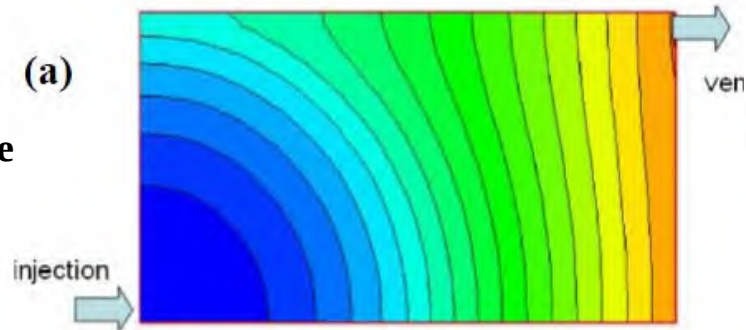


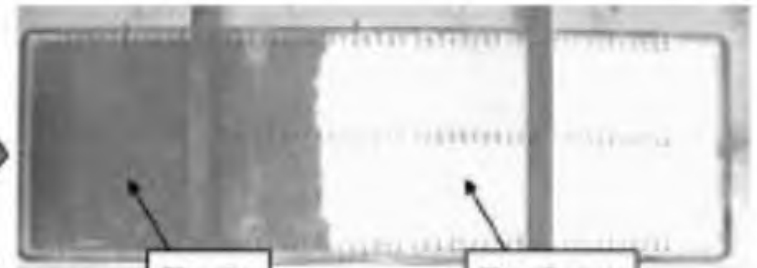
تشکیل نقاط خشک ناشی از (Race tracking) به دلیل ناهمگونی ضریب عبور دهی الیاف در داخل قالب

(a) No Race tracking

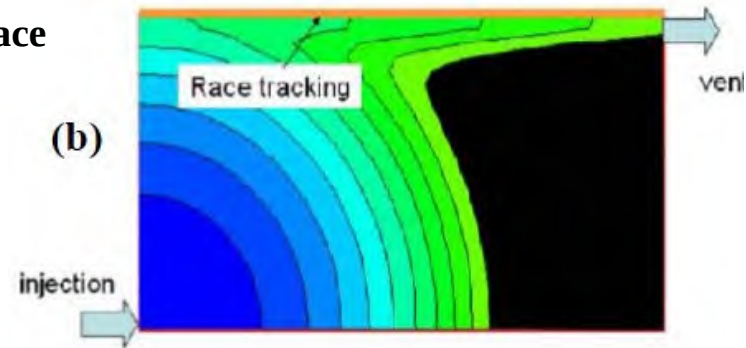


(a)

line injection



(b) With Race tracking

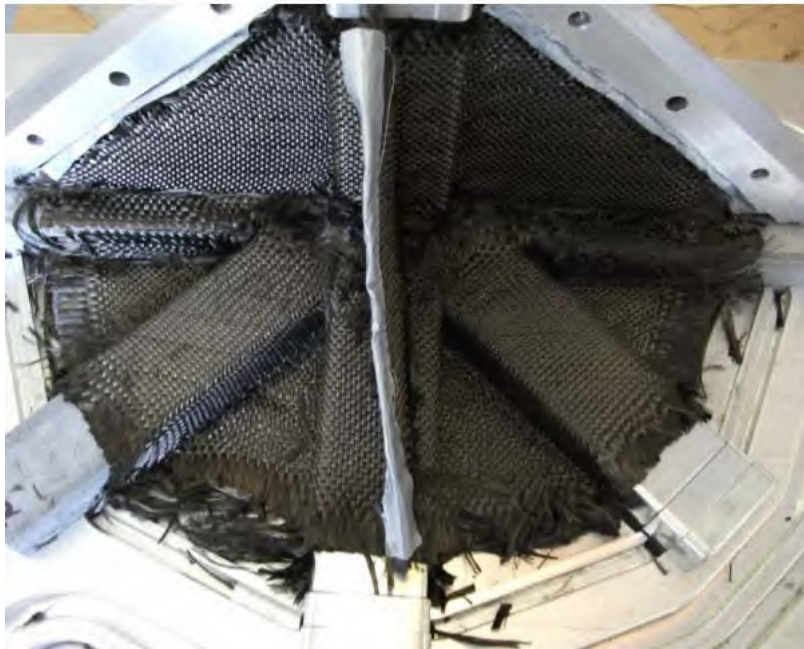


(b)

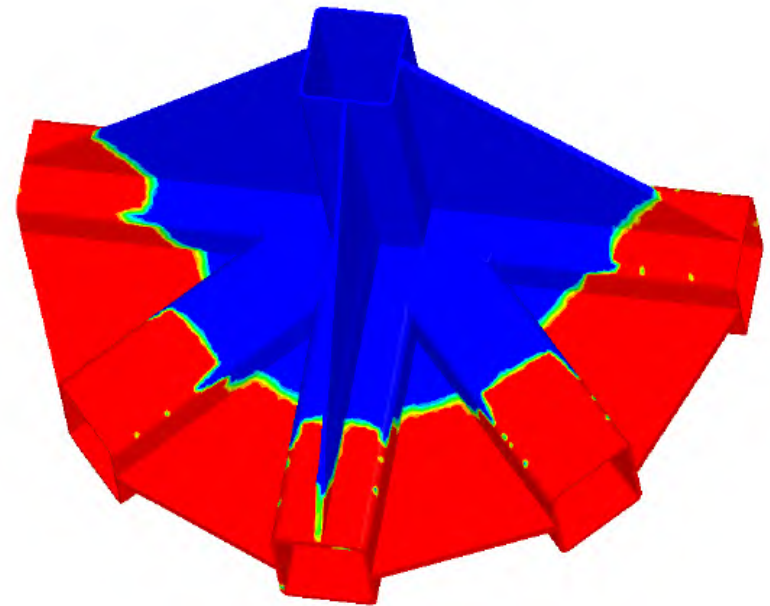
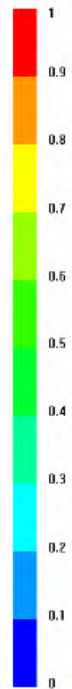
line injection



تشکیل نقاط خشک ناشی از ناهمگونی ضریب عبور دهی الیاف در داخل قالب (Race tracking)

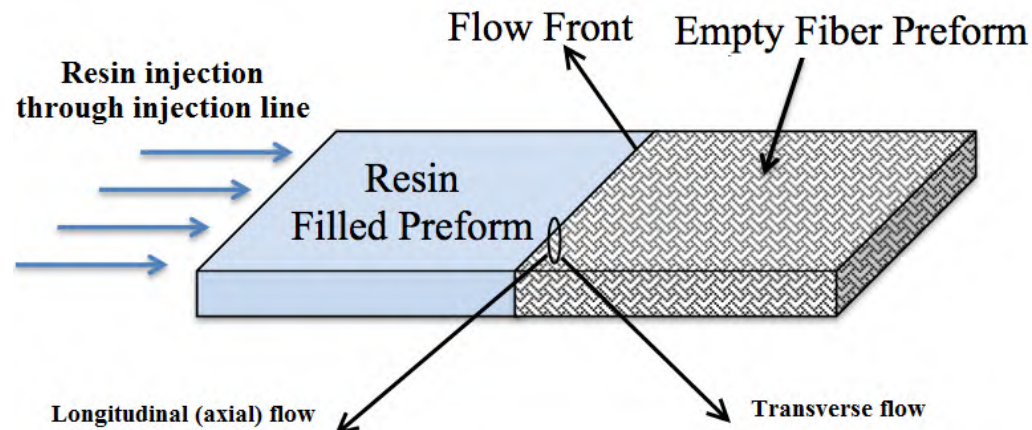


Filling



جریان رزین در مقیاس میکروسکوپی در جبهه جریان – Micro-scale flow in flow front

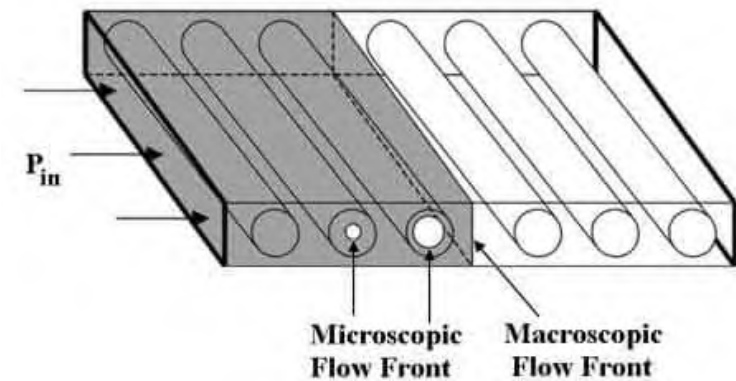
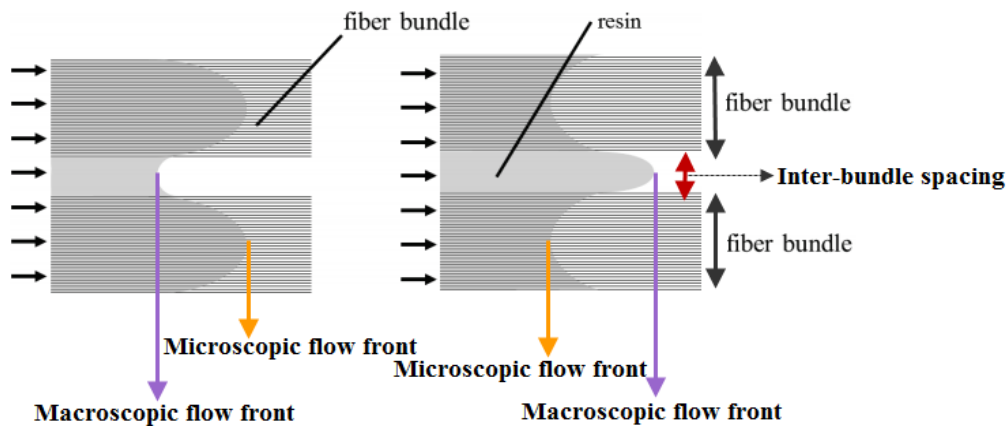
جریان میکروسکوپی عبارتست از بررسی جریان رزین در مقیاس اندازه بسته های الیاف (Fiber bundle) و فاصله بین بسته های الیاف

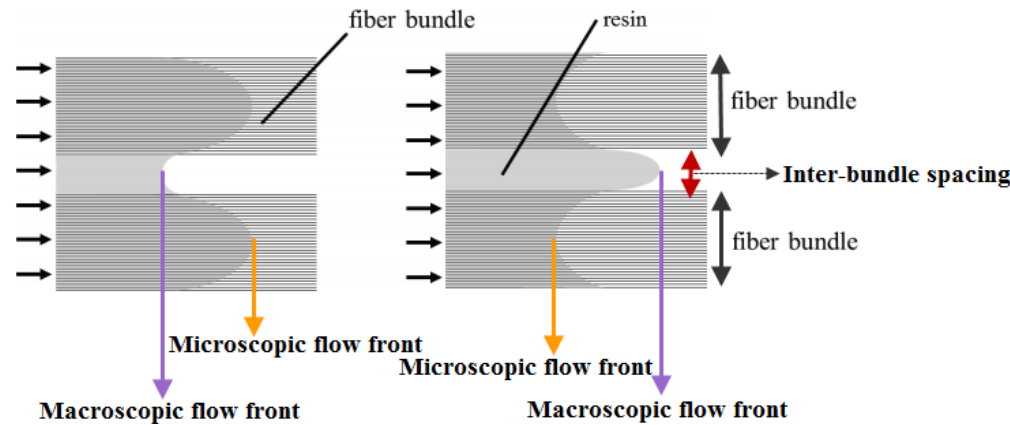


Dual-scale porous medium leads to Dual-scale flow.

1- Inter-bundle flow (outside)

2-Intra-bundles flow (Inside)





۱- جریان رزین بین بسته های از نوع جریان گرانو (viscous flow) است که توسط فشار هیدرودینامیکی اعمال شده به رزین کنترل می شود. بنابراین جریان رزین در این ناحیه توسط قانون دارسی کنترل می شود.

$$u = - \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx}$$

۲- به جهت کوچک بودن فضای خالی در داخل بسته های الیاف، نقش کشش سطحی بر روی جریان افزایش می یابد. لذا در این ناحیه جریان توسط فشار موینگی (Capillary pressure) کنترل می شود.

تشکیل ریز حفره ها (Micro-voids) و مزوحفره ها (Meso-voids) محصول رقابت جریان های گرانو و جریان های موینگی دارد. به همین جهت یک گروه بدون بعد به نام عدد موینگی اصلاح شده (Modified capillary number, Ca^*) تعریف می شود که بیانگر این رقابت است.

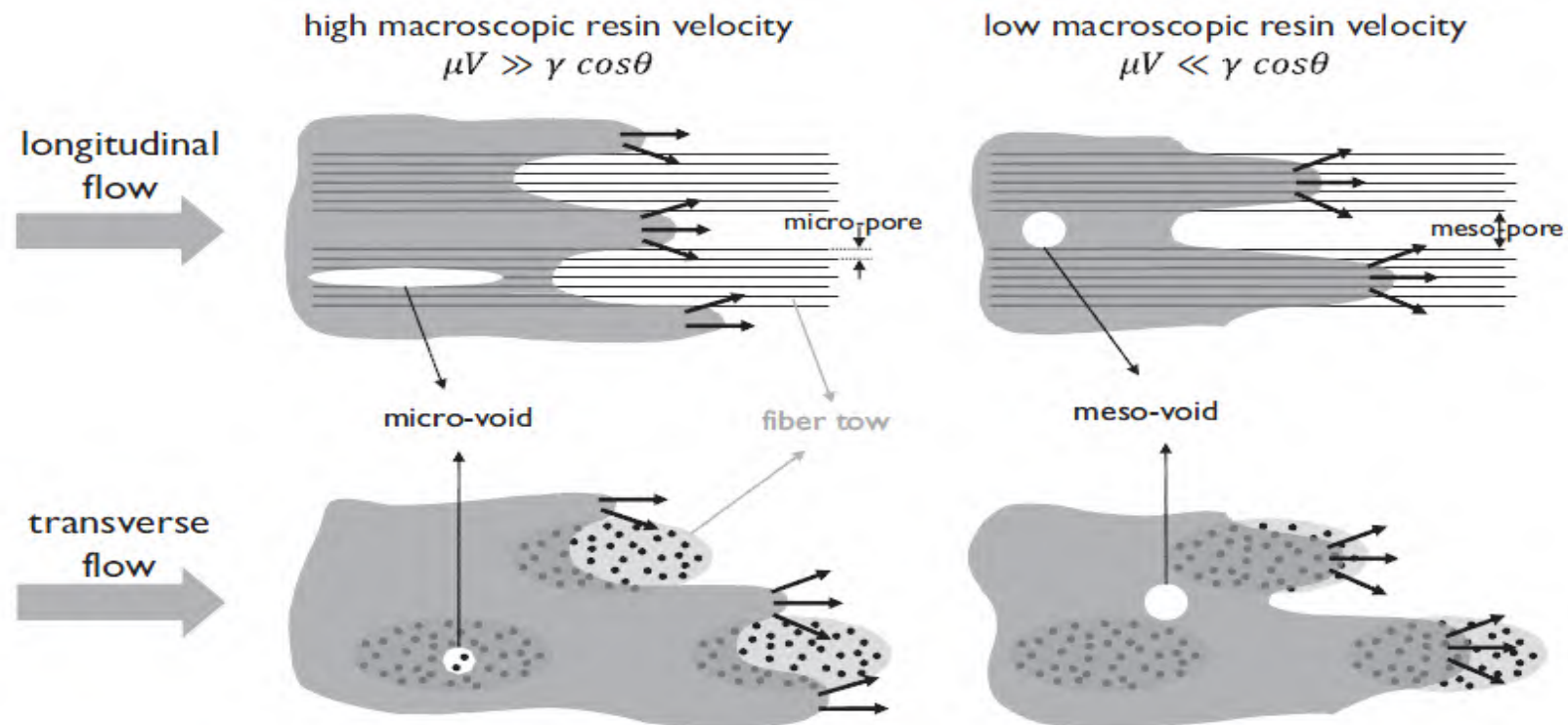
$$Ca^* = \frac{\mu u}{\gamma \cos \theta}$$

u : is macroscopic velocity

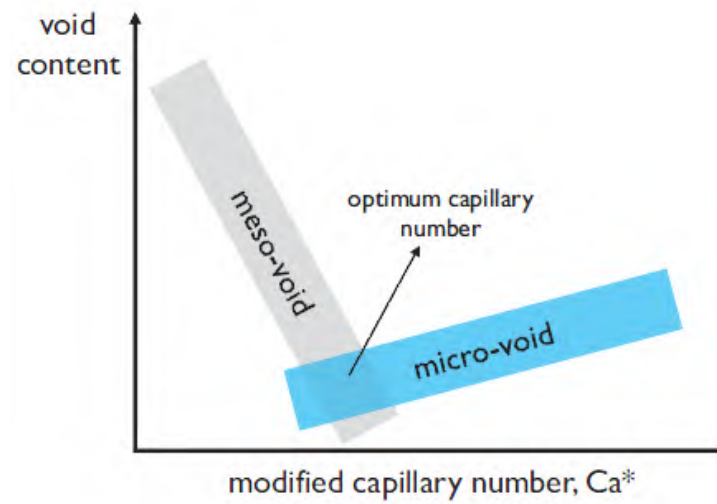
μ : is resin viscosity

γ : is resin surface tension

θ : is resin-fiber contact angle

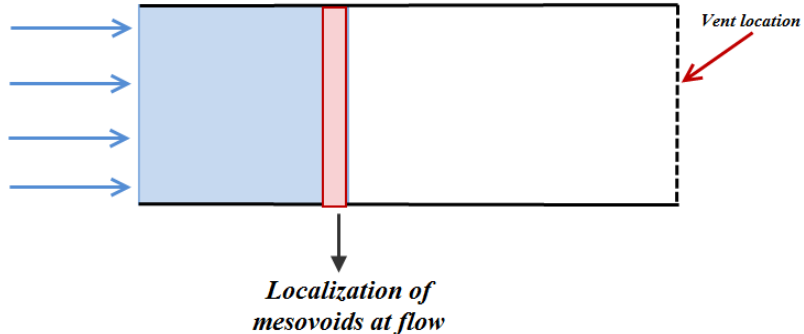


✓ **Dual-scale porous medium leads to Dual-scale voidage.**



$$Ca^* = \frac{\mu u}{\gamma \cos \theta}$$

- ✓ Dual-scale voidage is a characteristic for **textile (tow) based composites**, excluding UD, random mat and short fiber composites
- ✓ For random mat and short fiber composites a single-scale voidage is more probable.
- ✓ When flow is perpendicular to fiber bundles (Transverse flow), micro-voids are distributed throughout the composites
- ✓ When flow is parallel to fiber bundles (Longitudinal or axial flow), void formation is localized at macroscopic flow front.
- ✓ For the parallel flow, localization of voids at flow front causes a significant void content close ventilation side of the mold.



مکانیزم حفره زایی در نتیجه گاز و مواد فرار موجود در رزین

۱- هسته زایی حفره Void nucleation

۱- هسته زایی حفره در نتیجه وجود مواد فرار وجود در رزین مانند رطوبت حل شده در رزین، سیستم پخت و یا رقیق کننده های فعال در رزین

۲- هوای به تله افتاده در رزین (مثلا در نتیجه اختلاط رزین، جریان های ناهمگون در مقیاس میکروسکوپی)

۲- پایداری حفره و رشد حفره Void stability and growth

۱- هسته زایی همگن: هسته زایی در داخل رزین

$$I = \left[\frac{P^*}{(2\pi M k T)^{1/2}} \right] 4\pi r^{*2} n \exp \left[\frac{-\Delta F^*}{k T} \right]$$

نرخ هسته زایی (I) از رابطه مقابل بدست می آید.

P^* = water vapor pressure, air pressure, or total mixture pressure (water plus air)

M = molecular weight of the vapor phase

k = Boltzmann constant

T = absolute temperature

r^* = radius of the critical nucleus

$$r^* = -\frac{2\gamma_{LV}}{\Delta F_v}$$

γ_{LV} is the surface energy between the liquid resin and the void nucleus.

n = number of molecules/unit volume in the nucleus, and

ΔF^* = maximum free energy barrier for the nucleation process.

$$\Delta F^* = \frac{16\pi\gamma_{LV}^3}{3(\Delta F_v)^2}$$

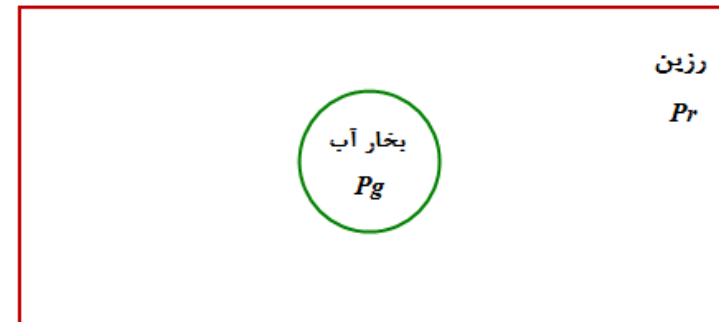
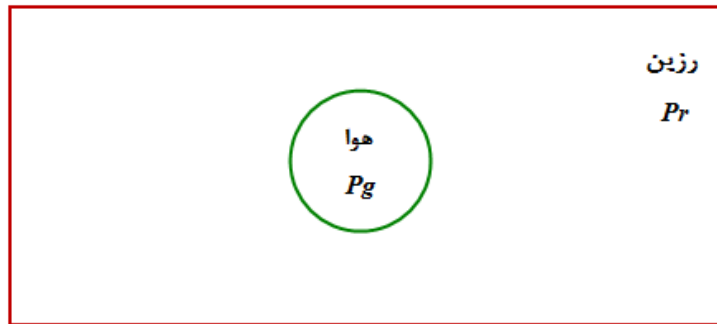
ΔF_v is the free energy change per unit volume for the phase transition (dissolved air or water to air or water vapor)

$\Delta F_v = \Delta H_v \left(\frac{T_0 - T}{T_0} \right)$ where ΔH_v is the heat of transition per unit volume between the two phases, T_0 is the equilibrium transition temperature, and T is the actual temperature of the system.

۲- هسته زایی غیر همگن: هسته زایی در سطح مشترک رزین-الیاف

سطح مشترک، هسته زایی را تسهیل می کند و بنابراین هسته زایی در سطح مشترک خیلی سریعتر انجام می شود

$$\Delta F^* = \frac{16\pi\gamma_{SV}^3}{3(\Delta F_v)^2} \frac{(2 + \cos \theta)(1 - \cos \theta)^2}{4} \text{ where } \gamma_{SV} \text{ is the surface energy between the void nucleus and the substrate, and } \theta \text{ is the contact angle between the void and the substrate.}$$



$$P_g - P_r = \frac{\gamma_{LV}}{m_{LV}}$$

P_g and P_r are the void and resin pressures, respectively,

γ_{LV} is the resin–void surface tension,

m_{LV} is the ratio of void volume to its surface area

$$P_g = \frac{nRT}{V}$$

برای گازهای ایده ال

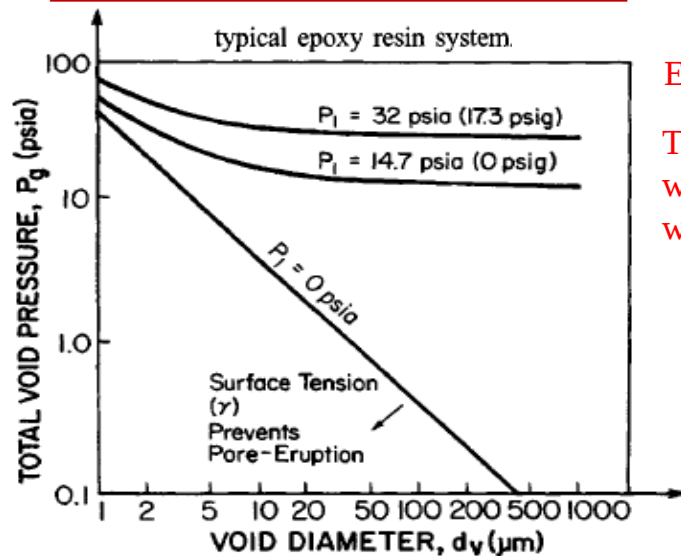
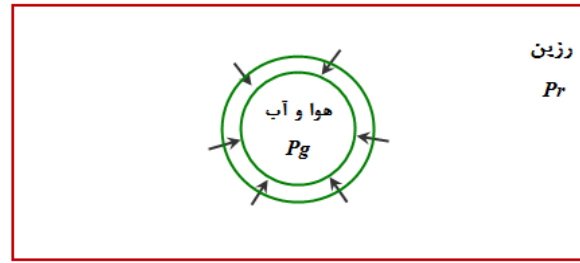
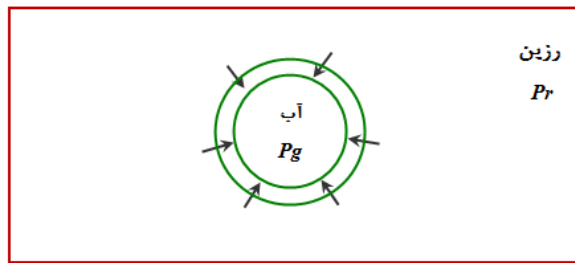
$$P_g = P_r + \frac{6\gamma_{LV}}{d_v^3}$$

برای حفره های کروی

$$P_g = P_r + \frac{6\gamma_{LV}}{d_v}$$

$$P_g = \frac{nRT}{V_v}$$

۱- نفوذ مواد فرار (آب حل شده) به سمت حفره و انتقال به فاز گاز تا رسیدن به تعادل ترمودینامیکی



Equilibrium stability map with resin pressure as parameter

The lines of constant resin pressure represents boundaries above which void growth can occur at that resin pressure, and below which the voids will collapse and eventually dissolve.