

مدل آریا و پاریس (۱۹۸۱) (AP-model)

برای شروع کار با مدل AP، ابتدا در هر بخش PSD میانگین شعاع و درصد ذرات کوچکتر از حد بالایی آن بخش محاسبه شد. نسبت پوکی (e) خاک‌ها نیز به کمک مقادیر تخلخل (f) محاسبه شد. برای سادگی ρ_s برای تمامی خاک‌ها برابر با $2/65 \text{ g cm}^{-3}$ در نظر گرفته شد. با داشتن مقادیر ρ_s و e ، حجم منفذی نظیر هر بخش ذرات با رابطه زیر محاسبه شد:

$$V_{vi} = \frac{w_i}{\rho_s} e \quad i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

که در این معادله، V_{vi} حجم منفذی در واحد جرم خاک ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$) و w_i جرم ذرات جامد در واحد جرم خاک (g g^{-1}) در i -امین بخش اندازه ذرات می‌باشند. سپس مقادیر حجم منفذی به دست آمده به صورت تجمعی (از کوچکترین بخش تا بخش مورد نظر i) با هم جمع شده و عدد به دست آمده در ρ_b ضرب شد تا مقدار رطوبت حجمی خاک ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) در هر بخش اندازه ذرات (θ_{vi}) به دست آید:

$$\theta_{vi} = \rho_b \times \sum_{j=1}^{j=i} V_{vj} \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,i \quad (2)$$

میانگین θ_{vi} متناظر با نقطه میانه هر دامنه اندازه ذرات (θ_{vi}^*) نیز به کمک رابطه زیر محاسبه شد:

$$\theta_{vi}^* = \frac{\theta_{vi} + \theta_{vi+1}}{2} \quad (3)$$

که در این رابطه، θ_{vi}^* مقدار میانگین رطوبت حجمی منافذی است که بزرگترین آن‌ها متناظر با نقطه میانه i -امین دامنه ذرات می‌باشد. با فرض این که در هر بخش اندازه ذرات، تعداد ذرات کروی برابر با n_i باشد و منافذ خاک سیلندری در نظر گرفته شوند، از روابط زیر استفاده شد:

$$V_{pi} = \frac{n_i 4\pi R_i^3}{3} = \frac{w_i}{\rho_s} \quad (4)$$

$$V_{vi} = \pi r_i^2 h_i = \frac{w_i}{\rho_s} e \quad (5)$$

در این روابط، V_{pi} حجم ذرات جامد در واحد جرم خاک ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)، R_i میانگین شعاع ذرات (cm)، r_i میانگین شعاع منافذ (cm)، n_i تعداد کل ذرات کروی (g^{-1}) و h_i طول کل منافذ (cm) همگی در i -امین بخش اندازه ذرات می‌باشند. سپس از تقسیم معادله ۵ بر معادله ۴ و با توجه به این که نسبت $\frac{V_{vi}}{V_{pi}}$ برابر با e می‌باشد (با فرض یکسان بودن e و در تمامی بخش‌های ذرات)، رابطه ساده زیر به دست آمد:

$$\frac{r_i^2}{R_i^3} = \frac{4n_i e}{3h_i} \quad (6)$$

در ساده‌ترین حالت فرض بر این است که تمامی ذرات خاک کروی بوده و آرایش مکعبی بسته دارند. آریا و پاریس (۱۹۸۱) پیشنهاد کردند که طول منافذ از روی اندازه و تعداد ذراتی که در مسیر منافذ قرار می‌گیرند تخمین زده شود. بنابراین با فرض سیلندری بودن منافذ خاک که توسط ذرات کروی با اندازه مشابه در هر بخش i احاطه شده‌اند، خواهیم داشت:

$$h_i = 2R_i n_i \quad (7)$$

و از تلفیق روابط ۵ و ۷ خواهیم داشت:

$$r_i = 0.816R_i \sqrt{e} \quad (8)$$

اما در یک خاک طبیعی، ذرات به‌طور مرتب و منظم روی و کنار یکدیگر قرار نگرفته، شکل غیرکروی داشته و طول منافذ به شکل، اندازه واقعی و چگونگی آرایش ذرات در کنار یکدیگر بستگی دارد. پس از آن جایی که ذرات غیرکروی‌اند، فرض شده است که هر ذره طبیعی در مقایسه با یک کره هم‌حجم خود بر طول منفذ نظیرش می‌افزاید. در نتیجه تعداد ذرات کروی با قطر $2R_i$ لازم برای احاطه طول کلی منافذ از n_i بیش‌تر شده و هم‌چنین به دلیل مستقیم‌نبودن منافذ، طول واقعی آن‌ها بزرگ‌تر از مقدار به‌دست آمده از رابطه ۷ می‌باشد. از این رو تعداد ذرات لازم با n_i^α نمایش داده شد، به گونه‌ای که a پارامتر مقیاس بوده و بدون بُعد است. پس رابطه ۷ به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$h_i = 2R_i n_i^\alpha \quad (9)$$

بنابراین از تلفیق روابط ۶ و ۹ خواهیم داشت:

$$r_i = 0.816R_i \sqrt{e n_i^{(1-\alpha)}} \quad (10)$$

شایان ذکر است که $n_i^{(1-\alpha)}$ بدون بُعد است. مقدار n_i برای هر بخش دامنه ذرات نیز به کمک رابطه زیر محاسبه شد که از رابطه ۴ گرفته شده است:

$$n_i = \frac{3w_i}{4\pi\rho_s R_i^3} \quad (11)$$

در پایان r_i به‌دست آمده از رابطه ۱۰ به کمک رابطه زیر به مکش ماتریک تبدیل شد:

$$h_i = \frac{2\sigma \cos \Theta}{\rho_w g r_i} \quad (12)$$

که در این رابطه، h_i مکش ماتریک (cm) در i -امین بخش PSD، σ کشش سطحی حذفاصل آب و هوا (dyne cm^{-1})، زاویه تماس آب و خاک، ρ_w چگالی آب (g cm^{-3}) و g شتاب ثقل (cm s^{-2}) می‌باشند.

کشش سطحی و چگالی آب وابسته به دما هستند، در حالی که زاویه تماس ممکن است وابسته به مقدار و نوع ماده آلی خاک تغییر کند. در نهایت با ترکیب روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲، رابطه ۱۲ به صورت یک رابطه یکتا بازنویسی شد:

$$h_i = \frac{2.451\sigma \cos \Theta}{\rho_w g R_i \sqrt{e \left(\frac{3w_i}{4\pi\rho_s R_i^3} \right)^{(1-\alpha)}}} \quad (13)$$

در این پژوهش دما برابر ۲۵ درجه سانتی گراد، σ برابر 72 dyne cm^{-1} ، Θ برابر صفر، ρ_w و ρ_s به ترتیب برابر ۱ و $2/65 \text{ g cm}^{-3}$ و g برابر 980 cm s^{-2} و مقدار عدد π برابر $3/14$ در نظر گرفته شده است که با این شرایط، رابطه ۱۳ به صورت زیر خلاصه و بازنویسی می شود:

$$h_i = \frac{0.18}{R_i \sqrt{e \left(0.09 \frac{w_i}{R_i^3} \right)^{(1-\alpha)}}} \quad (14)$$

در ابتدا مقدار α در رابطه ۱۴ برابر با $1/38$ برای تمامی خاک ها در نظر گرفته شد. مقادیر نظیر رطوبت و مکش ماتریک به ترتیب توسط روابط ۳ و ۱۴ محاسبه شده و به عنوان SWCC برآورد شده با روش AP ترسیم شد.

محاسبه α بهینه و α بهینه کلی

با توجه به این که مقادیر α بهینه ($\alpha_{i(\text{best-fit})}$) برای هر بخش اندازه ذرات (i) نیاز به هم خوانی داده های اندازه گیری شده SWCC و PSD دارد، به کمک پارامترهای معادله ون گنوختن (۱۹۸۰) برازش یافته بر داده های اندازه گیری شده SWCC (به روش معکوس) یک تابع پیوسته برای SWCC ایجاد شد. معادله ون گنوختن توسط نرم افزار RETC بر داده های SWCC اندازه گیری شده برازش داده شد به گونه ای که θ_s و θ_r ثابت و به ترتیب برابر با صفر و رطوبت اشباع اندازه گیری شده قرار داده شدند. مقادیر مکش ماتریک اندازه گیری شده (پیوسته) به کمک معادله ون گنوختن (۱۹۸۰) و به شکل زیر محاسبه شدند:

$$h_i = \frac{\left(S_i^{1-n} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (15)$$

که در این رابطه، n و α پارامترهای برازش مدل ون گنوختن (۱۹۸۰) و S_i درجه اشباع نظیر I-امین بخش اندازه ذرات خاک است که به کمک داده‌های PSD محاسبه شد (مقدار S_i برابر با نسبت مقدار رطوبت محاسبه شده با معادله ۳ به θ_s می‌باشد).

سپس با استفاده از مقادیر h_i از رابطه ۱۵، مقادیر α_i بهینه برای هر بخش اندازه ذرات (i) به کمک رابطه یکتای زیر محاسبه شدند:

$$\alpha_{i(\text{best-fit})} = 1 - \frac{\log\left(\frac{6.007}{e} \left(\frac{\sigma \cos \Theta}{\rho_w g h_i R_i}\right)^2\right)}{\log\left(0.75 \frac{w_i}{\pi \rho_s R_i^3}\right)} \quad (16)$$

با توجه به این که در این پژوهش دما برابر ۲۵ درجه سانتی‌گراد، σ برابر 72 dyne cm^{-1} ، Θ برابر صفر، ρ_w و ρ_s به ترتیب برابر ۱ و $2/65 \text{ g cm}^{-3}$ و g برابر 980 cm s^{-2} و مقدار عدد π برابر $3/14$ در نظر گرفته شده است، رابطه ۱۶ به صورت زیر خلاصه و بازنویسی می‌شود:

$$\alpha_{i(\text{best-fit})} = 1 - \frac{\log\left(\frac{6.007}{e} \left(\frac{0.073}{h_i R_i}\right)^2\right)}{\log\left(0.090 \frac{w_i}{R_i^3}\right)} \quad (17)$$

مقادیر α بهینه کلی ($\alpha_{\text{overall best-fit}}$) برای هر خاک به طور جداگانه نیز از راه کمینه کردن مقادیر $|\Sigma[\log(h_{\text{measured}}) - \log(h_{\text{predicted}})]|$ یا $\Sigma[\log(h_{\text{measured}}) - \log(h_{\text{predicted}})]^2$ در Excel Solver محاسبه شدند. در این جا h_{measured} مکش ماتریک اندازه گیری شده و پیوسته شده به کمک معادله ون گنوختن (۱۹۸۰) (رابطه ۱۵) و $h_{\text{predicted}}$ مکش ماتریک برآورد شده به کمک رابطه ۱۴ با پارامتر بهینه سازی α می‌باشد.