

# ساخت و تولید

## سرامیک ها

(جلداول)

مؤلف: مهندس محمود سالاریه

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی ساوه - میبد یزد

مدیر کارخانه چینی بهداشتی آرمیتاژ

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی - واحد ساوه

سرشناسه	: سالاریه ، محمود ، 1341 -
عنوان و نام پدید آور	: ساخت و تولید سرامیک ها / مؤلف محمود سالاریه .
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه آزاد اسلامی (ساوه)، 1386 .
مشخصات ظاهری	: 2 ج . : مصور(رنگی)، جدول ، نمودار .
شابک	: ج 1 : 9644504968 : ج 2 : 964450495 X
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: پشت جلد به انگلیسی: M.Salarieh. processing & producing of Ceramics
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: سرامیک
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی (ساوه).
رده بندی کنگره	: 2 س 2 / TP 807
رده بندی دیویی	: 620/14
شماره کتاب شناسی ملی	: 1103647

نام کتاب	: ساخت و تولید سرامیک ها (جلد اول)
تالیف	: مهندس محمود سالاریه
ویراستار	: زهرا کاشانی
طراح جلد	: احسان ترکمنی
ناشر	: دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه
چاپ اول	: سال 1386
شمارگان	: 1000 جلد
قیمت	: 320000 ریال
لیتوگرافی	: مرکز نشر کتب دانشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی
چاپ و صحافی	: مرکز نشر کتب دانشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی
حق چاپ	: برای دانشگاه آزاد اسلامی محفوظ است.

تقدیم به :

آنان که تکیه گاه و پشتوانه من در زندگی بودند

سالاریه کاشانی

روح شان شاد

مقدمه	۱۹
انتخاب روش های شکل دادن سرامیک ها	۲۵
فصل اول: آب و پارامترهای موثر در آن	۲۸
۱-۱- ساختمان و خواص فیزیکی - شیمیایی آب (Water)	۲۹
۲-۱- خواص فیزیکی آب	۳۱
۱-۲-۱- ظرفیت حرارتی آب	۳۲
۲-۲-۱- کشش سطحی آب	۳۳
۳-۲-۱- ناروانی (ویسکوزیته) (Viscosity) آب	۳۴
۳-۱- خواص شیمیایی آب	۳۴
۱-۳-۱- حلالیت آب	۳۴
۲-۳-۱- pH آب	۳۵
۳-۳-۱- اسیدیته آب (Water acidity)	۳۶
۴-۳-۱- سختی آب (Hardness of water)	۳۶
۱-۴-۳-۱- سختی موقت	۳۶
۲-۴-۳-۱- سختی دائم	۳۷
فصل دوم: سیستم رسی-آب (Clay-Water)	۴۰
۱-۲- شیمی سطح در جامدات (chemical of surface)	۴۱
۱-۱-۲- ساختار اتمی سطح از ساختار درونی ذره متمایز است	۴۱
۲-۱-۲- ساختار جامدات و ابعاد نانومتری	۴۲
۳-۱-۲- کار در ابعاد نانومتری	۴۴
۴-۱-۲- روش تهیه نانوپودرهای سرامیکی	۴۵
۱-۴-۱-۲- تهیه نانوپودر با خردایش	۴۶
۲-۴-۱-۲- تهیه نانوپودر با سنتز شیمیایی	۴۷
۱-۲-۴-۱-۲- تهیه نانوپودر با روش سل-ژل	۴۷
۲-۲-۴-۱-۲- تهیه نانوپودر با روش واکنش جامد-مایع	۴۸
۳-۲-۴-۱-۲- تهیه نانوپودر از فازگازی (Chemical Vapour Deposition)	۴۸
۵-۱-۲- عامل چسبیدگی نانو ذرات	۴۸
۱-۵-۱-۲- نیروهای بین ملکولی در دانه ها یا پودر	۴۹

۴۹	۲-۱-۶- جذب سطحی (Surface absorption) .....
۵۰	۲-۱-۶- نیروهای جذب سطحی (Surface absorption force) .....
۵۰	۲-۱-۶- جذب سطحی اکسیدها .....
۵۲	۲-۱-۶-۳- منشأ نیروهای فشارنده بین ذرات .....
۵۴	۲-۲- ساختار مایعات .....
۵۵	۲-۲-۱- انرژی سطحی مایعات .....
۵۸	۲-۲-۲- کشش سطحی مایعات .....
۶۱	۲-۲-۱- لایه های مایعات .....
۶۳	۲-۲-۲- بستگی کشش سطحی به دما .....
۶۳	۲-۲-۳- ترکردن (Wetting) .....
۶۶	فصل سوم: روانسازی (Deflocculation) .....
۶۷	۳-۱- منشاء بارهای الکتریکی در پودرهای سرامیکی .....
۶۷	۳-۱-۱- جانشینی ایزومورفی در شبکه کانی .....
۷۱	۳-۱-۲- تعویض کاتیونی در کانی ها (Cation-Exchange) .....
۷۲	۳-۱-۳- ظرفیت خنثی نشده ناشی از خردایش .....
۷۵	۳-۲- چگونگی اثر کاتیون ها بر رفتار آب .....
۷۷	۳-۳- تئوری لایه مضاعف و پتانسیل زتا (Double-Layer-Theory) .....
۸۱	۳-۴- اثر روان سازها یا الکترولیت ها بر پتانسیل زتا .....
۸۲	۳-۴-۱- پس از افزودن الکترولیت؛ دوغاب روان و مجدداً منعقد می شود .....
۸۴	۳-۴-۲- پس از افزودن الکترولیت؛ دوغاب با شدت بیشتر منعقد می شود .....
	۳-۴-۳- پس از افزودن الکترولیت، دوغاب روان و با افزایش روانساز، سوسپانسیون منعقد نمی شود .....
۸۵	۳-۵- کلونید های حفاظتی .....
۸۶	۳-۶- کاربرد تعویض کاتیونی در تکنولوژی سرامیک .....
۸۷	۳-۷- خواص دوغاب .....
۸۷	۳-۷-۱- خواص سیلانی دوغاب و توزیع دانه بندی آن .....
۸۸	۳-۷-۱-۱- دوغاب های آلومینائی (Alumina Slips) .....
۸۹	۳-۷-۱-۲- دوغاب سیلیسی (Quartz Slip) .....
۸۹	۳-۷-۱-۳- دوغاب چینی (Whiteware Slips) .....

- ۳-۷-۲- سرعت ریخته‌گری (Casting Rate) و اندازه و سطح ویژه پودر..... ۹۱
- ۹-۵-۳- ارتباط دانسیته اولیه دوغاب با PH آن..... ۹۲
- فصل چهارم: روش آزمون..... ۹۴
- ۴-۱- روابط حجمی و وزنی اجزای متشکله دوغاب (پودر + آب)..... ۹۵
- ۴-۱-۱- درجه اشباع (Degree of Saturation)..... ۹۶
- ۴-۱-۲- درصد رطوبت  $v$  (Water Content)..... ۹۶
- ۴-۱-۳- اندازه گیری درصد رطوبت..... ۹۶
- ۴-۲- روابط حجمی و وزنی پودر..... ۹۷
- ۴-۲-۱- نسبت تخلخل پودر (Void Ratio)..... ۹۷
- ۴-۲-۲- درجه پوکی پودر (Porosity)  $n$ ..... ۹۸
- ۴-۲-۳- توزیع اندازه و تراکم پذیری پودرهای سرامیکی..... ۹۸
- ۴-۲-۳-۱- تراکم نسبی پودر (Relative Density)..... ۱۰۰
- ۴-۲-۳-۲- ضریب تراکم پذیری پودر  $F$ ..... ۱۰۱
- ۴-۲-۴- وزن واحد حجم توده پودر (Unit Weight)..... ۱۰۲
- ۴-۲-۴-۱- وزن واحد حجم پودر در حالت خشک ( $g_d$ )..... ۱۰۲
- ۴-۲-۴-۲- وزن واحد حجم پودر در حالت تر ( $g_t$ )..... ۱۰۲
- ۴-۲-۴-۳- وزن واحد حجم پودر در حالت اشباع ( $g_{sat}$ )..... ۱۰۲
- ۴-۲-۴-۴- وزن واحد حجم پودر در حالت غوطه ور ( $g_{sub}$ )..... ۱۰۲
- ۴-۲-۵- وزن مخصوص نسبی پودر  $G_s$  (Specific Gravity)..... ۱۰۳
- ۴-۲-۵-۱- وزن مخصوص نسبی جامد..... ۱۰۳
- ۴-۳- تعیین نفوذپذیری (K) در پودر یا لایه ریخته‌گری شده..... ۱۰۳
- ۴-۳-۱- حرکت آب در پودر یا لایه ریخته‌گری شده..... ۱۰۳
- ۴-۳-۲- تعیین ضریب نفوذ پذیری با استفاده از شکل و ابعاد تخلخل..... ۱۰۶
- ۴-۳-۳- تعیین ضریب نفوذ پذیری با استفاده از قانون دارسی..... ۱۰۷
- ۴-۳-۴- تعیین ضریب نفوذ پذیری با استفاده از فرمولهای تجربی..... ۱۰۸
- ۴-۴- چرا يك مخلوط رسی - آب دارای پلاستی سیتة (Plasticity) است؟..... ۱۰۸
- ۴-۴-۱- پلاستی سائزر (Plasticizer)..... ۱۱۰
- ۴-۴-۲- پلاستی سیتة (Plasticity) چگونه ارزیابی می‌شود؟..... ۱۱۰



۱۴۰	۴-۸-۱- دستگاه ویسکوزیته متر ریزشی.....	۱۴۰
۱۴۰	۴-۸-۲- دستگاه ویسکوزیته متر پیچشی.....	۱۴۰
۱۴۱	۴-۱۲-۳- دستگاه ویسکوزیته متر گردشی.....	۱۴۱
۱۴۲	۴-۹- اندازه گیری دانسیته (۲) دوغاب.....	۱۴۲
۱۴۵	۴-۱۰- حد انقباض (چرمینگی Leatherhard).....	۱۴۵
۱۴۸	۴-۱۰-۱- انقباض خطی $L_s$ .....	۱۴۸
۱۴۸	۴-۱۰-۲- انقباض حجمی $V_s$ .....	۱۴۸
۱۴۹	۴-۱۰-۳- اندازه گیری انقباض.....	۱۴۹
۱۴۹	۴-۱۰-۳-۱- اندازه گیری با کمک دوغاب و تهیه خط کش استاندارد.....	۱۴۹
۱۴۹	۴-۱۰-۳-۲- اندازه گیری با روش پرس پودر.....	۱۴۹
۱۴۹	۴-۱۰-۳-۳- تهیه قرص از گرانول آماده شده.....	۱۴۹
۱۴۹	۴-۱۰-۳-۴- اندازه گیری انقباض پخت.....	۱۴۹
۱۵۰	۴-۱۱- اندازه گیری استحکام.....	۱۵۰
۱۵۰	۴-۱۱-۱- تهیه نمونه های استحکام از گرانول آماده شده.....	۱۵۰
۱۵۰	۴-۱۱-۲- روش اندازه گیری استحکام خشک.....	۱۵۰
۱۵۰	۴-۱۱-۲-۱- دستگاه اندازه گیری استحکام خمشی (MOR).....	۱۵۰
۱۵۱	۴-۱۱-۲-۲- اندازه گیری استحکام پخت.....	۱۵۱
۱۵۱	۴-۱۱-۳- اندازه گیری جذب آب نمونه های پخت.....	۱۵۱
۱۵۲	۴-۱۳- محاسبه پرت حرارتی.....	۱۵۲
۱۵۲	۴-۱۴- روش مشاهده نمک های محلول.....	۱۵۲
۱۵۳	۴-۱۵- اندازه گیری pH.....	۱۵۳
۱۵۳	۴-۱۶- محاسبه مقدار مواد لعاب از فرمول زگر.....	۱۵۳
۱۵۴	۴-۱۶-۱- تبدیل آمیز لعاب به فرمول زگر.....	۱۵۴
۱۵۶	۴-۱۶-۲- استخراج مواد اولیه خام از روی فرمول زگر.....	۱۵۶
۱۶۰	۴-۱۶-۲- بدست آوردن فرمول زگر از روی آمیز مواد اولیه لعاب.....	۱۶۰
۱۶۱	۴-۱۶-۳- آنالیز مینرالی بدنه های سرامیکی.....	۱۶۱
۱۶۷	۴-۱۶-۴- مروری بر حل معادلات "سه معادله و سه مجهول".....	۱۶۷
۱۶۸	۴-۱۶-۵- محاسبه درصد مواد اولیه ساخت بدنه با آنالیز مینرالی مشخص.....	۱۶۸



فصل پنجم: کانه آرائی (Ore Dressing).....	۱۷۴
۱-۵- تعریف کانه آرائی (Ore Dressing).....	۱۷۵
۲-۵- خردایش و پارامترهای موثر بر آن.....	۱۷۹
۱-۲-۵- ابعاد طولی ذرات ماده که خرد می شوند.....	۱۸۰
۲-۲-۵- سطح ویژه پودر.....	۱۸۰
۳-۲-۵- سختی مواد.....	۱۸۰
۴-۲-۵- ساختار مواد.....	۱۸۰
۵-۲-۵- وزن مخصوص مواد.....	۱۸۱
۶-۲-۵- رطوبت مواد.....	۱۸۱
۷-۲-۵- تمایل برای تجمع یا لخته شدن (فلوکولاسیون یا تجمع شدن).....	۱۸۱
۸-۲-۵- فاکتور مواد اولیه (Raw Materials).....	۱۸۱
۱-۸-۲-۵- مواد اولیه سرامیکهای معمولی (Traditional Ceramics).....	۱۸۱
۲-۸-۲-۵- مواد اولیه سرامیکهای نوین (Modern Ceramics).....	۱۸۲
۱-۲-۸-۲-۵- پودر آلومینا (Aluminum Oxide Powder).....	۱۸۳
۲-۲-۸-۲-۵- پودر منیزیم اکساید (magnesium Oxide Powder).....	۱۸۳
۳-۲-۸-۲-۵- پودر سیلیکون کاربید (Silicon Carbide).....	۱۸۳
۴-۲-۸-۲-۵- پودر سیلیکون نیتريد (Silicon Nitride).....	۱۸۴
۳-۸-۲-۵- رسی ها.....	۱۸۴
۱-۳-۸-۲-۵- کائولینیت.....	۱۸۵
۲-۳-۸-۲-۵- بال کلی.....	۱۸۵
۳-۳-۸-۲-۵- پیروفیلیت.....	۱۸۵
۴-۳-۸-۲-۵- بنتونیت.....	۱۸۶
۳-۸-۲-۵- تالک.....	۱۸۶
۴-۸-۲-۵- فلدسپار.....	۱۸۶
۳-۵- خردایش.....	۱۸۷
۱-۳-۵- مکانیزم خرد کردن.....	۱۸۹
۲-۳-۵- محدودیت های خرد کردن.....	۱۹۰
۳-۳-۵- کاربرد قوانین خرد کردن.....	۱۹۱
۴-۵- روش انتخاب سنگ شکن ها و طرح مسیر آنها.....	۱۹۲

۵-۵- خشک سانی و ترسانی	۱۹۴
۵-۵-۱- تئوری خرد کردن و سایش پیوسته به روش تر	۱۹۶
۵-۵-۱-۱- سرعت چرخش	۱۹۶
۵-۵-۱-۲- آستری (Lining)	۱۹۸
۵-۵-۲- عوامل یا واسطه های خرد کننده (گلوله ها و قلوه سنگ ها)	۲۰۱
۵-۵-۲-۱- شارژ قلوه سنگ ها و گلوله ها	۲۰۲
۵-۶- آسیاها	۲۰۵
۵-۶-۱- کلیاتی در مورد آسیاهای گردان	۲۰۵
۵-۶-۲- آسیاهای میله ای (ROD MILLS)	۲۰۶
۵-۶-۳- آسیاهای گلوله ای (BALL MILLS)	۲۰۸
۵-۶-۴- آسیاهای قلوه سنگی (PEBBLE MILLS)	۲۱۱
۵-۷- روش انتخاب آسیاها و طرح مسیر آنها	۲۱۱
۵-۸- الک کردن	۲۱۶
۵-۸-۱- مکانیزم الک کردن	۲۱۸
۵-۸-۲- بازدهی الک کردن	۲۱۸
۵-۸-۳- انواع سطوح الک	۲۲۱
۵-۸-۴- انواع الک	۲۲۲
۵-۸-۴-۱- الک های ساکن	۲۲۲
۵-۸-۴-۲- الک های متحرک	۲۲۲
۵-۸-۴-۳- الک گردان (Trommel Screen)	۲۲۲
۵-۸-۴-۴- الک لرزان (Shaking Screen)	۲۲۳
۵-۸-۴-۵- الک ژیراتوری (Gyratory Screen)	۲۲۵
۵-۸-۴-۶- الک ارتعاشی (Vibrating Screen)	۲۲۶
۵-۹- آهن گیری (Deironing)	۲۲۶
فصل ششم: آماده سازی دوغاب	۲۲۹
۶-۱- اختلاط و همزدن مواد (Blunger)	۲۳۰
۶-۱-۱- اختلاط و همزدن مواد با دور متوسط	۲۳۱
۶-۱-۲- اختلاط و همزدن مواد با دور تند (High Speed Blunger)	۲۳۱
۶-۲- تهیه دوغاب	۲۳۳

۲۳۳	۱-۲-۶- تهیه دوغاب به روش خشک (اروپائی)
۲۳۴	۱-۲-۶- تهیه دوغاب به روش ترسانی (انگلیسی)
۲۳۵	۳-۶- نگه داری دوغاب (egging)
۲۳۷	فصل هفتم: انتقال دوغاب (پمپ و پمپاژ)
۲۳۸	۱-۷- جریان دوغاب در لوله ها
۲۴۰	۱-۱-۷- قانون برنولی
۲۴۲	۲-۱-۷- حرکت براونی
۲۴۳	۲-۷- بازرسی پمپ از نظر پدیده کاویتاسیون (حفره زایی)
۲۴۴	۳-۷- تنش مؤثر ( $s$ ) و مقاومت برشی در دوغاب
۲۵۰	فصل هشتم: گچ صنعتی
۲۵۱	۱-۸- گچ صنعتی
۲۵۲	۲-۸- کاربرد گچ در صنایع ریخته گری
۲۵۲	۳-۸- گچ قالب سازی
۲۵۲	۱-۳-۸- تعریف
۲۵۵	۲-۳-۸- استاندارد گچ قالب سازی (ASTM C59-83)
۲۵۵	۴-۸- روش های مختلف تولید گچ
۲۵۶	۱-۴-۸- کلسیناسیون گچ
۲۵۸	۲-۴-۸- خصوصیات گچ پس از کلسیناسیون
۲۶۰	۳-۴-۸- کوره های کلسیناسیون گچ
۲۶۰	۱-۳-۴-۸- کوره چاهی و اتافکی
۲۶۰	۲-۳-۴-۸- کوره تابه ای
۲۶۱	۳-۳-۴-۸- کوره گردان
۲۶۲	۵-۸- ملاحظات کار در قسمت قالب سازی
۲۶۲	۱-۵-۸- انبار گچ
۲۶۲	۲-۵-۸- توزین و همزدن گچ
۲۶۲	۳-۵-۸- زمان همزدن گچ
۲۶۲	۴-۵-۸- آب مناسب برای گچ
۲۶۳	۵-۵-۸- تمیزی ظرف و همزن گچ

۲۶۳	..... ۸-۵-۶- خلاء کردن
۲۶۳	..... ۸-۵-۷- خشك کردن قالب های گچی
۲۶۳	..... ۸-۶-۶- خواص گچ
۲۶۳	..... ۸-۶-۱- سیالیت دوغاب گچ
۲۶۴	..... ۸-۶-۲- زمان ریختن
۲۶۵	..... ۸-۶-۳- دانسیته ظاهری دوغاب گچی
۲۶۶	..... ۸-۶-۴- تنظیم زمان گیرش
۲۶۶	..... ۸-۶-۵- تغییرات ابعادی ناشی از ضریب انبساط حین گیرش
۲۶۷	..... ۸-۶-۶- تخلخل
۲۶۸	..... ۸-۶-۷- دانسیته قالب گچی
۲۶۸	..... ۸-۶-۸- استحکام مکانیکی
۲۷۰	..... ۸-۶-۹- دانه بندی گچ
۲۷۱	..... ۸-۶-۱۰- ضریب دیفوزیون قالب گچی و ارتباط آن با ریخته گری
۲۷۴	..... ۸-۶-۱۰-۱- تعیین ضریب دیفوزیون قالب گچی
۲۹۶	..... فصل نهم: ریخته گری دوغابی
۲۹۷	..... ۹-۱- ساخت مادر قالب گچی مناسب برای ریخته گری دوغابی
۲۹۷	..... ۹-۱-۱- انتخاب رزین برای ساخت مادر قالب رزینی (کامپوزیتی)
۲۹۷	..... ۹-۱-۲- ویژگی های مکانیکی رزین
۲۹۸	..... ۹-۱-۲-۱- چقرمگی رزین
۲۹۸	..... ۹-۱-۲-۲- چسبندگی رزین
۲۹۹	..... ۹-۱-۲-۳- مقاومت در برابر عوامل محیطی رزین
۲۹۹	..... ۹-۱-۳- قالب گیری با انتقال رزین (R T M)
۳۰۱	..... ۹-۲- قالب گچی
۳۰۱	..... ۹-۳- ریخته گری دوغابی
۳۰۱	..... ۹-۳-۱- ریخته گری دوغابی توخالی (drain casting)
۳۰۲	..... ۹-۳-۲- ریخته گری دوغابی توپر (Solid casting)
۳۰۳	..... ۹-۴- روش ریختن يك گلدان
۳۰۳	..... ۹-۴-۱- بستن قالب
۳۰۳	..... ۹-۴-۲- ریختن دوغاب

۳۰۴	..... تخلیه دوغاب	۳-۴-۹
۳۰۴	..... روش بیرون آوردن قطعه از داخل قالب گچی	۴-۴-۹
۳۰۵	..... روش استفاده از دوغاب اضافی و تراشه‌های گل	۵-۴-۹
۳۰۵	..... پرداخت اولیه بدنه ریخته گری	۶-۴-۹
۳۰۵	..... صاف کردن و جهت دادن به ذرات	۷-۴-۹
۳۰۶	..... پرداخت کردن با آب بدنه ریخته گری	۸-۴-۹
۳۰۶	..... پرداخت کردن بدنه پس از خشک شدن	۹-۴-۹
۳۰۷	..... تراشیدن بدنه خشک	۱-۹-۴-۹
۳۰۷	..... پرداخت کردن روی چرخ	۲-۹-۴-۹
۳۰۸	..... پرداخت کردن قطعه با دستگاه تراش	۳-۹-۴-۹
۳۰۸	..... ابزار تراشیدن و صاف کردن	۴-۹-۴-۹
۳۰۹	..... پرداخت کردن بدنه با کاغذ سمباده	۵-۹-۴-۹
۳۰۹	..... ریخته گری تحت فشار	۶-۹-۴-۹
۳۱۰	..... نوع بدنه	۱-۶-۹-۴-۹
۳۱۱	..... خواص دوغاب مناسب برای ریخته گری تحت فشار	۲-۶-۹-۴-۹
۳۱۲	..... شکل دهی تحت فشار	۷-۶-۹-۴-۹
۳۱۵	..... نگهداری قالب	۴-۶-۹-۴-۹
۳۱۶	..... ریخته گری دقیق قطعات فولادی و سرامیکی	۷-۹-۴-۹
۳۱۶	..... روش قالب گیری پوسته سرامیکی	۱-۷-۹-۴-۹
۳۱۷	..... روش تهیه پوسته های سرامیکی	۲-۷-۹-۴-۹
۳۱۷	..... مواد دیرگداز	۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۱۸	..... ماسه سیلیسی	۱-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۱۹	..... زیرکون $ZrO_2 SiO_2$	۲-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۱۹	..... آلومینا	۳-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۱۹	..... کاینیت، سیلیمانیت و آندالوسیت	۴-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۱۹	..... مولیت	۵-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۲۰	..... ولاستونیت	۶-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۲۰	..... دیاسپور و بوکسیت	۷-۱-۲-۷-۹-۴-۹
۳۲۰	..... اندازه دانه	۳-۷-۹-۴-۹

۳۲۰	..... چسب ها (Binder) ۴-۷-۹
۳۲۱	..... سیلیس کلونیدی ۱-۴-۷-۹
۳۲۲	..... اجزاء دیگر تشکیل دهنده دوغاب ۵-۷-۹
۳۲۲	..... دوغاب سیلیس ذوب و ریخته گری شده ۶-۷-۹
۳۲۳	..... دوغاب زیرکنی ۷-۷-۹
۳۲۴	..... دستگاه های مخلوط کننده ۸-۷-۹
۳۲۴	..... خشک کردن ۹-۷-۹
۳۲۵	..... کنترل فرآیند ۱۰-۷-۹
۳۲۷	..... فصل دهم: شکل دادن پلاستیک
۳۲۸	..... ۱-۱۰- تعاریف
۳۲۸	..... ۱-۱-۱۰- گل نیمه پلاستیک (Medium plastic clay)
۳۲۸	..... ۲-۱-۱۰- گل پلاستیک نرم (Soft plastic clay)
۳۲۸	..... ۳-۱-۱۰- گل پلاستیک سفت (Stiff plastic clay)
۳۲۸	..... ۴-۱-۱۰- حافظه در رسی ها (Memory of Clays)
۳۲۹	..... ۲-۱۰- تهیه و آماده سازی خمیر بدنه
۳۲۹	..... ۱-۲-۱۰- فیلتر پرس (Filtration)
۳۳۴	..... ۲-۲-۱۰- اکستروژن (Extrusion)
۳۳۵	..... ۱-۲-۲-۱۰- مکانیک اکستروژن
۳۳۷	..... ۲-۲-۲-۱۰- جریان لایه ای در خمیر در حال فشار
۳۳۸	..... ۳-۲-۲-۱۰- مواد روغنکاری کننده
۳۳۹	..... ۳-۲-۱۰- انواع اکستروود
۳۳۹	..... ۱-۳-۲-۱۰- اکستروودر پیستونی یا مرحله ای (Batch extruder)
۳۴۰	..... ۲-۳-۲-۱۰- اکستروودر حلزونی (Screw extruder)
۳۴۱	..... ۴-۲-۱۰- پاکمیل هوا زدا (De- Airing pugmill)
۳۴۲	..... ۵-۲-۱۰- اعمال خلاء و مزایای آن
۳۴۲	..... ۶-۲-۱۰- عیوب اکستروژن و راه های بر طرف کردن آنها
۳۴۳	..... ۱-۶-۲-۱۰- ترك S شکل
۳۴۴	..... ۲-۶-۲-۱۰- لایه لایه شدن (Lamination)
۳۴۴	..... ۳-۶-۲-۱۰- لایه لایه شدن در امتداد سطح و عمق ستون گل

۳۴۵	۱۰-۲-۶-۴- ترك شمعدانی(ستاره ای).....
۳۴۵	۱۰-۲-۶-۵- جوش و حفره سطحی.....
۳۴۶	۱۰-۲-۶-۶- شیب سفیدی در گل اکستروژن شده.....
۳۴۶	۱۰-۳- شکل دادن با اکستروژن.....
۳۴۶	۱۰-۳-۱- پیش شکل دادن با اکستروژن.....
۳۴۷	۱۰-۳-۲- شکل دادن با اکستروژن.....
۳۴۸	۱۰-۳-۳- تنوع محصولات در روش اکستروژن.....
۳۴۸	۱۰-۳-۳-۱- ساخت المان سیلیکون کاربردی با اکستروژن.....
۳۴۸	۱۰-۳-۳-۲- مراحل فرآیند اکستروژن.....
۳۴۹	۱۰-۳-۳-۳- اجزاء مختلف سیستم های چسب(binder).....
۳۵۰	۱۰-۳-۳-۴- سیلیکون کاربرد.....
۳۵۳	۱۰-۳-۳-۵- فرآیند زینترینگ در حضور فاز مایع.....
۳۵۴	۱۰-۳-۵- فرآیند ساخت.....
۳۵۴	۱۰-۳-۵-۱- مخلوط کردن (Mixing).....
۳۵۵	۱۰-۳-۵-۲- اکستروژن یا پرس کردن.....
۳۵۵	۱۰-۳-۵-۳- فاکتورهای مؤثر بر کنترل فرآیند اکستروژن.....
۳۵۵	۱۰-۳-۵-۴- دانسیته خام.....
۳۵۶	۱۰-۳-۵-۲- پلاستیسیته(Plasticity).....
۳۵۸	۱۰-۳-۶- کلسیناسیون(Calcination).....
۳۵۸	۱۰-۳-۷- جزئیات مراحل مختلف تکلیس و عیوب احتمالی.....
۳۵۹	۱۰-۳-۸- سیلیساید کردن.....
۳۶۰	۱۰-۳-۸-۱- مکانیزم و سرعت پیشرفت فرآیند ری اکشن زینترینگ.....
۳۶۲	۱۰-۳-۸-۲- مکانیزم رسوب در SiC.....
۳۶۲	۱۰-۳-۹- بررسی ساختار در SiC.....
۳۶۴	۱۰-۳-۱۰- ماشین کاری SiC(Mashing).....
۳۶۴	۱۰-۳-۱۱- خواص مکانیکی، حرارتی، الکتریکی SiC.....
۳۶۴	۱۰-۳-۱۱-۱- دانسیته SiC.....
۳۶۴	۱۰-۳-۱۱-۲- مدول یانگ SiC.....
۳۶۴	۱۰-۳-۱۱-۳- ضریب انبساط SiC.....

۳۶۵	.....SiC هدایت حرارتی ۳-۱۱-۳-۳-۱۰
۳۶۵	.....SiC استحکام مکانیکی ۴-۱۱-۳-۳-۱۰
۳۶۶	..... روش های شکل دادن با پرس پلاستیک ۴-۱۰
۳۶۶	..... جیگرینگ (Jigging) ۱-۴-۱۰
۳۶۶	..... شکل دادن توسط دستگاه جیگر (Jigging) ۱-۱-۴-۱۰
۳۶۹	..... شکل دادن بوسیله دستگاه جولی (Jolleying) ۲-۴-۱۰
۳۷۱	..... شکل دادن به وسیله دستگاه های گردان (Roller) ۳-۴-۱۰
۳۷۱	..... شکل دادن بشقاب و دیس به کمک رولر ۱-۳-۴-۱۰
۳۷۳	..... شکل دادن فنجان و ظروف گود به کمک رولر ۲-۳-۴-۱۰
۳۷۴	..... شکل دادن به کمک ماشین های تمام اتوماتیک ۴-۴-۱۰
۳۷۵	..... درصد آب حین شکل دادن با پرس پلاستیک ۵-۴-۱۰
۳۷۶	..... قالب ۶-۴-۱۰
۳۷۶	..... شکل دادن به روش تراش (خراطی) ۵-۱۰
۳۸۰	..... فصل یازدهم: شکل دادن با پرس پودر ۳۸۰
۳۸۱	..... پرس ۱-۱۱
۳۸۱	..... مفهوم و اصول پرس ۱-۱-۱۱
۳۸۱	..... مزایای پرس ۲-۱-۱۱
۳۸۲	..... سیستم های پرس با توجه به میزان آب موجود در دوغاب ۳-۱-۱۱
۳۸۲	..... انواع پرس ۴-۱-۱۱
۳۸۲	..... وسایل لازم برای پرس پودر ۲-۱۱
۳۸۵	..... متراکم پودر با فشار در حالت سرد ۳-۱۱
۳۸۵	..... روش های تراکم پودر در قالب ۱-۳-۱۱
۳۸۵	..... پرس يك طرفه ۱-۱-۳-۱۱
۳۸۶	..... فشار از دو طرف ۲-۱-۳-۱۱
۳۸۶	..... پرس با سیستم چند حرکتی ۳-۱-۳-۱۱
۳۸۷	..... پرس در قالب های شناور ۴-۱-۳-۱۱
۳۸۷	..... پرس کردن و بیره ای ۵-۱-۳-۱۱
۳۸۷	..... متراکم کردن مرحله ای ۶-۱-۳-۱۱
۳۸۸	..... پرس ایزواستاتیک (CIP) (Cold Isostatic Pressing) ۷-۱-۳-۱۱



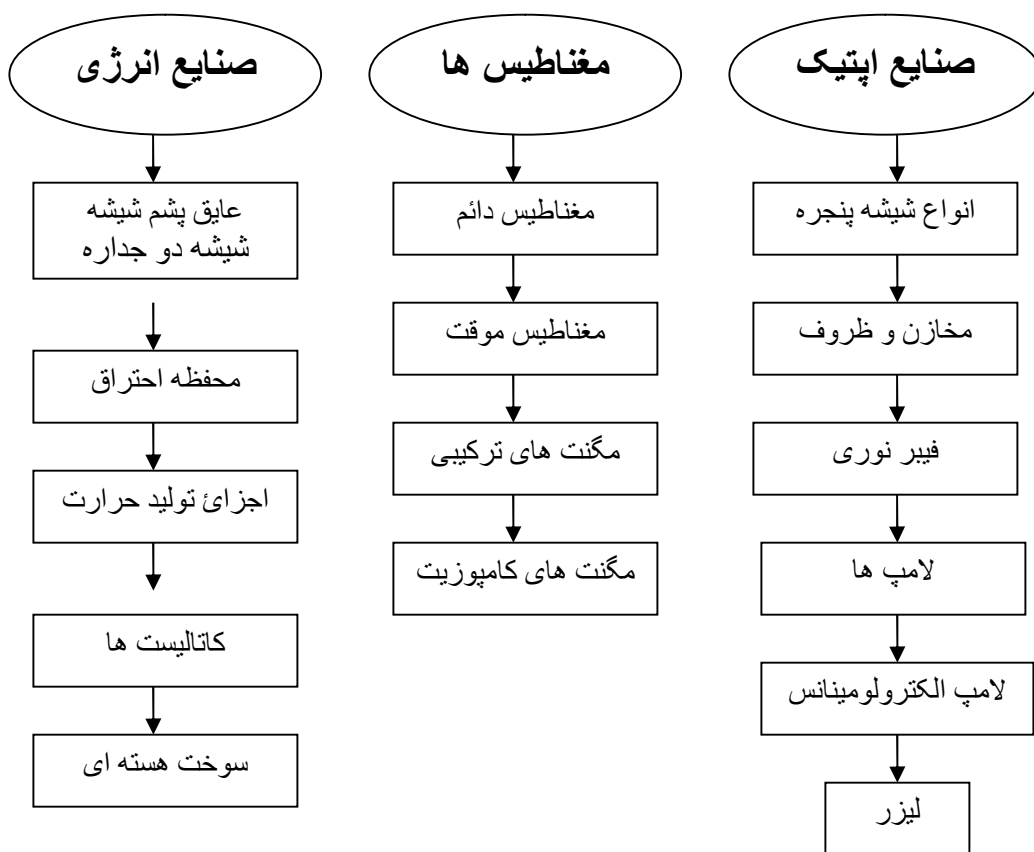
۳۸۹	۴-۱۱- مابانی فشردن پودر.....
۳۹۱	۵-۱۱- اسپری درایر(خشک کن پاشیدنی)(spray dryers).....
۳۹۲	۱-۵-۱۱- وظیفه و نقش اسپری درایرها.....
۳۹۳	۲-۵-۱۱- تبخیر در اسپری درایر.....
۳۹۴	۳-۵-۱۱- انتخاب نوع اسپری درایر.....
۳۹۴	۶-۱۱- سیکل یا چرخه پرس.....
۳۹۵	۷-۱۱- انواع پرس.....
۳۹۵	۱-۷-۱۱- پرس نیمه خشک (Semidry or Powder Pressing).....
۳۹۵	۲-۷-۱۱- پرس خشک (Dry Pressing).....
۳۹۸	۳-۷-۱۱- شکل دادن به روش پرس هیدروستاتیک.....
۳۹۸	۸-۱۱- چسب (Binders).....
۳۹۸	۱-۸-۱۱- علل استفاده از چسب.....
۳۹۹	۲-۸-۱۱- خصوصیات مورد نیاز چسب ها.....
۴۰۰	۳-۸-۱۱- بنیاد و پایه چسب های موقتی.....
۴۰۰	۱-۳-۸-۱۱- اساسی ترین ریشه چسب های موقتی.....
۴۰۰	۱-۱-۳-۸-۱۱- مشتقات سلولز.....
۴۰۱	۲-۱-۳-۸-۱۱- متیل سلولز MC.....
۴۰۱	۳-۱-۳-۸-۱۱- هیدروکسی اتیل سلولز HEC.....
۴۰۱	۲-۳-۸-۱۱- پلی اکریلات ها(PA).....
۴۰۲	۳-۳-۸-۱۱- پلی ساکرایدها (PS).....
۴۰۳	۴-۳-۸-۱۱- پلی وینیل الکل.....
۴۰۷	۴-۸-۱۱- کمک پرس ها(Pressing Aids).....
۴۰۷	۵-۸-۱۱- سایر افزودنی ها.....
۴۰۸	۹-۱۱- مابانی اتمایزه شدن مواد داخل اسپری.....
۴۰۸	۱-۹-۱۱- اتمایزهای چرخشی (با به بکارگیری انرژی سانتریفوژی).....
۴۰۹	۲-۹-۱۱- نازل های فشاری(با به کارگیری انرژی فشار).....
۴۰۹	۳-۹-۱۱- نازل های دو سیاله(با به کارگیری انرژی جنبشی).....
۴۱۰	۴-۹-۱۱- انتخاب اتمایزه.....
۴۱۰	۵-۹-۱۱- تماس هوا - اسپری.....

۴۱۲	..... ۱۱-۹-۶- خشک کردن قطره اسپری
۴۱۳	..... ۱۱-۹-۷- بازیابی محصول از هوای خروجی
۴۱۴	..... ۱۱-۹-۸- محاسن جدا کننده ها در روش خشک
۴۱۴	..... ۱۱-۹-۹- معایب جدا کننده ها در روش خشک
۴۱۵	..... ۱۱-۹-۱۰- محاسن سیستم های جدا کننده مرطوب
۴۱۶	..... ۱۱-۹-۱۱- معایب سیستم جدا کننده مرطوب
۴۱۶	..... ۱۱-۹-۱۲- کاربرد اسپری درایر در تولید گرانول های پرس ایزواستاتیک
۴۱۷	..... ۱۱-۹-۱۳- شرایط گرانول های اسپری درایر و روش تعیین آنها
۴۱۷	..... ۱۱-۹-۱۴- خواص گرانول
۴۱۷	..... ۱۱-۹-۱۴-۱- محدوده دانه بندی
۴۱۸	..... ۱۱-۹-۱۴-۲- رطوبت باقی مانده در گرانول ها
۴۱۸	..... ۱۱-۹-۱۴-۳- دانسیته بالک
۴۱۸	..... ۱۱-۹-۱۵- شرح خواص جسم متراکم شونده
۴۱۸	..... ۱۱-۹-۱۵-۱- مدول گسیختگی (استحکام خمشی)
۴۱۸	..... ۱۱-۹-۱۵-۲- بازیابی الاستیک
۴۱۹	..... ۱۱-۹-۱۵-۳- دانسیته خام و تخلخل
۴۱۹	..... ۱۱-۹-۱۵-۴- ضریب تراکم
۴۱۹	..... ۱۱-۹-۱۵-۵- تخریب ذرات
۴۱۹	..... ۱۱-۹-۱۵-۶- کیفیت سطح
۴۱۹	..... ۱۱-۹-۱۶- بررسی پروسه اسپری کردن دوغاب
۴۲۰	..... ۱۱-۹-۱۷- نتایج حاصل از انتخاب نوع اسپری
۴۲۳	..... ۱۱-۹-۱۸- تجهیزات اسپری درایر
۴۲۴	..... ۱۱-۹-۱۹- عملکرد اسپری درایر برای تولید گرانول های تغذیه پرس
۴۲۴	..... ۱۱-۹-۱۸-۱- رطوبت
۴۲۵	..... ۱۲- فصل دوازدهم: ذوب و ریخته گری (Fused casting)
۴۲۶	..... ۱۲-۱- شکل دادن به روش ذوب و ریخته گری (Fused casting)
۴۲۷	..... ۱۲-۱-۲- مزایای ذوب و ریخته گری
۴۲۷	..... ۱۲-۱-۳- معایب ذوب و ریخته گری
۴۳۱	..... فهرست منابع

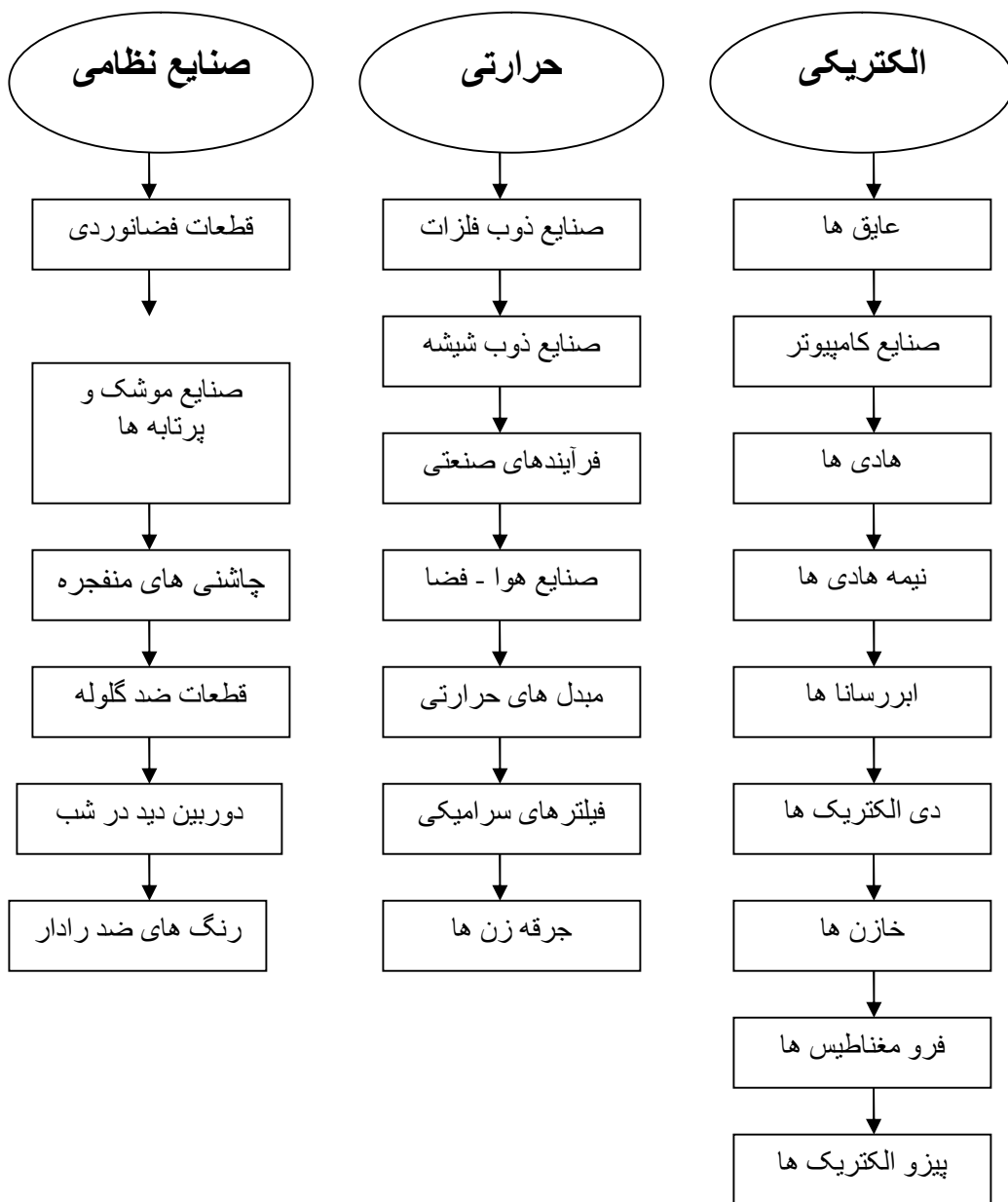
## مقدمه

### انتخاب روش های شکل دادن سرامیک ها

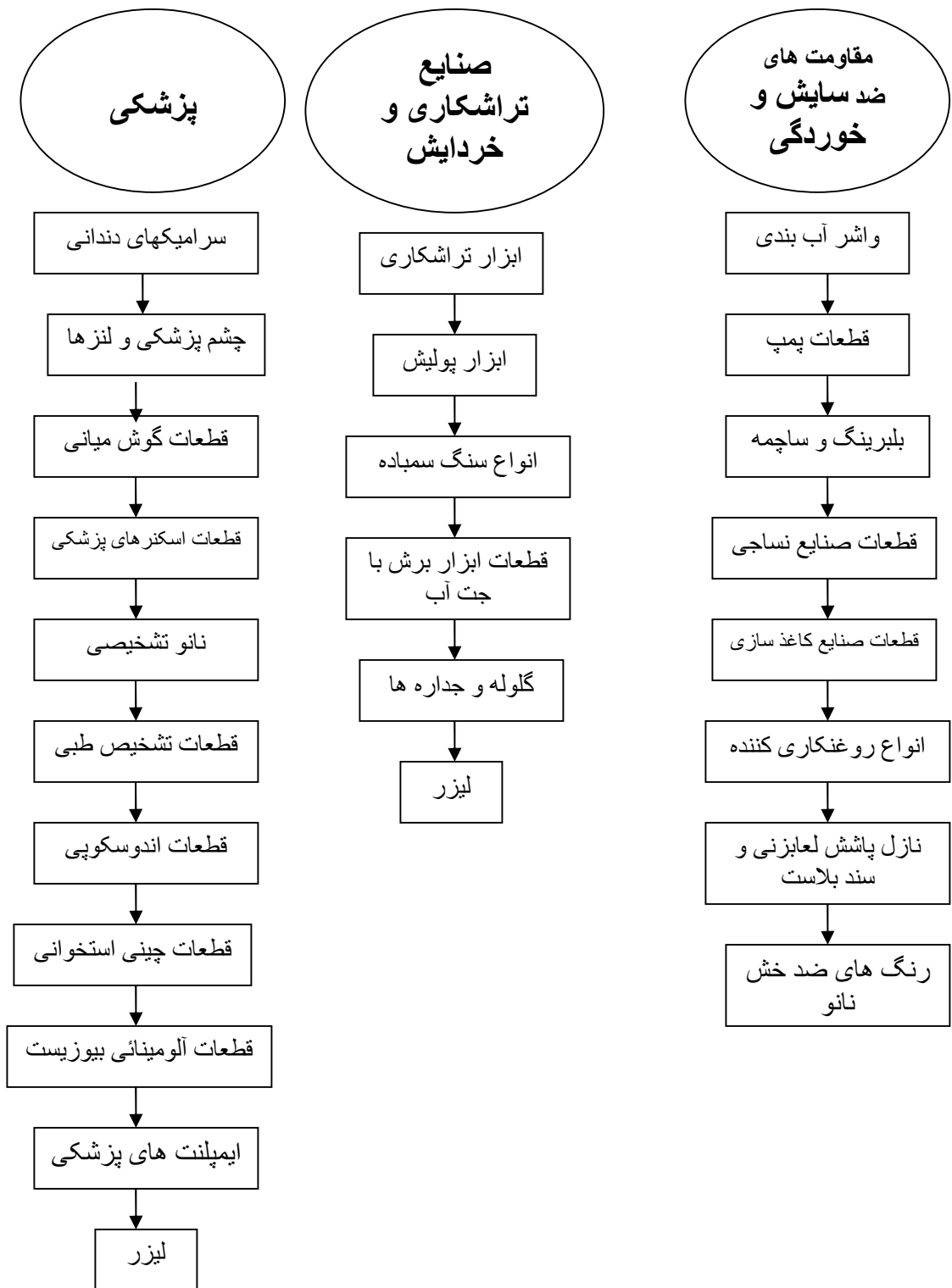
سرامیک ها موارد کاربرد زیادی دارند از سفال و صنایع دستی گرفته تا آجر ساختمانی، چینی، شیشه، قطعات اتومبیل، قطعات موشک، سفینه های فضایی و قطعات کامپیوتر و الکترونیک، ابر کامپیوترها، بیوسرامیک و نانو سرامیک ها. شکل های (۱) و (۲) و (۳) بنابراین با توجه به نوع محصول و پیچیدگی آن، بایستی نوع روش مناسب ساخت و تولید هر محصولی را انتخاب کرده و براساس انتظارات مصرف کنندگان؛ طراحی کارخانه و ماشین آلات ساخت و تولید را مشخص کرده و با توجه به نرخ تولید، بازار مصرف، رقبا خارجی، مواد اولیه مصرفی و در دست رس بودن آن، محصولی سودآور را وارد چرخه تولید کنیم. بنابراین باید روش های تولید و مراحل عمل آوری سرامیک ها را با دقت بیشتری مورد بررسی قرار دهیم زیرا سرامیک ها برخلاف فلزات عموماً قابلیت ماشین کاری یا ضربه پذیری قبل از شکل گیری نهایی را ندارند و در بیشتر موارد، کار شکل دهی از مواد اولیه آغاز می شود. شکل (۴) و شکل (۵) و شکل (۶)



شکل (۱) صنایع اپتیک، مغناطیس ها، صنایع انرژی



شکل (۲) صنایع الکتریک، صنایع حرارتی، صنایع نظامی



شکل (۳) صنایع مقاومت های ضد سایش و خوردگی، صنایع تراشکاری و خردایش، صنایع پزشکی



شکل (۴) بدل چینی؛ قطعات سخت، المنت حرارتی، لوله حرارتی، قطعات مبدل حرارتی، قطعات توربین، قطعات ماشین



شکل (۵) قطعات جت، بیو سرامیک ها، شمع اتومبیل، مفصل استخوان، قطعات انتقال در پمپ، بلبرینگ و ساچمه، لوله و صفحات سوراخ دار، سوپاپ، پروانه توربوشارژر، قطعات پمپ



شکل (۶) ابزار تراش، جلیقه ضدگلوله، فیلتر سرامیکی، قطعات سیلیکون کاربید، لامپ، رشته ابررسانا، دی الکترونیکها، قطعات ماشین



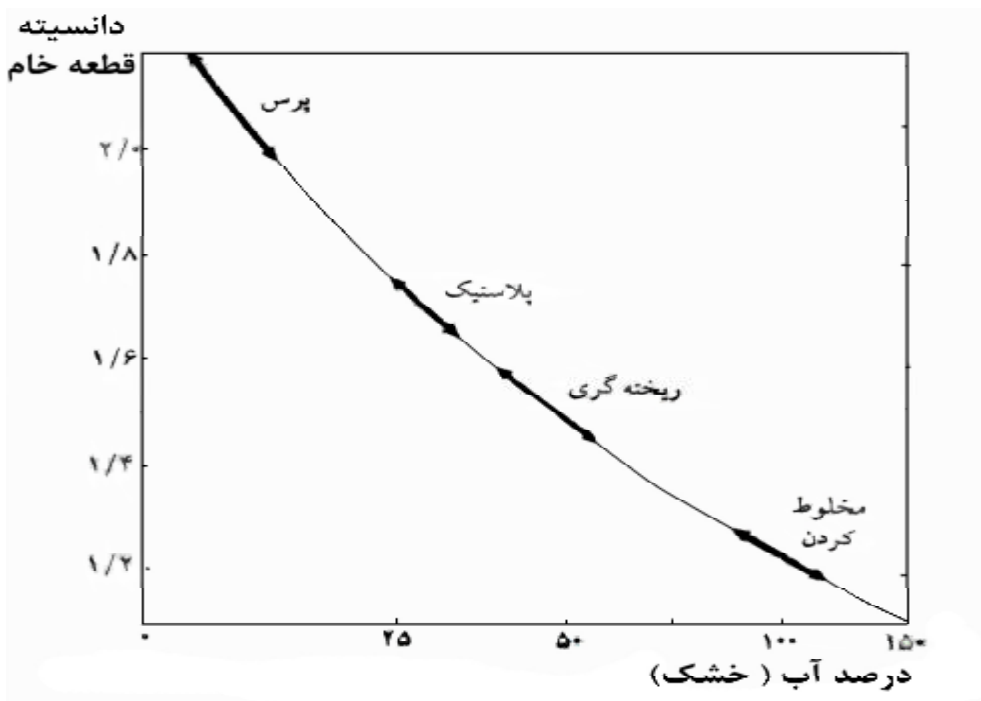
### انتخاب روش صحیح و مناسب شکل دهی:

انتخاب روش صحیح و مناسب شکل دهی، براساس این پارامترها استوار است:

- پیچیدگی، دقت ابعادی، وزن مدل
- شرایط فیزیکی آمیز یا مخلوط مواد اولیه بدنه
- مزایا و معایب روش های شکل دهی
- سرمایه گذاری، ارزش اقتصادی و نرخ تولید

برای انتخاب روش مناسب شکل دهی، آشنایی با مزایا و معایب روش های متنوع شکل دادن به درک روش انتخاب، کمک بسیاری خواهد کرد. با توجه به حضور میزان آب و رطوبت عموماً به عنوان یکی از اجزای مهم در شکل گیری آمیز بدنه سرامیکی، شاید بتوان روش های شکل دهی محصولات سرامیکی را برحسب درصد رطوبت آمیز آنها حین ساخت و تولید تقسیم بندی کرد. لذا درصد تقریبی رطوبت در هر یک از روش های شکل دهی را مختصراً توضیح می دهیم.

روش های شکل دادن سرامیک ها به روش های مختلفی تقسیم بندی می شوند؛ که یکی از این روش ها برحسب درصد آب می باشد. شکل (۷)



شکل (۷) تغییرات مقدار درصد آب به دانسیته مواد قبل از شکل گیری نسبت به روش تولید اگر درصد آب یک آمیز به حدی باشد که مخلوط حاصل به صورت دوغاب درآید با انتقال دوغاب به قالب گچی می توان شکل دلخواه را ایجاد کرد. این روش را "ریخته گری دوغابی" (Slip Casting) نامیده اند. در این روش درصد آب بین ۲۵ تا ۴۵ درصد (عمدتاً ۳۰ درصد) است که مقدار

دقیق آن به جنس مواد اولیه بستگی دارد. حال آنکه در مقادیر کمتر آب (۱۸-۲۵ درصد) یک توده گل پلاستیک (خمیر) به دست می آید. شکل دادن این مخلوط را "شکل دادن پلاستیک" (Plastic Forming) نامیده اند. فشردن پودرهای مرطوب با پرس را می توان با کمترین مقدار رطوبت (۹-۴ درصد) انجام داد. جدول (۱) میزان آب مورد نیاز در روش های مختلف شکل دادن را نشان می دهد.

جدول (۱) میزان آب در روش های مختلف شکل دادن

درصد تقریبی آب	حالت فیزیکی	روش شکل دهی	نمونه تولید
۲۵-۴۵ (عمدتاً ۳۱)	مایع سوسپانسیون	ریخته گری دوغابی	چینی بهداشتی، قوری، پارچ
۱۸-۲۵ (عمدتاً ۲۱)	خمیر (گل پلاستیک)	شکل دادن پلاستیک	آجر، لوله فاضلاب، کاشی کف
۱۲-۱۸ (عمدتاً ۱۵)	گل نیمه پلاستیک	تراشکاری، خراطی	مقره های بوشینگ ۶۳ Kv
۴-۹ (عمدتاً ۷)	پودر نم دار	پرس نیمه خشک	کاشی دیواری، آجر، بشقاب
۰-۴	پودر خشک	پرس سرد، پرس گرم	شمع اتومبیل، تیغه توربین

بنابراین چهار روش اصلی برای شکل دادن سرامیک ها عبارت است از:

- ریخته گری دوغابی (Slip Casting)

- شکل دادن پلاستیک (Plastic Forming)

- شکل دادن با پرس (HIP-CIP Pressing)

- ذوب و ریخته گری (Fuse Casting)

در نهایت می توان تقسیم بندی روش های شکل دادن سرامیک ها را به صورت ذیل نمایش داد:

۱- ریخته گری دوغابی (توخالی، توپر)

۲- شکل دادن پلاستیک

۲-۱ شکل دادن پلاستیک دستی

- شکل دادن با کمک دست

- شکل دادن با دست و قالب

- شکل دادن با چرخ کوزه گری

۲-۲ شکل دادن دستگاهی

- شکل دادن با اکستروژن

- شکل دادن با جیگر

- شکل دادن جولی

- شکل دادن با رولر

- شکل دادن با ماشین های تمام اتوماتیک

- شکل دادن به روش تراش (خراطی)

- شکل دادن با پرس پلاستیک

### ۳- شکل دادن با پرس

۳-۱ شکل دادن با پرس نیمه خشک

۳-۲ شکل دادن با پرس خشک

۳-۳ شکل دادن ایزواستاتیک

۳-۳-۱ شکل دادن ایزواستاتیک سرد

۳-۳-۲ شکل دادن ایزواستاتیک گرم

۳-۴ شکل دادن تزریقی

۴- شکل دادن به صورت ذوب و ریخته گری

با توجه به حضور آب به عنوان یکی از اجزای مهم در شکل گیری سرامیک ها، برهم کنش بین آب و پودرهای سرامیکی بسیار مهم است. از آنجائی که دوغاب عبارت است از مخلوط پودر سرامیکی با مایعی که در حالت عمومی مایع مورد نظر آب می باشد، است لذا بررسی بسیار دقیق علمی در مورد آب و ارتباط آن با آمیز سرامیکی لازم است. در ابتدا اصلی ترین عامل سیستم دو فازى دوغاب (جامد- مایع) یعنی آب را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم. پس از شناخت کامل آب، مخلوط دو فازى تحت عنوان سیستم آب- جامد یا سیستم آب-رسی مورد بررسی قرار می گیرد تا برهم کنش دو فاز و اثرات دقیق ریز ساختاری این سیستمها مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد.

# فصل اول

# آب

و

# پارامترهای موثر در آن



## ۱-۱ - ساختمان و خواص فیزیکی - شیمیایی آب (Water)

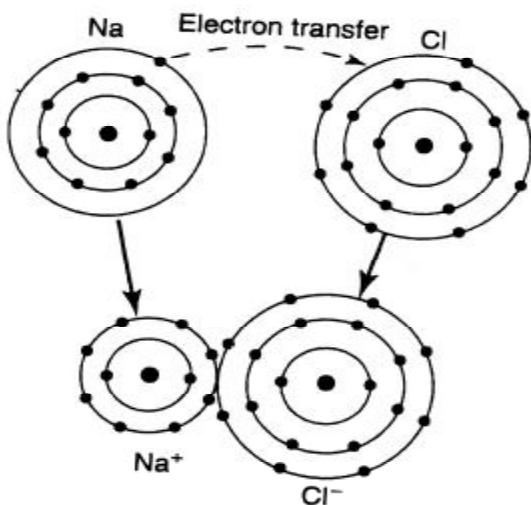
آب ماده فوق العاده ای است که در کلیه خواص فیزیکی و شیمیایی خود، نسبت به ترکیبات مشابه غیر عادی می‌باشد. این خصوصیات آب را، بدون دانش ساختمان اتمی، پیوند شیمیایی و ساختمان ملکولی نمی‌توان به خوبی درک کرد. به همین دلیل بطور خیلی خلاصه، تا آنجا که درک این خواص را آسان کند به توضیح این موضوعات می‌پردازیم. واکنش شیمیایی بین دو یا چند اتم منجر به تشکیل ملکول می‌شود، بنابراین ملکول از پیوند شیمیایی بین دو یا چند اتم تشکیل می‌شود و تا آنجا که به موضوع این قسمت مربوط است دو نوع پیوند برای تشکیل ملکول وجود دارد:

- پیوند یونی

- پیوند کووالانسی

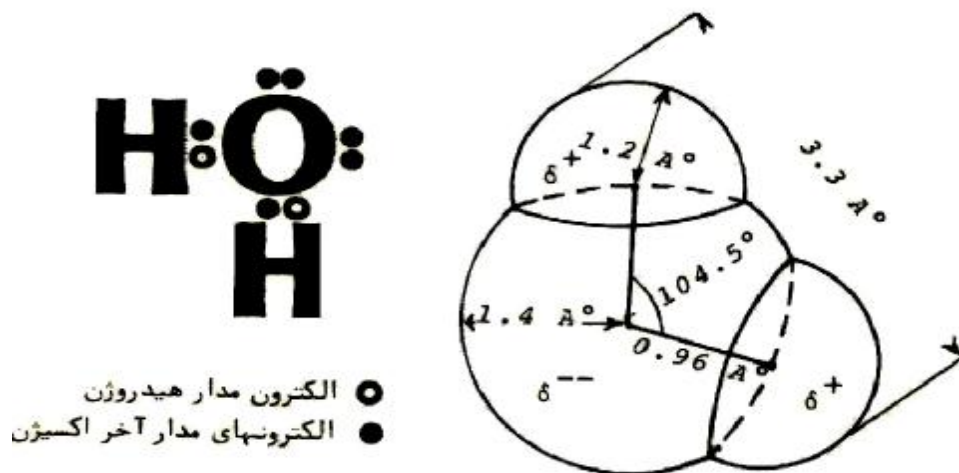
پیوند یونی اغلب در ترکیبات معدنی دیده می‌شود در این پیوند یکی از اتم‌ها، الکترون (یا الکترون‌های) آخرین مدار خارجی خود یا مدار والانس را از دست می‌دهد و اتم دیگر همان الکترون (یا الکترون‌ها) را بدست می‌آورد. این چنین نقل و انتقالات الکترونی، وقتی به وقوع پیوست (واکنش شیمیایی انجام گرفت) باعث می‌شود که هر یک از اتم‌ها دارای مدار الکترونی (اوربیتال) کامل شوند. اتم‌هایی را که الکترون از دست بدهند یا آن را بدست بیاورند یون می‌نامند. یون‌های منفی (آن‌هایی که الکترون بدست آورده‌اند) را آنیون و یون‌های مثبت (اتم‌هایی که الکترون از دست داده‌اند) را کاتیون می‌نامند. تکمیل اوربیتال‌های هر اتم به علاوه نیروی جاذبه الکترواستاتیکی بین این یون‌ها با بار مخالف باعث پایداری پیوند یونی یا الکترووالانسی می‌شود و در نتیجه در ملکول پایداری حاصل می‌شود. نمونه بسیار متداول اینگونه پیوند را در ملکول کلرید سدیم می‌توان دید که در آن سدیم یک کاتیون (یک الکترون از دست داده) و کلر یک آنیون (همان الکترون را بدست آورده) است.

شکل (۱-۱)



شکل (۱-۱) ساختمان بلوری نمک طعام

مطالعات دقیق علمی نشان داده است که زاویه بین دو پیوند O-H در آب  $104.5^\circ$  درجه است. وقتی پیوند کووالانسی بین دو اتم غیر همسان تشکیل می‌شود، توزیع بار (دانشیه الکترونی) در پیوند یکنواخت نخواهد بود. دانشیه الکترونی در اطراف یکی از اتم‌ها بیشتر از اتم دیگر است که در نتیجه پیوند دارای دو قطب می‌شود، قطب مثبت و قطب منفی. در پیوند O-H دانشیه الکترونی اطراف اکسیژن بیشتر از اطراف هیدروژن است، یعنی پیوند قطبی است و ملکول آب نیز بدان دلیل که ملکولی زاویه دار است و اتم‌هایش در يك خط راست قرار نگرفته اند ملکولی دو قطبی است. شکل (۲-۱)



شکل (۲-۱) مولکول آب

همانگونه که از این شکل پیداست دو پیوند O-H در ملکول آب کاملاً یکسان و طول هر يك  $0.96$  آنگسترم است (هر آنگسترم معادل  $10^{-10}$  متر است). اندازه کل ملکول آب  $3/3$  آنگسترم بوده که دیگر ابعاد ملکولی در شکل داده شده است. به علت همین ساختمان نامتقارن و توزیع نامتقارن بار الکتریکی، ملکول‌های آب در يك میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کنند بطوری که هیدروژن‌ها که دارای بار جزئی مثبت می‌باشند در جهت قطب منفی یا کاتد و اکسیژن‌ها که دارای بار جزئی منفی است در جهت قطب مثبت یا آند قرار می‌گیرند و حین یخ بستن دارای بلورهای با اشکال متنوع خواهند بود. شکل (۳-۱)



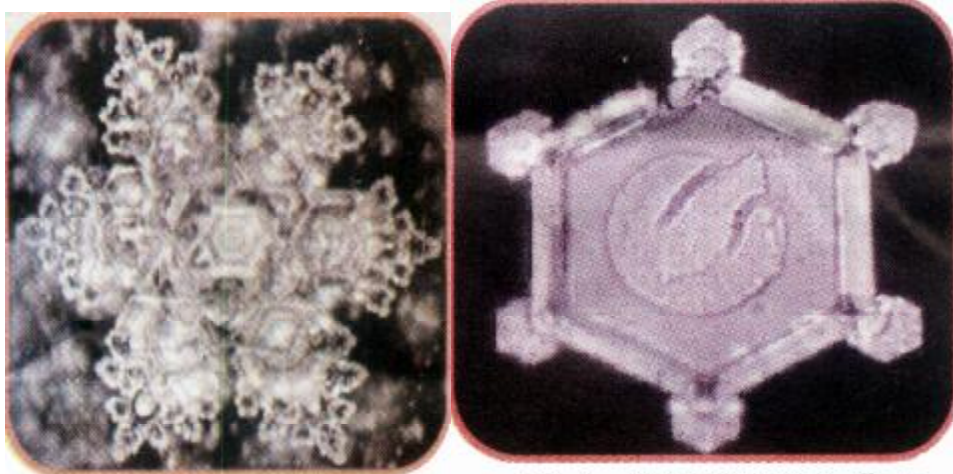
شکل (۳-۱) بلور آب دارای نظم خاص

این خصلت که در ملکول های قطبی، مانند آب دیده می شود را "ممان دو قطبی" می نامند و شدت آن بستگی به درجه جدایی بار مثبت و منفی در هر ملکول دارد که در مورد آب، این جدایی بسیار زیاد است. به همین دلیل آب دارای ممان دو قطبی بزرگی است. ملکول های آب با قرار گرفتن در چنین جهتی، میدان مغناطیسی را خنثی می کنند. شدت ممان دو قطبی را توسط کمیتی به نام "ثابت دی الکتریک" بیان می نمایند. برای آب مقدار ثابت دی الکتریک در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۸۰ است. چنانچه تصور کنیم ثابت دی الکتریک خلاء معادل یک باشد، مقدار آن برای آب معادل ۸۰ است. معنی این جمله این است که شدت جذب یا دفع دو بار الکتریکی در خلاء ۸۰ بار بیشتر است تا در آب. این خصلت قسمتی از قابلیت بی نظیر آب برای انحلال مواد و مخصوصاً مواد یونی مثل کلرید سدیم را بیان می کند.

یون های سدیم و کلرید که در بلور نمک توسط نیروی الکترواستاتیکی کولمبی به یکدیگر جذب می شوند در درون آب به آسانی از یکدیگر جدا می شوند. زیرا مقدار این نیرو تقریباً ۸۰ برابر کمتر می شود و دو یون سدیم و کلر علاقمندی چندانی برای اتحاد مجدد پیدا نمی کنند. چنانچه نیروی جاذبه بسیار جزئی هم وجود داشته باشد به علت حرکات حرارتی ملکول ها و یون ها در دمای اطاق کاملاً خنثی می شود. البته ممان دو قطبی ملکول آب بطور مجزا به هیچ وجه خصوصیت آب، بعنوان یک حلال آلی را توجیه نمی کند. این خصوصیت و سایر خصوصیات غیر منتظره آب مانند بالا بودن نقطه جوش، ذوب، گرمای نهان تبخیر و ذوب، دانسیته و غیره به نوعی پیوند بستگی دارد که به نام "پیوند هیدروژنی" شناخته شده است.

### ۲-۱- خواص فیزیکی آب

آب تنها ماده متداول در طبیعت است که به هر سه حالت فیزیکی یعنی جامد، مایع و بخار وجود دارد. شکل جامد آن به وسیله ساختمان بلوری سختی مشخص می شود که در صفر درجه و یا کمتر بوجود می آید و حجم معینی را اشغال می کند. شکل (۴-۱)

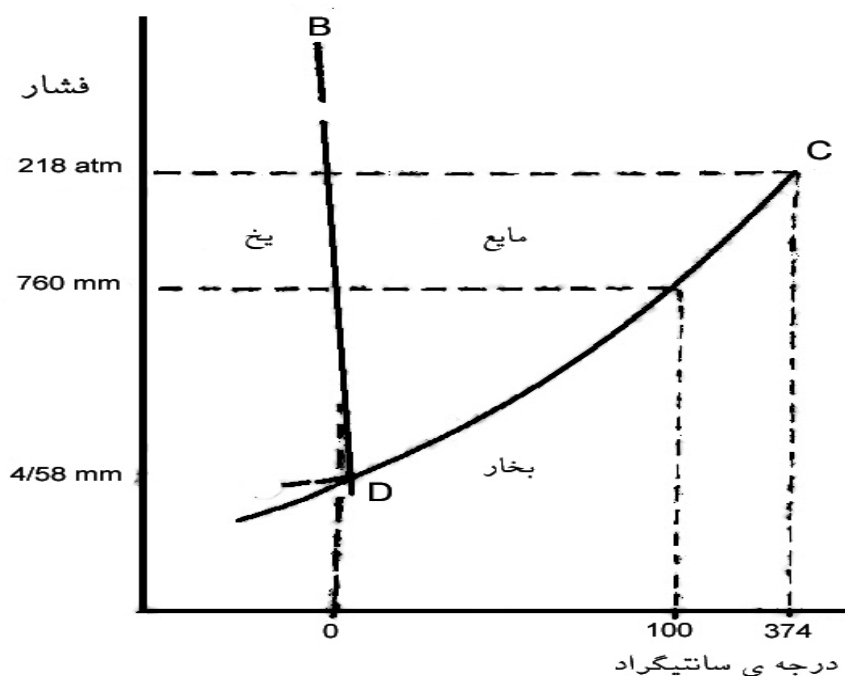


بلور آب بهاری در سایجو، هیروشیما

بلور آب کوهستان کوک گلاسیر، نیوزیلند.

شکل (۴-۱) بلور های متنوع آب های مختلف با نظم کریستالی خاص

فاز مایع آب نیز در درجه حرارت مشخصی وجود دارد. این فاز نه سخت است و نه دارای شکل خاصی است و می‌تواند در اثر اختلاف فشار به جریان بیفتد و در عین حال حجم معینی را اشغال کند. فاز بخار نه حجم معینی را اشغال می‌کند و نه سخت است و برعکس دو فاز دیگر دقیقاً کل حجم و شکل ظرف خود را اختیار می‌کند در حقیقت وجود هر يك از سه حالت آب بستگی به دما و فشار دارد و واضح است که در فشار يك اتمسفر، در زیر صفر درجه سانتیگراد، آب به صورت جامد و بین صفر تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد به صورت مایع و بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد بصورت بخار وجود دارد. تبدیل يك فاز به فاز دیگر، آنی رخ نمی‌دهد؛ بطوریکه در نقطه جوش یا نقطه ذوب، دو فاز بطور مشترك برای مدتی وجود دارند. در نقطه ذوب فاز مایع و جامد و در نقطه جوش فاز مایع و بخار در حال تعادلند. شکل (۵-۱)



شکل (۵-۱) تعادل فازی در آب

### ۱-۲-۱- ظرفیت حرارتی آب

آب به علت ظرفیت حرارتی خود يك تعدیل کننده دمای شب و روز و کنترل کننده آب و هوای کره زمین است. آب می‌تواند مقدار زیادی حرارت را بدون آنکه تغییر محسوسی در دمای خود بدهد، نگهداری کند. اختلاف دمای شب و روز در کنار دریا به علت همین پدیده از نقاط دیگر کمتر است. ظرفیت حرارتی آب ۵ برابر ظرفیت حرارتی شن یا سیلیس است، بدین معنی که وقتی مقدار مساوی انرژی حرارتی خورشید به حجم یکسان از شن و آب تابیده شود، دمای شن ۵ برابر بیشتر از دمای آب خواهد شد. همین حالت در بدنه های در حال خشك شدن محصولات سرامیکی وجود دارد به طوری که بدنه های مرطوب یا خمیری پس از شکل دهی از همین قاعده و روش پیروی می‌کنند و ذرات پودر بدنه خیلی بیشتر از آب تمایل به افزایش حرارت دارند.



واضح است که چون در صحراهای خشک، بخار آب بی اندازه کم است، دمای روز بسیار زیاد و دمای شب بسیار کم است.

### ۲-۲-۱- کشش سطحی آب

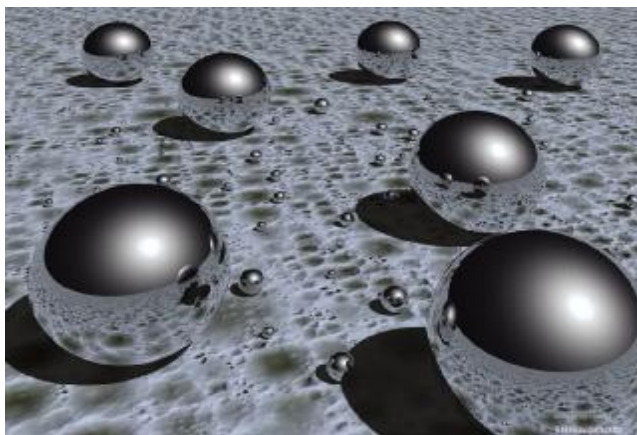
یکی دیگر از خصوصیات جالب توجه و غیرعادی آب، کشش سطحی آن است. شکل (۶-۱)



شکل (۶-۱) سنجاقک بر روی سطح آب



(الف)



(ب)

شکل (۷-۱) الف- قطره ای که به آهستگی از يك شیر آب می‌چکد ب- کشش سطحی آب و قطرات کروی آن قطراتی را که به آهستگی از يك شیر آب می‌چکند نگاه کنید. شکل (۷-۱- الف) قطره آب به آرامی بزرگ می‌شود و هیچگونه تمایلی به افتادن ندارد. پس از آنکه قطره به اندازه کافی بزرگ شد، وزن آن را از

شیر آب جدا می‌نماید و قطره دیگری شروع به بزرگ شدن می‌کند. سطح قطره آب بسیار شبیه غشاء لاستیکی يك بادکنک می باشد که آب آنرا پر می‌کند و در اثر پر شدن غشاء بزرگتر می‌شود. شکل (۱-۷-ب)

البته این غشاء نمی‌ترکد (برعکس بادکنک که از حجم معینی بزرگتر نمی‌شود و می‌ترکد) و فقط تحت تأثیر نیروی جاذبه از شیر جدا می‌شود. ولی ملکول های آب علاقمندند که تا سرحد ممکن به یکدیگر متصل شوند و به همدیگر بچسبند.

ملکول های آبی که در سطح قطره قرار دارند به یکدیگر و به ملکول های آب درون قطره توسط پیوند هیدروژنی متصل می‌باشند و به همین جهت ملکول هایی که در سطح قرار دارند به طرف داخل کشیده می‌شوند به نحوی که نسبت سطح به حجم به مینیمم برسد که در واقع چنین خاصیتی در شکل کروی وجود دارد.