

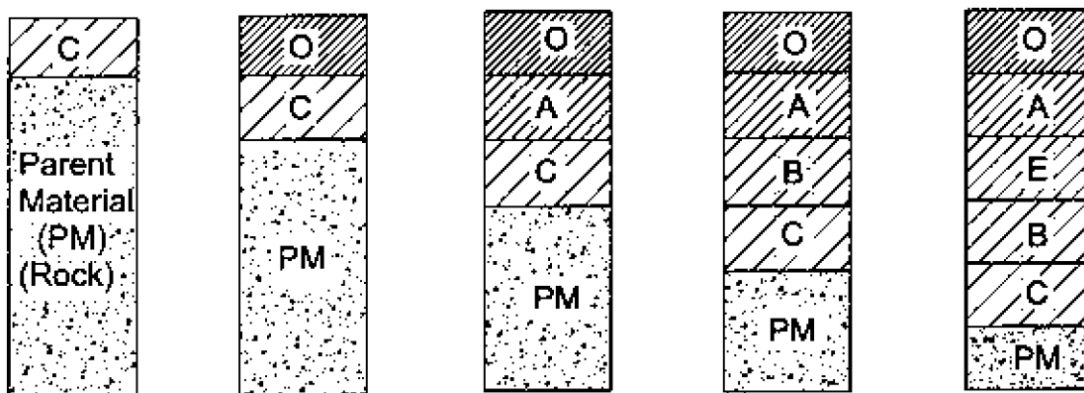
- Glacial lake deposits
- Wind-blown sand (formed as dunes); and loess deposits
- Colluvial soils

بنابراین عوامل موثر در تشکیل خاک را بطور خلاصه می‌توان بصورت زیر برشمرد:

- اقلیم
- ارگانسیم‌های موجود
- توپوگرافی
- ماهیت مواد سنگ مادر
- زمان

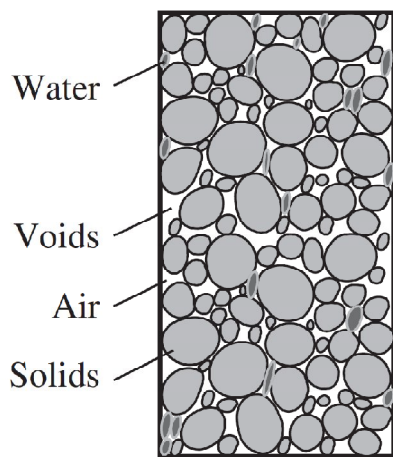
## ۱-۲- پروفیل و افق‌های خاک

هر لایه‌ای در پروفیل خاک یک افق نامیده می‌شود. افق‌های اصلی خاک با حروف بزرگ O, A, E, B, C نشان داده می‌شوند.

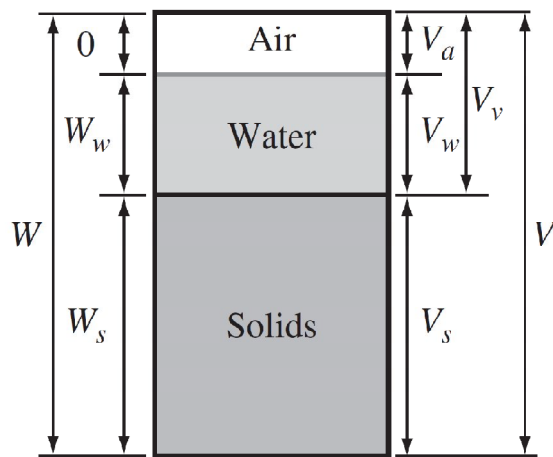


### توالی تشکیل لایه‌ها در پروفیل خاک ترتیب

با توجه به شکل فوق، در ابتدا افق C که حاصل تاثیر جوی بر سنگ‌های مادر می‌باشد، ایجاد می‌گردد. در اثر فعالیت میکروارگانسیم‌های جوی و گیاهان بر افق C، تشکیل افق O آغاز می‌گردد. بنابراین این افق عمدتاً در برگیرنده مواد آلی است. در صورت فراهم نبودن شرایط جوی مناسب (نظیر نبود اکسیژن)، آنچه در سطح ظاهر می‌شود، مواد آلی کم‌تجزیه یافته یا تجزیه نیافته است (نظیر کود گیاهی (زغال سنگ نارس) و لجن). در اثر گذشته زمان، این مواد از طریق جانوران و باکتری‌ها تجزیه شده و به هوموس تبدیل می‌گردند که ماده‌ای پایدارتر است. این افق A نام دارد. در ادامه فرآیندهای هوازدگی، ذرات ریز رس‌مانند به کمک نفوذ آب به فضای میان افق A و C راه یافته و در آنجا استقرار می‌یابند و افق B را تشکیل می‌دهند. فرایند شستشوی این ذرات از افق A بعضاً خاک‌برد (Eluviation) یا آبرفت‌گذاری (illuviation) نامگذاری شده است. تشکیل افق B فرآیندی بسیار زمان‌بر است (شکل زیر).



(a)



(b)

با توجه به شکل:

- $V = V_v + V_s = V_a + V_w + V_s$
- $V_v = V_a + V_w =$  حجم فضاهای خالی
- $W = W_w + W_s$

حجم کل ( $V$ ) و وزن کل ( $W$  بصورت  $kN$ ) توده خاک در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری است.

## ۲-۲- تخلخل (Porosity)

تخلخل خاک معرف حجم خلل و فرج خاک است و مقدار آن معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۶ نوسان می‌کند.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

## ۳-۲- نسبت پوکی یا منافذ (Void Ratio)

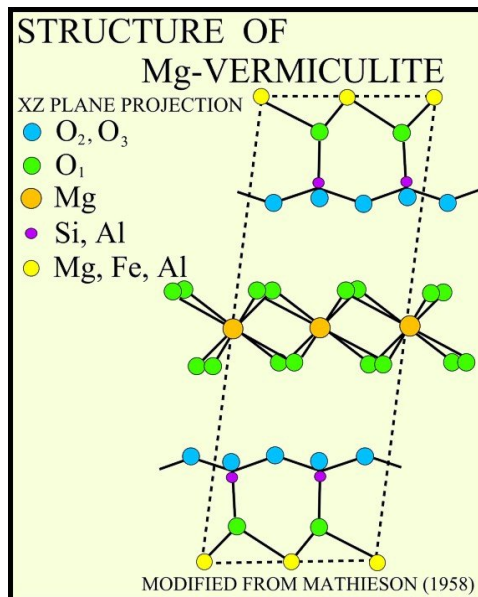
این شاخص نیز معرف حجم نسبی خلل و فرج خاک است ولی به جای استفاده از حجم کل، حجم ذرات جامد در آن در نظر گرفته می‌شود. مقدار آن معمولاً بین ۰/۳ تا ۲ متفاوت است.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

رابطه بین تخلخل و نسبت پوکی به ترتیب ذیل است:

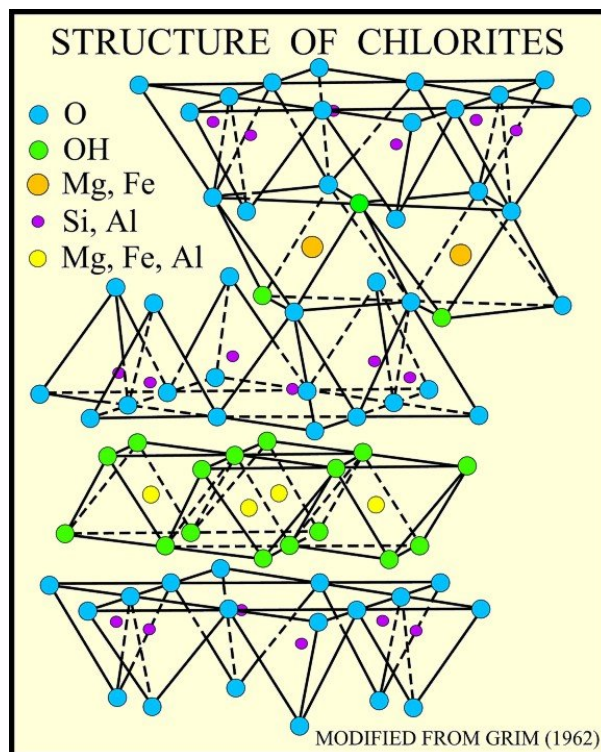
$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{V_v/V}{V/V - V_v/V} = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

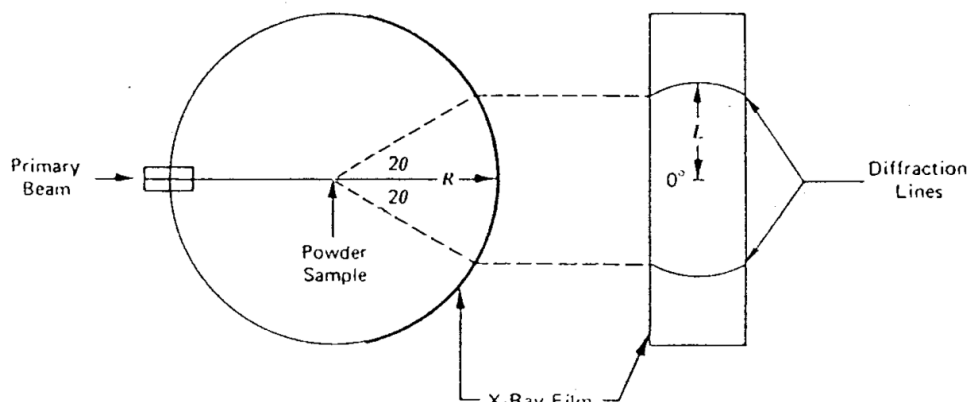


### - کلرایت (Chlorite)-2:1:1

ساختمان این رس نیز مشابه میکا است ولی علاوه بر یک لایه آلومین محصور شده با دو لایه سیلیس ، یک لایه آلومین دیگر نیز دارد. عبارت دیگر در این رس بجای آب بین واحدهای رسی ورمی کولایت، شاهد آلومین هستیم. ضخامت هر واحد رسی تا ۱۴ آنگستروم بوده و CEC آن بین ۱۰ تا ۴۰ میلی اکیوالان در صد گرم رس است. این رس اغلب در سنگ‌های آذرین و دگرگونی و خاک‌های حاصل از آن همراه با سایر کانی‌های رسی دیده می‌شود.



موجی مانند اشعه تابش ندارد و فقط اشعه‌ای که با اشعه تابش هم فاز است، به صورت پیوسته و بدون جذب، بازتاب حاصل می‌کند. شکل زیر نحوه جذب اشعه‌های پراکنده شده را بر فیلم یک دوربین استوانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳۳- نحوه جذب اشعه‌های پراکنده شده را بر فیلم یک دوربین استوانه‌ای

در شکل ۱-۳۴ یک دسته اشعه ایکس با طول موج  $\lambda$  و با زاویه  $\theta$  به بلوری که سطوح اتمی آن و یا پهنه‌ای که در آن یون‌های کانی مستقر شده و به فاصله  $d$  طی از هم قرار دارند، می‌تابد. براگ دانشمند انگلیسی نشان داد که هر بلور هنگامی اشعه تابش را با حداکثر شدت باز می‌تاباند که اختلاف بین طول موج اشعه تابش و بازتاب، مضرب صحیحی از  $\lambda$  باشد. به عبارت دیگر اگر قرار باشد که اشعه تابش و بازتاب از نقطه  $C$ ، اشعه بازتاب از نقطه  $A$  را تقویت کند، در این صورت اختلاف فاصله مسیر بین دو موج بایستی مضرب صحیحی از  $\lambda$  گردد. چون اختلاف فاصله مسیر برابر  $BC+CD$  است.

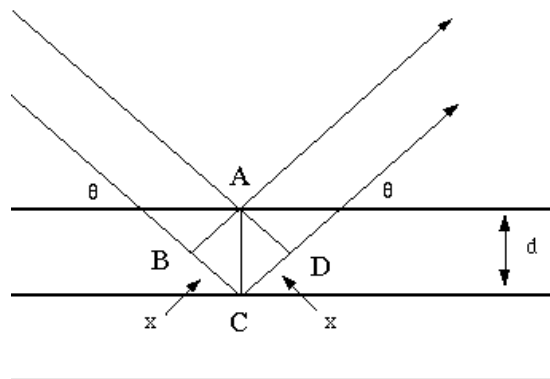
$$BC + CD = n \lambda$$

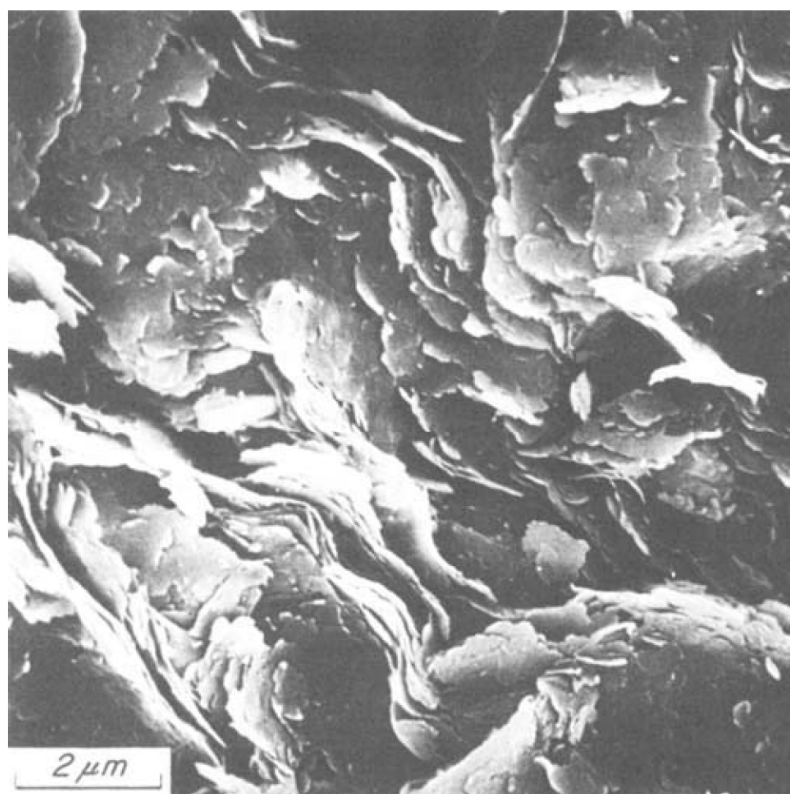
$$CD = d \sin \theta$$

$$CD = BC$$

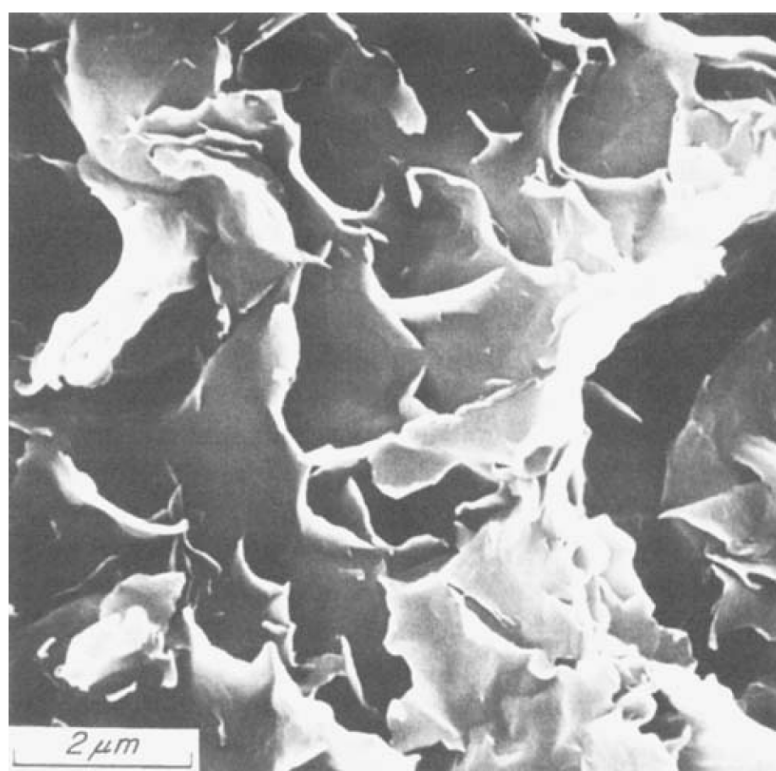
$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

این معادله به قانون برگ موسوم است و چون کانی‌های مختلف، دارای سطوح اتمی متفاوتند، لذا با تعیین زاویه  $\theta$  و  $\lambda$  می‌توان ضخامت هر واحد بلور رسی را تعیین نمود.

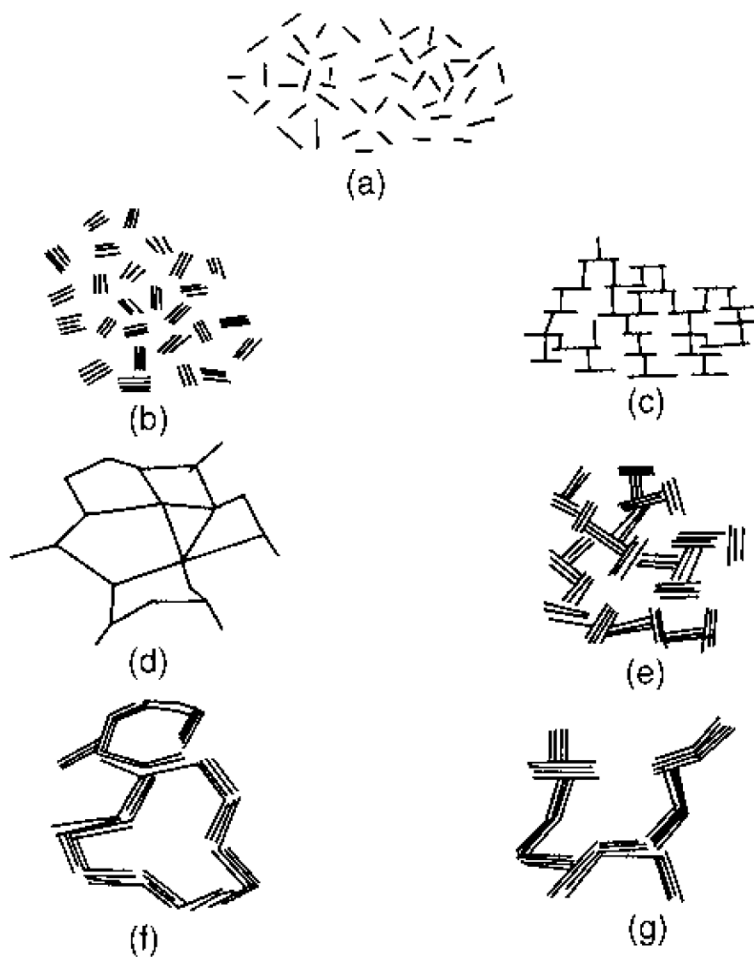




**Figure 4.3** Photomicrograph of illite.



**Figure 4.4** Photomicrograph of montmorillonite.



**Figure 2.8** Modes of particle association in clay suspensions, and terminology: (a) dispersed and deflocculated; (b) aggregated but deflocculated; (c) edge-to-face flocculated but dispersed; (d) edge-to-edge flocculated but dispersed; (e) edge-to-face flocculated and aggregated; (f) edge-to-edge flocculated and aggregated; (g) edge-to-face and edge-to-edge flocculated and aggregated. (Source: van Olphen, 1977)

دو مکانیسم اولیه جذب بین ذرات آب و رس عبارتند از:

۱. ماهیت دوقطبی آب که سبب جذب صفحات منفی رس می‌شود.

۲. به دلیل بار مثبت کاتیون‌ها و تمایل به جذب در ذرات رسی، آب هیدراسیون همراه این کاتیون‌ها به رس راه پیدا می‌کند.

اما میشل (۱۹۹۳) این مکانیسم‌ها را به چهار مورد افزایش داد:

۱. پیوند هیدروژنی بین یون هیدروژن آب و اکسیژن یا هیدروکسیل ذرات رس.

۲. هیدراسیون کاتیون‌های نزدیک رس.

۳. جذب اسمزی که نتیجه افزایش غلظت کاتیون‌ها در نزدیکی سطح ذره و به تبع آن حرکت مولکول‌های آب به سمت سطح ذره بمنظور ایجاد تعادل.

۴. جذب مستقیم، بین دوقطبی‌های آب و سطح ذره باردار به علت نیروی قوی هیدراسیون سطح ذره و به تبع آن جایگزینی کاتیون‌های دور از سطح ذره.

۲. آب دولایه (double-layer): که اغلب در برخی دسته‌بندی‌ها همراه با نیروی آب جذب شده بیان می‌شود، و نیروی کمتری دارند که برای جریان یافتن (آب) به موازات ذرات سهولت بیشتری ایجاد می‌کند اما جدا کردن آب بدون جایگزینی آن دشوار می‌باشد. ضخامت این لایه‌ها بستگی به دانسیته بار سطوح ذرات دارد. هرچه دانسیته بار بیشتر باشد، ضخامت این لایه‌ها بیشتر است.

۳. آب آزاد (free water): (کمترین نیرو و در فاصله بیشتر)

## ۲-۵- تئوری گوی-چپمن (GOUY-CHAPMAN) در مورد لایه دوگانه

### ۲-۵-۱- لایه دوگانه منفرد

این تئوری توضیحی برای پتانسیل الکتریکی در لایه دوگانه و ضخامت آن ارائه می‌دهد و تلفیقی از دو رابطه معروف می‌باشد:

۱. رابطه پواسن (Poisson): در رابطه با تغییر پتانسیل الکتریکی (y) با فاصله می‌باشد. هرچه فاصله از منبع الکتریکی (ذره رسی با بار منفی) بیشتر شود، پتانسیل الکتریکی (y) کاهش می‌یابد.

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} = -\frac{4\pi\rho}{\epsilon}$$

y = electric potential (volt, mvolt)

x = distance from the source

ε = dielectric constant of the medium (for water = 80, for alcohol = 24.3)

ρ = charge density

دانسیته بار بستر عبارتست از توزیع آنیونها و کاتیونها در بستر:

$$\rho = c(v_+n_+ - v_-n_-)$$

c = electronic charge ( $16 * 10^{-20}$  coulomb or  $4.8 * 10^{-10}$  esu (electro-static unit));

v = valency;

n = number of ions per unit volume (ions/cm<sup>3</sup>),

۲. رابطه بولتزمن (Boltzmann): بیان کننده رابطه بین توزیع یون و پتانسیل الکتریکی

$$n_+ = n_0 e^{-(v_+ \psi / kT)}$$

$$n_- = n_0 e^{(v_- \psi / kT)}$$

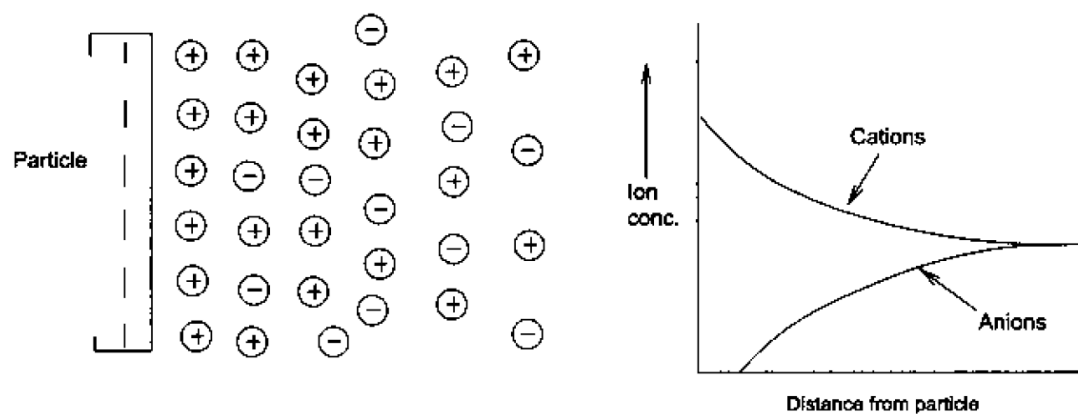
k = Boltzmann constant ( $1.38 * 10^{-23}$  J K<sup>-1</sup> =  $1.38 * 10^{-16}$  ergs/K),

T = temperature in kelvins.

n<sub>0</sub> = density of ions far away from the surface (ions/cm<sup>3</sup>),

n<sub>0</sub> = Molarity \* N \* 10<sup>-3</sup> = Molarity (mole/L) \* 6.02 \* 10<sup>20</sup>, (ions/cm<sup>3</sup>)

N (عدد آووگادرو) = 6.02 \* 10<sup>23</sup>



**Figure 2.11** Schematic distribution of ions adjacent to a negatively charged clay surface.

برای یک یون با بار واحد (یک ظرفیتی) خواهیم داشت:

$$\rho = -2n_0c \sinh\left(\frac{c\psi}{kT}\right)$$

با جاگذاری در رابطه پواسن داریم:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{8\pi n_0c}{\epsilon} \sinh\left(\frac{c\psi}{kT}\right)$$

$$\text{یا } \frac{d^2y}{d\xi^2} = \sinh y, \quad y = \frac{c\psi}{kT}, \quad \xi = Kx, \quad K = \sqrt{\frac{8\pi c^2 n_0}{\epsilon kT}}$$

مقدار  $1/K$  را ضخامت لایه دوگانه (یا Debye length) می‌نامند و فرمول عمومی‌تر آن بصورت زیر است:

$$\text{Double layer thickness} = 1/K = \left( \frac{\epsilon kT}{8\pi c^2 n_0} \right)^{1/2}$$

$c = 4.8 \times 10^{-10}$  esu (electro-static unit)

$\epsilon$  = dielectric constant of the medium (for water = 80, for alcohol = 24.3)

$k$  = Boltzmann constant ( $1.38 \times 10^{-16}$  ergs/K)

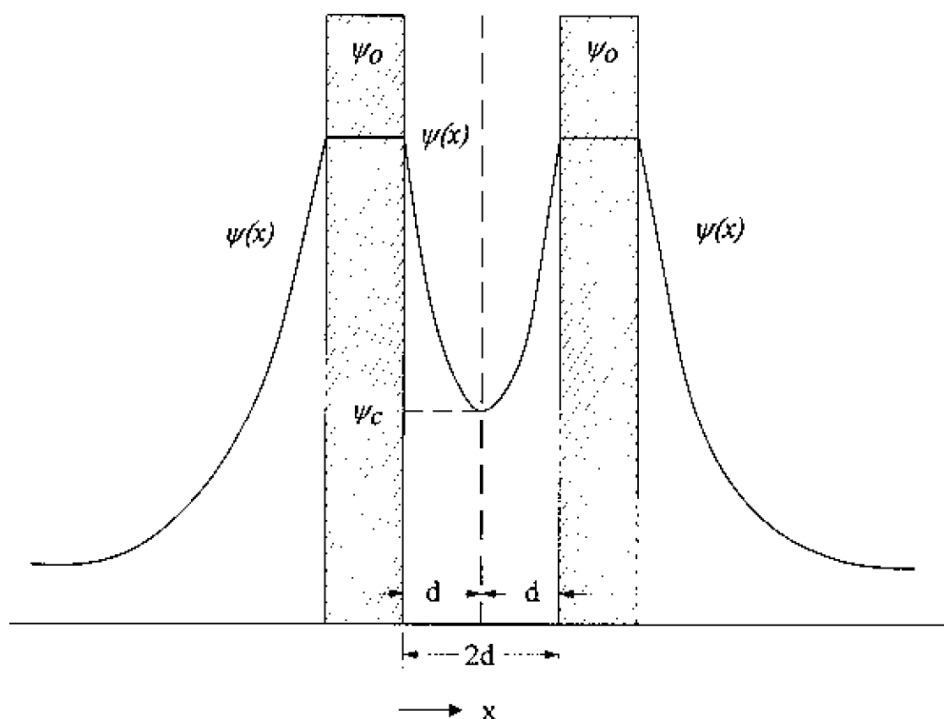
$n_0 = \text{Molarity} \times N \times 10^{-3} = \text{Molarity (mole/L)} \times 6.02 \times 10^{20}$ , (ions/cm<sup>3</sup>)

=> thickness = cm ( $\times 10^8 = \text{\AA}$ )

با حل معادله  $\frac{d^2y}{d\xi^2} = \sinh y$  با شرایط مرزی زیر (در فاصله بینهایت از ذره رسی) یعنی:

$$y = 0 \quad \text{and} \quad \frac{dy}{d\xi} = 0 \quad \text{at} \quad \xi = \infty$$





**Figure 2.12** Schematic representation of the variation of electric potential between two parallel surfaces in comparison with that of a single surface.

با توجه به شکل فوق شرایط مرزی معادله  $\frac{d^2 y}{d\xi^2} = \sinh y$  به ترتیب زیر تغییر می کند:

$$y = y_c = \frac{c\psi_c}{kT} \quad \text{and} \quad \frac{dy}{d\xi} = 0 \quad \text{at } x = d$$

$$y = z = \frac{c\psi_0}{kT} \quad \text{at } x = 0$$

و در نهایت به انتگرال زیر می‌رسیم که باید به روش عددی آن را حل نمود:

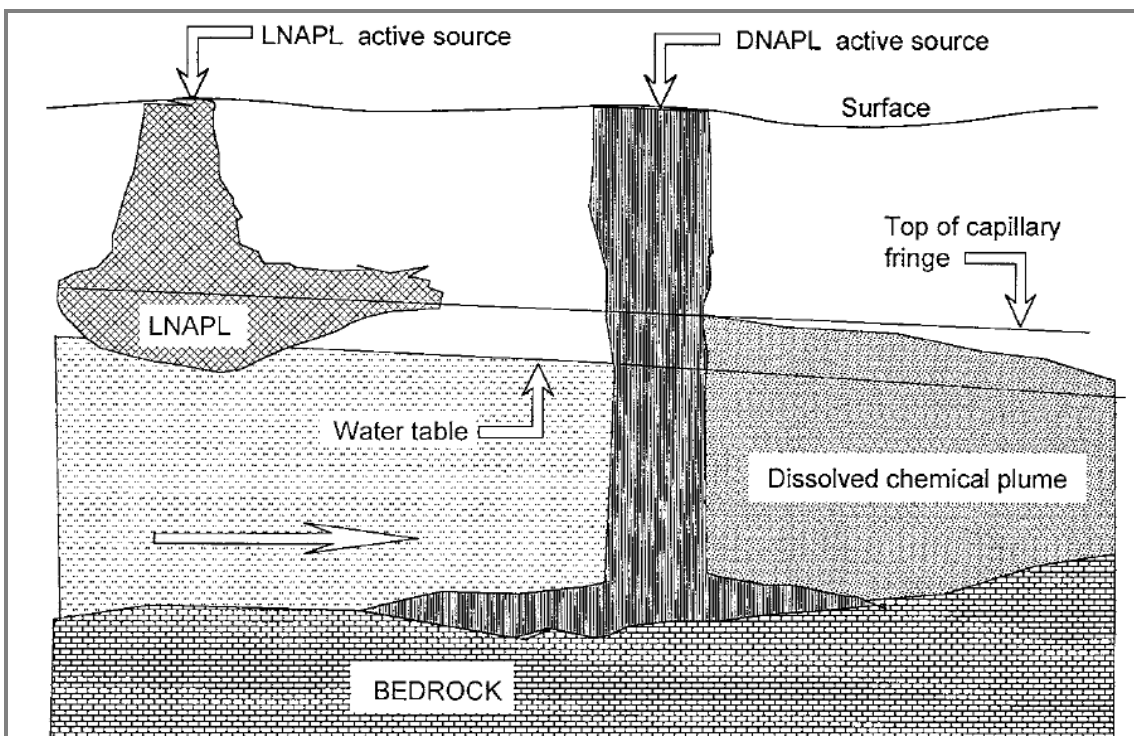
$$\int_z^{y_c} \frac{dy}{\sqrt{2(\cosh y - \cosh y_c)}} = -Kd$$

اما برخی ساده‌سازی‌ها در این رابطه نیز قابل استفاده است:

۱- وقتی تاثیر متقابل بسیار قوی باشد، یعنی:

$$y_c \gg 1 \Rightarrow y_c = 2 \ln \frac{\pi}{Kd}, \text{ Langmuir (1938)}$$

لانگمیر فرض نمود که لایه‌های ذرات به حدی به هم نزدیکند که هیچ آنیونی بین آنها جای ندارد و بنابراین پتانسیل الکتریکی در سطح ذره بینهایت است.



## ۸- انتقال جرم در خاک

ورودی - خروجی ± واکنش = تجمع

$$(\text{Rate of mass input}) - (\text{rate of mass output}) \pm (\text{rate of mass production or consumption}) \\ = \text{rate of mass accumulation}$$

در این حالت تلفیقی از قانون دارسی و قانون فیک (Fick's Law) داریم.

مایعات در این حالت دو دسته می‌شوند:

۱. محلول: می‌توان مشابه آب منفذی با آنها برخورد کرد

۲. نامحلول یا مخلوط نشدنی

## ۸-۱ مکانیسم‌های انتقال جرم (Mass Transport)

۱. جابجایی (Advection): مرتبط با سرعت آب و گرادیان فشاری. در نتیجه سرعت منفذی یا سرعت واقعی

(سرعت دارسی تقسیم بر تخلخل) شاخصی برای انتقال آلاینده‌های محلول می‌باشد.

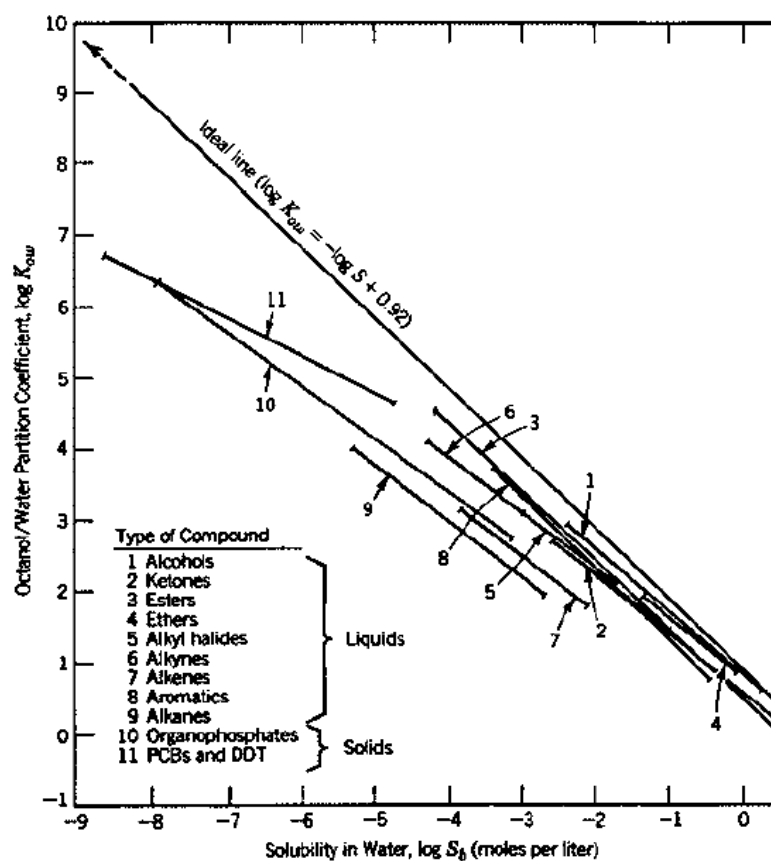
۲. پخشیدگی (Diffusion): در این حالت گرادیان غلظتی عامل حرکت و گسترش آلودگی در تمام جهات

است (مثال قند در آب).

ب- حلالیت مواد آلی:

در مورد مواد آلی متغیرهای بیشتری در حلالیت موثرند. بطور کلی، مواد آلی باردار یا مواد آلی دارای اکسیژن و نیتروژن محلول‌ترند. در عوض مواد غیرقطبی یا نامحلول و یا کم محلول‌اند که به اینگونه مواد آبگریز (Hydrophobic) گفته می‌شود. مواد آلی بزرگتر معمولاً کم محلول‌ترند (نسبت عکس دارد).

ضریب تفکیک اکتانول به آب ( $K_{ow}$ ): این ضریب معمولاً برای شناسایی میزان انحلال‌پذیری ماده آلی در آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. و عبارتست از میزان تفکیک ماده آلی حل‌شونده در فاز اکتانول و فاز آب (بدون بعد). بدین معنا که مقادیر  $K_{ow}$  بالاتر نشانگر حلالیت کمتر در آب بوده و برعکس.



قانون راولت و قانون هنری

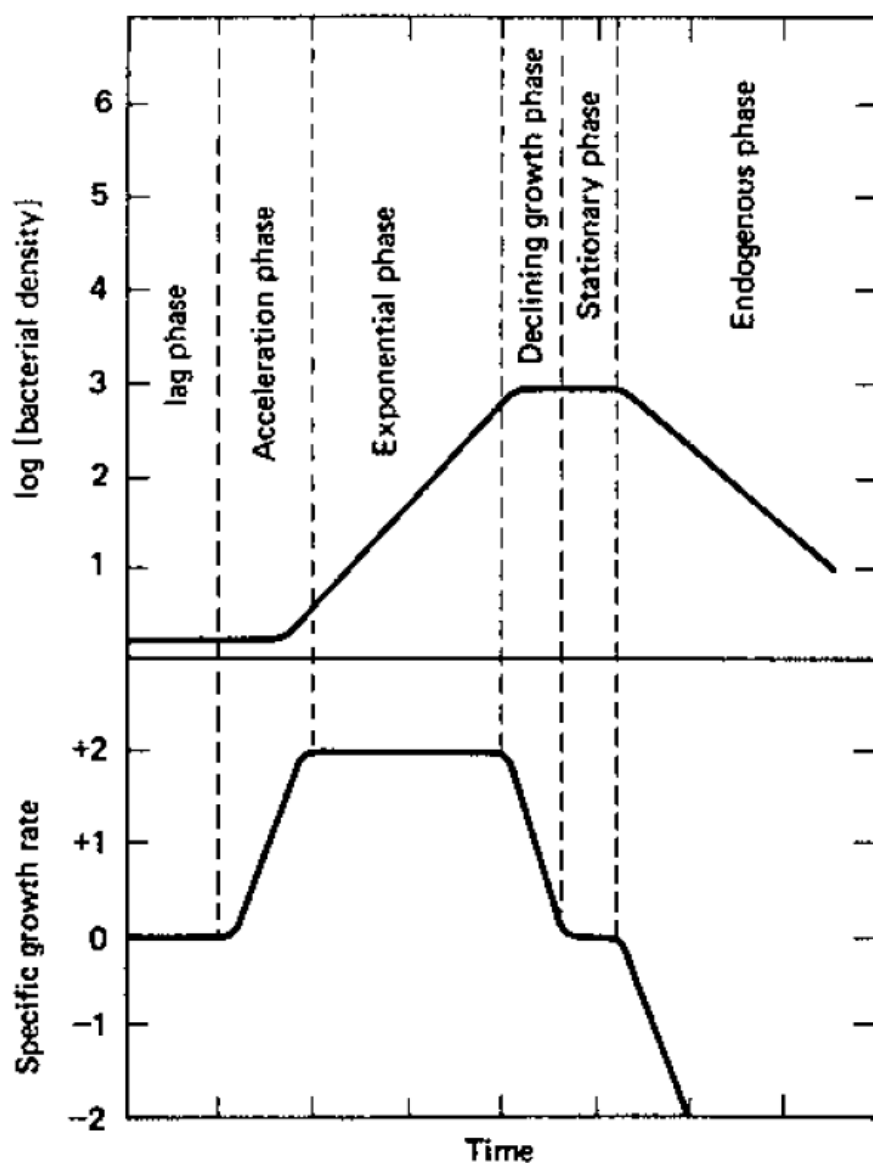


Figure 4.9 Phases of microbial growth. (Source: Monod, 1949)

رابطه مونود (۱۹۴۹)

$$J = \frac{k_{\max} MC}{Y(C_k + C)}$$

حداکثر شدن نرخ مصرف سوبسترات =  $C_k \downarrow : K_{\max} \uparrow$

ل: نرخ تغییر غلظت سوبسترات

$K_{\max}$ : حداکثر نرخ رشد میکروبی

C: غلظت سوبسترات محدود کننده رشد

$C_k$ : غلظت سوبسترات در  $K_{\max}/2$

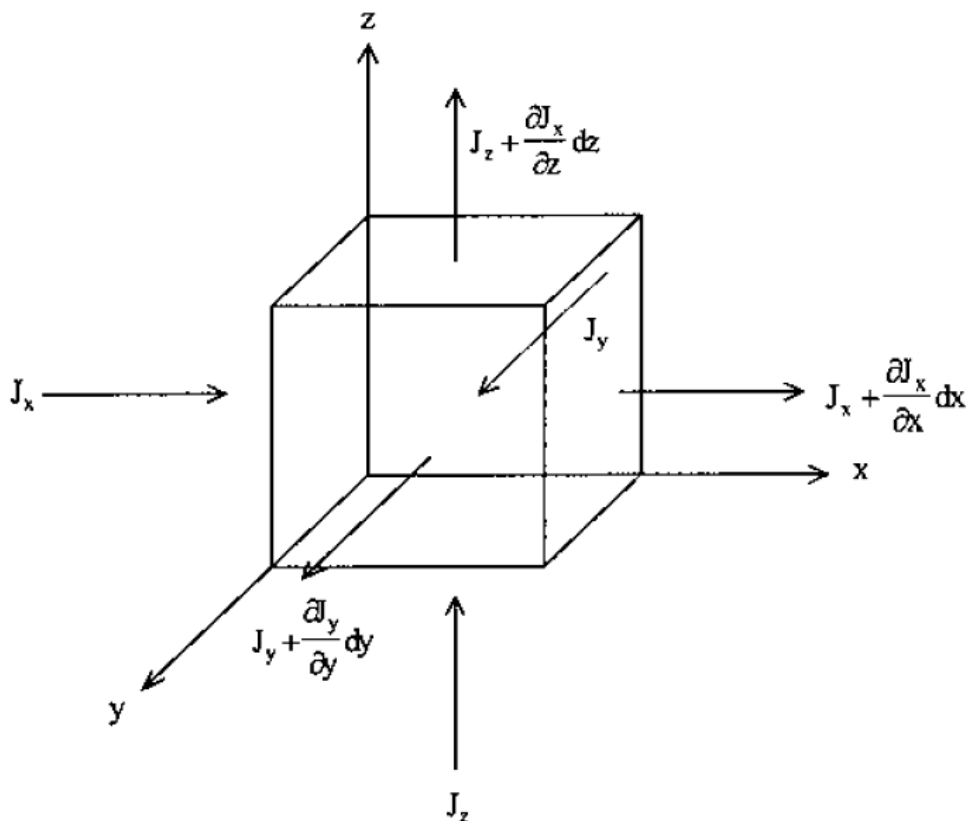
Y: ضریب تولید

M: جرم میکروبی (: ثابت نمی باشد و با زمان تغییر می کند)

### ۸-۳- معادلات حاکم بر انتقال جرم

ساده سازی: محیط همگن، ایزوتروپیک و اشباع در نظر گرفته می شود.

تلفیقی از قانون بقای جرم و قانون اول فیک.



$$-\left[\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}\right] \pm r = \frac{\partial(nC)}{\partial t}$$

l: شار جرمی املاح در واحد سطح مقطع انتقال در جهت های  $x, y, z$ .

C: غلظت املاح (ماده حل شونده) = جرم املاح تقسیم بر حجم محلول.

n: تخلخل.

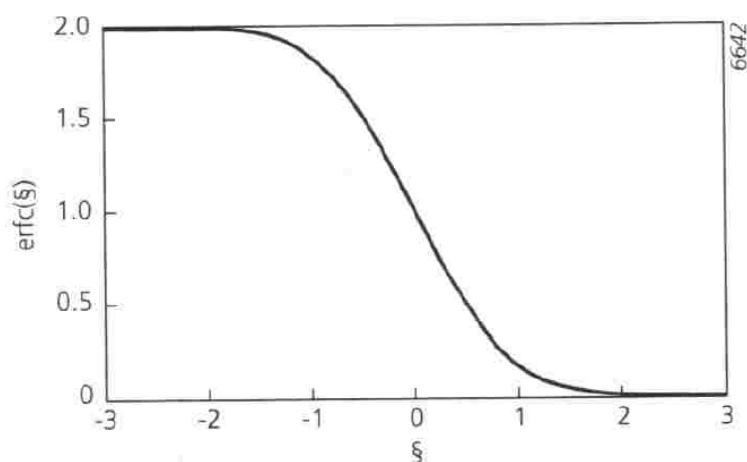
دو فرآیند دخیل در انتقال جرم عبارتند از:

$$J_{\text{due to advection}} = V_x n C$$

جابجایی (Advection)

$$J_{\text{due to dispersion}} = -n D_x \frac{\partial C}{\partial x}$$

انتشار (Dispersion)



$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &= 1 - \operatorname{erf}(x) \\ \operatorname{erfc}(-x) &= 1 + \operatorname{erf}(x) \\ \operatorname{erf}(-x) &= -\operatorname{erf}(x) \end{aligned}$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du$$

**Figure 11.8** The complementary error function  $\operatorname{erfc}(\beta)$ .

**Table 11.2** The complementary error function  $\operatorname{erfc}(\beta)$

| $\beta$ | $\operatorname{erfc}(\beta)$ | $\beta$ | $\operatorname{erfc}(\beta)$ | $\beta$ | $\operatorname{erfc}(\beta)$ | $\beta$ | $\operatorname{erfc}(\beta)$ |
|---------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|
| -3.0    | 1.999978                     | -0.95   | 1.820891                     | 0.05    | 0.943628                     | 1.1     | 0.119795                     |
| -2.8    | 1.999925                     | -0.90   | 1.796908                     | 0.10    | 0.887537                     | 1.2     | 0.089686                     |
| -2.7    | 1.999866                     | -0.85   | 1.770668                     | 0.15    | 0.832004                     | 1.3     | 0.065992                     |
| -2.6    | 1.999764                     | -0.80   | 1.742101                     | 0.20    | 0.777297                     | 1.4     | 0.047715                     |
| -2.5    | 1.999593                     | -0.75   | 1.711155                     | 0.25    | 0.723674                     | 1.5     | 0.033895                     |
| -2.4    | 1.999311                     | -0.70   | 1.677801                     | 0.30    | 0.671373                     | 1.6     | 0.023652                     |
| -2.3    | 1.998857                     | -0.65   | 1.642029                     | 0.35    | 0.620618                     | 1.7     | 0.016210                     |
| -2.2    | 1.998137                     | -0.60   | 1.603856                     | 0.40    | 0.571608                     | 1.8     | 0.010909                     |
| -2.1    | 1.997021                     | -0.55   | 1.563323                     | 0.45    | 0.524518                     | 1.9     | 0.007210                     |
| -2.0    | 1.995322                     | -0.50   | 1.520500                     | 0.50    | 0.479500                     | 2.0     | 0.004678                     |
| -1.9    | 1.992790                     | -0.45   | 1.475482                     | 0.55    | 0.436677                     | 2.1     | 0.002979                     |
| -1.8    | 1.989091                     | -0.40   | 1.428392                     | 0.60    | 0.396144                     | 2.2     | 0.001863                     |
| -1.7    | 1.983790                     | -0.35   | 1.379382                     | 0.65    | 0.357971                     | 2.3     | 0.001143                     |
| -1.6    | 1.976348                     | -0.30   | 1.328627                     | 0.70    | 0.322199                     | 2.4     | 0.000689                     |
| -1.5    | 1.966105                     | -0.25   | 1.276326                     | 0.75    | 0.288845                     | 2.5     | 0.000407                     |
| -1.4    | 1.952285                     | -0.20   | 1.222703                     | 0.80    | 0.257899                     | 2.6     | 0.000236                     |
| -1.3    | 1.934008                     | -0.15   | 1.167996                     | 0.85    | 0.229332                     | 2.7     | 0.000134                     |
| -1.2    | 1.910314                     | -0.10   | 1.112463                     | 0.90    | 0.203092                     | 2.8     | 0.000075                     |
| -1.1    | 1.880205                     | -0.05   | 1.056372                     | 0.95    | 0.179109                     | 2.9     | 0.000041                     |
| -1.0    | 1.842701                     | 0       | 1.000000                     | 1.0     | 0.157299                     | 3.0     | 0.000022                     |

اگر Ci در رابطه بالا صفر باشد داریم:

$$C(x, t) = C_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4D_x t}}\right)$$

در اینصورت معادله کلی بصورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{D_x}{R} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{V_x}{R} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\lambda C}{R} + \frac{\gamma}{R} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

برای شرایط مرزی و اولیه زیر داریم:

$$C(x, 0) = C_i$$

$$C(0, t) = \begin{cases} C_0 & 0 < t \leq t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases}$$

$$\frac{\partial C}{\partial x}(\infty, t) = 0$$

$$C(x, t) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\lambda} + \left(C_i - \frac{\gamma}{\lambda}\right) A(x, t) + \left(C_0 - \frac{\gamma}{\lambda}\right) B(x, t) & 0 < t \leq t_0 \\ \frac{\gamma}{\lambda} + \left(C_i - \frac{\gamma}{\lambda}\right) A(x, t) + \left(C_0 - \frac{\gamma}{\lambda}\right) B(x, t) - C_0 B(x, t - t_0) & t > t_0 \end{cases}$$

که در آن:

$$A(x, t) = \exp\left(-\frac{\lambda t}{R}\right) \left\{ 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Rx - V_x t}{2\sqrt{D_x R t}}\right) - \frac{1}{2} \exp\left(\frac{V_x x}{D_x}\right) \operatorname{erfc}\left[\frac{Rx + V_x t}{2\sqrt{D_x R t}}\right] \right\}$$

$$B(x, t) = \frac{1}{2} \exp\left[\frac{(V_x - U)x}{2D_x}\right] \operatorname{erfc}\left(\frac{Rx - U t}{2\sqrt{D_x R t}}\right) + \frac{1}{2} \exp\left[\frac{(V_x + U)x}{2D_x}\right] \operatorname{erfc}\left(\frac{Rx + U t}{2\sqrt{D_x R t}}\right)$$

$$U = V_x \left[ 1 + \frac{4\lambda R D}{V_x^2} \right]^{1/2}$$

که در آن:

$f'_m$ : نرخ مداوم ورود (تزریق) آلاینده در واحد عمودی آبخوان

$m'$ : جرم آلاینده تزریق شده که در واحد عمودی آبخوان عبور می‌نماید.

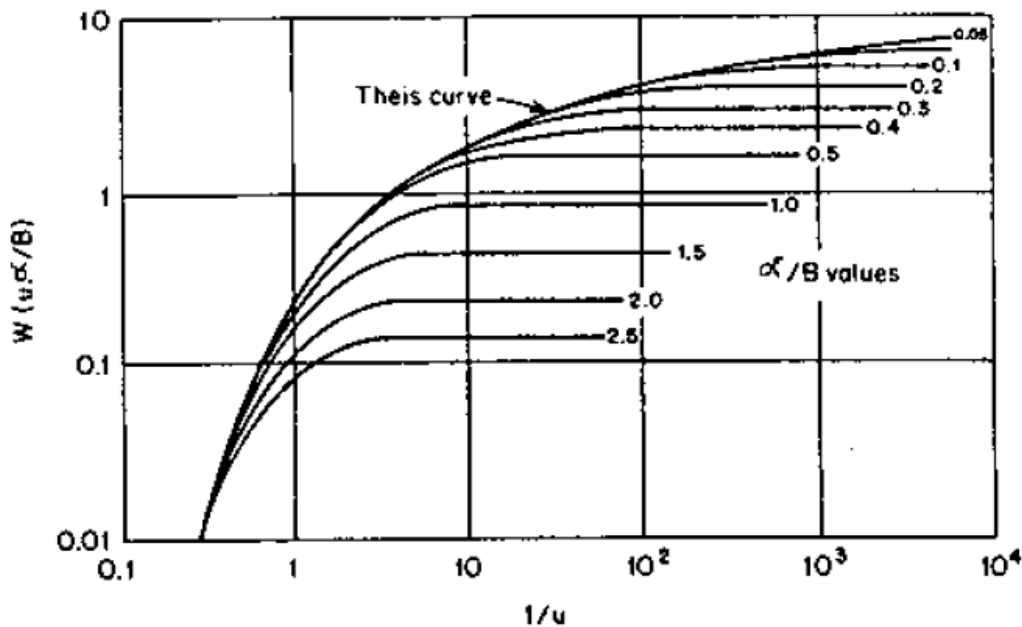
همچنین

$$V'_x = \frac{V_x}{R} \quad D'_x = \frac{D_x}{R} \quad D'_y = \frac{D_y}{R}$$

$$B = \frac{2D'_x}{V'_x}$$

$$u = \frac{\alpha^2}{4\beta D'_x t} \quad \beta = 1 + \frac{2B\lambda}{V'_x} \quad \alpha = \left[ \left( x^2 + \frac{D'_x y^2}{D'_y} \right) \beta \right]^{1/2}$$

تابع چاه نشتی (leaky well function) که در شکل زیر در مقابل  $1/u$  ترسیم شده است  $W\left(u, \frac{\alpha}{B}\right)$



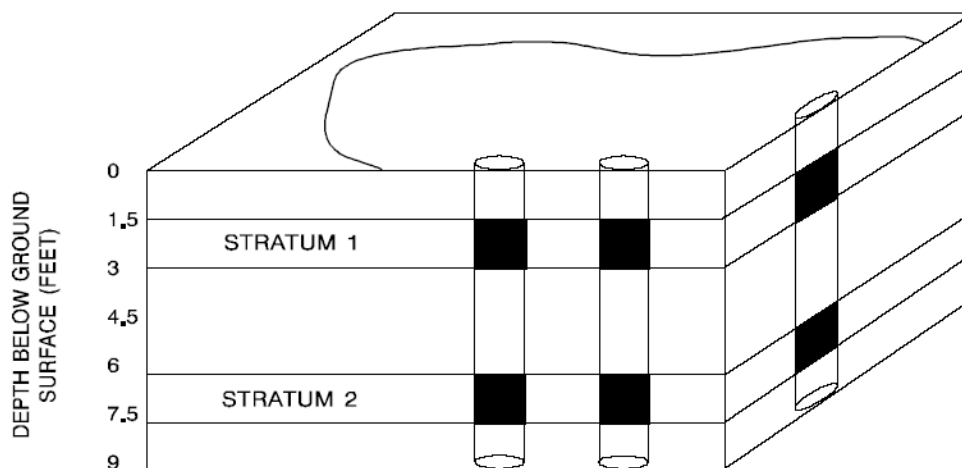
**Figure 4.16** Curves of  $W(u, \alpha/B)$  versus  $1/u$ . (Source: Walton, 1960)

$$W\left(u, \frac{r}{B}\right) \approx \sqrt{\frac{\pi B}{2r}} \exp\left(-\frac{r}{B}\right) \operatorname{erfc}\left(-\frac{\frac{r}{B} - 2u}{2\sqrt{u}}\right) \quad r=\alpha, \beta$$



### ۹-۳-۳- نمونه‌برداری تصادفی لایه‌بندی شده (Stratified Random Sampling)

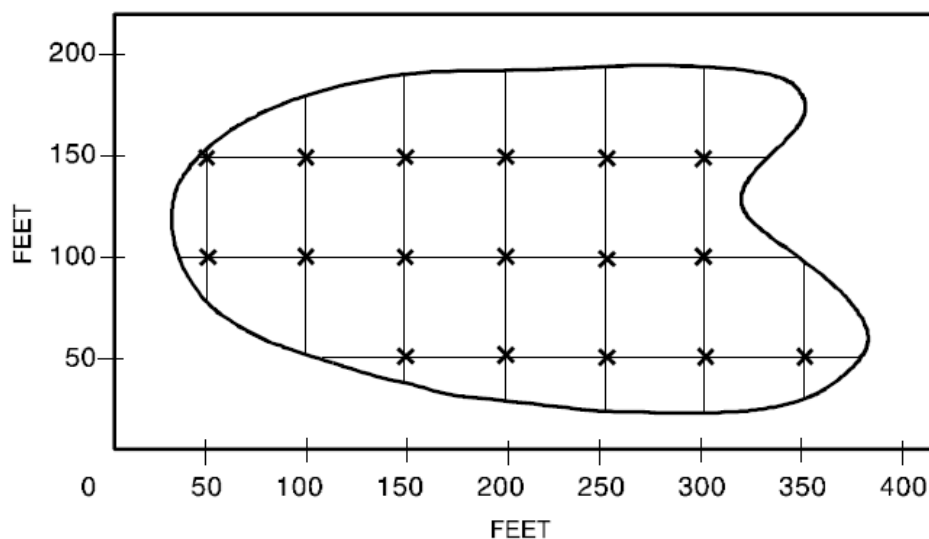
در این روش محدوده نمونه‌برداری به لایه‌هایی تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی بر اساس اطلاعات پیش‌زمینه و نتایج تحلیلی پیشین یا داده‌های غربالی می‌باشد. هر لایه نسبت به کل محوطه مورد نظر بیشتر همگن است. لایه‌ها بر اساس عوامل مختلف می‌توانند تعریف شوند؛ از جمله: عمق نمونه‌برداری، سطح غلظت آلاینده و مناطق نزدیک به منبع آلاینده. نقاط نمونه‌برداری در داخل هر یک از این لایه‌ها به روش تصادفی انتخاب می‌شود. شکل (۲)



شکل (۲): روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده

### ۹-۳-۴- نمونه‌برداری شبکه سیستماتیک (Systematic Grid Sampling)

در این روش محدوده مورد نظر به شبکه‌های مربعی، مثلثی و یا مستطیلی تقسیم می‌شود و نمونه از محل گره‌ها جمع‌آوری می‌شود. مبدا و جهت قرار دادن شبکه با استفاده از یک نقطه اولیه تصادفی مشخص می‌شود. از آن نقطه محورهای مختصات و شبکه بر روی همه سایت گسترده می‌شود. فاصله بین نقاط نمونه‌برداری در شبکه سیستماتیک بر اساس سایز منطقه و تعداد نمونه‌ها تعیین می‌شود. این روش اغلب در مواردی که لازم است وسعت آلاینده و گرادیان غلظت آلاینده تعیین شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۳)

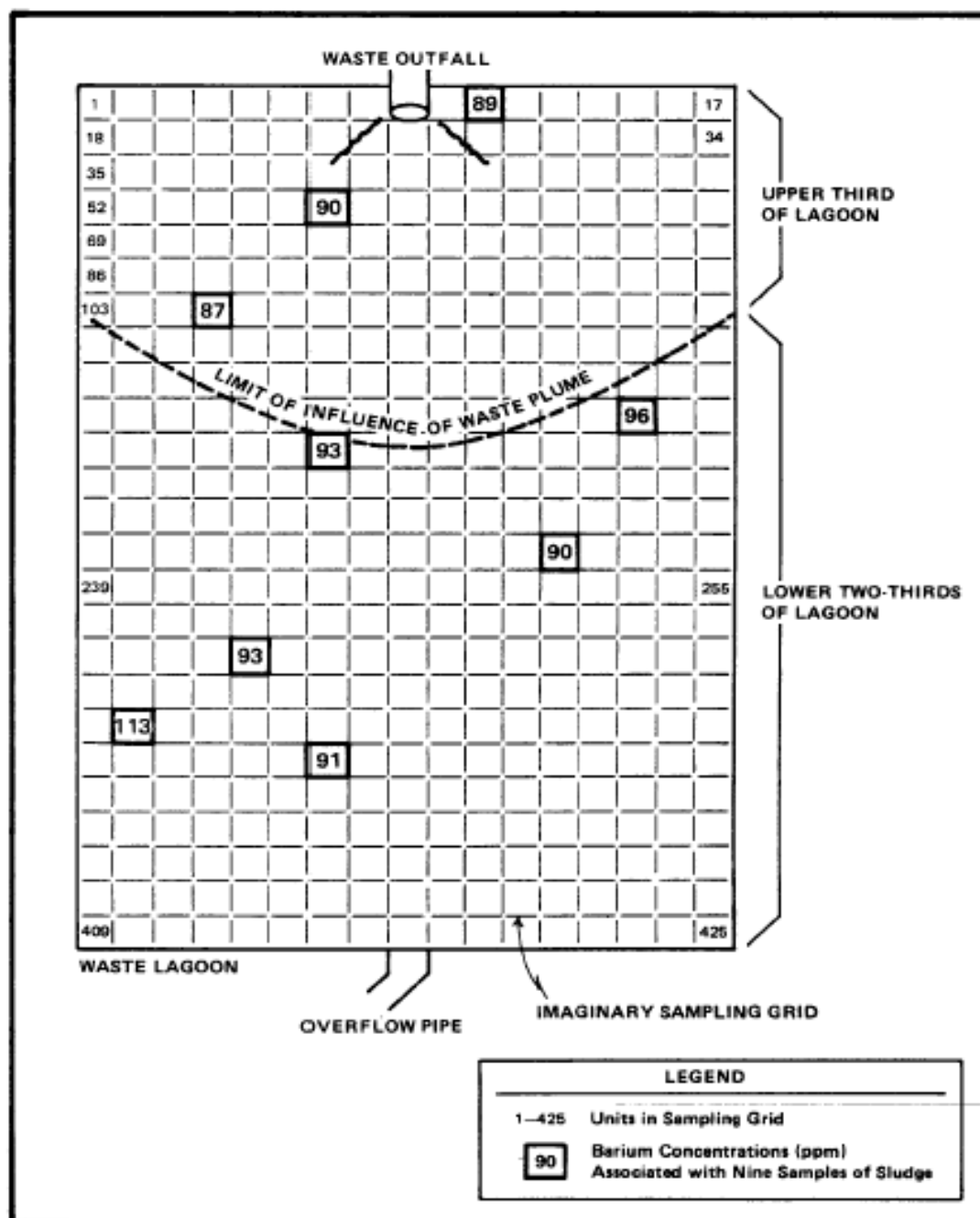


شکل (۳): روش نمونه‌برداری شبکه سیستماتیک

تعداد جدید نمونه‌ها محاسبه و در صورت امکان برداشت کردن نمونه‌های مشابه، به تعداد تفاضل تعداد جدید و قدیم نمونه برداشت و آنالیز می‌گردد. در صورت عدم امکان محاسبات متوقف می‌گردد.

مثال:

بررسی اولیه مقدار باریم چهار نمونه از خاک یک پوند آلوده در چند سال قبل انجام گرفته و دو نمونه برداشت شده از یک سوم بالایی پوند غلظتی معادل ۸۶ و ۹۰ ppm و دو نمونه دوسوم دیگر پوند غلظتی برابر ۹۸ و ۱۰۴ pmm داشته‌اند. (به نظر نمی‌رسد که این نمونه‌ها غیرتصادفی باشند)



## ۱۰- روش‌های مکانیابی دارای پتانسیل آلودگی

### ۱۰-۱- روش DRASTIC

این روش بر اساس برخی داده‌های هیدروژئولوژیک و خصوصیات فیزیکی که سنجش آنها زیاد مشکل نمی‌باشد و بر آلودگی آبهای زیرزمینی موثر می‌باشند، بنا گردیده است.

D = depth of water

R = (net) recharge

A = aquifer media

S = soil media

T = topography (slope)

I = impact of the vadose zone

C = conductivity (hydraulic) of the aquifer

$$PP = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

PP = pollution potential

R = rating on the parameter indicated

W = the weight on the parameter indicated

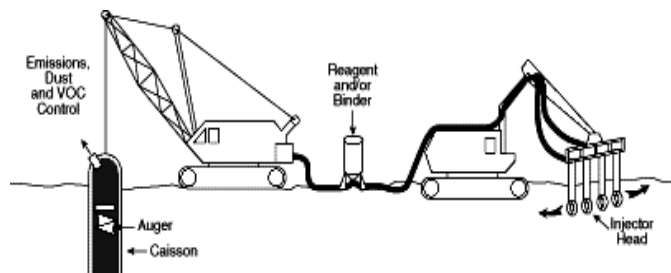
### ۱۰-۲- وزن‌های معیارها

وزن‌ها بین ۱ تا ۵ می‌باشد و برای مقایسه اهمیت پارامترهای مختلف با یکدیگر در نظر گرفته شده است.

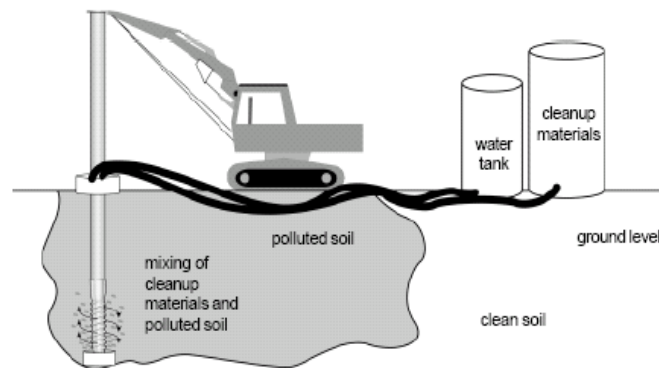
**Table 9.6** Weights Assigned to DRASTIC Factors

| Feature                               | Weight |
|---------------------------------------|--------|
| Depth to water table                  | 5      |
| Net recharge                          | 4      |
| Aquifer media                         | 3      |
| Soil media                            | 2      |
| Topography                            | 1      |
| Impact of the vadose zone             | 5      |
| Hydraulic conductivity of the aquifer | 3      |

- دانسیته محلی: که عبارتست از وزن واحد حجم خاک با احتساب آب و فضاهای خالی. این پارامتر در مورد فرآیندهای پالایش خارج از محل و به منظور حمل و نقل خاک حائز اهمیت است.
- دانسیته ذرات: عبارتست از وزن مخصوص هر جزء (ذره) خاک.
- نفوذپذیری: یکی از مهمترین عوامل کنترل کارایی عملیات در فرآیندهای پالایش در محل به شمار می‌رود.
- رطوبت: در فرآیند تثبیت و جامدسازی تنظیم رطوبت برای عملیات بسیار مهم است. افزودن مقدار آب مناسب (نسبت آب به ماده جامدکننده) در کارایی عملیات و تحکیم ماتریس خاک نقش اساسی دارد.
- pH: این پارامتر نیز یکی از مهمترین عوامل بهبود کارایی فرآیند تثبیت و جامدسازی است. به ویژه در مورد فلزات سنگین انتخاب pH بهینه برای جلوگیری از انحلال و تحرک بسیار ضروری است.
- $K_{ow}$ : ضریب سهم اکتانول به آب که بیانگر نسبت غلظت یک ماده شیمیایی در دو فاز آب و اکتانول می باشد، پارامتر کلیدی در توصیف تخریب (Fate) یک ماده شیمیایی در سیستم‌های زیست محیطی است. مواد دارای  $K_{ow}$  کمتر از ۱۰ مواد آب دوست و مواد دارای  $K_{ow}$  بزرگتر از ۱۰۰۰۰ مواد آب گریز تلقی می‌گردند.
- ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC): این خاصیت به ویژه در هنگام استفاده از فرآیند تثبیت و جامدسازی در مورد آلاینده‌های فلزات سنگین مطرح است. هرچه این شاخص بالاتر باشد قدرت جذب بیشتری را شاهد هستیم.
- مقدار هیومیک‌ها (جزء آلی): مقدار هیومیک بالا بر محبوس نمودن خاک تاثیر می‌گذارد و حرکت مواد آلی را کاهش می‌دهد.
- روغن و گریس: این مواد در خاک سطح ذرات خاک را می‌پوشانند و در فرآیند جامدسازی با سیمان یک عامل مزاحم و کاهش دهنده قدرت پیوند بین خاک و سیمان به حساب می‌آیند.
- نوع، غلظت و عمق آلودگی: بدیهی است اینکه با چه نوع آلاینده‌ای (آلی یا معدنی) و با چه گستردگی مواجه هستیم، هم در انتخاب مواد جامدکننده و افزودنی‌های کمکی و هم در امکانپذیری و هزینه عملیات و به طور کلی در انتخاب استراتژی پالایش بسیار ضروری و مهم است.

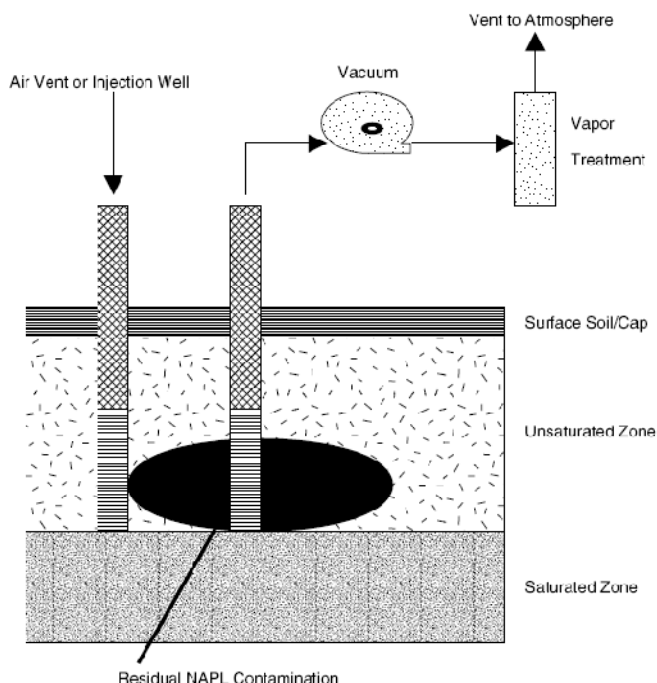


4-7 94P-2110 8/22/94



شکل ۳- شمایی از شیوه اجرایی فرآیند تثبیت و جامد سازی و تجهیزات مورد نیاز

علاوه بر پارامترهای ذکر شده، پس از تکمیل شدن عملیات به منظور تعیین میزان کارایی عملیات، مجموعه‌ای از آزمون‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. بنا بر توصیه آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده بهترین آزمون، تست TCLP است. علاوه بر این آزمون، تست‌های ذیل تا کنون (به ترتیب اولویت) مورد استفاده قرار گرفته‌اند: مقاومت فشاری آزاد (UCS)، رطوبت، pH، SPLP، نفوذپذیری، تر و خشک (Wet Dry)، هدایت الکتریکی، ANSI 16.1، درصد افزایش حجم، سمیت EP و ASTM D4843 (۹).

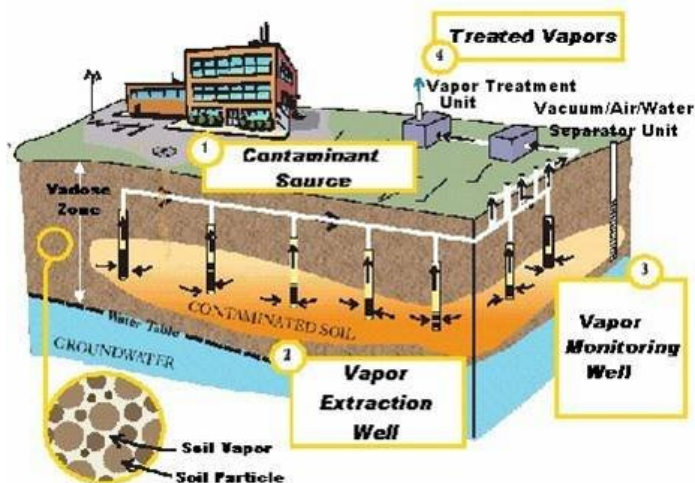


شکل ۱ - شمای کلی نحوه پالایش خاک به روش SVE [۱۱]

عمق چاههای استخراجی در این روش می تواند از ۵ تا ۳۰۰ فوت متغیر باشد. اما عمقهای کمتر، مورد توجه بیشتری می باشند. موادی که به این روش از خاک قابل استخراج می باشند، به طور معمول از گروه VOC ها یا SVOC ها می باشند [۴]. استفاده از چاههای استخراجی افقی (به صورت ترانشه) برای بهبود کارایی استخراج آلاینده ها نیز توصیه شده است.

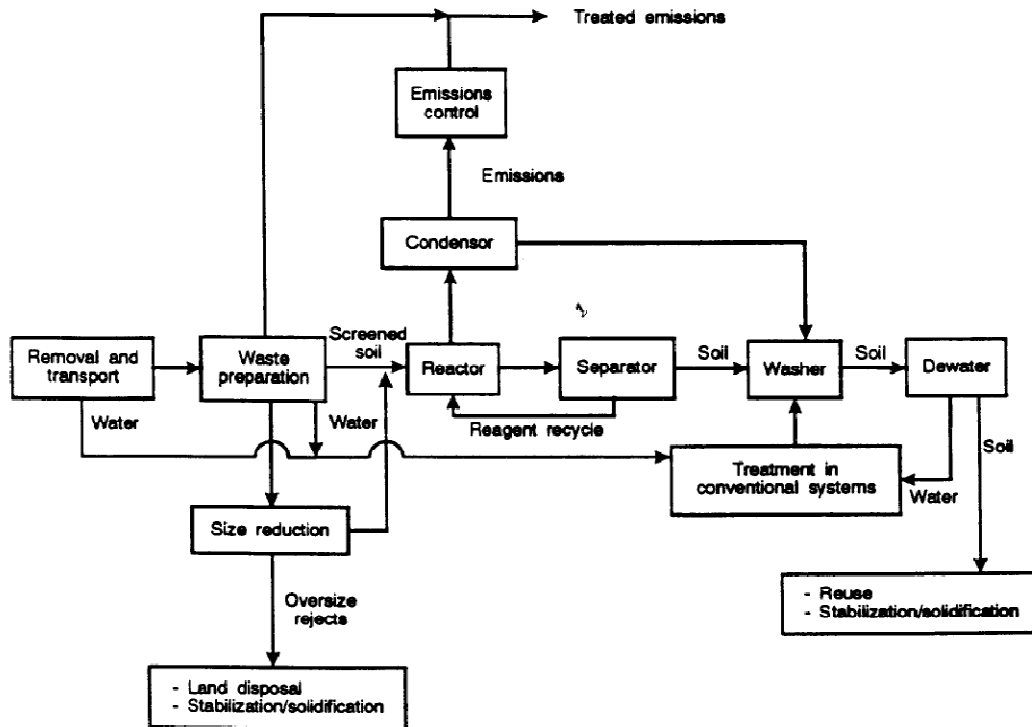
همچنین به منظور جلوگیری از ایجاد پدیده اتصال کوتاه<sup>۳۶</sup> و افزایش شعاع تاثیر چاهها، بعضا از پوششهای نفوذناپذیر نظیر ژئوممبران در سطح خاک استفاده می شود [۳]. موادی که برای پوشش سطحی به کار می روند عبارتند از: لایر غشایی انعطاف پذیر (FML) از جنس HDPE (که ممکن است در اثر تابش خورشید دارای عمر کوتاهی باشند)، لایه های رسی یا بتونیته (که منتقل کردن آنها پس از اتمام عملیات، سخت تر از FML ها است)، پوششهای قیری و بتونی [۸].

عملیات دیگری که برای افزایش کارایی سیستم پیشنهاد گردیده اند، عبارتند از: بهبود از طریق عملیات حرارتی نظیر تزریق هوای داغ یا بخار، حرارت دادن از طریق مقاومت الکتریکی، حرارت دادن از طریق فرکانسهای رادیویی [۹]، استخراج دو فاز، شکستن هیدرولیکی یا بادی خاکهای سخت و فرایندهای متابولیکی همراه [۸].



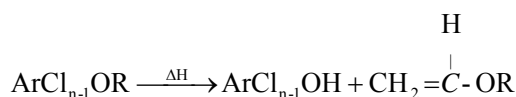
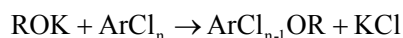
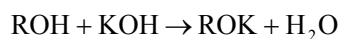
شکل ۲ - شمای کلی نحوه مراحل اجرایی پالایش خاک به روش SVE

<sup>29</sup> Short Circuiting



شکل ۱: نمودار جریانی فن آوری تخریب شیمیایی از طریق APEG

فرآیند APEG شامل اختلاط و حرارت دادن خاکهای آلوده با افزودنی‌های APEG است. در خلال حرارت دادن، هیدروکسید فلز قلیایی با هالوژن موجود در ماده آلاینده واکنش نشان می‌دهد. در اثر واکنش گلیکول اتر، یک ترکیب هیدروکسیلی و نمک فلز قلیایی که محصولات جانبی محلول در آب می‌باشند، تولید شده و ترکیبات سمی به مواد غیر سمی تغییر شکل می‌یابند. واکنش‌های نمونه‌ای که طی این فرآیند انجام می‌شوند، به ترتیب ذیل می‌باشند [۳]:



فرآیند هالوژن زدایی با گلیکول‌ها شامل پنج مرحله می‌باشد: آماده سازی، انجام واکنش، جداسازی، شستشو و آبزدایی. در مرحله آماده سازی پسماند آلوده الک می‌گردد تا ذرات درشت دانه و قلوه سنگها حذف گردند. در مرحله بعد (واکنش)، خاکهای آلوده به همراه افزودنیهای APEG در یک راکتور بزرگ هم زده و به مدت ۴ ساعت حرارت داده می‌شود. بخارات حاصل از حرارت دادن جمع‌آوری شده و بوسیله یک کندانسور به فاز آب و آلاینده‌های گازی تفکیک می‌گردند. آب حاصل را می‌توان در بخشهای بعدی فرآیند استفاده نمود و آلاینده‌های گازی در اثر عبور از بستر کربن فعال جذب می‌گردند. مخلوط خاک و APEG پس از واکنش در راکتور از یکدیگر جدا شده و خاک حاصل به یک شستشو دهنده وارد گشته و باقیمانده مواد APEG از خاک جدا می‌گردد. پس از آن خاک به واحد آبزدایی منتقل شده و در آنجا آب و خاک از یکدیگر جدا می‌شوند. آب حاصل از این واحد پیش از تخلیه به شبکه فاضلاب شهری تصفیه می‌شود. خاک نیز مورد آزمایش قرار می‌گیرد تا در صورتی که دارای سطحی بیش از مقدار مجاز آلاینده باشد مجدداً در فرآیند قرار گیرد و در غیر اینصورت به محل دفن یا محل اصلی که از آنجا برای تصفیه منتقل شده بازمی‌گردد.

با توجه به مطالب ارائه شده در این فرآیند سه نوع ترکیب باقی می‌مانند: خاک پالایش شده، آب شستشوئی، و آلاینده‌های خروجی به هوا. از آنجائیکه این پالایش صرفاً برای PCBها، دیوکسین‌ها، فوران‌ها و گروههای فنل/کرزول هالوژنه کارآ می‌باشد، حضور دیگر