان افزوده تا کاملاً متورق شده در نمونه‌های حاوی نانورس‌هایی با چگالی تراکم کمتر مولکولهای اصلاح کننده آلی (غلظت کمتر از 100 meq/g clay) و فاصله صفحات (001) کمتر حاصل گردید. مقایسه این نتایج با پیش‌بینی تئوری گینزبورگ و بالاژ در مورد رفتار فازی در نانوکامپوزیت‌های نانورس/پلیمر مذاب بر لزوم تدوین مدل جدیدی برای بیان رفتار فازی حین پلیمریزاسیون سامانه‌های پلیمر/مونومر/نانورس را یادآوری می‌نماید.

افزودن نانورس اصلاح شده باعث افزایش میزان آب در دانه‌های قابل انبساط شد. همچنین، با افزایش نانورس نرخ اشتعال محصول نهایی، به دلیل افزایش میزان اصلاح کننده آلی در آن، بیشتر شد. بعلاوه، نتایج حاکی از اثر گذاری مدل پراکنش نانورس در ماتریس پلی استایرنی بر اندازه دانه‌ها، چگالی دانه‌ها قبل از انبساط، مورفولوژی سلول و اشتعال پذیری بود. بهترین نتایج در حالت متورق که میزان پراکندگی به حداکثر مقدار خود می‌رسید، بدست آمد.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول

بخش تئوری

- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ معایب اسفنج‌های پلی‌استایرنی متداول ۱۱
- ۳-۱ جایگزین کردن پنتین ۱۲
- ۱-۳-۱ جایگزینی دی‌اکسیدکربن بجای پنتین ۱۲
- ۲-۳-۱ جایگزینی آب بجای پنتین ۱۳
- ۴-۱ هدف پروژه ۴۰

فصل دوم

بخش تجربی

- ۱-۲ مواد مورد استفاده ۴۳
- ۲-۲ روش‌های شناسایی و تحلیل نمونه‌ها ۴۶
- ۳-۲ سنتز نانوکامپوزیتهای پلی‌استایرن قابل انبساط با آب حاوی نانورسهای اصلاح شده WEPSO CN ۴۷

فصل سوم

نتایج و بحث

۱-۳ بررسی مورفولوژی نانو کامپوزیت‌های اسفنجی..... ۵۳

۲-۳ بررسی پراکندگی نانورس و عوامل مؤثر بر آن در نانو کامپوزیت‌های پلی استایرن

قابل انبساط با آب..... ۵۸

۳-۳ بررسی ساختار و خواص نانو کامپوزیت‌های پلی استایرن قابل انبساط با آب

..... ۷۸

فصل چهارم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۴ نتیجه گیری ۸۹

۲-۴ پیشنهادات..... ۹۰

فهرست منابع

منابع ۹۱

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: برخی از مصارف روزمره اسفنج‌های پلی‌استایرنی.....	۱
شکل ۲-۱: سهم هر پلیمر در بازار جهانی اسفنجها [۱].....	۳
شکل ۳-۱: مراحل تولید پلی‌استایرن قابل انبساط [۴].....	۵
شکل ۴-۱: روش صنعتی تولید EPS [۴].....	۶
شکل ۵-۱: چرخه دمایی فرایند پلیمریزاسیون و تهیه EPS [۳].....	۷
شکل ۶-۱: تهیه پیش اسفنج به روش نا پیوسته [۴].....	۹
شکل ۷-۱: اسفنج شدن در ماشین قالب‌گیری [۴].....	۱۰
شکل ۸-۱: نمایی شماتیک از تولید امولسیون وارون (a) و پلیمریزاسیون تعلیقی استایرن/ پلی‌استایرن [۱۲].....	۱۵
شکل ۹-۱: توزیع اندازه ذرات دانه‌های WEPS [۱۲].....	۱۶
شکل ۱۰-۱: تصاویر SEM دانه‌های WEPS [۱۲].....	۱۷
شکل ۱۱-۱: تصویر SEM دانه WEPS پس از انبساط [۱۲].....	۱۷
شکل ۱۲-۱: همخوانی بیشتر بین فاز آبی و آلی با سورفکتانت آمفی فیلک [۱۳].....	۱۸
شکل ۱۳-۱: اثر میزان عامل پف زا بر انبساط [۱۴].....	۱۹
شکل ۱۴-۱: تغییرات میزان انبساط با افزایش در صد عامل پف زا [۱۴].....	۱۹
شکل ۱۵-۱: میزان انبساط در دماهای متفاوت [۱۴].....	۲۰
شکل ۱۶-۱: تولید WEPS با استفاده از نشاسته به عنوان فاز جاذب آب [۱۹].....	۲۳
شکل ۱۷-۱: وابستگی قطر سلول به اندازه ذرات نشاسته [۱۹].....	۲۵
شکل ۱۸-۱: مورفولوژی اسفنج‌ها با نشاسته‌های (الف) برنج، (ب) گندم، (ج) ذرت با آمیلوز بالا، (د) ذرت، (ه) سیب زمینی [۱۹].....	۲۶

- شکل ۱-۱۹: اثر نوع انبساط بر چگالی اسفنج نهایی [۱۹] ۲۷
- شکل ۱-۲۰: اثر روش انبساط بر چگالی و مورفولوژی دانه‌های WEPS . الف) هوای داغ ب) امواج
مایکروویو [۲۰] ۲۸
- شکل ۱-۲۱: اثر میزان آب موجود در دانه‌های پلی‌استایرن بر مورفولوژی و چگالی نهایی اسفنج.
الف) ۱۰٪ آب. ب) ۱۷٪ آب [۲۰] ۲۸
- شکل ۱-۲۲: مورفولوژی دانه‌های پلی‌استایرن در دماهای متفاوت پلیمریزاسیون. الف) 90°C ب)
 120°C [۲۰] ۲۹
- شکل ۱-۲۳: اثر مقدار افزودنی بر حجم آب [۲۰] ۲۹
- شکل ۱-۲۴: اثر مقدار ژئولیت و آب بر چگالی اسفنج [۲۰] ۳۰
- شکل ۱-۲۵: اثر نوع افزودنی بر مورفولوژی اسفنج نهایی. الف) ژئولیت A (۵/۶٪ آب). ب) ژئولیت Y
(۱۰/۶٪ آب). ج) SiO_2 (۳/۵٪ آب) [۲۰] ۳۰
- شکل ۱-۲۶: اثر اندازه ذرات افزودنی بر قطر سلولها. الف) قطر ذره $16\ \mu\text{m}$ قطر سلول $42\ \text{mm}$.
ب) قطر ذره $4\ \mu\text{m}$ قطر سلول $0.18\ \text{mm}$ [۲۰] ۳۱
- شکل ۱-۲۷: اثر نوع رس بر اندازه سلولها در اسفنجها [۴۱] ۳۲
- شکل ۱-۲۸: تصویر TEM بیانگر نحوه توزیع نانوذرات خاک رس اسفنجها [۴۱] ۳۳
- شکل ۱-۲۹: ورود خاک رس در آب در مرحله امولسیون وارون (الف) و ادامه پلیمریزاسیون به روش
سوسپانسیونی (ب) [۴۳] ۳۵
- شکل ۱-۳۰: پراکندگی قطرات آب در دانه‌ها قبل از انبساط (الف) . دانه بدون نانوذرات خاک رس
حاوی ۷/۶٪ آب (ب). دانه کامپوزیتی حاوی ۹/۲٪ آب [۴۳] ۳۶
- شکل ۱-۳۱: تخمین میزان آب موجود در دانه‌ها با استفاده از TGA [۴۳] ۳۶
- شکل ۱-۳۲: تصاویر SEM اسفنج بعد از انبساط (الف) بدون نانو رس - هوای داغ (ب) بدون نانو
رس - روغن داغ (ج) با نانو رس - هوای داغ (ه) با نانو رس - روغن داغ [۴۳] ۳۸

- شکل ۱-۳۳: تصویر TEM نشان دهنده لایه نانوذرات رس اطراف سلول [۴۳].....۳۹
- شکل ۱-۳۴: تصویر SEM از اسفنج که مورفولوژی دوگانه آن را نشان می‌دهد [۴۳].....۴۰
- شکل ۱-۲: تصویر شماتیک از مراحل تهیه نانو کامپوزیت قابل انبساط با آب پلی استایرن=نانورس آلی (WEPSOEN).....۵۰
- شکل ۱-۳: تصویر SEM دانه‌های تهیه شده قبل از انبساط الف) با بزرگنمایی ۲۰ برابر. ب) با بزرگنمایی ۵۰ برابر. (در سمت راست تصاویر SEM مقدار بزرگنمایی و مقیاس آنها داده شده است).....۵۳
- شکل ۲-۳: نمای نزدیک از دانه‌های WEPSOEN - ساختار دوگانه واضح است.....۵۴
- شکل ۳-۳: فرورفتگی‌های میکرونی سطح داخلی حفرات. این ناهمگونی‌های سطحی باعث افزایش ظرفیت جذب آب می‌شود.....۵۵
- شکل ۳-۴: توجیه کاهش عبور پذیری نانوکامپوزیت طبق مدل پریچ و خم [۴۵].....۵۷
- شکل ۳-۵: انواع نانوکامپوزیت نانورس.....۵۹
- شکل ۳-۶: تصویر شماتیک ساختار نانورس 20A.....۶۰
- شکل ۳-۷: تصویر شماتیک ساختار نانورس 15A.....۶۱
- شکل ۳-۸: تصویر شماتیک ساختار نانورس 30B.....۶۱
- شکل ۳-۹: منحنی XRD نانورسها.....۶۲
- شکل ۳-۱۰: تصویر شماتیک بیانگر مقیاسهای طولی مختلف در نانورسها.....۶۲
- شکل ۳-۱۱: منحنی XRD از نانورس 15A و نانوکامپوزیت حاصل از آن.....۶۴
- شکل ۳-۱۲: تصویر TEM نمونه 20A-3.....۶۴
- شکل ۳-۱۳: منحنی XRD از نانورس 20A و نانوکامپوزیت قابل انبساط با آب حاصل از آن.....۶۵
- شکل ۳-۱۴: تصویر TEM اسفنج نانوکامپوزیت نمونه 20A-3.....۶۶

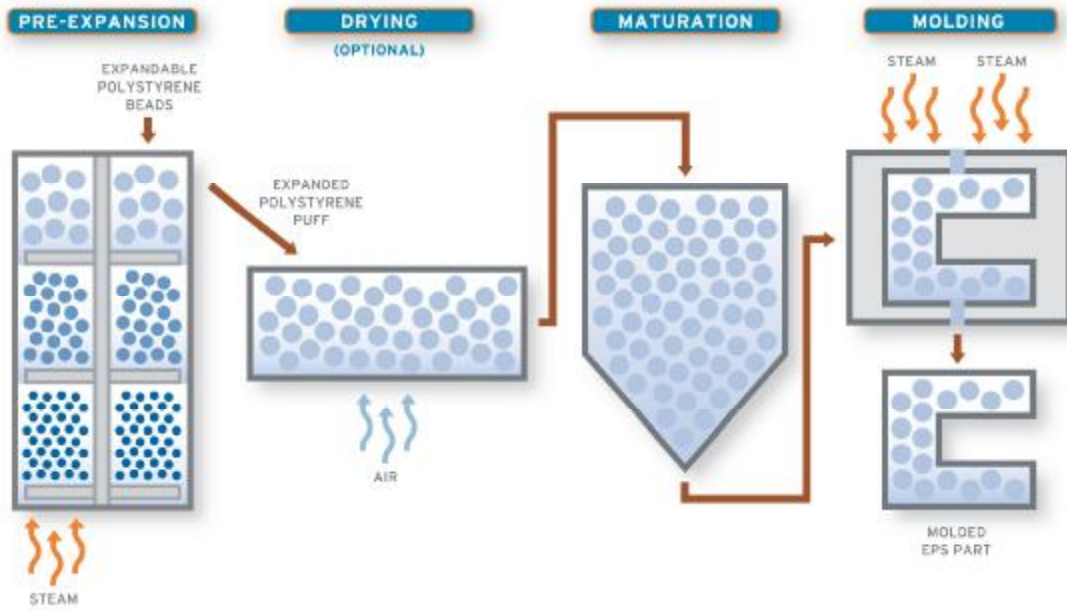
- شکل ۳-۱۵: منحنی XRD از نانورس 30B و نانوکامپوزیت اسفنجی حاصل از آن..... ۶۶
- شکل ۳-۱۶: تصویر TEM نانوکامپوزیت اسفنجی نمونه 30B-3..... ۶۷
- شکل ۳-۱۷: ورود زنجیرهای پلیمری به داخل لایه‌های نانورس در روش پلیمریزاسیون مذاب..... ۷۴
- شکل ۳-۱۸: ورود مونومرها به داخل لایه‌های نانورس در روش پلیمریزاسیون درجا..... ۷۵
- شکل ۳-۱۹: ورود مونومرها به داخل گالری نانورس..... ۷۶
- شکل ۳-۲۰: حد بحرانی پلیمریزاسیون..... ۷۶
- شکل ۳-۲۱: خروج پلیمرهایی که وزن مولکولی آنها بیش از حد بحرانی است..... ۷۷
- شکل ۳-۲۲: نسبت‌های انبساط توسط چهار روش انبساط..... ۸۰
- شکل ۳-۲۳: تصویر SEM از نمونه 15A-3 بعد از انبساط..... ۸۱
- شکل ۳-۲۴: تصویر SEM از نمونه 20A-3 با مورفولوژی میان‌افزوده با بزرگنمایی ۲۰۰ و ۵۰۰ برابر (بعد از انبساط)..... ۸۲
- شکل ۳-۲۵: تصاویر SEM از نمونه 30B-3 بعد از انبساط..... ۸۳
- شکل ۳-۲۶: نمایی نزدیک از حفرات موجود در سطح سلول‌ها. بالا نمونه 20A-3، پایین نمونه 30B-3..... ۸۴
- شکل ۳-۲۷: زمان نرمال شده برای سوختن نمونه‌های 15A با درصد نانورس متفاوت..... ۸۶
- شکل ۳-۲۸: زمان نرمال شده برای سوختن اسفنج‌های نانوکامپوزیتی با سه درصد نانورس اصلاح شده..... ۸۷

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: کاربرد دانه‌های پلی‌استایرن با توجه به قطر دانه [۳].....	۸
جدول ۲-۱: خواص نشاسته‌های مورد استفاده در تحقیق پالای و همکاران [۱۹].....	۲۳
جدول ۳-۱: میزان انبساط دانه‌ها در محیط‌های مختلف [۴۳].....	۳۷
جدول ۱-۲: ساختار و خواص نانورس 15A.....	۴۳
جدول ۲-۲: ساختار و خواص نانورس 20A.....	۴۴
جدول ۳-۲: ساختار و خواص نانورس 30B.....	۴۵
جدول ۴-۲: نوع و مقدار نانورس مورد استفاده در سنتز نانوکامپوزیتها.....	۴۷
جدول ۱-۳: درصد آب موجود در دانه‌های WEPSO CN.....	۵۶
جدول ۲-۳: انرژی چسبندگی محاسبه شده بین لایه‌های نانورس با فاصله‌های متفاوت [۵۰].....	۷۰
جدول ۳-۳: اندازه و چگالی دانه‌های سنتز شده (متوسط اندازه گیری‌ها از ۱۰ نمونه).....	۷۹
جدول ۴-۳: درصد آب اندازه گیری شده با دستگاه TGA.....	۷۹

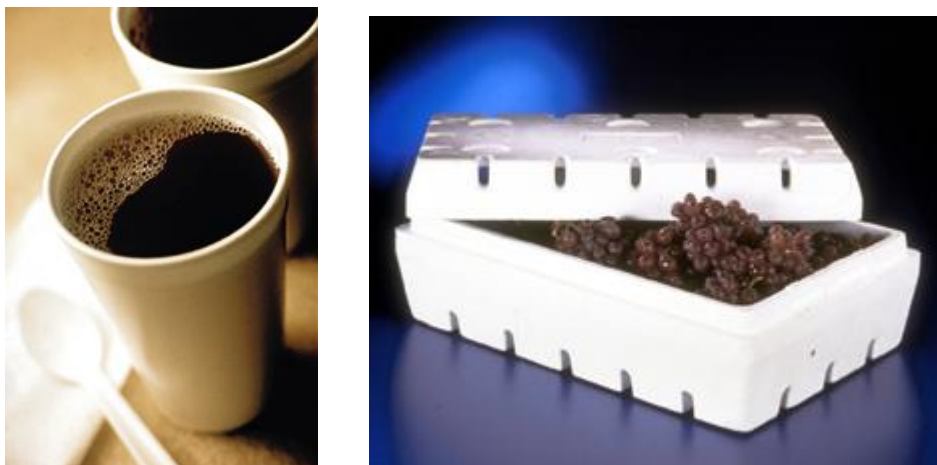
فصل اول

بخش تئوری



۱-۱ مقدمه

اسفنج‌های پلیمری به دلیل کاربرد فراوان در زندگی روزمره ما جایگاه ویژه‌ای دارند. برخی از اسفنج‌ها به دلیل کاربردهای ویژه‌شان قابل رؤیت نمی‌باشند، مثل صفحه‌های عایق که در ساختمانها یا در دیواره یخچالها بکار می‌روند درحالی که برخی دیگر، مثل بسته‌بندیهای مواد غذایی، ظرفها و لیوانهای یکبار مصرف قابل رؤیتند.

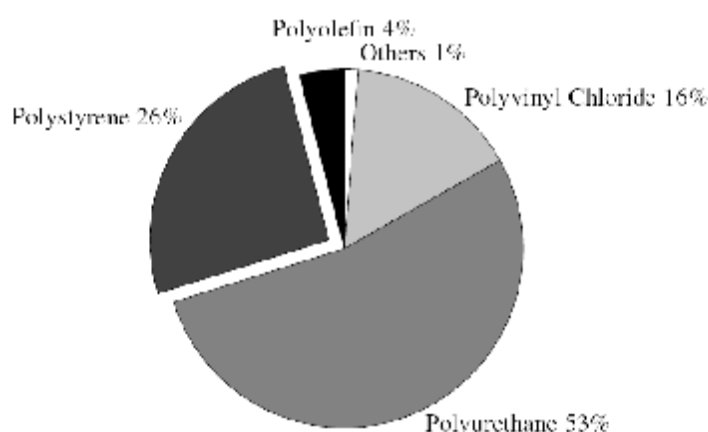


شکل ۱-۱: برخی از مصارف روزمره اسفنج‌های پلی‌استایرنی.

در صنعت پلاستیک، اسفنج‌های پلاستیکی سهمی برابر با ۱۰٪ را در مصرف به خود اختصاص داده‌اند که سهم قابل توجهی می‌باشد. عمده‌ترین تفاوت اسفنج‌های پلیمری با پلاستیکها در چگالی آنها است. در اسفنجها با تولید تعداد بی‌شماری سلول در ماتریس پلیمر، می‌توان به چگالی بسیار پایین رسید. این کار با استفاده از عوامل پفزا^۱، که با توجه به نوع فراورش انواع گوناگون دارد، قابل دسترسی می‌باشد. در این فرایند مهمترین عامل، روشی است که طی آن گاز وارد پلیمر شده و یا در آن تولید می‌شود. نوع پلیمر و نوع عامل پفزایی که اسفنج را تولید می‌کند

^۱ Blowing agent

به عوامل متعددی، از جمله، خواص مورد انتظار از محصول نهایی، امکانات صنعتی در اختیار و همچنین هزینه نهایی محصول وابسته است. اسفنجهای پلیمری را می‌توان از تمام انواع پلیمرها تهیه نمود که البته در این میان بعضی پلیمرها به دلایلی خاص سهم بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. از جمله این پلیمرها می‌توان به پلی‌یورتان، پلی‌استایرن، پلی‌اولفین‌ها و پلی‌ونیل کلراید اشاره نمود. نسبت تقریبی سهم هر پلیمر در بازار جهانی در شکل زیر نشان داده شده است [۱].



شکل ۱-۲: سهم هر پلیمر در بازار جهانی اسفنجها [۱].

پلی‌استایرن یکی از چهار پلیمر پرکاربرد جهان است که تولید سالانه آن به ۱۰ میلیون تن می‌رسد. حدود ۱۵-۲۰٪ وزنی از تولید سالانه این پلیمر به تهیه اسفنجهای پلی‌استایرن اختصاص می‌یابد. به دلیل قیمت پایین، خواص عایق خوب و چگالی پایین، مصرف سالانه این محصول پلیمری در صنایع بسته بندی، ساختمانی و عایق کاری بالا می‌باشد [۲].

اسفنجهای پلی‌استایرن بیشتر از پلی‌استایرن اتاکتیک تولید می‌گردند. وزن مولی و توزیع وزن مولی پلی‌استایرن نقش مهمی در خواص نهایی اسفنج دارد. قیمت و مقاومت حرارتی مناسب، این پلیمر را به رقیبی برای دیگر عایقهای حرارتی مثل اسفنج پلی‌یورتان و پشم سنگ^۲ تبدیل

² Rock Wool

نموده است. خواص غیرقطبی پلی‌استایرن توام با ساختار سلول بسته این فوم به آن خاصیت ضد آب بودن در دمای محیط را می‌دهد به همین دلیل در صنعت بسته بندی غذا و ساخت قطعات شناور استفاده می‌شود [۳].

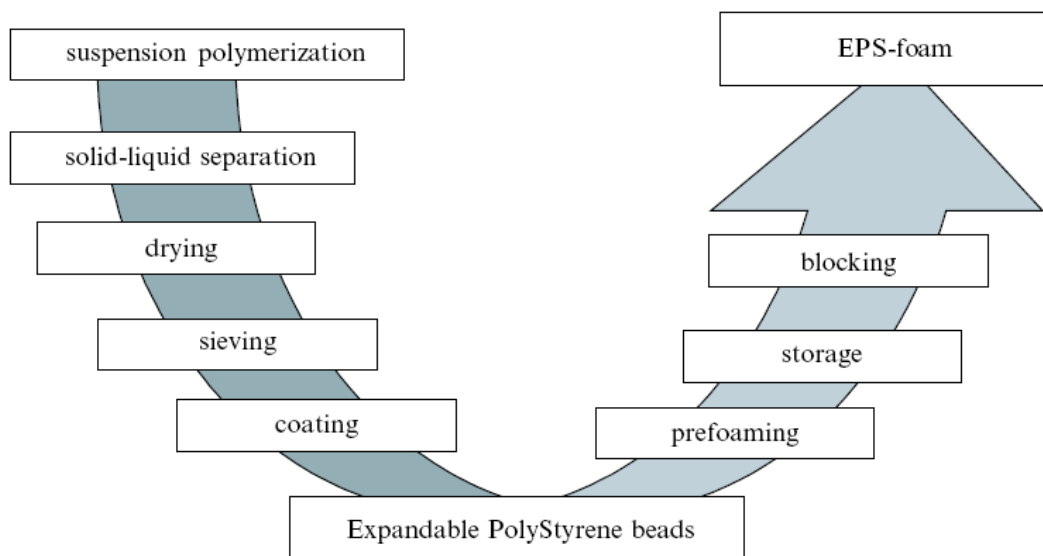
روشهای متعددی برای تهیه اسفنج‌های پلی‌استایرنی پیشنهاد شده است که دو مورد از آنها از اهمیت بیشتری برخوردارند:

الف) اکستروژن مستقیم که از آن برای تهیه صفحه‌های اسفنجی استفاده می‌شود.

ب) تهیه دانه‌های قابل انبساط به روش پلیمریزاسیون تعلیقی.

در روش اول عامل پف‌زا با پلیمر مذاب در یک دستگاه اکسترودر تحت فشار مخلوط می‌شوند. هنگام خروج پلیمر از انتهای اکسترودر، همزمان با کاهش فشار بر مخلوط، عامل پف‌زا شروع به تبخیر نموده و باعث انبساط پلیمر می‌شود. ساختار سلولی حاصل با سرد شدن پلیمر مذاب سخت می‌شود. صفحه اسفنج پلی‌استایرن حاصل را می‌توان با حرارت مجدد به همراه قالب‌گیری به شکل دلخواه درآورد یا می‌توان آن را بلافاصله بعد از خروج از دستگاه اکسترودر به قطعاتی با اندازه و شکل دلخواه برید [۲].

در روش دوم دانه‌ها یا گرانولهای قابل انبساط در یک محل تولید و به محل دیگر برای انبساط و قالب‌گیری به شکل نهایی منتقل می‌شوند. این روش دو مزیت دارد: اول اینکه، نسبت به اکستروژن مستقیم شکلهای پیچیده‌تری را می‌توان از اسفنجها تهیه کرد و ثانیاً، برای انتقال محصول قبل از قالب‌گیری نهایی حجم کمتری حمل شده که خود باعث کاهش هزینه محصول نهایی می‌شود (شکل ۳-۱) [۳].



شکل ۱-۳: مراحل تولید پلی‌استایرن قابل انبساط [۳].

در این روش دانه‌های کروی که به روش پلیمریزاسیون تعلیقی در حضور عامل پف‌زا تهیه شده‌اند، با اعمال حرارت یا بخار منبسط می‌شوند. واژه پلیمریزاسیون تعلیقی بیانگر روشی است که در آن مونومرهای نامحلول در آب بواسطه هم‌زدن شدید بصورت قطرات مایع در آب پراکنده و معلق می‌باشند تا پلیمرهایی را بصورت فاز جامد معلق تولید کنند. آغازگرهایی که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند محلول در فاز آلی هستند و پلیمریزاسیون در قطرات مونومر انجام می‌شود. با توجه به سینتیک واکنش سازوکار آن، از نوع رادیکال آزاد می‌باشد [۴].

پایدار کننده‌های تعلیق، وظیفه تولید و حفظ پایداری قطرات مایع را بر عهده دارند. این پایدار کننده‌ها باید در آب محلول باشند یا توسط آب خیس^۳ شوند. علاوه بر مزایای اصلی پلیمریزاسیون تعلیقی نظیر:

- انتقال حرارت آسان و کنترل دمایی

- گرانیروی پایین در طول مرحله پلیمریزاسیون

- ناخالصی کم در محصول نهایی

³ Wet

- جداسازی آسان و ارزان محصول نهایی

امکان دستیابی به محصولی قابل انبساط بصورت ذرات کروی که توسط هیچ روش دیگری

قابل تهیه نیست را می‌توان به عنوان ویژگی بارز این روش ذکر نمود [۳].

در صنعت برای تهیه پلی‌استایرن قابل انبساط^۴ (EPS) به روش پلیمریزاسیون تعلیقی از

راکتوری که دارای ژاکت حرارتی، همزن و معمولاً تعداد دو یا بیشتری مانع^۵ باشد استفاده می‌شود.

حجم این راکتور می‌تواند بین ۲ تا 100 m^3 باشد. ابتداءً فاز آب و مونومر را داخل راکتور ریخته و

سپس افزودنی‌ها قبل، یا در طول پلیمریزاسیون به آن اضافه می‌شود. این افزودنی‌ها بسته به انحلال

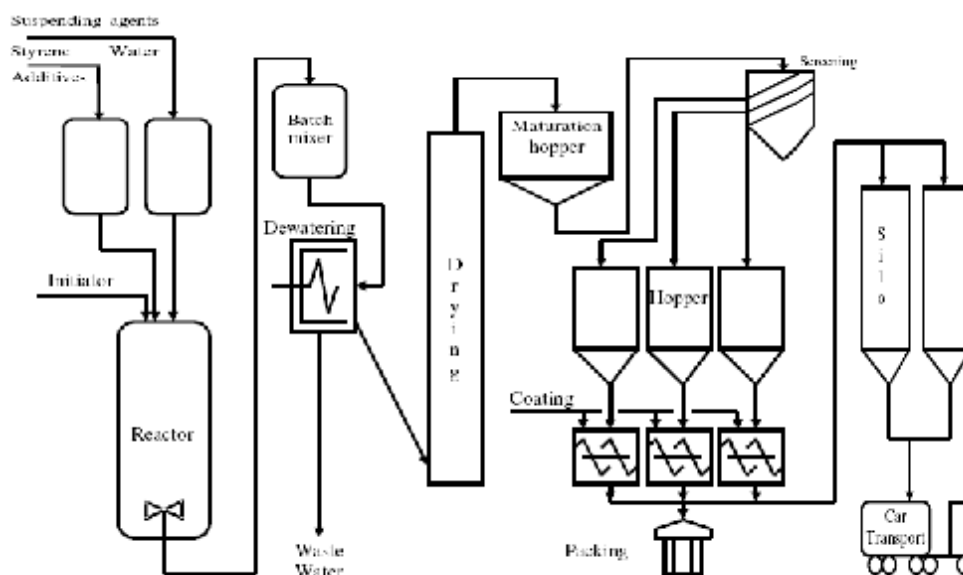
آنها در آب یا مونومر در یکی از دو فاز جای می‌گیرند (شکل ۴-۱).

نسبت آب به مونومر بین ۴۰:۶۰ و ۶۰:۴۰ می‌باشد. با افزایش دمای راکتور، پلیمریزاسیون در

محدوده دمایی معین و با افزایش تدریجی دما انجام می‌شود [۵]. در طول پلیمریزاسیون نیز عامل

پف‌زا اضافه می‌شود. بعد از تبدیل کامل مونومر استایرن به دانه‌های EPS راکتور را خنک کرده و

محصول به محفظه اختلاط وارد می‌شود. معمولاً مراحل انتهایی بصورت پیوسته انجام می‌شوند [۳].



شکل ۴-۱: روش صنعتی تولید EPS [۳].

^۴ Expandable Polystyrene

^۵ Baffle