

# لعاب

خواص، کاربرد، عیوب و بهبود آن

(چاپ دوم)



مؤلف: مهندس محمود سالاریه

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه و میبد یزد

مدیر کارخانه آرمیتاژ

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

سرشناسه	سالاریه، محمود، 1341 -
عنوان و نام پدید آور	لعاب (خواص، کاربرد، عیوب) / مؤلف محمود سالاریه
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه آزاد اسلامی (ساوه)، 1387.
مشخصات ظاهری	347 ص، مصور، جدول، نمودار.
شابک	<b>ISBN 964-92426-4-3</b>
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
یادداشت	<b>Glaze(Properties&amp;application&amp;defects)M.Salarieh</b>
یادداشت	کتابنامه
موضوع	سرامیک
شناسه افزوده	دانشگاه آزاد اسلامی (ساوه)
رده بندی کنگره	7 ل 2 س / TP 812
رده بندی دیویی	666/427
شماره کتاب شناسی ملی	83-18900 م

نام کتاب : لعاب (خواص، کاربرد، عیوب)

تالیف : محمود سالاریه

ناشر : دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

چاپ دوم : سال 1391

شمارگان : 2000 جلد

قیمت : 120000 ریال

لیتو گرافی، چاپ و صحافی : مرکز نشر کتب دانشگاهی دانشگاه آزاد

تقدیم به:

## فرزندانم بابک و بامداد با امید به آینده ای بهتر

”کار ما نیست شناسایی راز گلسرخ

کار ما شاید اینست که، در افسون گلسرخ شناور باشیم

کار ما شاید اینست که، پی نیلوفر و قرن،

پی آواز حقیقت بدویم، پشت دانایی اردو بزیم”

15	فصل اول - مکانیزم تشکیل لعاب
16	1-1- تعریف لعاب <i>Glaze</i>
17	2-1- تشکیل لعاب
24	3-1- ضریب انبساط حرارتی در لعاب (a)
27	4-1- نقش سه گانه اکسیدها در فاز آمورف یا در تشکیل لعاب
	فصل دوم- اقسام لعاب و فیزیک نور
	1-2- اقسام لعاب از نظر نوری
	2-2- لعاب از نظر فیزیک نور
	1-2-2- تعریف شفافیت
	2-3- لعاب های کدر (اپک)
	2-4- مکانیزم های کدر کننده در لعاب
	2-5- شدت کدر کنندگی در لعاب
	فصل سوم- انواع لعاب
	3- طبقه بندی لعاب
	3-1- لعاب خام و فریت
	3-2- لعاب از نظر ظاهری
	3-3- لعاب شفاف
	3-4- لعاب های غیر شفاف ( <i>Opaque</i> )
	3-5- لعاب کریستالین
	3-6- لعاب رنگی
	3-7- لعاب تزئینی
	3-8- لعاب استون و نمکی
	3-9- لعاب نیمه هادی
	3-10- لعاب شیشه سرامیک ها
	3-11- لعاب روی فلز (مینا) ( <i>Enamel</i> )
	فصل چهارم - روش های تولید لعاب
	4-1- روش های تولید لعاب
	4-2- لعاب های خام
	4-3- لعاب های فریت

- 4-4- تهیه و آماده سازی لعاب های خام ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 4-5- تهیه و ساخت فریت ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 4-5-1- ترکیب و مقاومت شیمیایی فریت ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 4-6- لعاب های تخییری (لعاب های نمکی) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- فصل پنجم - مواد اولیه ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5- مواد اولیه *Raw Materials* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-1- مواد اولیه اسیدی (شیشه ساز) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-1-1- اکسید سیلیسیم (سیلیس)  $SiO_2$  (silica) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-1-2- اسید بوریک  $B_2O_3 \cdot 3H_2O - H_3BO_3$  ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2- مواد اولیه قلیائی (دگرگون ساز) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-1-2- اکسید استرانسیم (*SrO*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-3- اکسید بیسموت  $Bi_2O_3$  ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-4- لیتیم اکسید  $Li_2O$  ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-5- اکسید روی *ZnO* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-6- اکسیدهای سدیم و پتاسیم  $Na_2O, K_2O$  ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-6-1- ضریب انبساط حرارتی اکسیدهای قلیایی ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-6-2- منابع تامین  $Na_2O$  و  $K_2O$  در لعاب ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-6-3- فلدسپات ها یا فلدسپار (*Feldspar*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-7- باریم اکسید *BaO* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-8- کلسیم اکسید *CaO* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-8- منابع تامین کلسیم اکسید *CaO* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-2-9- اکسید منیزیم *MgO* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-3- مواد اولیه معدنی برای کاربرد همزمان اکسید های قلیائی و اسیدی ..... *Error!*
- Bookmark not defined.***
- 5-3-1- فلدسپار ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-3-2- نفلین سیانیت (*Nepheline Syenite*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-3-3- خاکستر آتشفشان یا تف ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-3-4- سنگ های آذرین ..... *Error! Bookmark not defined.*
- سرخط مطالب**
- 5-3-5) ولاستونیت یا سیلیکات کلسیم *Wollastonite-Calcium Silicate* ..... *Error!*
- Bookmark not defined.***
- 5-3-6) سیلیکات سدیم *Sodium Silicate* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- صفحه**

- 7-3-5 خرده شیشه *Cullets* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 4-5 مواد اولیه ی با نقش آمفوتر (Amphoteric) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 1-4-5 اکسید آلومین *Aluminium Oxid* ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 2-4-5 خاک چینی  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 3-4-5 رسی ها ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-5 کدر کننده ها (*Opacifiers*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 1-5-5 اکسید قلع ( $SnO_2$ ) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 2-5-5 اکسید زیر کونیم (زیر کونیا) ( $ZrO_2$ ) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 3-5-5 سیلیکات زیر کونیم (زیر کون) ( $ZrSiO_4$ ) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 4-5-5 اکسید آنتیموان  $Sb_2O_3$  ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-5-5 اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 6-5-5 کریولیت ( $Na_3AlF_6$ ) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 7-5-5 سیلیکو فلورید سدیم ( $Na_2SiF_6$ ) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 6-5 تعلیق سازها (*floatatives*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 7-5 چسب ها (*Binders*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 1-7-5 انواع چسب (*Binders kind*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 2-7-5 رئولوژی چسب های محلول در آب ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 3-7-5 مقایسه ویسکوزیته چسب ها ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 4-7-5 خاصیت امولسیون در چسب ها ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 5-7-5 اهمیت ویسکوزیته در پروسه های سرامیکی ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 6-7-5 خاصیت شبه پلاستیک در چسب ها (*psoudo-plasticity*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- not defined.**
- 7-7-5 قابلیت ژلاتینی شدن در چسب ها ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 8-7-5 قابلیت مقایسه چسب ها با الکترولیت ها ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 9-7-5 سیستم چسب های مخلوط ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 10-7-5 سوختن چسب ها ..... *Error! Bookmark not defined.*
- 8-5 کمک پلاستیک ها (*Plasticizer*) ..... *Error! Bookmark not defined.*
- سرخط مطالب
- 9-5 عوامل ایجاد کف و ضد کف (*Faming and antifoaming*) ..... *Error!*
- Bookmark not defined.**
- Error! Bookmark not defined.* فصل ششم - انتخاب صحیح مواد اولیه
- 6) انتخاب صحیح مواد اولیه ..... *Error! Bookmark not defined.*

- Error! Bookmark not defined.**..... محاسبه فرمول لعاب (1-6)
- Error! Bookmark not defined.**... محاسبه مولکولی فرمول لعاب به روش زگر... (1-1-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... دستورالعمل تعیین مواد اولیه از روی فرمول زگر..... (2-1-6)
- defined.**
- Error! Bookmark not defined.**..... مثال اول 1-2-1-6
- Error! Bookmark not defined.**..... مثال دوم 2-2-1-6
- Error! Bookmark not defined.**..... تبدیل آمیز لعاب به فرمول زگر..... 1-16-6
- Error! Bookmark not defined.**..... مثال اول 1-1-16-6
- Error! Bookmark not defined.**..... مثال دوم 1-1-16-6
- Error! Bookmark not defined.**..... انواع فرمول لعاب های ویژه (2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های سربی (1-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های خالص سربی (1-1-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های سربی با ترکیب قلیایی ها (2-1-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های سربی با ترکیب قلیایی های خاکی (3-1-2-6)
- defined.**
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های سرب - روی (4-1-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های سربی با اکسید بور (5-1-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های بور (2-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های قلیایی بور (1-2-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های قلیایی خاکی - بور (2-2-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های بور و روی (3-2-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های قلیایی (3-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب منیزیمی با اکسیدهای قلیایی خاکی (1-3-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های کلسیمی (4-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های کلسیمی بدون فلدسپار (بدون مواد اولیه قلیایی) (1-4-2-6)
- not defined.**
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های کلسیم - فلدسپار (قلیایی) (2-4-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های منیزیمی (5-2-6)
- سرخط مطالب
- صفحه
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های باریمی (6-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های استرانسیم (7-2-6)
- Error! Bookmark not defined.**..... لعاب های بریلیمی (بریل) (8-2-6)

*Error! Bookmark not defined.*..... 9-2-6) لعاب های روی  
*Error! Bookmark not defined.*..... فصل هفتم - ویژگی کاربردی لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 7) مهمترین خصوصیات کاربردی لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 1-7) استحکام مکانیکی **Mechanical Strength** *defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... 2-7) خواص حرارتی **Thermal Properties**  
*Error! Bookmark not defined.*..... 3-7) مقاومت شیمیایی **Chemical Resistance**  
*Error! Bookmark not defined.*..... 4-7) خواص نوری **Optical Properties**  
*Error! Bookmark not defined.*... فصل هشتم - خصوصیات فیزیکی - شیمیایی لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 8- نقطه خمیری شدن و ذوب لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 1-8- مقدمه  
*Error! Bookmark not defined.*..... 2-8- مهمترین و رایجترین گدازآورهای قلیایی  
*Error! Bookmark not defined.*..... 1-2-8- لیتیم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 2-2-8- سرب اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 3-2-8- سدیم اکسید و پتاسیم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 4-2-8- باریم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 5-2-8- کلسیم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 6-2-8- استرانسیوم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 7-2-8- منیزیم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 8-2-8- روی اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 8-2-8- بور اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 8-2-8- آلومینیم اکسید  
*Error! Bookmark not defined.*..... 3-8- ویسکوزیته لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 3-8- کشش سطحی لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 4-8- ضریب انبساط حرارتی لعاب  
*Error! Bookmark not defined.*..... 1-4-8- تعیین ضریب انبساط حرارتی لعاب با کمک دستگاه دیلاتومتری ..... *Error!*  
**Bookmark not defined.**

صفحه

سرخط مطالب

*Error! Bookmark not defined.*..... 2-4-8- تعیین ضریب انبساط حرارتی لعاب با روش محاسبه ریاضی . **Bookmark not defined.**  
*Error! Bookmark not defined.*..... 5-8- مقاومت شیمیایی  
*Error! Bookmark not defined.*..... 6-8- فراریت (تبخیر در درجه حرارت های بالا)



7-8- *Error! Bookmark not defined.* سختی (مقاومت سطح ماده در برابر خراش یا نفوذ عمقی)

فصل نهم- پخت و استحاله های هنگام پخت لعاب..... *Error! Bookmark not defined.*

9- فرآیند پخت لعاب..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1- واکنش های ناشی از اثر حرارت بر لعاب..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-1- خشک شدن (*drying*)..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-2- تجزیه و تغییرات سرامیکی (*ceramic change & decomposition*)..... *Error! Bookmark not defined.*

*Bookmark not defined.*

9-1-3- ترک (*Dunting*)..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-4- شروع ذوب (*Fusion starts*)..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-5- شیشه ای شدن (*Vitrification*)..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-6- تشکیل لایه واکنشی (*Intragtion*)..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-6-1- اصطلاح تطابق و تناسب بین لعاب و بدنه (*Dodd*) . *Error! Bookmark not defined.*

*defined.*

9-1-6-2- سراموگرافی..... *Error! Bookmark not defined.*

9-1-7- سرد کردن *Cooling*..... *Error! Bookmark not defined.*

فصل دهم - عیوب لعاب و بهبود آن..... *Error! Bookmark not defined.*

10- نقایص لعاب..... *Error! Bookmark not defined.*

10-1- عیب ناشی از انبساط حرارتی کم..... *Error! Bookmark not defined.*

10-4- پیدایش نقص در لعاب..... *Error! Bookmark not defined.*

10-4-1- پریدگی لعاب یا خزش *Crawling*..... *Error! Bookmark not defined.*

10-4-2- عوامل بریدگی..... *Error! Bookmark not defined.*

10-4-2-1- دلایل ایجاد ترک در محصول قبل از ورود به کوره *Error! Bookmark not defined.*

*defined.*

10-4-3- اصلاحات جهت رفع بریدگی لعاب..... *Error! Bookmark not defined.*

10-5- شبکه ای شدن (*Crackle*) *Crazing*..... *Error! Bookmark not defined.*

10-5-1- عوامل شبکه ای شدن..... *Error! Bookmark not defined.*

10-5-1-1- شبکه ای شدن اولیه (فوری)..... *Error! Bookmark not defined.*

10-5-1-2- شبکه ای شدن ثانویه (تأخیری)..... *Error! Bookmark not defined.*

صفحه

سرخط مطالب

10-5-1-3- شبکه ای شدن در خروجی کوره... *Error! Bookmark not defined.*

10-5-1-4- ترک خوردن در اثر نمک..... *Error! Bookmark not defined.*

**Error! Bookmark not defined.**..... 5-1-5-10 شبکه ای شدن با فشار سیمان  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-5-10 اصلاحات شبکه ای شدن  
**Error! Bookmark not defined.**..... 6-10 خرد شدن سطحی یا لایه ای شدن (Shivering)  
**defined.**  
**Error! Bookmark not defined.**..... 7-10 شره گی در لعاب (Runing Glaze)  
**Error! Bookmark not defined.**..... 1-7-10 علت شره گی در لعاب  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-7-10 اصلاحات شره گی در لعاب  
**Error! Bookmark not defined.**..... 8-10 ترک شمعدانی یا پا مرغی  
**Error! Bookmark not defined.**..... 9-10 حباب در فریت یا لعاب خام  
**Error! Bookmark not defined.**..... 1-9-10 تاول زدن  
**Error! Bookmark not defined.**..... 1-1-9-10 عوامل تاول زدن  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-1-9-10 راه حل های پیشنهادی تاول زدن  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-9-10 جوش زدن و ته سوزنی شدن  
**Error! Bookmark not defined.**..... 1-2-9-10 رفع عیب جوش زدن و ته سوزنی شدن  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-2-9-10 اثر تکنیک اعمال لعاب در جوش زدن و ته سوزنی شدن  
**not defined.**  
**Error! Bookmark not defined.**..... 3-2-9-10 اثر فریتی شدن کامل مذاب لعاب در جوش زدن و ته سوزنی شدن .....  
**Bookmark not defined.**  
**Error! Bookmark not defined.**..... 4-2-9-10 اثر نمک های محلول در جوش زدن و ته سوزنی شدن ..  
**not defined.**  
**Error! Bookmark not defined.**..... 5-2-9-10 اثر آب در فریت شیشه ای در جوش زدن و ته سوزنی شدن .....  
**Bookmark not defined.**  
**Error! Bookmark not defined.**..... 6-2-9-10 اثر منحنی حرارتی در جوش زدن و ته سوزنی شدن  
**defined.**  
**Error! Bookmark not defined.**..... 10-10 جوش عمقی در لعاب فلزی  
**Error! Bookmark not defined.**..... 11-10 لعاب زیر (Bitty Glaze)  
**Error! Bookmark not defined.**..... 1-11-10 عوامل لعاب زیر  
**Error! Bookmark not defined.**..... 1-1-11-10 اثر اجزای لعاب در لعاب زیر  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-1-11-10 اثر آسیاب کردن در لعاب زیر  
**Error! Bookmark not defined.**..... 3-1-11-10 اثر ذخیره سازی در لعاب زیر  
**Error! Bookmark not defined.**..... 2-1-11-10 لعاب زنی  
**Error! Bookmark not defined.**..... 12-10 لک ها

*Error! Bookmark not defined.*..... عوامل و اصلاحات لک 1-12-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اثر اجزای ترکیبی اصلی در لک 1-1-12-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اثر آسیاب کردن و ذخیره سازی در لک 2-1-12-10  
*defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... روش کاربرد 3-1-12-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اثر پخت لعاب در لک 4-1-12-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... لعاب نیمه مات 13-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... علت ها و اصلاحات در لعاب نیمه مات 1-1-13-10  
*defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... اثر دمای پخت در لعاب نیمه مات 2-1-13-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اثر آرایش محصول در کوره بر لعاب نیمه مات .... 3-1-13-10  
*defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... سولفور شدن (ستاره ای شدن) 14-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... علت و اصلاحات سولفور شدن 1-14-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... علامت دار شدن بوسیله وسایل برنده (cutlery Marking) ..... 15-10  
*Bookmark not defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... لعاب قطع شده و لک حمل و نقل (Cut and knocked Glaze) ..... 16-10  
*Bookmark not defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... لعاب قطع شده 1-16-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... لک حمل و نقل 2-16-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... چکه کننده ها 17-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... تبخیر و مات شدن لعاب 18-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اصلاحات تبخیر و مات شدن لعاب 18-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اکسید آهن در لعاب 19-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... تأثیر اتمسفر اکسیدی بر رنگ اکسید آهن 1-19-10  
*defined.*  
*Error! Bookmark not defined.*..... تأثیر اتمسفر احیا 2-19-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... نقش متضاد اکسید آهن در لعاب و بدنه 3-19-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... مقادیر اکسید آهن 4-19-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... اشباع با اکسید آهن 5-19-10  
*Error! Bookmark not defined.*..... فصل یازدهم- رنگ و رنگدانه  
*Error! Bookmark not defined.*..... رنگ ها (colourants) و رنگ دانه ها (pigments) ..... 11  
*defined.*

<i>Error! Bookmark not defined.</i>	مقدمه (1-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	اکسیدهای رنگی (2-11)
	سرخط مطالب
	صفحه
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	آنتیموان <i>Antimony</i> (1-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	کرومیوم $Cr_2O_3$ (2-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	کبالت <i>Cobalt</i> (3-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	مس <i>Copper</i> (4-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	آهن <i>Iron</i> (5-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	منگنز <i>Manganese</i> (6-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	نیکل <i>Nickel</i> (7-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	پرازئودیمیوم <i>Praseodymium</i> (8-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	سلنیوم <i>Selenium</i> (9-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	تیتانیوم <i>Titanium</i> (10-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	وانادیوم <i>Vanadium</i> (12-2-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه ها ( <i>Pigments</i> ) (3-12)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	آبی (1-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های کبالت (1-1-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های وانادیوم - زیرکونیوم (2-1-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	سبز (2-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های کبالت - کروم (1-2-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ های زرد (3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های سولفید کادمیم (1-3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های سرب - آنتیموان (2-3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های نیکل یا کرومیت (3-3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های پرازئودیمیوم - زیرکون (4-3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های قلع - وانادیوم (5-3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های وانادیوم - زیرکونیا (6-3-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	صورتی (4-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های کروم - قلع (1-4-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های کروم - آلومینیم (2-4-3-11)
<i>Error! Bookmark not defined.</i>	رنگ دانه های آهن - زیرکونیوم (3-4-3-11)

<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	5-3-11 قهوه ای
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	1-5-3-11 رنگ دانه های آهن - کروم
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	6-3-11 خاکستری
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	1-6-3-11 رنگ دانه های کبالت - نیکل
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	7-3-11 سیاه
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	1-7-3-11 رنگ دانه های کبالت - آهن
<i>Error! Bookmark not defined.</i> ..	2-7-3-11 رنگ دانه های نیکل - آهن - کرومات
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	فصل دوازدهم- لعاب فلزی ( <i>Enamel</i> )
<i>Error! Bookmark not defined.</i> ....	12 لعاب فلزی یا پوشش های مینایی ( <i>Enamel</i> )
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	1-12 دلایل استفاده از مینا (لعاب فلزی)
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	2-12 روش های میناکاری روی فلز (لعاب کاری)
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	3-12 آماده سازی فلز جهت میناکاری
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	4-12 ترکیب مناسب برای مینا کاری ( <i>Frit</i> )
<i>Error! Bookmark not defined.</i> ...	5-14 آماده سازی فریت برای مصرف ( <i>Enameling Frit</i> )
	<b>defined.</b>
<i>Error!</i> .....	5-12 تشکیل لایه بافر (جوش خوردن یا پیوستگی لایه مینا با بدنه فلزی)
	<b>Bookmark not defined.</b>
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	6-12 انواع مختلف مینا
<i>Error! Bookmark not defined.</i> .....	فهرست منابع
309 .....	واژه نامه موضوعی
320.....	پیوست ها- I - طبقه بندی مواد بر حسب دانسیته

## پیش گفتار

وقتیکه در سال 1363 به عنوان دانشجوی رشته سرامیک در دانشگاه علم و صنعت ایران مشغول به تحصیل شدم عدم وجود منابع علمی و تجربی فارسی یکی از دردسرهای دانشجویان رشته مهندسی سرامیک بود گر چه در آن سالها منابع انگلیسی نیز در حد انگشت شمار آنهم در بعضی از کتابخانه های مهم مثل "کتابخانه مرکز اسناد ملی ایران" یا کتابخانه دانشگاه صنعتی شریف یا کتابخانه مرکزی دانشگاه علم و صنعت یافت می شد که بقولی بایستی در صف نوبت و دریافت کتاب قرار می گرفتیم. بعلاوه رشته مهندسی سرامیک نیز از رشته های بسیار نوپای صنعتی در ایران بود(گرچه چندین قرن پیش ایران مهد سرامیک بوده است) و تجربیات اجرایی و عملی در کارخانجات جمع بندی و به نگارش در نیامده بود و هر از چند گاهی کتابی به صورت نامانوس با لغات فنی این رشته ترجمه و چاپ و در اختیار علاقه مند تشنه این رشته چه در دانشگاه و چه در صنعت قرار می گرفت و وقتیکه در سال 1367 وارد صنعت شدم مشکلات بیشتر شده بود و نبودن کتابی در زمینه کارها و تجربیات عملی در صنایع سرامیک واقعاً سخت و هزینه های بسیار سنگینی را بر دوش بسیاری از کارخانجات سرامیک گذاشته و همچنان ادامه دارد.

در هر حال ضمن تقدیر و سپاس از همه اساتید و صنعتگران که تلاش نو آغاز کرده اند تا در چند سال اخیر کتابهای بیشتری را ترجمه و تالیف و در اختیار خوانندگان قرار دهند، تصمیم گرفته ام که تجربیات 20 ساله صنعتی- دانشگاهی خود را به صورت چندین کتاب که مجموعه ای از دست نوشته های تجربی روزمره صنعتی در کارخانجات است در اختیار شما علاقه مندان قرار دهم، یکی از این کتابها، کتاب "لعب(خواص، کاربرد، عیوب)" می باشد. امیدوارم پیشنهادات و انتقادات خود را به [Msalarieh2002@yahoo.com](mailto:Msalarieh2002@yahoo.com) ارسال تا در چاپ های بعدی مد نظر قرار گیرد. در پایان جا دارد از استادام آقای مهندس شریفی که از دست نوشته های ایشان نیز فواید زیادی در تالیف داشته ام تشکر و قدردانی کنم.

سالاریه

# فصل اول

مکانیزم تشکیل

لعاب

## 1-1- تعریف لعاب *Glaze*

لعاب لایه شیشه ای نازکی است که سطوح فرآورده سرامیکی را پوشش داده و در اثر ذوب مواد اولیه معدنی در سطح بدنه یا بوسیله پخت بدنه در حضور بخارات قلیایی ایجاد می شود. البته لعاب به شکل های پوشش یافته آمورف در نتیجه خوردگی و فرسایش شیمیایی سطوح مواد اولیه دیرگداز به وسیله مواد اولیه مذاب و سرباره ها نیز بوجود می آید، در ضمن بر روی قطعات فلزی تحت عنوان "مینا" یا لعاب فلزی (*Enamel*) نیز مورد استفاده بوده لذا به پوششی شیشه ای یا زجاجی که بر روی فلزات، شیشه ها یا دیگر قطعات سرامیکی بکار رفته و پخته شوند اطلاق شده که غالباً پوشش بر روی فلزات به عنوان پوشش های چینی معروف است. ماده تشکیل دهنده لعاب را که پودر بسیار نرمی است به روش های مختلفی روی جسم مورد نظر لعاب کاری و سپس پخت می کنند. بطوریکه در اثر خمیری شدن و سپس سرد کردن، تمام سطح جسم سرامیکی را پوشش نازکی فرا می گیرد. لعاب همواره در دمای کمتری نسبت به بدنه سرامیکی به حالت خمیری و مذاب در می آید. در تولید سرامیک ها، هدف از پوشاندن سطوح بدنه به وسیله لعاب، به طور عمده به دلایل زیر می باشد:

1- زیباتر نمودن فرآورده ها

2- افزایش مقاومت شیمیایی

3- افزایش مقاومت فیزیکی

4- افزایش مقاومت مکانیکی (سایش یا خراش)

5- صیقلی کردن سطوح

6- بهداشتی شدن سطوح (کاهش نفوذپذیری، آنتی باکتریال)

7- رنگی کردن سطوح

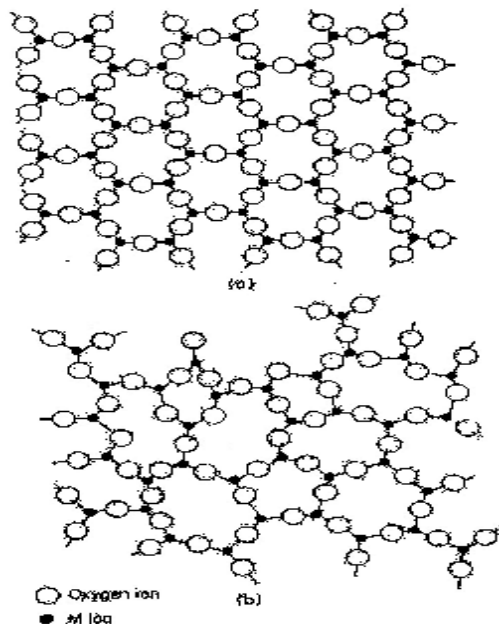
امروزه با کمک علوم جدید نظیر "نانو سرامیک ها" "لعاب های خود تمیز شو" و لعاب های نچسب و لعاب های ضد باکتری تولید کرده اند که در نما مجتمع ها و بیمارستان ها و..... کاربرد



گسترده ای دارند. لعاب اجسام سرامیکی متخلخل را کاملاً پوشش داده و از نفوذ مایعات و گازها به داخل ریز ساختار آنها جلوگیری می کند و در نتیجه از تأثیر خوردگی و عوامل نامساعد دیگر بر آن ها می کاهد. در کل لعاب از نظر ساختار، از انواع شیشه ها می باشد. لذا بحث را به چگونگی تشکیل فاز آمورف سیلیکاتی اختصاص می دهیم.

## 2-1- تشکیل لعاب

لعاب در نتیجه ذوب کردن مخلوطی از سیلیکات ها در دماهای مختلف به وجود می آید، اتم های بعضی از این مواد اولیه مذاب که ویسکوزیته آنها نسبتاً زیاد بوده (یعنی جاذبه و پیوند داخل آنها شدید است) در هنگام انجماد نمی توانند مجدداً نظم کامل بگیرند، یعنی شرایط ایجاد نظم در برد بلند را ندارند. بطوریکه امکان تشکیل جوانه بلور را نمی یابند و در این صورت همان حالت شیشه ای (بی شکل یا آمورف) خود را حفظ می کنند. در شکل (1-1) دو حالت بلورین (نظم در برد بلند و نظم در برد کوتاه) و آمورف (با نظم فقط در برد کوتاه) برای  $SiO_2$  نشان داده شده است.

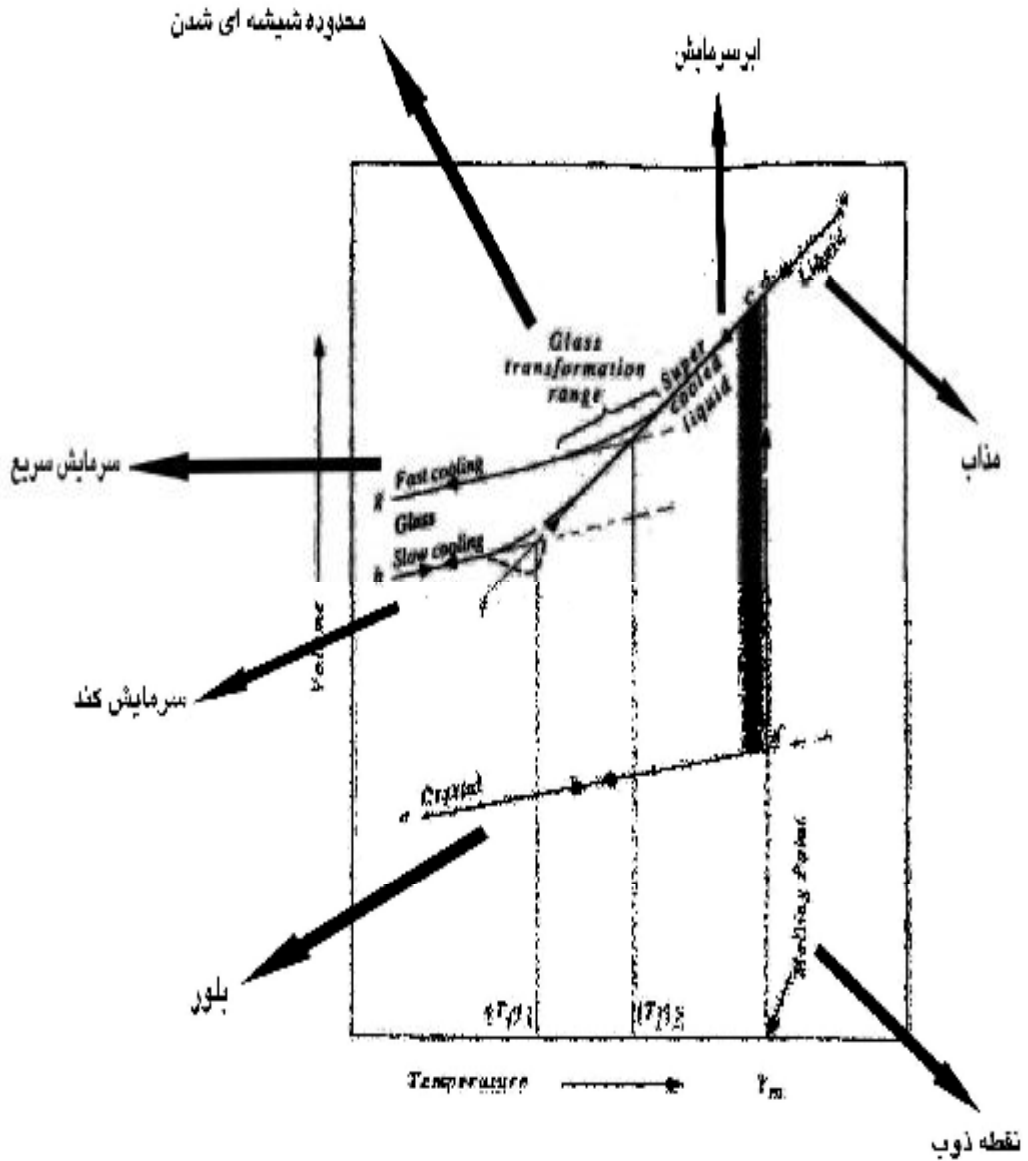


شکل (1-1) الف) ساختار کریستالین  $SiO_2$  ب) ساختار آمورف (شیشه ای)  $SiO_2$

به طور علمی فاز شیشه بدین صورت تعریف می شود:

لعاب یا شیشه فرآورده ای معدنی یا آلی حاصل از سرد شدن مذاب می باشد بنحوی که ماده

مذاب در نتیجه سرد شدن بدون تبلور به ماده صلب و محکمی (*rigid*) تبدیل شود. شکل (2-1)



شکل (2-1) نمودار تغییرات حجم - دما مذاب به جامد

جهت بیان واضح تر مطلب لازم است بطور خلاصه در مورد ذوب سیلیکات ها و سرد شدن مذاب بحث شود. تفاوت بین بلور و شیشه، با توجه به ثابت بودن عناصر تشکیل دهنده آن دو فاز در مقایسه با یکدیگر، در چگونگی تشکیل شبکه فضایی آنهاست. اتم های مواد اولیه بلوری، شبکه ی فضایی منظم بلوری تشکیل می دهند. در صورتیکه در شیشه یا لعاب اتم ها نظم کافی ندارند و شبکه ای نامنظم تشکیل می دهند. شکل (2-1) مسیر  $c$  به  $g$  و مسیر  $c$  به  $h$ . فازهای آمورف به عنوان لعاب های شفاف ایزوتوپ بوده یعنی خاصیتشان وابسته به جهت نبوده بلکه در مواد اولیه بلوری وابسته به جهت  $x$  یا  $y$  یا  $z$  است. مسیر  $d$  به  $c$ . می دانیم که در دمای بالاتر از صفر مطلق ( $-273/16^{\circ}C$ ) کلیه اتم ها، دارای حرکت و لرزش می باشند ولی به هر حال در جامدات وضعیت و فاصله دو اتم مجاور نسبت به یکدیگر ثابت می باشد، با افزایش درجه حرارت، دامنه حرکات و لرزش های اتم ها سریعتر و بیشتر می شود تا بدان حد که اتم ها از سطح ماده جدا می شوند. این درجه حرارت نقطه ذوب ماده بوده و در خلال ذوب در صورتیکه نظم بلوری صددردصد باشد (هیچگونه ناخالصی صرف گسستگی اتصالات نشود) فرآیند ذوب با درجه حرارت ثابت پیش می رود و تا مادامیکه تمام ماده جامد به مذاب تبدیل نشود، درجه حرارت افزایش نمی یابد. شکل (2-1) مسیر  $b$  به  $d$

مواردی که بیان شد عکس العمل هایی هستند که مواد اولیه جامد بلوری به هنگام ذوب یا مواد اولیه مذاب هنگام سرد شدن و تبدیل به فاز بلوری به طور معمول از خود بروز می دهند، کل گرمای دریافتی یا تمام انرژی آزاد شده به عنوان گرمای ذوب نامیده می شود. شکل (2-1) نقطه  $T_m$  حاصل از مسیر  $b$  به  $d$ . ولی مواد اولیه آمورف یا شیشه ای مانند سیلیکات ها در هنگام ذوب بطور کلی چنین عکس العمل هایی را از خود نشان نمی دهند بدین معنی که سیلیکات های جامد بر خلاف جامدات بلوری بلافاصله و سریعاً در نقطه ذوب خود ذوب نمی شوند و در خلال ذوب نیز درجه حرارت ثابت نمی ماند، این نکته بیانگر وجود طیف وسیعی از انواع اتصالات با انرژی های متفاوت در ساختارهای بی نظم آمورف است. جدول (1-1) و شکل (2-1) مسیر  $c$  به  $g$  و مسیر  $c$  به  $h$

عنصر	انرژی تجزیه $(E_d) \frac{Kcal}{mol}$	عدد همسایگی (N)	استحکام اتصال تکی $(E_d) \frac{Kcal}{mol}$
<b>B</b>	<b>356</b>	<b>3</b>	<b>119</b>
<b>Si</b>	<b>424</b>	<b>4</b>	<b>106</b>
<b>Ge</b>	<b>431</b>	<b>4</b>	<b>108</b>
<b>P</b>	<b>442</b>	<b>4</b>	<b>111</b>
<b>V</b>	<b>449</b>	<b>4</b>	<b>112</b>
<b>As</b>	<b>349</b>	<b>4</b>	<b>87</b>
<b>Sb</b>	<b>339</b>	<b>4</b>	<b>85</b>
<b>Zr</b>	<b>485</b>	<b>6</b>	<b>81</b>
<b>Zn</b>	<b>114</b>	<b>2</b>	<b>72</b>
<b>Pb</b>	<b>145</b>	<b>2</b>	<b>73</b>
<b>Al</b>	<b>317-402</b>	<b>6</b>	<b>53-67</b>
<b>Na</b>	<b>120</b>	<b>6</b>	<b>20</b>
<b>K</b>	<b>115</b>	<b>9</b>	<b>13</b>
<b>Ca</b>	<b>257</b>	<b>8</b>	<b>32</b>

جدول (1-1) مقادیر استحکام اتصال تکی اکسیدها ، عدد همسایگی و انرژی تجزیه

در این نوع مذاب ها با کاهش درجه حرارت، حجم مایع تأخیر در انجماد تقریباً با همان سرعت بالای نقطه ذوب کاهش می یابد. این کاهش همچنان با سرعت تقریبی ثابت ادامه می یابد تا اینکه در نقطه ای شکست در منحنی پدیدار می شود. (نقطه  $T_g$ ) در واقع یک نقطه نیست، بلکه محدوده ای در حد فاصل بین مذاب با جامد در حرارت های  $(T_f)_1$  و  $(T_f)_2$  است که با کاهش درجه حرارت، ویسکوزیته بیشتر و بیشتر افزایش یافته، بنابراین امکان حرکت اتم ها به منظور برگشت به تعادل ترمودینامیکی و

به حداقل انرژی، بسیار کم می شود بطوریکه مقدار انرژی پتانسیل که با انرژی ذخیره شده در پیوندها ارتباط مستقیمی دارد، حداکثر نشده بلکه مقدار قابل ملاحظه ای انرژی به صورت جنبشی نیز وجود دارد. جدول(1-1)

لذا با توجه به شکل(2-1) ایجاد نظم مناسب و تشکیل بلور کمتر شده تا اینکه شکستی در منحنی بوجود می آید. در نقطه شکست ویسکوزیته بسیار بالا بوده و ماده رفتار یک جامد را از خود نشان می دهد. مقدار ویسکوزیته در این نقطه در حدود  $10^{12}$  تا  $10^{13}$  پواز است. این نقطه بنام  $T_g$  نقطه "تبدیل به شیشه" (*Glass transformation*) مشهور بوده و درجه حرارت مربوطه، درجه حرارت تبدیل به شیشه " $T_g$ " نامیده می شود. محدوده  $(T_f)_1$  و  $(T_f)_2$  در شکل(2-1).

پایین تر از این درجه حرارت، محصول سرد کردن مذاب، ماده آمورفی بنام "شیشه" خواهد بود. (

مسیر  $C$  به  $g$  و مسیر  $C$  به  $h$ ) به عبارت دیگر نقطه تبدیل شیشه از تقاطع منحنی های تأخیر در انجماد و شیشه به دست می آید.

در منحنی اخیر(شیشه) ضریب انبساط کمی بیشتر از حالت بلورین در همین منطقه حرارتی می باشد.

درجه حرارت تبدیل شیشه و به عبارت دیگر محل وقوع انحراف در منحنی به وسیله سرعت سرد کردن

مایع تأخیر در انجماد مشخص می شود یعنی اگر سرعت سرد کردن آهسته تر باشد، درجه حرارت

تبدیل به شیشه  $T_g$  کمتر و دانسیته شیشه بیشتر خواهد بود (منحنی)  $g$

برعکس اگر چنانچه مایع تأخیر در انجماد سریع سرد شود، درجه حرارت تبدیل به شیشه

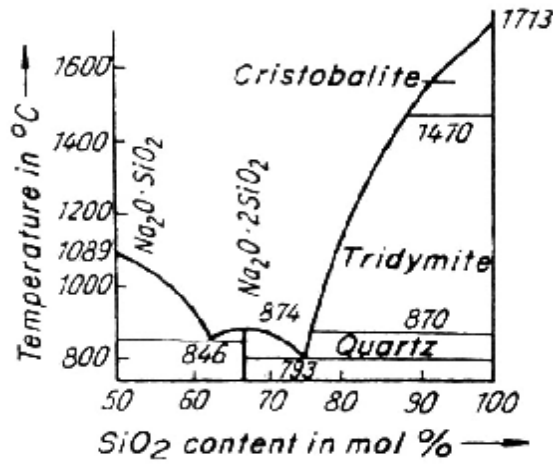
بیشتر و دانسیته شیشه کمتر خواهد بود(منحنی  $b$ ) توجه کنید که سرعت سرد کردن کلیه خصوصیات

فیزیکی، شیمیایی را به ساختار شیشه دیکته می کند (مانند دانسیته، ضریب انبساط حرارتی، ضریب

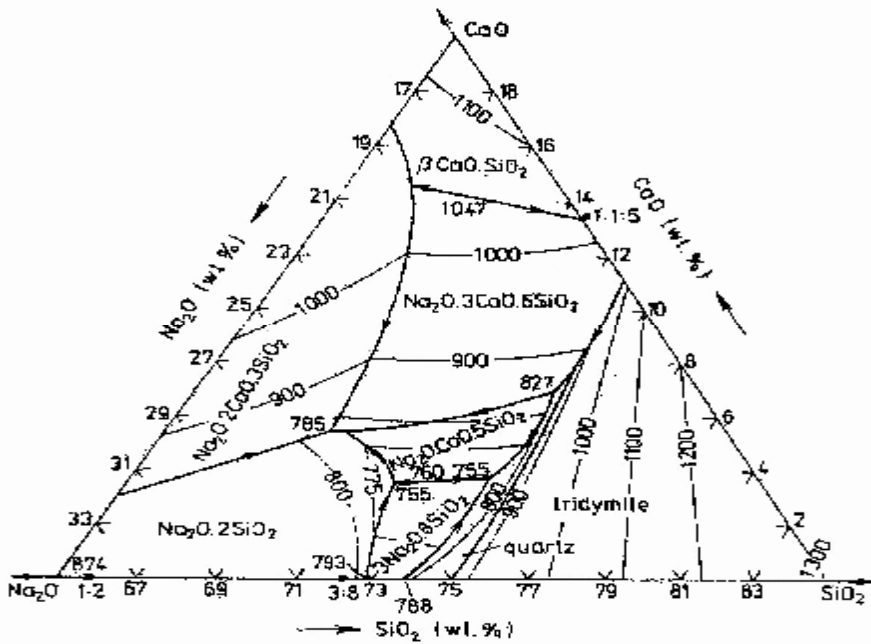
شکست، مقاومت شیمیایی و مقاومت فیزیکی)

یکی از دیاگرام های بسیار معروف و مهم ساخت لعاب یا شیشه در سیستم های دوتایی و سه

تایی  $Na_2O - SiO_2$  و  $Na_2O - CaO - SiO_2$  می باشد. شکل(3-1) و شکل(4-1)



شکل (3-1) تعادل فازی سیستم شیشه ( $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ )



شکل (4-1) قسمتی از نمودار تعادل فازی سیستم

شیشه سودا لایمی ( $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ )

در قسمت لعاب سازی اصولاً مواد اولیه تشکیل دهنده لعاب از یک یا چند ماده تشکیل نشده،

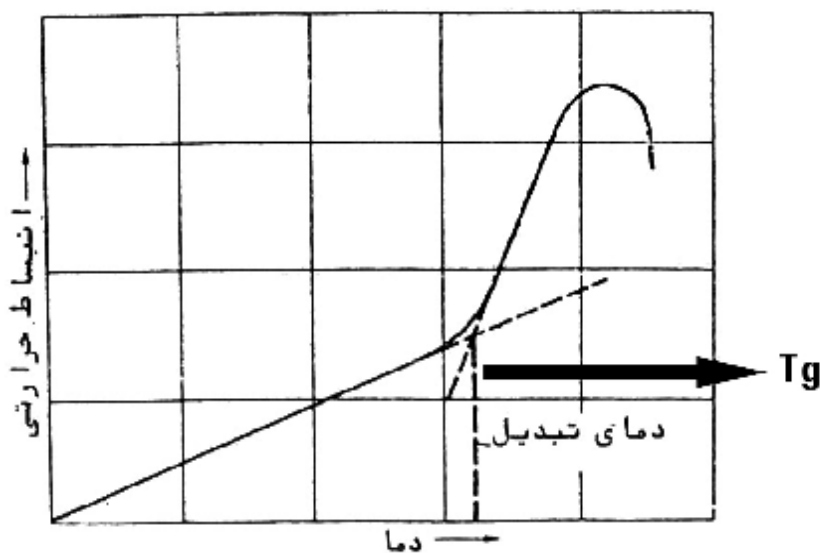
بلکه مخلوطی از چندین اکسید یا مینرال با ترکیب شیمیایی متنوع است که با ترسیم نمودار دوتایی، سه تایی یا چندتایی می توان فازها و حالات مختلف بوجود آمده بین اجزاء را حدوداً پیش بینی کرد. زیرا دستیابی به شرایط ترمودینامیکی به دانه بندی، شرایط تشکیل مواد اولیه از لحاظ زمین شناسی، ناخالصی ها، سرعت حرارت دادن، ضریب هدایت حرارتی پودر و..... بستگی دارد. جدول (2-1)

نیروی جذب	الکترونگاتیویته	ظرفیت	شعاع	کاتیون	نقش اکسید
<b>4.3</b>	<b>2.1</b>	<b>5</b>	<b>0.34</b>	<b>P</b>	شبکه ساز (شیشه ساز) <i>Network Former</i>
<b>3.22</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.25</b>	<b>B</b>	
<b>3.2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0.46</b>	<b>As</b>	
<b>3.14</b>	<b>1.8</b>	<b>4</b>	<b>0.39</b>	<b>Si</b>	
<b>2.66</b>	<b>1.8</b>	<b>5</b>	<b>0.63</b>	<b>Sb</b>	
<b>2.08</b>	<b>1.6</b>	<b>4</b>	<b>0.64</b>	<b>Ti</b>	گروه واسطه (گروه میانی) <i>Amphoter</i>
<b>1.89</b>	<b>1.7</b>	<b>4</b>	-	<b>Sn</b>	
<b>1.69</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>0.57</b>	<b>Al</b>	
<b>1.55</b>	<b>1.6</b>	<b>4</b>	<b>0.87</b>	<b>Zr</b>	
<b>0.95</b>	<b>1.2</b>	<b>2</b>	<b>0.78</b>	<b>Mg</b>	
<b>0.91</b>	-	<b>2</b>	<b>0.83</b>	<b>Zn</b>	
<b>0.53</b>	-	<b>2</b>	<b>1.32</b>	<b>Pb</b>	
<b>0.69</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1.06</b>	<b>Ca</b>	دگرگون ساز (گروه مبدل شبکه) <i>Modifier</i>
<b>0.58</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1.27</b>	<b>Sr</b>	
<b>0.51</b>	<b>0.9</b>	<b>2</b>	<b>1.43</b>	<b>Ba</b>	
<b>0.45</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.78</b>	<b>Li</b>	
<b>0.35</b>	<b>0.9</b>	<b>1</b>	<b>0.98</b>	<b>Na</b>	
<b>0.27</b>	<b>0.8</b>	<b>1</b>	<b>1.33</b>	<b>K</b>	

جدول (2-1) نقش سه گانه اکسید ها در لعاب

### 3-1- ضریب انبساط حرارتی لعاب (a)

حالت خمیری شدن لعاب در یک دمای معینی نیست لذا تبدیل به فاز خمیری لعاب تدریجی بوده بطوریکه ابتدا عمل خشک شدن و خروج رطوبت، سپس سوختن مواد اولیه آلی نظیر چسب، و بعد عمل زینترن سیلیکات های مینرالی و واکنش های شیمیایی با یکدیگر انجام می گیرد و سپس با افزایش دما به فاز شیشه ای تبدیل می شود. تبدیل فاز جامد به مایع خیلی کند انجام می گیرد، در صورتیکه این تبدیل از فاز مایع به جامد سریعتر است. این نقطه یا محدوده تبدیل از فازی به فاز دیگر را "منطقه تبدیل" یا "دامنه حرارتی" می نامند. شکل (5-1)



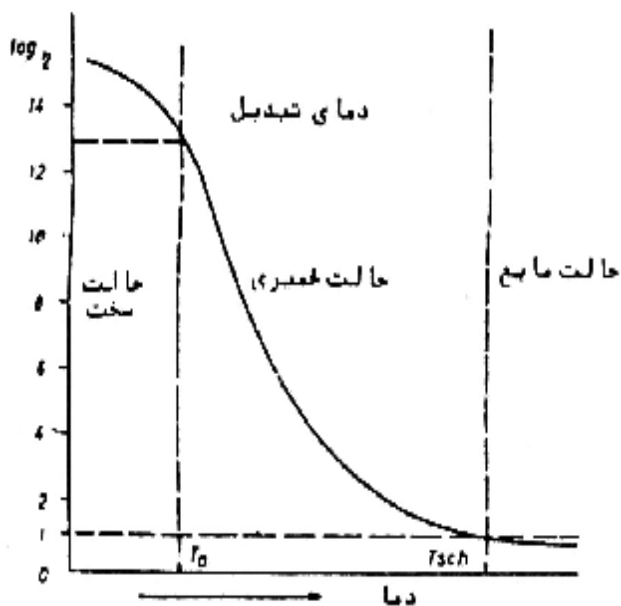
شکل (5-1) منحنی حرارتی تغییرات طولی فاز شیشه ای

با دیلاتومتري و تعیین دمای  $T_m$  و  $T_g$

در بالای این منطقه، هنوز لعاب به مقدار بسیار کم در فاز خمیری و به صورت مایع بسیار ویسکوز است، در صورتی که زیر این منطقه تبدیل، لعاب کاملاً جامد است. در همین دما (فاز جامد) است که لعاب و بدنه باید دارای بعضی خواص فیزیکی مشترکی باشند تا عیب یا عیوبی نتواند به وجود آید. در صنعت سعی بر این است که این منطقه تبدیل را به یک نقطه تبدیل کرده و به صورت  $T_g$



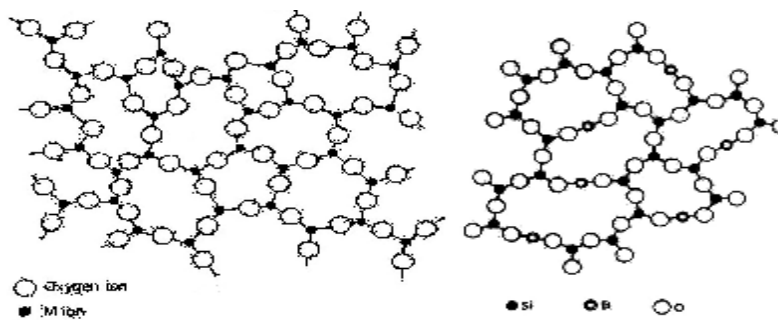
نشان می دهند. برای این منظور منحنی دیلاتومتری یعنی تابعیت انبساط یا تغییر نسبی طول با دمای لعاب را رسم کرده و نقطه تقاطع دو مماس را به عنوان نقطه تبدیل نشان می دهند. توسط دستگاه دیلاتومتری می توان به سادگی نقطه تبدیل  $T_g$  و نقطه ذوب  $T_m$  را تعیین و محاسبه کرد. برای دقت و اطمینان بیشتر و همچنین مشاهده کامل این تغییر فاز، می توان از منحنی ویسکوزیته هم نقطه تبدیل و نقطه ذوب را حساب کرده ولی این روش کمی مشکل تر است. در این روش با کمک دستگاه ویسکوزیته متر ویژه ای در درجه حرارت بالا ( $1200^\circ\text{C}$  تا  $1600^\circ\text{C}$ ) تغییرات ویسکوزیته با دما را ثبت می کنند و بعد نقاط تغییر شیب ها را تعیین تا دو نقطه  $T_m$  و  $T_g$  بدست آید. شکل (6-1)



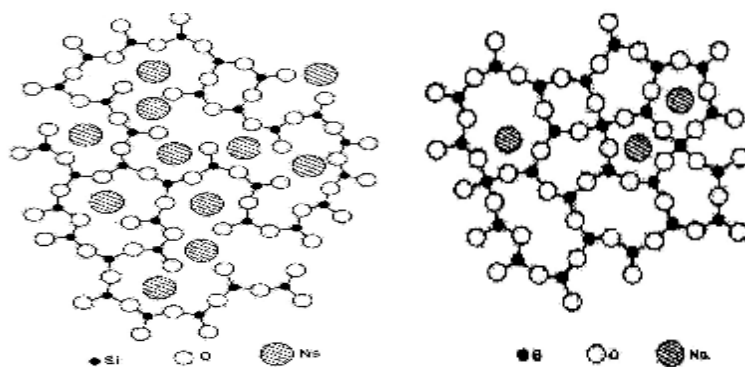
شکل (6-1) منحنی تغییرات ناروانی شیشه سیلیکاتی

شکل (6-1) نقطه تبدیل  $T_g$  یک شیشه سیلیکاتی با  $10^{12} = h$  پواز را نشان می دهد که با افزایش دما، مقدار ویسکوزیته ( $h$ ) کاهش یافته و در نتیجه لعاب رقیق تر می شود. تعیین نقطه تبدیل در صنعت اهمیت بسزایی دارد زیرا این نقطه تغییر حالت ویسکوز به حالت شکننده را مشخص می کند، این اطلاعات برای اندازه گیری ضریب انبساط حرارتی و تنش های ایجاد شده در لعاب یا تنش

گیری بسیار مهم است. زیرا خواهیم آموخت که همواره لعاب بایستی تحت تنش فشاری روی سطح بدنه باشد. در شکل (7-1) شبکه ی منظم ساده ی شیشه بوروسیلیکاتی خالص مشاهده می شود ولی بین شبکه حاصل از شیشه خالص کوارتز هیچگونه اتصال اشباع نشده یا پاره ای وجود ندارد و در عین حال فضای خالی نیز تهی می باشد، ولی در شیشه هایی که از چندین ترکیب تشکیل شده اند در فضاهای خالی کاتیون های بزرگی قرار می گیرد و باعث تغییر خواص شیشه می شود. که در آن یون های سدیم با ورود به ساختار شیشه سیلیکاتی باعث گسستگی اتصالات می شود بطوریکه تعداد اکسیژن های تک اتصال افزایش می یابد. شکل (7-1)



(الف)



(ب)

شکل (7-1) الف) نمایش دو بعدی شبکه شیشه بوروسیلیکاتی خالص و شیشه سدیم سیلیکاتی خالص

ب) شبکه شیشه سدیم بوروسیلیکاتی و شیشه سدیم سیلیکاتی

#### 4-1- نقش سه گانه اکسیدها در فاز آمورف یا در تشکیل لعاب

ساختمان لعاب یا شیشه ها از سه گروه اصلی از مواد اولیه تشکیل شده اند:

1- شبکه ساز یا شیشه ساز (*network former*)

2- اصلاح کننده ی شبکه (*network modifier*)

3- کمک شبکه ساز یا واسطه (*network cofomer*)

شبکه سازها استخوان بندی و پایه شیشه یا لعاب را تشکیل می دهند و کاتیون هایی هستند با انرژی پیوندی بسیار قوی که میل و استعداد شدیدی نسبت به جذب یکدیگر دارند. جدول (1-2) این شبکه سازها در صنعت شیشه و لعاب به عنوان "اکسیدهای اسیدی" یا "شیشه ساز" نامیده می شوند. لذا چند وجهی هایی که از اتصال آنها شبکه شیشه به وجود می آید در عمل چهار وجهی و یا مثلثی می باشند (مثل کاتیون بور) به کاتیون هایی که می توانند این شبکه را بوجود آورند، "شبکه ساز" گفته می شود. عمده ترین شیشه سازها  $SiO_2$  و  $B_2O_3$  می باشند.

در مقابل اکسیدهای شبکه ساز، دسته ای دیگر از کاتیون ها یا اکسیدهای آنها وجود دارند که اصطلاحاً به "اصلاح کننده شبکه" مشهور می باشند، این کاتیون ها به طور کلی بزرگتر بوده و با یون های اکسیژن پیوند کوالان جهت دار قوی به وجود نیآورده و عدد کوردیناسیون آنها معمولاً بیشتر از 4 می باشد. از این دسته می توان اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی را نام برد که انرژی اتصال بسیار ضعیفی دارند. مثلاً سدیم اکسید در شیشه شکل (1-7-ب) با وجود اکسیژن های سدیم اکسید در سیستم، شبکه سیلیس پاره شده و یون های اکسیژن را جذب نموده و بنابراین پیوندهای  $Si-O-Si$  به صورت  $Si-O$   $O-Si$  تغییر می یابد. بعبارت دیگر سرهای آزاد و پاره شده ای در شبکه بوجود می آید که یون های سدیم به منظور خنثی نمودن بارهای منفی حاصل در داخل حفرات و شکاف ها جای می گیرد در نتیجه این عمل یعنی ایجاد شکاف در شبکه شیشه، نهایتاً شبکه تضعیف شده و نقطه ذوب کاهش می یابد. کاتیون هایی که در مقایسه با قلیایی ها و قلیایی های خاکی دارای ظرفیت بالاتر و

عدد کوردیناسیونی کمتری هستند و در مواردی می توانند پیوندهای کوالانس با عدد کوردیناسیونی 4 به وجود آورند، قادرند در قسمت هایی از شبکه، جانشین شبکه سازهایی مانند  $Si$  یا  $B$  شده و نقش آنها را ایفا کنند. این کاتیون ها بطورکلی و به تنهایی توانایی ایجاد شیشه را نداشته بلکه به همراه شبکه سازهای دیگر می توانند در قسمت هایی از شبکه جانشین آنها شوند.

نام اکسید	قدرت اتصال $B_{M-O}$	نقطه ذوب $T_m(^{\circ}C)$	قدرت اتصال به نقطه ذوب $\frac{B_{M-O}}{T_m}$
$B_2O_3$	89-119	450	0,122-0,164
$SiO_2$	106	1720	0,053
$GeO_2$	108	1115	0,078
$P_2O_5$	88-111	570	0,131-0,104
$V_2O_5$	90-112	670	0,119-0,095
$TiO_2$	73	1850	0,034
$ZrO_2$	81	2650	0,023
$MoO_3$	92	795	0,086
$WO_3$	103	1475	0,059
$TeO_2$	68	733	0,067
$MgO$	37	2640	0,013
$CaO$	32	2500	0,011
$BaO$	33	1920	0,015

جدول (3-1) نسبت استحکام اتصال تکی به نقطه ذوب

به همین دلیل به این اکسیدها "اکسید های واسطه" یا "کمک شبکه ساز" اطلاق می شود. (مانند  $Al_2O_3$ ) به هر حال نقش کاتیون ها در شبکه بطور کلی می تواند با توجه به ظرفیت، عدد کوردیناسیون و استحکام پیوند بین کاتیون و اکسیژن مشخص شود. جدول (3-1) پس مانند فاز شیشه ای نقش مهم اکسیدهای سازنده در لعاب برحسب وظیفه شان در لعاب به سه گروه تقسیم بندی می شود. "مبدل شبکه ها" مواد اولیه ای هستند که در داخل حفره های شبکه قرار گرفته و آن را کم و بیش پر می کنند که عموماً قلیایی ها و قلیایی خاکی اصلی ترین مواد اولیه این گروه می باشند.

اگر مجدداً به جداول (2-1) و (3-1) توجه کنید مشخص می شود که این اکسیدها نیروی جذب کاتیونی و ظرفیت حداقل ولی شعاع یونی حداکثری دارند بعلاوه دارای قدرت اتصال کوچکی نسبت به نقطه ذوب هستند مثلاً " $CaO$ " دارای عدد 0,011 است. کاتیون های مبدل شبکه دارای شدت حوضه ی نسبتاً ضعیف تری نسبت به شبکه سازها هستند و همچنین یون ها قدرت اتصال کمتری با یکدیگر دارند. این مواد اولیه در صنعت لعاب به عنوان اکسیدهای بازی یا قلیایی نامیده می شوند. بنابراین با توجه به جدول (3-1) اطلاعات دقیق تری در مورد وضعیت کاتیون ها، یون ها، ... می توانیم داشته باشیم. بنابراین با دانستن این اطلاعات می توان جهت تعیین و محاسبه فرمول لعاب، وظیفه و عمل کرد هر یک از اکسیدها را به تنهایی مشخص و تقسیم بندی نمود. باید به این نکته توجه کرد که به جهت پیچیدگی رفتاری اکسیدها هنگام ذوب و تکمیل مذابی یک دست، پیش بینی نتایج چندان دقیق نمی باشد زیرا با دیاگرام های دو، سه، چهار، پنج تایی و حتی چند تایی در هنگام تعادل ترمودینامیکی برخورد می کنیم که تحلیل نقاط مشاهده شده اویکتیک، پریکتیک و..... بسیار سخت می باشد. از طرف دیگر دیاگرام ها نیز در شرایط ایده آل از نظر ترمودینامیکی به صورت تعادلی طراحی شده اند که عموماً در صنعت امکان پذیر نیست. بعلاوه پارامترهای بسیار مهمی نظیر:

1 - دانه بندی مواد اولیه

2 - شرایط تشکیل زمین شناسی کانه ها

3 - سرعت حرارت دهی محیط کوره

4 - اتمسفر محیط اکسیداسیونی، احیا یا خنثی در کوره

5 - سرعت انتقال حرارت بین مواد اولیه

6 - ناخالصی های موثر و غیر موثر که بشدت بر فرآیند ذوب تاثیر می گذارند. بطوریکه

دستیابی به شرایط ایده آل را بسیار سخت می کنند.