

فصل سوم

آماده‌سازی مواد اولیه

۳-۱- کلیات فرآیند آماده‌سازی مواد اولیه

هر چند تفاوت‌های بسیاری در محصولات شیشه‌ای تولیدی وجود دارد، با این وجود تمام فرآیندهای تولید شیشه با توزین و اختلاط مواد اولیه به منظور تأمین بیج^۱ یا بار کوره ذوب شروع می‌شود. ترکیبات شیمیایی بسیار متفاوتی را می‌توان در تولید شیشه مورد استفاده قرار داد که هر یک به نحوی بر ویژگی‌های مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی، حرارتی و بصری محصولات شیشه‌ای تأثیر می‌گذارد. جدول (۳-۱) ترکیبات شیمیایی برخی از متداول‌ترین محصولات شیشه‌ای مورد استفاده را نشان می‌دهد. هر بیج مواد اولیه تولید شیشه شامل موارد زیر است که ترکیبات هر یک از آنها در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

- شکل‌دهنده‌ها^۲
- کمک ذوب‌ها^۳، مخلوطی از عناصر مختلف که باعث پایین آمدن نقطه ذوب ترکیبات دیگر می‌شود.
- مواد تثبیت‌کننده^۴
- مواد رنگی یا رنگدانه‌ها^۱

1- Batch
2- Formers
3- Fluxes
4- Stabilizers

جدول (۱-۳): ترکیبات شیمیایی برخی از متداول ترین محصولات شیشه‌ای بر حسب درصد وزنی

Glass Type	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	PbO	BaO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	Uses
Soda Lime Glass										
1-general	1.0				3.6	5.2	0.6	16.0	73.6	Windows, tubing, light bulbs, containers.
2-containers	1.2-2.0				1.2-2.0	9-12	0.6	12-14	72-73.5	
Ancient Roman Soda Lime glass	2.5		0.01		1.0	8.0	1.0	18.0	67.0	Decorative glass objects, containers
Borosilicate										Low expansion, good thermal shock and chemical industry, for pipelines, light bulbs, photo-chromic glasses,
1-low expansion (Pyrex)	2.2	12.9	-				0.4	3.8	80.5	
2-low electrical loss	1.1	28.0	1.2				0.5		70	
Aluminoborosilicate										Laboratory apparatus and architectural glass, textile fibers
1-standard (apparatus)	5.6	9.6		2.2		0.9	0.5	6.4	74.7	
2-low-alkali (E-glass)	14.5	8.5		-		22	-	0.5	54.5	
Aluminosilicate	20.5	4.0			12.0	5.5		1.0	57.0	Applications requiring strength at high temperatures, low expansion
Lead Silicate										Decorative crystal glass, achromatic lenses, optical glass, radiation shielding, electrical uses, thermometer tubing
1-electrical	0.6	0.2	21.0		0.2	0.3	6.0	7.6	63.0	
2- high lead			58.0				7.2	-	35.0	
Fused Silica									99.5	Applications requiring very low expansion and high thermal shock resistance
96% Silica (Vycor)	0.5	3.0							96.5	very high temperature applications such as furnace sight glass

جدول (۲-۳): ترکیبات شکل‌دهنده‌ها، کمک ذوب‌ها، تثبیت‌کننده‌ها و مواد رنگی

Silica (SiO ₂) Boron/Boric Acid (B ₂ O ₃) Lead Oxide (PbO) Feldspar	شکل‌دهنده‌ها
Soda Ash (Na ₂ CO ₃) Potash (K ₂ O) Lithium Carbonate Lithium Alumino Silicate	کمک ذوب‌ها
Limestone (CaCO ₃ , CaO) Litharge Alumina (Al ₂ O ₃) Magnesia (MgO) Barium Carbonate (BaO) Strontium Carbonate Zinc Oxide Zirconia	تثبیت‌کننده‌ها
Iron (sulfides or pyrites) Cobalt Oxide Nickel Oxide Selenium	مواد رنگی

۱-۱-۳- شکل‌دهنده‌ها

شکل‌دهنده‌ها ترکیبات اصلی مورد استفاده در تولید مذاب شیشه را تشکیل می‌دهند. ماده اصلی شکل‌دهنده در تمام شیشه‌های تولیدی، سیلیس^۱ است که به شکل ماسه‌ای و با کیفیت بالایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در انتخاب ماسه سیلیسی مورد استفاده در تولید محصولات شیشه‌ای، باید عوامل زیادی را مد نظر قرار داد. هزینه انتقال ماسه سیلیسی از معادن و کارخانجات تولید شیشه گاهی به چند برابر هزینه خرید تأمین خود ماسه سیلیسی بالغ می‌گردد. به علاوه هزینه خرید ماسه‌های سیلیسی با دانه‌بندی ریزتر بیشتر از انواع با دانه‌بندی درشت‌تر است. از سوی دیگر استفاده از ماسه سیلیسی با دانه‌بندی نامناسب مشکلات زیادی را در فرآیند ذوب و کیفیت محصولات تولیدی ایجاد می‌کند.

به این منظور و برای کاهش هزینه‌های مواد اولیه، کارخانجات تولید شیشه اغلب در محلی نزدیک به معادن سیلیس احداث شده و انتخاب ماسه سیلیسی و دانه‌بندی آن بر اساس موازنه‌ای بین هزینه‌ها و بازدهی ذوب

1- SiO₂

صورت می‌پذیرد. به عنوان مثال تولیدکنندگان محصولات شیشه‌ای مظروف اغلب از ماسه‌های سیلیسی با دانه‌بندی درشت در حدود مش^۱ ۱۰۰-۳۰ استفاده می‌کنند تا همزمان با حفظ راندمان مورد نظر فرآیند ذوب، هزینه‌های مواد اولیه در پایین‌ترین حد ممکن قرار گیرد. اما در مقابل تولیدکنندگان محصولات پشم شیشه باید از ماسه‌های سیلیسی با دانه‌بندی ریزتر و اغلب کمتر از مش ۲۰۰ استفاده کنند.

سایر شکل دهنده‌های اصلی در تولید شیشه عبارتند از :

- فلدسپات^۲ ، نوعی سنگ معدنی متبلور با پایه سیلیکات فلزی مانند سیلیکات آلومینیوم، سدیم، پتاسیم و کلسیم
- بوراکس یا اسید بوریک^۳

بوراکس (بوره) یا اسید بوریک (جوهر بوره) و دیگر کانی‌ها مانند Colemanite, Rasorite و Ulexite به منظور تأمین پایه عنصر بور مورد نیاز برای تولید محصولات شیشه‌ای مقاوم در برابر درجه حرارت‌های زیاد مانند پیرکس‌ها یا پشم شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فلدسپات نیز به منظور تأمین آلومین^۴ یا همان اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در تعدادی از فرآیندهای تولید محصولات شیشه‌ای به کار برده می‌شود. به عنوان مثال در تولید پشم شیشه، علاوه بر ماسه سیلیسی، فلدسپات، سولفات سدیم، بوراکس خشک^۵ ، اسید بوریک و چند ماده دیگر نیز به کار برده می‌شود.

۲-۱-۳- کمک ذوب‌ها

هر چند می‌توان از سیلیس به تنهایی در تولید شیشه استفاده کرد، اما دو مشکل اساسی وجود داشته که عبارتند از:

- دمای ذوب سیلیس بسیار بالاست و در دمای $3133^{\circ}F$ شروع به ذوب شدن می‌کند.
- کارکردن با مذاب سیلیس بسیار مشکل است، چون ویسکوزیته یا درجه چسبندگی مذاب آن خیلی بالا است.

به همین منظور از کمک ذوب‌ها برای پایین آوردن دمای نقطه ذوب بچ استفاده می‌شود. رایج‌ترین مواد کمک ذوب مصرفی در صنایع تولید شیشه، کربنات سدیم (Na_2CO_3 : soda ash) و کربنات پتاسیم (K_2O : potash) هستند که کمک ذوب‌های قلیایی محسوب می‌شوند.

طی ۵ تا ۱۰ سال گذشته، استفاده از ترکیبات لیتیوم (کربنات لیتیوم، سیلیکات آلومینو لیتیوم) به عنوان مواد کمک ذوب به شکل فزاینده‌ای رایج شده است. لیتیوم سبک‌ترین، کوچکترین و در عین حال فعال‌ترین فلز قلیایی است. لیتیوم همچنین کوچکترین شعاع یونی و بزرگترین پتانسیل یونی را دارا است.

^۱ - اندازه مش فوق‌الذکر به ابعاد ذرات عبوری از سرنندی اطلاق می‌شود که تعداد سوراخ‌های مربعی شکل آن در هر اینچ معادل مقادیر ذکر شده است.

مصرف سیلیکات آلومینیوم لیتیوم^۱ (اسپادومن) مورد استفاده در صنایع شیشه نیز در طول ۱۵ سال گذشته رشد چشمگیری داشته است.

گزارش‌هایی که از سوی کارخانجات تولیدکننده شیشه در نقاط مختلف جهان منتشر شده است، نشان می‌دهد که استفاده از ماده کمک ذوب اسپادومن منجر به کاهش دمای ذوب شیشه در همان مقدار انرژی مصرفی برای ذوب شده که این امر باعث بهبود ویژگی‌های مرحله شکل‌گیری، کیفیت بهتر محصولات شیشه‌ای و افزایش ظرفیت اسمی کوره‌های ذوب شده است.

۳-۱-۳- مواد تثبیت کننده

مواد تثبیت کننده مورد استفاده تولید شیشه، به منظور پایدارسازی ویژگی‌های شیمیایی محصول شیشه‌ای تولیدی و همچنین جلوگیری از تجزیه و خرد شدن محصول شیشه‌ای نهایی به کار برده می‌شود. رایج‌ترین تثبیت کننده‌های مورد استفاده در صنایع شیشه عبارتند از سنگ آهک، آلومینا، کربنات باریوم و منیزیم.

آهک خام یا سنگ آهک مصرفی در صنایع تولید شیشه، عموماً به شکل کلسیت، کربنات کلسیم ۹۵ درصد و یا سنگ آهک دولومیت (مخلوطی از دولومیت و کلسیت) وجود دارد که منبع سرشاری از کلسیم و منیزیم مورد نیاز در فرآیند تولید شیشه به شمار می‌رود.

۳-۱-۴- افزودنی‌های رنگ‌زا

تعداد زیادی از افزودنی‌ها در فرآیند تولید شیشه را مواد رنگی یا رنگ‌زاها تشکیل می‌دهند. معمول‌ترین مواد رنگی مورد استفاده در صنایع شیشه آهن، کرم، سریوم^۲، کبالت و نیکل می‌باشند. رنگ کهربایی شیشه، حاصل افزودن سولفید آهن یا پیریت^۳ است. اکسیدهای کبالت و نیکل نیز برای زدودن رنگ زرد و سبز رقیقی که هنگام آلوده شدن مذاب شیشه با ذرات آهنی حاصل می‌آید، بکار می‌رود. در صورت اختلاط سلینوم با آهن و کبالت، محصول شیشه‌ای به رنگ برنز تولید می‌شود. ماده افزودنی سدیم اغلب به منظور ارتقاء ویژگی‌های جذب اشعه فرابنفش (UV)، بهبود ویژگی‌های اپتیکی شیشه تولیدی و کاهش آثار مزاحم اشعه X در محصولات شیشه‌ای خاص بکار برده می‌شود. در برخی موارد خاص، مقادیر کمی از پودر زغال آنتراسیت و یا حتی سرباره‌های کوره ذوب بلند، به بیج مواد اولیه افزوده می‌شود تا ویژگی‌های ذوب شیشه از طریق کنترل عمل اکسیداسیون و احیا بهبود یابند. با این وجود بسته به مشخصات شیشه تولیدی، محتوای سولفور و آهن موجود در مذاب، استفاده از این مواد را محدود می‌سازد.

1- Spodumene
2- Cerium
3- Iron Pyrite

۵-۱-۳- شیشه خرده برگشتی

یکی دیگر از مواد اولیه مصرفی در تولید محصولات شیشه‌ای، شیشه خرده‌های برگشتی^۱ از خط تولید و یا شیشه‌های بازیافتی جمع آوری شده از زباله های شهری است. شیشه خرده میتواند ۱۰ تا ۸۰ درصد از ترکیب بچ را شامل شود که این امر بستگی به نوع محصول شیشه‌ای تولیدی دارد.

بسیاری از تولیدکنندگان محصولات شیشه‌ای ترجیح میدهند که از شیشه خرده‌های برگشتی از خط تولید خود استفاده نمایند، چرا که شیشه خرده‌های بازیافتی ممکن است آلوده بوده و شامل موادی باشند که با کیفیت محصول مورد نظر سازگاری ندارند. در این صورت برای تولید محصولات شیشه‌ای خاصی که نیاز به کیفیت بالاتری دارند (مانند شیشه جام) معمولاً امکان استفاده از شیشه خرده‌های بازیافتی به عنوان یکی از مواد اولیه بچ وجود ندارد.

وجود عناصر فلزی و آلی در شیشه خرده‌های بازیافتی می‌تواند باعث ناپایداری شیمیایی در فرآیند تولید شیشه شده و در نتیجه کیفیت محصول نهایی تنزل یابد. ذرات سرامیکی موجود در شیشه خرده‌های بازیافتی نیز هر چند در مذاب شیشه واکنش شیمیایی نمیدهد اما به عنوان ناخالصی در محصول نهایی ته نشین شده و کیفیت آنرا پایین می‌آورد.

ترکیبات موجود در شیشه خرده‌های بازیافتی، میزان انتشار آلاینده‌های فرار را در طول فرآیند افزایش داده و از این طریق هزینه‌های مترتب بر کنترل، حذف یا کاهش آلاینده‌های گازهای احتراقی خروجی از کوره را افزایش می‌دهد.

کارخانجات تولیدکننده شیشه حتی‌الامکان از شیشه خرده در بچ مواد اولیه استفاده میکنند، زیرا در این صورت از یک سو هزینه تامین بچ در مقایسه با مواد اولیه اصلی کاهش یافته و از سوی دیگر انرژی مورد نیاز جهت ذوب بچ کاهش می‌یابد. در واقع واکنش‌های شیمیایی لازم برای انجام فرآیند بر روی مواد اولیه اصلی جهت شکل‌گیری شیشه، در شیشه خرده‌ها از پیش انجام پذیرفته است.

بطور کلی انرژی مورد نیاز برای ذوب شیشه خرده‌های موجود در بچ حدوداً نصف انرژی لازم برای ذوب مواد اولیه اصلی است. به علاوه مذاب شیشه خرده شیشه‌های برگشتی، تشکیل حمامی از مذاب را می‌دهد که به انتقال حرارت به سایر مواد تشکیل دهنده بچ، کمک می‌کند.

۲-۳- اختلاط مناسب مواد اولیه

مواد اولیه به صورت فله یا بسته‌بندی شده توسط کامیون یا خط آهن به کارخانه حمل می‌شوند. در کارخانه، تخلیه مواد اولیه توسط ماشین آلاتی نظیر لودر و یا از طریق سیستم‌های خلا، ارتعاشی و یا ثقلی صورت می‌گیرد. پس از تخلیه، مواد اولیه توسط تسمه نقاله، بالابرهای سطلی و یا نقاله پیچی^۲ به مخازن ذخیره حمل شده و یا از مخازن به سمت فرآیند فرستاده می‌شود.

1- Cullet

2- Screw Conveyor

مواد اولیه ابتدا خرد، آسیاب و سرند شده و در سیلوهای کوچکی که در ارتفاع قرار دارند به صورت جداگانه ذخیره می‌شوند. سپس ترکیبات خشک تشکیل دهنده بیچ از طریق سیستم تغذیه ثقلی به صورت جداگانه وارد بخش توزین و اختلاط می‌گردند.

شیشه‌های برگشتی خرد شده نیز به بیچ مواد اولیه افزوده شده و مخلوط نهایی به کیف تخلیه یا هاپر فرستاده می‌شود که از آنجا وارد کوره می‌گردد.

تجهیزات مورد استفاده برای آماده‌سازی مواد اولیه معمولاً در مکانی جدای از کوره قرار دارند و به همین خاطر به مجموعه آنها واحد بیچ^۱ اطلاق می‌شود (شکل ۱-۳).

اختلاط بهینه ترکیبات خشک تشکیل دهنده بیچ اهمیت بسزایی در کیفیت نهایی محصول شیشه‌ای تولیدی دارد. چنانچه مواد تشکیل دهنده بیچ بخوبی با یکدیگر مخلوط نشده باشند، مدت زمان لازم برای ذوب ترکیب غیر یکنواخت و غیر هموزن بیچ افزایش یافته و بعلاوه مشکلاتی در کیفیت محصولات نهایی پیش می‌آید. به عنوان مثال ممکن است ویسکوزیته مذاب شیشه یکنواخت نشود و هنگامی که لقمه‌های مذاب به سمت ماشین‌های شکل دهنده محصول فرستاده می‌شوند مشکلات اساسی رخ دهد. در نتیجه ضخامت شیشه در قسمت‌های مختلف محصول نهایی، متفاوت خواهد شد که این امر از نظر کیفیت محصول تولیدی غیر قابل قبول خواهد بود.

برای اطمینان یافتن از یکنواختی مذاب تولیدی، دقت خاصی در آماده‌سازی مواد اولیه بیچ صورت می‌گیرد تا مواد اولیه بیچ، دانه‌بندی مناسبی داشته، به دقت و با نسبت‌های درست وزن شده و در نهایت به خوبی با یکدیگر مخلوط شده باشند.

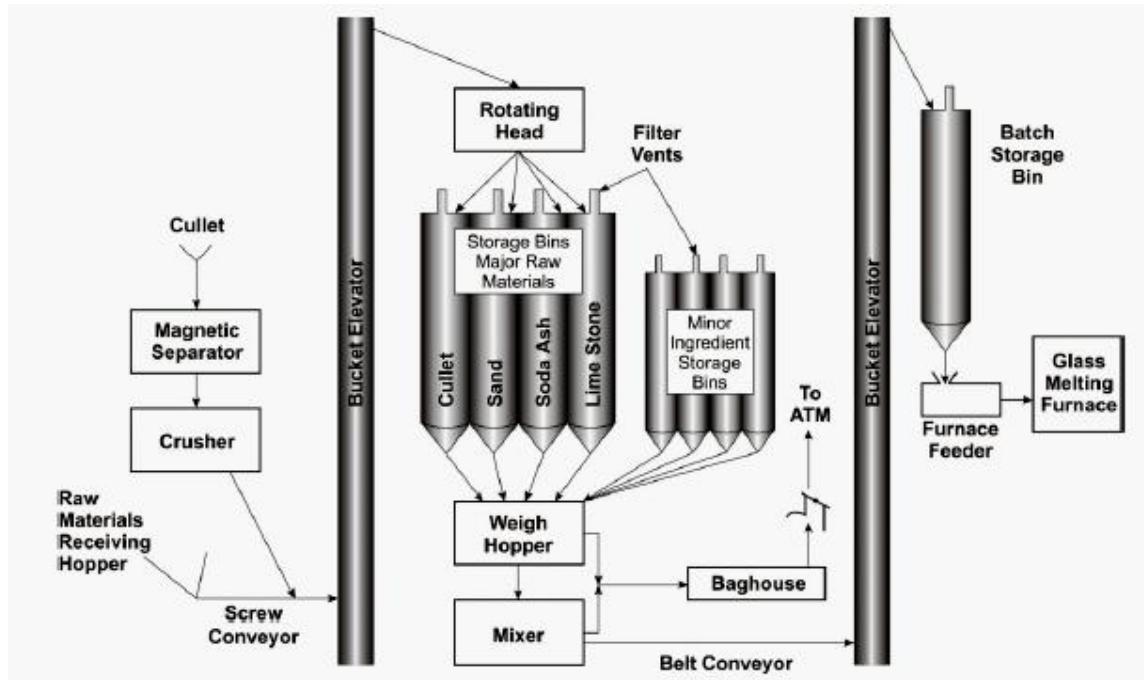
در کارخانجات بزرگ که عملیات آماده‌سازی بیچ در آنها به صورت پیوسته صورت می‌گیرد، از تجهیزات اتوماتیک توزین با کنترل کامپیوتری استفاده می‌شود.

توزین مواد اولیه معمولاً به صورت مستقیم و بر روی تسمه نقاله‌ای صورت می‌گیرد که مواد را به سمت میکسر هدایت می‌کند. در واحدهای کوچک آماده‌سازی مواد اولیه، مواد اولیه تشکیل دهنده بیچ به صورت جداگانه توزین می‌شود. هاپر نیز برای آنکه ترکیبات را به خوبی مخلوط نماید به مدت چند ساعت به صورت پیوسته حرکت چرخشی خود را ادامه می‌دهد.

روش‌های مختلفی برای اختلاط مواد اولیه بر حسب نوع محصولات شیشه‌ای تولیدی بکار برده می‌شوند. اختلاط مواد اولیه در فرآیند تولید شیشه‌های سلیسی، آهک سوددار، بوروسیلیکات و آلومینو سیلیکات معمولاً بصورت غیر پیوسته و در هر مرحله به مدت نسبتاً کوتاه (۸ - ۳ دقیقه) در میکسر انجام می‌شود. پس از آماده شدن هر بیچ، ابتدا مقدار کمی آب به مواد اضافه می‌شود تا عمل اختلاط مواد به صورت مرطوب صورت پذیرد.

افزودن مقدار کمی آب به بیچ که حدود ۴ - ۲ درصد وزنی آنرا تشکیل می‌دهد برای جلوگیری از توزیع ناهمگن مواد اولیه تشکیل دهنده بیچ هنگام انتقال مخلوط و همچنین کاهش میزان گرد و غبار ناشی از اختلاط خشک مواد اولیه است. با کاهش میزان انتشار و پراکندگی گرد و غبار حاصل از مواد اولیه در هوا، عمر کوره و ریژنراتور افزایش می‌یابد. آخرین گام در آماده‌سازی بیچ، شارژ یا انتقال و تغذیه آن به کوره ذوب است. بیچ آماده شده یا

مستقیماً به داخل کوره فرستاده می‌شود و یا در برخی موارد از طریق محفظه الحاقی به کوره (Dog – House) به داخل کوره شارژ می‌شود. به محض آنکه بچ وارد کوره می‌شود، به صورت یک لایه بر روی سطح مذاب شیشه موجود، در داخل کوره پخش می‌گردد.



شکل (۱-۳): طرح شماتیک آماده‌سازی مواد اولیه در فرآیند تولید شیشه

۳-۳- مشخصات مواد اولیه مصرفی در صنعت شیشه

شیشه را یک جامد آمرف تعریف می‌کنند. به ماده‌ای آمرف می‌گویند که دارای نظم ساختمانی نباشد. مواد جامد صلب بوده و در اثر نیروهای وارده (در حد معمولی) سیلان پیدا نمی‌کند. بعبارت دیگر جامد حالتی از ماده است که در آن، ویسکوزیته بالاتر از 10^{15} پوینز می‌باشد.

اکثر تکنولوژیست‌ها، فرآیند تولید شیشه را به این صورت تعریف می‌کنند: شیشه عبارتست از ذوب مواد اولیه بدون آنکه متبلور و منجمد گردد و بعبارت دیگر شیشه را یک مایع فوق سرد^۱ می‌دانند که قبل از فرصت یافتن برای تشکیل کریستال، سرد می‌شود. هنگامیکه یک ماده مذاب سرد می‌شود پس از گذشتن از نقطه ذوب متبلور می‌شود. در اصل هر ماده‌ای را می‌توان به شیشه تبدیل کرد به شرط آنکه آنرا آنقدر سریع سرد نمود که متبلور نشود. دمای نهایی بایستی بقدری پایین باشد که حرکت مولکول‌ها یا اتم‌ها را تا اندازه‌ای آهسته نماید که نتوانند خود را بصورت بلوری که دارای انرژی آزاد کمتری است (و نتیجتاً پایدارتر است) آرایش دهند.

عملاً تعدادی از مواد می‌توانند شیشه تشکیل دهند و در این راستا اکسیدها بیشترین اهمیت را بعنوان عوامل شیشه‌ساز دارا می‌باشند.

سیلیس یا اکسید سیلیسیم^۱ یکی از ترکیباتی است که بعنوان تشکیل دهنده اصلی ساختار شیشه و عبارت دیگر یک شیشه‌ساز خوب بکار می‌رود. اکسید سیلیسیم یکی از فراوان‌ترین کانی‌های موجود در پوسته زمین است که به آن سیلیس گفته و کانی آنرا کوارتز می‌نامند. ترکیبات دیگری نظیر آلومین، اکسید سرب، اکسید تیتان و اکسید روی به تنهایی نمی‌توانند یک شبکه شیشه‌ای تشکیل دهند ولی در شبکه شیشه‌ای اولیه با سیلیس ترکیب می‌شوند که این ترکیبات بعنوان واسطه شناخته شده‌اند.

تعدادی از ترکیبات نظیر آهک با سود، پتاس که در شبکه اولیه شیشه قرار نمی‌گیرند ولی حضورشان موجب بهرم خوردن نظم شبکه و تغییر نسبت اکسیژن به یون‌های شبکه‌ساز می‌گردد، تعدیل‌کننده^۲ نامیده می‌شوند.

سیلیس بواسطه داشتن درجه حرارت ذوب بالا (۱۷۲۳ درجه سانتی‌گراد) به سختی ذوب شده و شکل‌پذیر می‌گردد. بنابر این تولید شیشه سیلیسی در درجات حرارت پایین‌تر بدلیل افزایش ویسکوزیته امکان‌پذیر نمی‌باشد. لهذا بعلت خواص مورد نظر محصول و عوامل اقتصادی، تعدیل‌کننده‌ها در تولید شیشه‌های سیلیسی بکار برده می‌شوند. تعدیل‌کننده‌ها با کاهش ویسکوزیته و نیز تغییر ترکیبات شیمیایی، خواص فیزیکی لازم را در فرآیندهای تصفیه و شکل دادن و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نظر در محصول شیشه‌ای را تأمین می‌کنند. در ادامه مواد اولیه مصرفی در فرآیند تولید شیشه جام کلی تشریح می‌گردند.

۱-۳-۳- سیلیس

عمده‌ترین ماده اولیه شیشه، سیلیس است که در طبیعت به اشکال گوناگون یافت می‌شود. سیلیس در هر سه نوع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی بصورت بلورهای کوارتز و یا سایر ترکیبات سیلیس وجود دارد. بهترین و مناسب‌ترین نوع سیلیس برای مصرف در صنایع شیشه نوع کریستالیزه آن یعنی کوارتز می‌باشد. مهمترین نوع ماسه سنگ‌های غنی، کوارتزیت نامیده می‌شود. مرغوبترین سنگ سیلیس ایران در همدان و ملایر بصورت معادن وجود دارد و تجزیه شیمیایی آنها بشرح ذیل می‌باشد:

- اکسید سیلیسیم ۹۹/۵ - ۹۹ درصد
- اکسید آلومینیوم ۰/۵ - ۰/۲ درصد
- اکسید آهن ۰/۰۹ - ۰/۰۲ درصد

از نظر فیزیکی، دانه‌بندی سیلیس در حدود ۰/۱۵ تا ۰/۵ میلی‌متر ایده‌آل می‌باشد و دانه‌های درشت‌تر از آن نبایستی از ۱۰٪ تجاوز نماید. رطوبت سیلیس نیز نباید از ۴٪ تجاوز نماید. ترکیب شیمیایی و دانه‌بندی مناسب سیلیس در تولید شیشه، بازدهی کوره‌های ذوب و مرغوبیت نهایی محصول تأثیر بسزایی دارد. جهت رسیدن به کیفیت بهتر بایستی از سیلیس‌هایی با درصد آهن پایین و شسته شده استفاده شود.

1 - SiO₂

2- Modifiers

۲-۳-۳- کربنات سدیم

دومین ماده‌ای که از نظر وزنی در تولید شیشه سهم عمده‌ای دارد کربنات سدیم می‌باشد که یا بشکل طبیعی از آب‌های ترونا^۱ و ناترون بصورت $(CO_3Na_2, 10H_2O)$ استخراج می‌شود و یا بصورت یک محصول فرآیند شیمیایی به روش سلوی^۲ از ترکیب دادن نمک طعام، سنگ آهک و آمونیاک بدست می‌آید. در کشورهایی که معادن ترونا و ناترون وجود دارد از کربنات سدیم طبیعی و شیمیایی به نسبت مساوی استفاده می‌شود و در کشورهایی که ذخایر معدنی وجود نداشته باشد از کربنات سدیم شیمیایی استفاده می‌گردد. کربنات سدیم نقش کمک ذوب را در تولید شیشه دارد و نقطه ذوب سیلیس را از ۱۷۲۳ درجه سانتیگراد به حدود ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهد. کربنات سدیم در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد ذوب شده و تجزیه می‌گردد و CO_2 حاصل از واکنش مذکور از کوره خارج و Na_2O حاصله، حالت سیالیت به شیشه می‌دهد.

مشخصات کربنات سدیم مصرفی در صنعت شیشه عبارتست از :

- درجه خلوص CO_3Na_2 بدون آب بیش از ۹۸/۵٪
- کربنات سدیم مصرفی از نوع سنگین
- نمک طعام موجود حداکثر ۰/۷٪
- حداکثر ۱۰٪ دانه‌بندی کمتر از ۰/۱۵ میلی‌متر
- حداکثر رطوبت ۱/۵٪

۳-۳-۳- دولومیت

دولومیت یا کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم در صنعت شیشه بعنوان عنصر تأمین‌کننده CaO و MgO کاربرد دارد. این ماده در طبیعت بصورت رسوبی و دگرگونی یافت می‌شود. دولومیتی که درصنعت شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرد بایستی حاوی Mg ۲۰٪ باشد که باعث تسریع ذوب شیشه شده و مقاومت شیمیایی شیشه را افزایش می‌دهد. دولومیت بصورت ذخایر معدنی در برخی از استان‌های کشور وجود دارد.

مشخصات دولومیت مصرفی در صنایع شیشه جام عبارتست از :

مشخصات شیمیایی

اکسید منیزیم ۲۱-۲۰٪

اکسید کلسیم ۳۲-۳۰٪

اکسید سیلیسیم ۱٪

اکسید آهن ۰/۰۷٪

مواد فرار ۴۶-۴۵٪

و حداکثر ۰/۵ درصد آن نامحلول در اسید کلریدریک باشد.

1- Trona ($CO_3Na_2, CO_3HNa, 2H_2O$)

2 - Solvey Process

مشخصات فیزیکی

حداکثر رطوبت آن از ۱/۵٪ تجاوز ننماید.

از نظر دانه‌بندی بیش از ۲۰ درصد زیر ۰/۰۷ میلی‌متر نباشد و دانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر نیز وجود نداشته باشد.

۴-۳-۳- آهک

بمنظور تثبیت میزان CaO در شیشه علاوه بر اکسید کلسیم همراه با دولومیت، مقداری کربنات کلسیم (سنگ آهک) نیز استفاده می‌شود. کربنات کلسیم خالص دارای CaO ۵۶٪ است. آهک در اثر حرارت تجزیه شده و تبدیل به CO₂ و CaO می‌گردد.

نقطه ذوب CaO در حدود ۲۵۷۲ درجه سانتی‌گراد بوده و بنابراین CaO در مذاب باقیمانده و باعث دوام آن می‌گردد.

آهک مصرفی در شیشه بایستی مشخصات ذیل را داشته باشد :

- درصد CaO در حدود (۵۵ ± ۰/۷)٪
- درصد MgO در حدود ۰/۳٪
- درصد Fe₂O₃ حداکثر حدود ۰/۶۰٪
- حداکثر یک درصد نامحلول در اسید کلریدریک
- از نظر دانه‌بندی دانه‌های درشت‌تر از ۴ میلی‌متر حداکثر ۰/۵ درصد و دانه‌های زیر ۰/۶۰ میلی‌متر حداکثر ۱۰٪.

۵-۳-۳- فلدسپات

فلدسپات تأمین‌کننده آلومین در شیشه‌ها می‌باشد. آلومین در شیشه‌های سودا لایم سیلیکات و بسیاری از شیشه‌های بورو سیلیکات بعنوان ترکیب‌کننده فرعی و در شیشه‌های آلومینوسیلیکات، بعنوان ترکیب‌کننده اصلی بکار برده می‌شود. وجود آلومین در شیشه‌ها باعث کاهش نقطه ذوب شده و مقاومت، استحکام و دوام شیمیایی شیشه را افزایش می‌دهد. در اغلب کارخانجات تولید شیشه، از سرباره کوره‌های بلند ذوب آهن که تحت شرایط بخصوصی تهیه شده است، بعنوان تأمین‌کننده آلومین استفاده می‌کنند. سرباره‌های فوق حاوی آهک، اکسید منگنز، سیلیس و آلومین می‌باشد و در تولید شیشه‌های سودا لایم سیلیکات قابل استفاده هستند. فلدسپات در درجه حرارت بالا تجزیه شده و اکسید سیلیسیم، آلومین و اکسیدهای قلیایی تولید می‌کند.

فلدسپات مصرفی در صنایع شیشه بایستی حداقل شرایط زیر را داشته باشد:

- آلومین (Al₂O₃) ۲۰٪ - ۱۸٪
- Fe₂O₃ حداکثر ۰/۲۰٪
- (K₂O + Na₂O) حداکثر ۱۱±۰/۲۰٪
- دانه‌های بزرگتر از ۱ میلی‌متر داشته باشد.
- بیش از ۱۰٪ زیر ۰/۱۴ میلی‌متر نداشته باشد.

۶-۳-۳- سولفات سدیم

سولفات سدیم نیز مانند کربنات سدیم منبع تأمین Na_2O در تولید شیشه‌های سودا لایم سیلیکات می‌باشد ولی این خاصیت در برابر نقش سولفات سدیم بعنوان یک ماده تصفیه مذاب شیشه ناچیز است. وجود سولفات سدیم در ترکیب شیشه مانع از تشکیل سرباره در سطح شیشه مذاب در مرحله تصفیه آن می‌شود. از آنجائی که سولفات سدیم سریعاً ذوب شده و بدلیل داشتن دانسیته کمتر در سطح مذاب شناور می‌گردد، زمینه مساعدی جهت ترکیب سیلیس شناور در سطح با Na_2O حاصل از سولفات سدیم بوجود می‌آید.

مشخصات سولفات سدیم قابل مصرف در صنایع شیشه به شرح زیر است:

- SO_4Na_2 بیش از ۹۷٪ باشد.
- NaCl آن کمتر از ۰/۵٪ باشد.
- Fe_2O_3 کمتر از ۰/۰۱٪ باشد.
- سولفات بصورت پودر باشد (کریستالیزه نباشد).

۷-۳-۳- سایر مواد اولیه

هر ماده‌ای که به ترکیب شیشه اضافه می‌شود، یا از خواص نامطلوب و ناخالصی‌های موجود در مواد اولیه جلوگیری می‌کند و یا ویژگیهای بخصوصی را نظیر بیرنگ کردن یا رنگی کردن و غیره به شیشه اضافه می‌کند. در تولید شیشه جام و مشجر معمولاً از مواد بیرنگ کننده بعلت گرانی این مواد استفاده نمی‌شود، معذک باید گفت مواد شیمیایی که برای رنگبری بکار می‌روند، متفاوت بوده و شامل موارد زیر است:

× سلنیوم

سلنیوم معمولی‌ترین و مشهورترین رنگبريست که برای بیرنگ کردن شیشه بکار می‌رود و می‌تواند در ظرفیت‌های $(6^+, 4^+, 2^+)$ وجود داشته باشد.

× اکسید کبالت

کبالت بصورت اکسید در بیرنگ کردن شیشه بکار می‌رود و خالص آن بعنوان بیرنگ کننده کاربردی ندارد و به مقدار خیلی کم شیشه را آبی تیره می‌کند. رنگ کبالت به هنگام ذوب بسیار پایدار بوده و به اتمسفر احیایی کوره حساسیتی ندارد. اکسید کبالت بصورت سیاه رنگ می‌باشد و بصورت پودر نرم در صنایع شیشه به مصرف می‌رسد.

مشخصات اکسید کبالت به شرح ذیل می‌باشد :

- درصد خلوص آن از ۷۰٪ بیشتر باشد.
- درصد Fe_2O_3 موجود در آن از ۰/۲۱٪ تجاوز ننماید.
- درصد مس موجود در آن بایستی کمتر از ۰/۱۵٪ باشد.
- دانه‌بندی زیر ۴۴ میکرون باشد.

× اکسید آرسنیک

این اکسید دارای نقطه ذوب پایین می‌باشد و هر چقدر هم آن را سریع سرد کرد باز به تنهایی فاز شیشه تشکیل می‌دهد، ولی As_2O_5 به شیشه تبدیل نمی‌شود. اکسید آرسنیک در ۱۹۳ درجه سانتیگراد ذوب شده و بصورت پودر سفید قابل دسترسی است. منبع اصلی آرسنیک، ارسنوپیرستیها بوده و اسید آرسنیک عامل تصفیه‌کننده و رنگبر در شیشه‌ها می‌باشد.

× نیترات پتاسیم

نیترات پتاسیم یکی از موادی است که جهت تأمین K_2O در شیشه بکار می‌رود و عملاً در شیشه‌های کریستال از پتاس بجای Na_2O استفاده می‌شود. جلای شیشه پتاسیک بهتر از شیشه سدیک می‌باشد. نیترات پتاسیم خاصیت اکسیدکنندگی شدیدی دارد که باعث از بین رفتن رنگ سبز آهن دو ظرفیتی می‌گردد.

× بوراکس

بوراکس تأمین‌کننده B_2O_3 در شیشه‌ها می‌باشد. برای تأمین اکسید بور به علاوه بر بوراکس می‌توان از بوراتها نیز استفاده نمود. سنگ معدن بوراکس، کلماتیت می‌باشد. در شیشه‌های معمولی از بوراکس گاهی تا حدود ۰/۶ تا ۱ درصد جهت جلای شیشه استفاده می‌شود.

× سیستم بیرنگ کننده As_2O_3 -Se- CO_2O_3

برای بیرنگ کردن شیشه بندرت از ترکیبات مختلف به تنهایی استفاده می‌شود و معمولاً این ترکیبات تماماً استفاده شده و بعنوان سیستم‌های بیرنگ کننده شناخته می‌شوند. سلنیوم، اکسید کبالت و تراکسید آرسنیک سیستم اجزاء اصلی بیرنگ‌کننده‌ها را تشکیل می‌دهند.

۸-۳-۳- خلوص و یکنواختی مواد اولیه

مواد اولیه بعنوان تشکیل دهنده شیشه و یا تعدیل‌کننده و یا به منظور تأمین خواص دیگری بکار برده می‌شوند. در کیفیت مواد اولیه بایستی ملاحظات مختلفی نظیر هزینه، قابلیت دسترسی، خلوص و یکنواختی ترکیب شیمیایی، دانه‌بندی و خواص فیزیکی مواد اولیه صورت گیرد.

مهمترین ناخالصی‌ها در تولید شیشه عبارتند از وجود اکسیدهای آهن و کروم و اکسید تیتان و زیرکون می‌باشد. بطور کلی در تولید پیوسته و انبوه شیشه، یکنواختی مواد اولیه از نظر شیمیایی و دانه‌بندی ضرورتی اساسی است و در کیفیت محصولات شیشه‌ای تولیدی تأثیر به‌سزایی دارد.

یکنواختی دانه‌بندی باعث می‌شود که مواد اولیه بهتر مخلوط شده و در نتیجه مرحله ذوب نیز بهتر صورت گیرد. دانه‌های درشت‌تر ممکن است بدون آنکه ذوب شوند در محلول نهایی بصورت کریستال‌هایی باقی بمانند و اگر در مواد اولیه دانه‌های خیلی ریز وجود داشته باشد با پراکنده شدن در فضای کوره و آجرها، سبب بروز خوردگی در قسمت‌های مختلف کوره خواهند شد.

۴-۳- انرژی مورد نیاز

در فرآیند آماده‌سازی بچ، انرژی مورد نیاز برای عملکرد بالابرها سطلی، نقاله های نیوماتیکی، میکسرها و یا مخلوط کن ها انرژی الکتریکی می‌باشد.

میکسرها یا مخلوط کن‌های بچ، بیشترین سهم انرژی الکتریکی را در میان فرآیندهای آماده‌سازی بچ و تغذیه آن به کوره به خود اختصاص می‌دهند. بطور کلی میزان انرژی الکتریکی مصرفی در بخش آماده‌سازی بچ، تنها در حدود ۴ درصد از کل انرژی مورد نیاز در واحدهای تولید شیشه را تشکیل می‌دهد.

مصرف ویژه انرژی در فرآیند آماده‌سازی بچ، به نوع محصول شیشه‌ای تولیدی بستگی دارد و معمولاً در حدود $10^6 \times 1/2 - 10^6 \times 24$ در هر تن شیشه است.

مقادیر انرژی الکتریکی مصرفی در فرآیند آماده‌سازی بچ بر حسب نوع محصول شیشه‌ای تولیدی در جدول (۳-۳) ارائه شده است. لازم بذکر است که در مراحل خردایش، آسیاب و سرنده مواد اولیه، پیش از انتقال آن به فرآیند تولید نیز انرژی الکتریکی به مصرف می‌رسد که مصرف آنها در مقدر ارائه شده در جدول مذکور لحاظ نگردیده است.

جدول (۳-۳): انرژی مورد نیاز در فرآیند آماده‌سازی بچ مواد اولیه

انرژی الکتریکی ^۱ (10 ⁶ Btu/ton)	انرژی الکتریکی (KWh/ton)	حامل انرژی
79	0.27	شیشه جام
155	0.53	شیشه مظروف
223	0.76	پرسی - دمشی
337	1.15	الیاف شیشه‌ای

۱- بر مبنای ضریب تبدیل ۳۴۱۲ Btu/KWh برای انرژی الکتریکی.

