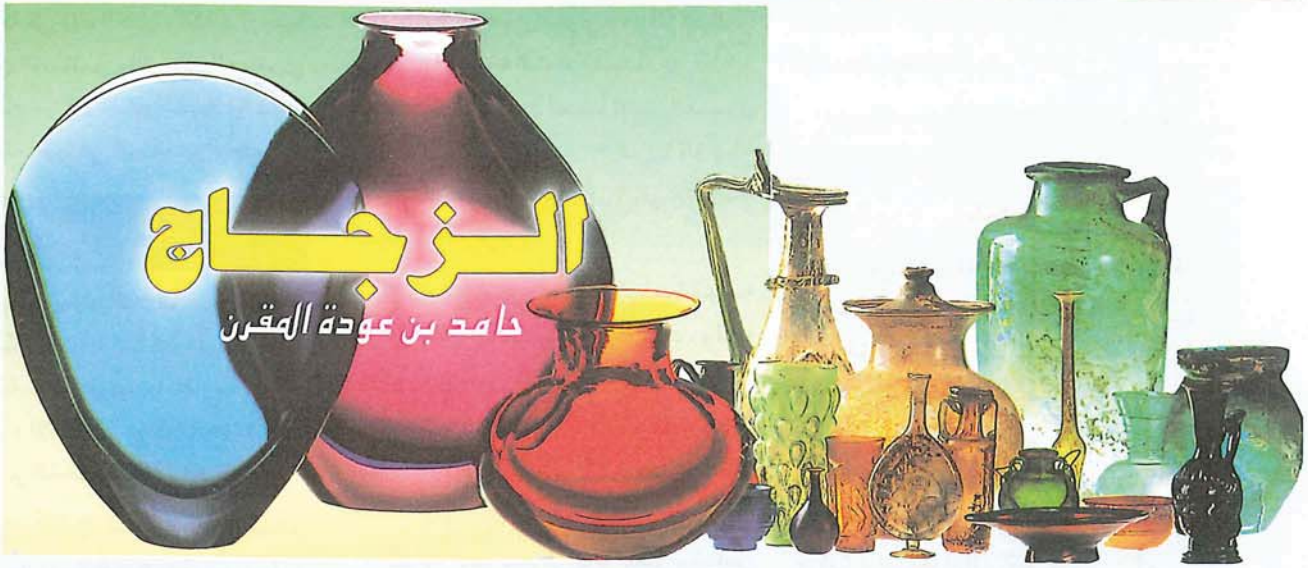


# الزجاج

حامد بن عودة المقرن

**يلعب الزجاج دوراً أساساً في الحياة اليومية للإنسان ، حيث أنه يستخدم في عدد من المجالات الحياتية ، فعلى سبيل المثال يستخدم في المصابيح الكهربائية، ونوافذ المباني ، والأدوات المنزلية ، وأدوات الزينة وغيرها ، كما يستخدم في التطبيقات العلمية ، كأدوات المختبرات الكيميائية لكون أنواع منه لا تتأثر بالقواعد أو الأحماض ماعدا حامض فلوريد الهيدروجين ( Hydrofluoric Acid - HF ) ، وفي أجهزة الدراسات الإشعاعية لكونه يسمح برؤية كيفية التعامل مع بعض المواد المشعة دون التعرض لإشعاعاتها ، علاوة على أنه يستخدم في المركبات الفضائية لما يمتاز به من صلابة وتحمل للضغوط العالية للهواء خلال الرحلة، وكذلك مقاومته للحرارة العالية عند دخول المركبة الغلاف الجوي الأرضي .**

بجانب هذه الاستخدامات الهائلة والواسعة الانتشار نجد أن تكلفة تصنيع الزجاج رخيصة جداً ، حيث أن المادة الأساس لتصنيعه – الرمل – متوفرة وميسرة بكثرة في الطبيعة ، كما أنه يمتاز عند صهره بسهولة قولبته ونفخه وسبكه ، ويمكن عمل ألياف زجاجية منه يصل قطرها إلى ٢,٥ × ١٠-٦ سم ، وفي الوقت نفسه نجد أنه بالإمكان عمل عدسات زجاجية ومرايا ذات أقطار هائلة مثل مرآة منظار هالي في كليفورنيا التي يصل قطرها إلى أكثر من خمسة أمتار .

## تاريخ صناعة الزجاج

لا أحد يعلم متى وأين تمت أول صناعة للزجاج ، ولكن من المؤكد أنه عثر عليه في صورته الطبيعية حول المناطق البركانية ، ولكن كثير من الدلائل تشير إلى أن المصريين الأوائل وسكان بلاد مابين النهرين كانوا رواداً في هذه الصناعة حيث اكتشفت قطع زجاجية مصنعة ترجع إلى مصر القديمة في عام ٢٥٠٠ قبل الميلاد ، كما وجدت بعض القطع الزجاجية الصغيرة في بلاد ما بين النهرين والتي يتوقع أن يكون عمرها حوالي أربعة آلاف سنة .

بدأت صناعة الزجاج بمصر على شكل أواني بطريقة سكب طبقة من الزجاج المصهور على قالب رملي ( Sand Core ) ، وبعد تصلب الزجاج يزال هذا القالب ليعطي وعاءاً مجوفاً يمكن تزيينه على شكل رسومات جميلة ـ حسب الرغبة ـ بزجاج مطحون يضاف ويضغط على سطح الوعاء الزجاجي عند تصنيعه وهو ساخن .

تلا ذلك ظهور تقنية نفخ الزجاج بوساطة الفينيقيين في بلاد الشام ، في أواخر القرن الأول قبل الميلاد ، وقد إستخدم في هذه التقنية أنبوب حديدي بطول متر ونصف تعلق بأحد طرفيه كتلة من الزجاج المصهور وينفخ النافخ الطرف الآخر ، وعند بداية النفخ داخل الكتلة الزجاجية المصهورة يتشكل الزجاج ، وعندها يقوم النافخ بهز القضيب الحديدي أو لفه ليحصل على الشكل المطلوب . وقد أدى اكتشاف هذه الطريقة إلى عمل تطبيقات جديدة للزجاج يتم فيهاصنع قطع جميلة من الزجاج ذات جودة عالية .

وعند نهاية القرن الأول بعد الميلاد بدأت الامبراطورية الرومانية باستخدام معظم التقنيات الحالية حيث بدأ استخدام الزجاج للنوافذ ، كما بدأ استخدام النقش على الزجاج .

بعد ضعف الإمبراطورية الرومانية أمام الفتوحات الإسلامية ، في القرن الرابع والخامس الميلادي بدأت حرفة صناعة الزجاج تأفل في الغرب ، ولكنها في نفس الوقت بدأت تزدهر في الشرق ، حيث انتشرت هذه الحرفة في أنحاء العالم الإسلامي ، وابتكر المسلمون نماذج جديدة لأوانيهم الزجاجية واستخدموا وسائل حديثة في إنتاجهم حتى تفوقت مصنوعاتهم على مصنوعات الخزف التي

كانت شائعة في ذلك الحين ، فبلغت أوجها في القرنين السادس والسابع الهجري بصنع نماذج من الزجاج المحلا بالذهب والمينا لاستخدامها في المساجد والقصور .

## خواص الزجاج

تعتمد جميع تطبيقات الزجاج لمختلف الاستخدامات اعتماداً أساساً على خواصه مثل الصلابة ، والشفافية ، والمقاومة للمواد الكيميائية ، والانكسار ، ونفاذيته للضوء ، وكذلك معامل التمدد والمتانة والقوة .

يعد الزجاج من السوائل ذات التجمد الفائق ( Supercooled Liquid ) ـ رغم أنه يبدو وكأنه مادة صلبة ـ بل عبارة عن سائل سميك لا يسيل كغيره من السوائل ، ولايمكن أن يكون الزجاج مادة صلبة لأن جزيئاته غير متبلورة ، ـ باستثناء زجاج الكريستال ـ أي أنها ليست مرتبة في نظام بلوري معين حيث من المشاهد أنه يتأثر بشكل شديد عند انكساره ، وذلك مقارنة بالمواد الصلبة كالأحجار الكريمة التي تنكسر على هيئة خطوط وتشققات على أساس شكلها البلوري . ومع هذه العشوائية في الترتيب فإن للزجاج ميلا للتبلور ، وذلك إذا بلغ من القدم قروناً طويلة ، أو عند تسخينه لدرجة قريبة من الانصهار .

تعتمد كثافة الزجاج على الأوزان الذرية للمعادن الداخلة في تركيبه ، فعلى سبيل المثال تبلغ كثافة الزجاج من نوع الكوارتز ـ يتكون بصفة أساس من السيليكا ـ حوالي ٢ر٢جم/ سم٣ ، أما الزجاج عديد المكونات مثل زجاج المرايا فتصل كثافته إلى ٥ر٢جم /سم٣ ، وفي حالات أخرى مثل الزجاج المحتوي على رصاص ، فإن الكثافة تزيد عن ذلك بكثير .

يتميز الزجاج بعزله الجيد للحرارة والكهرباء ، كما أن مقاومته الكهربائية تتناقص بشدة في الأجواء الرطبة وعند درجات الحرارة العالية . فمثلا تبلغ المقاومة الكهربائية للزجاج القلوي ( Alkali Glass ) عند درجة حرارة الغرفة فيما بين ١١١٠ إلى ١٩١٠ أوم سم ، أما ثابت العزل الكهربائي فيتراوح بين ٥ إلى ٧ للزجاج عديد المكونات ، وما بين ٥ر٣ إلى ٤ لزجاج السيليكا (الكوارتز) .

وللزجاج ثباتية عالية عند استخدامه كأوعية للمواد الكيميائية والمذيبات ، ولكنه يذوب بسرعة شديدة في بعض الأحماض مثل حامض فلوريد الهيدروجين ( Hydrofluoric Acid - HF ) ليكون حامض هيكسافلوروسيلك ( Hexafluorosilic Acid ).

إضافة لذلك فإن الزجاج يتميز بخواص بصرية عالية ، بسبب أن امتصاصه وعكسه للضوء عاليين ، ويمكن تحسينها ببعض الإضافات . كما أن خواصه الميكانيكية تعد – في معظم الأحيان – قريبة من مواصفات الخزف ، لاتصافه بالقساوة وسهولة الكسر .

## مكونات الزجاج

يصنع الزجاج بصفة أساس بصهر السيليكا ( $SiO_2$ ) المكون الرئيس للرمل ، وتختلف نقاوة الرمل المستخدم في صناعة الزجاج حسب لونه من الأبيض إلى الأصفر أو الأحمر ، حيث يعد الرمل الأحمر أردأ هذه الأنواع لإحتوائه على نسب عالية من أكاسيد الحديد والألمنيوم ، لذلك يستعمل في الزجاج المعتم ، أما الرمل الأبيض فهو الأكثر نقاءاً حيث يكاد ينعدم فيه وجود أكسيد الحديد مما يجعله مناسباً في صناعة الزجاج ذو النقاوة العالية مثل الكريستال والعدسات البصرية وغيرها ، حيث يجب أن تكون نسبة اكاسيدالحديد فيه أقل من ١٪ .

وتختلف مكونات الزجاج حسب غرض الاستخدام إلى ما يلي :-

### • زجاج وحيد المكونة

الزجاج وحيد المكونة ( Single Component ) هو زجاج يحتوي على السيليكا (الكوارتز ) فقط التي تم صهرها عند درجة حرارة ١٩٨٢م ، ثم يتم تشكيلها لتعطي أجود أنواع الزجاج على الإطلاق لما يتميز به من صلابة عالية جداً ، وخواص عزل كهربائي ، وثبات في التركيب الكيميائي عند درجة حرارة عالية تصل إلى أكثر من ٢٠٠٠م .

### • زجاج عديد المكونات

ويشمل هذا النوع جميع الأنواع الأخرى من الزجاج التي تتكون من السيليكا ومكونات أخرى تختلف حسب لون وطبيعة الاستخدام لهذا الزجاج . فعلى سبيل المثال يوضح الجدول ( ١ ) مدى تأثير نسبة أكسيد الحديد على استخدامات الزجاج المختلفة ، ويختلف دور المكونات حسب دور كل منها في صفات الزجاج وذلك كما يلي :

* **مساعدات الصهر :** وهي مواد يتم مزجها مع السيليكا لتعمل على صهرها عند درجة حرارة أقل من درجة انصهار السيليكا ( ١٩٨٢م ) ، وتعد كربونات الصوديوم ( $Na_2CO_3$ ) من أهم مساعدات الصهر التي تضاف لمادة

| نسبة المادة (٪) | | الاستخدام |
|---|---|---|
| السيليكا ($SiO_2$) | أكسيد الحديد ($Fe_2O_3$) | |
| ٩٩,٧٥ | ٠,٠٠٨ | زجاج الكريستال والزجاج البصري |
| ٩٩,٥٠ | ٠,٠١٣ | الزجاج عديم اللون (مستخدم بكثرة) |
| ٩٨,٥٠ | ٠,٠٣٠ | الألواح والحاويات الزجاجية |
| ٩٨,٥٠ | ٠,١٠٠ | زجاج النوافذ والأبواب |
| ٩٧,٥٠ | ٠,٣٠٠ | الزجاج ذو اللون الأخضر |
| ٩٧,٥٠ | ١,٠٠٠ | الزجاج ذو اللون البني |

جدول (١) تأثير نسبة أكسيد الحديد على استخدامات الزجاج .

| التركيـــب | النسبة ٪ |
|---|---|
| السيليكا ($SiO_2$) | ٧٠ ـ ٧٤ |
| كربونات كالسيوم ($CaCO_3$) | ١٠ ـ ١٣ |
| كربونات صوديوم ($Na_2CO_3$) | ١٣ ـ ١٦ |

● جدول (٢) نسبة المكونات الرئيسة لزجاج سيليكات الصودا ـ جير (Soda-Lime Silicate) .

السيليكا لإنتاج الزجاج المائي – سيليكات الصوديوم – والذي له خاصية الذوبان في الماء ، ولكن عند اضافة كربونات الكالسيوم له كمثبت ( Stabilizer ) فان المنتج يصبح زجاجاً لايذوب في الماء ، ويمتاز عن الزجاج المائي بأنه أكثر صلابة وتحملاً ، ويطلق على هذا النوع من الزجاج اسم زجاج سيليكات الصودا – جير ( Soda - Lime Silica ) ، وهو من أهم أنواع الزجاج عل الاطلاق ، حيث يصنع منه زجاج النوافذ والصفائح والألواح والقوارير والحاويات والمصابيح الكهربائية ويمثل ٩٠٪ من أنواع الزجاج ، وهو بجانب أكسيد الكالسيوم ( Ca0) والصوديوم ( $Na_20$ ) يحتوي على أكسيد البوتاسيوم ( $K_2O$ ) ، ويوضح الجدول ( ٢ ) المكونات الرئيسة لهذا النوع من الزجاج .

تدخل مادة اكسيد البورون ( Boric Oxide ) كمادة مساعدة لخفض درجة الانصهار ولتخفيف معامل التمدد في الزجاج فضلاً عن أن مقاومتها الكهربائية والحرارية ومقاومتها للمواد الكيميائية تجعلها تستعمل في صنع الزجاجيات الخاصة بالمعامل الكيميائية وبعض الأواني الزجاجية المستخدمة في الأفران والعازلات الكهربائية وزجاج مكائن الغسيل .

ويطلق على هذا النوع من الزجاج زجاج سيليكات البورون ( Boro Silicate Glass ) كما يعرف كذلك بزجاج الباريكس ( Pyrex ) ، ويوضح جدول ( ٣ ) مكونات هذا النوع من الزجاج .

تعد كسارة الزجاج ( Gullet ) من المواد المساعدة للإنصهار ، فهي بجانب فائدتها

| التركيـــب | النسبة ٪ |
|---|---|
| سيليكا | ٧٠ ـ ٨٥ |
| أكسيد البورون | ١٣ ـ ٢٨ |
| أكسيد الصوديوم | نسبة صغيرة |

● جدول (٣) مكونات زجاج البوروسيليكات (Borosilicates) .

في إعادة تصنيع الزجاج التالف ( Glass Recyle ) تساعد على تخفيض درجة حرارة الانصهار ، وعادة ما تكون نسبة كسارة الزجاج منخفضة نسبياً بحيث لا تتعدى ١٠٪ ولكنها في بعض الاحيان قد تزيد عن ٥٠٪ لتصل إلى ٨٠٪ في بعض الحالات ، ويشترط في كسارة الزجاج أن تكون من نفس تركيب الزجاج المراد تصنيعه .

وتعد عملية إعادة تصنيع الزجاج من أهم العمليات الاقتصادية ، حيث تخفض في تكلفة الطاقة اللازمة للانصهار ، وتوفر المواد الأساسية في التصنيع ، وتطبق هذه العملية بشكل واسع حيث تشكل ١٥٪ من صناعة القوارير ، و ٢٠ ـ ٣٠٪ في صناعة المصابيح .

* **المعدلات :** وهي مواد تضاف لتحسين خواص الزجاج مثل الصلابة ومقاومة الكهرباء والتمدد ودرجات الحرارة العالية ، ومن أمثلة هذه المواد كربونات الكالسيوم التي تم ذكرها سابقاً في صناعة زجاج سيليكات الصودا ـ جير .

وبجانب ذلك فان مادة أكسيد البورون ـ اضافة إلى انها مادة مساعدة للانصهار ـ تعد مادة معدلة لصفات الزجاج ، حيث تكسبه خاصية مقاومة للمواد الكيميائية والكهرباء والحرارة .

تعد مركبات الألمنيوم والزنك والرصاص من المواد الشائعة الاستخدام لاكساب الزجاج صفات معينة ، فعلى سبيل المثال تستخدم مادة الألومينا بنسبة ٢٠٪ في بعض أنواع الزجاج المقاوم لدرجات الحرارة العالية وللمواد الكيميائية ، اما أكسيد الرصاص فيضاف بنسبة ١٥٪ أو أكثر للحصول على زجاج الرصاص الذي يستخدم بكثرة في البصريات لتسببه في ارتفاع معامل الانكسار وشدة انتشار الضوء فضلاً عن المقاومة الكهربائية العالية، كما يستخدم هذا النوع من الزجاج في إنتاج المصابيح وأنابيب النيون .

* **الملونات :** وهي اكاسيد ومواد معدنية تضاف بنسب قليلة لعجينة الزجاج لاكسابها لونا معيناً ، ومن أمثلة ذلك ما يلي:

ـ **اللون البني الداكن :** ويتم باضافة أكسيد الحديد يك ( $Fe_2 O_3$ ) .

ـ **اللون الأصفر مع سمرة :** ويتم بإضافة أكسيد الحديدوز ( Fe O ) وهو لون قوارير الدواء وبعض المواد الكيميائية .

ـ **اللون الأزرق :** ويتم بإضافة أكسيد الكوبالت ( Co O ) .

ـ **اللون الأخضر الفاتح :** ويتم بإضافة أكسيد الكروم ( $Cr_2 O_3$ ) .

ـ **اللون الأحمر :** ويتم بإضافة أكسيد الكادميوم ( CdO ) أو أكاسيد النحاس ( Cu O, $Cu_2O$ ) أو أكسيد الذهب ( $Au_2 O_3$ ) .

ـ **اللون الأحمر الذهبي :** ويتم بإضافة كلوريد الذهب ( $AuCl_3$ ) .

## تصنيع الزجاج

تمزج العجينة الزجاجية مع الكسارة الزجاجية في مكائن خلط تشبة مكائن خلط الأسمنت . ثم تنقل إلى فرن خاص كبير ـ للصهر ـ يطلق عليه خزان الفرن (Tank Furnace) تصل أبعاده إلى ٩م عرضاً و ٤٦م طولا . ويتسع إلى أكثر من ألف طن متري من الزجاج المصهور ، تتم الإضافة لهذا الفرن بشكل متسلسل إلى نهاية العمل ، حيث تشكل بركة زجاجية في قاع الفرن . بعد إتمام صهر العجينة فان الزجاج يبدأ بالظهور، عندها تزال عنه الفقاقيع الهوائية وتقلل الحزوز التي تشوهه .

يعتمد زمن عملية الصهر على نوع الزجاج المصهور والمنتج الذي يصنع من

الزجاج . فقد تأخذ العملية ٣٦ ساعة بين بداية الصهر إلى نهاية العمل بالفرن .

بعد ذلك ينقل الزجاج المنصهر إلى فرن تغذية مبطن بطوب حراري يتحمل درجات الحرارة العالية جداً . يزود فرن التغذية بجهاز يعمل على تدفق الزجاج المصهور إلى أجهزة القولبة إما بشكل مستمر أو على شكل وحدات يطلق على الواحدة منها لقيم السد ( Gobbing Feeder ) حيث تحتوي كل وحدة على زجاج يكفي لانتاج المنتج المعين ، بعدها يتم الانتقال للوحدة التي تليها وهكذا .

## قولبة الزجاج

تختلف قولبة الزجاج حسب نوع المنتج وذلك كما يلي :

### • الزجاج المسطح

توجد عدة طرق لقولبة الزجاج المسطح ( الألواح الزجاجية ) من أهمها :-

* **طريقة فوركاولت :** وتسمى أيضاً طريقة السحب الرأسي ، ويتم فيها سحب الزجاج عمودياً نحو الأعلى من خلال شق في حجر خزفي مقاوم للحرارة بعرض لوح الزجاج المطلوب ، ويضغط مصهور الزجاج بمكابس حيث يجبر للصعود من خلال الشق نحو الأعلى بواسطة شبك معدني إلى الاسطوانات التي تدور بإتجاهين متعاكسين ، وعندما يصل الشبك إلى الاسطوانتين الأوليتين يفصل الشبك المعدني عن اللوح الزجاجي حيث يستمر الأخير بالصعود لمسافة ١٠ أمتار ثم يقطع اللوح الزجاجي الناتج بالمقاسات المطلوبة ، ويبلغ عرض اللوح الزجاجي في هذه الطريقة بحدود ١ر٥ـ ٣ أمتار وبسمك ٧-١٥مم بينما تبلغ سرعة سحب الزجاج بحدود ٩٥متر/ساعة .

* **طريقة بيتسبورغ :** ويتم فيها سحب الزجاج بواسطة شق في حجر خزفي مغمور في المصهور الزجاجي وليس على سطحه كما في الطريقة السابقة ، ويتراوح عرض لوح الزجاج بهذه الطريقة من حوالي ٢ـ٣ متراً وتبلغ سرعة سحب الزجاج ـ سماكته ( ٣مم ) ـ بحدود ١٠٠ـ١١٠متر/ساعة .

* **طريقة ليبي :** ويتم فيها سحب الألواح الزجاجية بدون استخدام الحجر الخزفي ، وتعتمد الطريقة على ادخال شبك من الحديد إلى المصهور الزجاجي ، وذلك على ارتفاع يتراوح من ٦٠ـ٦٥سم ثم يثنى اللوح الزجاجي بتسليط لهب قوي عليه ، ثم يمرر في مجموعة من الاسطوانات التي تعمل كفرن تبريد .

* **طريقة الزجاج العائم ( Float Glass Process ) :** وهي أحدث طريقة حيث حلت محل الطرق السابقة ، ويتم فيها صهر الزجاج في حوض الفرن وينقل منه بطريقة السحب الأفقي ، فيمر الشريط الزجاجي بين زوج من الاسطوانات ، ثم على حوض من القصدير المصهور ، شكل (١) ، وبما أن كثافة الزجاج أقل من كثافة مصهور القصدير فسيعوم الزجاج على سطح مصهور القصدير . يسخن سطح الزجاج غير الملامس للقصدير لصقله بالنار للحصول على سطحين مستويين ومتوازيين تماماً ، ولما كان سطح مصهور القصدير مستوياً فإن سطحي الزجاج يكونان مستويين ومتوازيين مع بعضهما أيضاً . وبعد ذلك يمر الشريط الزجاجي على سطح القصدير ليدخل فرن التلدين ويقطع بعد ذلك بأجهزة آلية .

تمتاز الألواح الزجاجية الناتجة بهذه الطريقة بسطوحها المستوية والمتوازية تماماً دون اخضاعها إلى عمليات تنعيم وصقل . وينتج عن هذه الطريقة ألواحاً بسماكة ٣مم و ٦مم .

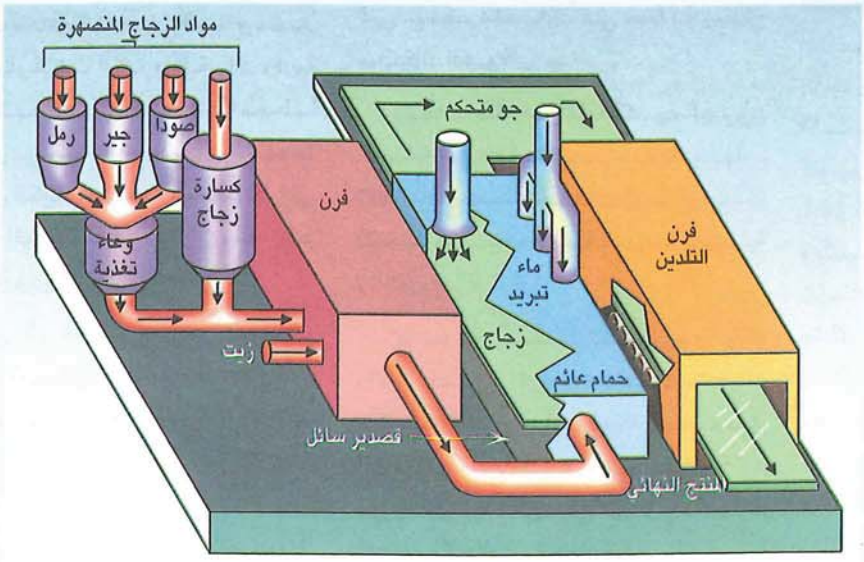
### • زجاج القوارير

تعتمد الطريقة القديمة لصناعة القوارير على طريقة النفخ بالفم في القالب بإستعمال ماسورة نفخ مصنوعة من الحديد لإنتاج القوارير الزجاجية .

أما الطرق الحديثة فتعتمد على سحب المصهور الزجاجي إلي القالب ثم قطعه عن المصهور وإرسال الهواء إلى داخل القالب يشكل الهيكل المطلوب . ومن ا لطرق الحديثة الأخرى ضغط المصهور الزجاجي بكميات محدودة إلى القالب الذي يتألف من قسمين خارجي وداخلي متحرك .

### • الأنابيب والقضبان الزجاجية

تصنع الأنابيب والقضبان حديثاً بطرق آليه يتم فيها صهر الزجاج في فرن




● شكل (١) مخطط صناعة الزجاج المسطح بطريقة الزجاج العائم.

● القولبة بالنفخ إحدى الطرق القديمة لصناعة القوارير.

حوضي ثم يؤخذ شريط زجاجي من الفرن بواسطة أنبوب مجوف دوّار مصنوع من الطوب الحراري . ويبدأ السحب من الأنبوب بشكل يدوي وعلى بعد ٢٥ متراً بمسك القضيب بواسطة زوج من الأحزمة المغطاة بعازل ، وبعد أن يخرج القضيب من الأحزمة يقطع إلى الأطوال المطلوبة .

أما الأنابيب فتصنع بنفخ الهواء بالانبوب المجوف . حيث يحدد القطر الداخلي والخارجي في الانبوب بواسطة التحكم في ضغط الهواء المستخدم وسرعة السحب .

## أنـواع الزجـاج

مرت صناعة الزجاج بعدة مراحل تم فيها تصنيع عدة أنواع منها تختلف باختلاف الحقب التاريخية التي صنعت أثناءها وكذلك باختلاف المنطقة التي صنعت فيها ، ومن أشهر أنواع الزجاج ما يلي :

### ● الزجاج الكهرماني

هو زجاج ذو ألوان ممزوجة بين الأصفر والأحمر بحيث يكون الجزء الأسفل منه ذو لون مصفر كهرماني ( Amberina ) ، يندمج في لون ياقوتي محمر في الجزء الأعلى منه. سجلت براءة اختراعه عام ١٨٨٣م لشركة نيو انجلاند للزجاج في الولايات المتحدة ، وأنتج بكثرة خلال عام ١٨٩٠م . يصنع منه الكثير من الطاولات والحلي المطعمة بالألماس .

### ● زجاج باكرت ( Baccart )

أول ما أنتج في مدينة باكارت ( Amberina ) الفرنسية في بيت لصنع الزجاج في عام ١٧٦٥م . وأصبح هذا النوع في عام ١٨٠٠م ، من أفضل أنواع الزجاج المقطوع في أوربا. وبعد عرضه في معارض باريس في عام ١٩٢٥م ، أصبح يستخدم في الكثير من أعمال الديكور .

### ● زجاج دوم

وهو من أهم أنواع الكريستال الحديث ، وقد أنتج بواسطة شركة ( Daum ) الفرنسية ، ويستخدم عادة في أوعية الكريستال النقية والفازات والمصابيح وفي فن النحت .

### ● زجاج جالي

يعد زجاج جالي من الأنواع الحديثة للزجاج ، وقد صنع في أواخر القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بوساطة شركة جالي ( Frenchman Mile Galle ) ، ومعظم هذا النوع من الزجاج غير شفاف ولكنه يبعث ألوانا عميقة . ويستخدم في أوعية الديكور كالفازات والورود والفواكه الصناعية ، وغالباً ما تستخدم منه قطع في التصاميم البنائية .

### ● زجاج ساتاني أطلس

يستخدم زجاج ساتاني أطلسي ( Satin ) في أعمال الديكور مع خليط معدني خامل ، وذلك بغمر الزجاج في حامض أو بوساطة معالجة الزجاج بأبخرة حامضية . ويستخدم هذا الزجاج في صناعة المصابيح المظلة .

### ● زجاج ليس

يُصَنَّع من زجاج ليس ( Lace ) فازات مع خيوط من الزجاج الأبيض غير الشفاف بحيث يشكل نماذج على شكل لولب حلزوني على الفازات .

### ● زجاج ريلدوم

يعد زجاج ريلدوم ( Reeldom ) من أفضل الزجاج المعروف في العالم اليوم حيث أنه نوع جديد من الزجاج الملون بظلال من اللون الأخضر والرصاصي والأزرق والأرجواني والأصفر ، وتصنعه شركة رويال ريلدوم (Royal Reeldom) الهولندية .

### ● زجاج أوبال أو الحليبي

زجاج أوبال أو الحليبي ( Opal Or Milk ) عبارة عن زجاج أبيض غير شفاف صنع أصلا في فينيسيا ( Venice ) قبل عام ١٥٠٠م وفي فلورنسا ( Florence ) ما بين

● احد أنواع زجاج الديكور.

عـام ١٥٧٥م إلى ١٥٨٧م ، وكـان يصنع بشكل محدود في شمال أوربا وقليل منه في ألمانيا في القرن السابع عشر . أما في القرن الثامن عشر فإن بعض زجاج أوبال أنتج في بريطانيا . ويستخدم بكثرة لصنع بعض أدوات الطاولات وتزيينها خاصة لتغطية بعض الصحون لزخرفتها .

### ● زجاج أوريفورز

أنتج في القرن العشرين من قبل صانعي الزجاج في مدينة أوريفورز ( Orrefors ) بالسويد ، ويبدو هذا الزجاج وكأن هناك سائل محجوز فيه.

### ● زجاج ساندويتش

هو زجاج قابل للنفخ والقولبة والنقش ، أنتج بوساطة شركة بوستن وساندويتش ( Boston & Sandwich ) بأمريكا ، ويعد من أشهر أنواع الزجاج المضغوط حيث ينتج بقولبة خاصة ، وهو يشبه زجاج باكارت المضغوط ، يستخدم هذا الزجاج بكثرة في المصابيح والفازات .

### ● زجاج فاريل

أنتج زجاج فاريل ( Tiffany Farrile ) بواسطة لويس تيفاني خلال الفترة من عام ١٨٩٣م ـ ١٩٣٣م في أمريكا ، وهذا النوع من الزجاج يكون متقزح اللون مصحوباً بمزيج ذو لون برونزي مع مادة أخرى لإنتاج عدة ألوان شديدة من الأزرق الشديد إلى الأرجواني ، ومن الأصفر الذهبي إلى الأخضر ، ويتميز بأن سطوحه ناعمة جداً .

### ● زجاج فورد

أنتج زجاج فورد ( Water Ford ) في مدينة في أيرلندا عام ١٧٢٩م ـ ١٨٥١م ، ومن ١٩٥١م إلى وقتنا الحاضر ، اكتسب هذا النوع شهرة عالمية بسبب استخداماته كجدران سميكة ولمّاعة. كان يصنع منه في البداية الزجاج المدخن ذو اللون الرصاصي اللماع ، ولكنه بدأ يتراجع بإنتاج الكريستال الصافي بعد عام ١٩٨٠م ، ويستخدم هذا الزجاج بصفة أساس في صناعة مصابيح الجدران والفازات وحوامل المصابيح الجدرانية .

## صناعة الزجاج في المملكة

تستورد المملكة مختلف أنواع الزجاج لتلبية الحاجات الضرورية على مختلف أشكالها العمرانية والصناعية والصحية والعلمية . حيث بلغ ما أستوردتة المملكة في عام ١٩٩٤م ما مجموعة ٢٦٤١٨٤ طن وذلك بتكلفة تزيد عن خمسمائة مليون ريال (٥٣٩,٣١٩,٠٠٠ ريال ) .

تتوفر المادة الأساس لصناعة الزجاج ـ الرمل ـ بكثرة في المملكة ، حيث تنتشر صحاري شاسعة في الشمال والشرق والجنوب من المملكة والتي يصل سماكة بعض مناطقها الرملية إلى ٦٥٠ـ ٨٥٠م . ومن أشهر هذه الصحاري صحراء النفود الكبرى (٦٥,٠٠٠كم ٢) ، وصحراء الدهناء (٤٠,٧٨٩ كم٢) وصحراء الربع الخالي (٦٠٠ر٠٠٠ كم٢) وتأخذ هذه الرمال الألوان الأبيض والأصفر والأحمر وهي تتواجد حسب التوزيع التالي :-

### ● المنطقة الوسطى

تنحصر الرمال التي تصلح لصناعة الزجاج بصفة أساس في شرق مدينة الرياض ، وذلك على جبل برمة وجبال الدغم والتي تبعد عن ٤٠كم شرق الرياض، والتي تعد مصدراً كبيراً جداً للرمل الأبيض . فمثلا تبلغ مساحة رمل جبل برمة ٥كم٢ وبسماكة في حدود ١٥م مما يعطي حجم هذه الرمال في حدود ٧٥مليون م٣ . ويحتوي هذا الرمل على نسبة قليله من الحديد (٠,٠٦٪) الكروم (٦ أجزاء من المليون )، وهي نسب مقبولة لتصنيع الزجاج ، ومن عيوب هذا الرمل انخفاض نسبة السيليكيا (٩٦ر٨٩٪ ) مما يجعله غير مفضل لصناعة الزجاج الكريستالي . أما جبال الدغم فتقع على مساحة ٨كم٢ وبسماكة رملية ١٣م ، معطية حجما رمليا بحدود ١٠٠مليون متر مكعب . وتبلغ نسبة أكسيد الحديد في هذه الرمال (٠٧ر٠٪) والكروم (٦أجزاء من المليون) والسيليكا (٨٨ر٩٧٪) وجميع هذه النسب مقبولة لتصنيع الزجاج . وفي كلا الموقعين توجد أماكن تصل نسبة السيليكا إلى نسب عالية (١٥ر٩٩-٤١ر٩٩٪) ، حيث تصل الكميات الرملية الجيدة لتصنيع الزجاج إلى ١٠مليون م٣ في جبل برمة ، ١٩مليون م٣ في جبال الدغم ، و٣٠مليون م٣ فيما بين المنطقتين ، وأكثر من ١٠مليون م٣ فيما بين جبال الدغم وخشم الدغم ، ويمكن زيادة نسبة السيليكا في هذه المناطق لإنتاج زجاج عالي الجودة عن طريق غسل هذه الرمال . إضافة لذلك توجد في بريدة من منطقة القصيم أماكن رملية محتوية عل نسب عالية من السيليكا جيدة لتصنيع الزجاج . كما توجد أماكن أخرى تبعد ٥٠-٦٠كم جنوب غرب بريدة وشمال رياض الخبرى تحتوي على رمال ذات نسبة عالية من السيليكا (٩٥-٩٧٪) ، مع قليل من الألومينا (٦٢ر٠-٢٠ر١٪) ونسبة حديد مقبولة لتصنيع زجاج قليل الجودة مثل زجاج الشبابيك . كما توجد عدة أماكن تقع فيما بين ٣٥-٨٠كم شمال غرب وجنوب غرب مدينة بريدة ، محتوية على نسبة عالية من السيليكا تصل إلى ٥ر٩٤-٧٩ر٩٩٪ ونسبة أكسيد الحديد فيما بين ٣ر٠٪ مما يسمح بصناعة الزجاج

| الصادرات | | إعادة التصدير | | المجموع | |
|---|---|---|---|---|---|
| الوزن (بالطن) | القيمة (ألف ريال) | الوزن (بالطن) | القيمة (ألف ريال) | الوزن (بالطن) | القيمة (ألف ريال) |
| ١٥٣٩٤ | ٢٤٦٢٦ | ١١٤٤ | ٣٠٩٥ | ١٦٥٣٨ | ٢٧٧٢٠ |

جدول (٤) تصدير وإعادة تصدير الزجاج بالمملكة (١٩٩٤م) .