

---

# مدل ریاضی نسبت تزریق پذیری خاک های دانه ای

عباس مجدی

مسعود ظهیری

( // // // )

چکیده

واژه‌های کلیدی :

مقدمه

مروری بر روابط موجود برای تعیین نسبت  
تزریق پذیری در تزریق خاک های دانه ای

( )

[ ] (Cambefort)

ارائه مدل ریاضی جهت تعیین قطر فزاهای  
خالی موثر بین ذرات خاک

[ ]

[ ] (Hendron and Lenahan)

%

(0.5 $\mu$ m)

(Akbulut and Saglamer)

[ ]

جدول ۱: روابط مختلف در تعیین نسبتهای تزریق پذیری و نسبت مناسب بین ذرات خاک و ذرات جامد معلق در مایع تزریق.

	(Burwell) [5]	$GR < 11$	$GR > 25$	$GR = \frac{D_{15} (soil)}{d_{85} (grout)}$
	(King) [6]	$GR < 6$	$GR > 11$	$GR = \frac{D_{10} (soil)}{d_{95} (grout)}$
	(Mitchel) [7]	$GR < 11$	$GR > 24$	$GR = \frac{D_{15} (soil)}{d_{95} (grout)}$
	(Hendron) [3]	$GR < 11$	$GR > 24$	$GR = \frac{D_{15} (soil)}{d_{85} (grout)}$
	(Sherard) [8]	$d_{maxgrout} < 0.1D_{15}$	$d_{maxgrout} > 0.1D_{15}$	-
	(Ceren) [9]	-	$GR > 10$	$GR = \frac{D_{10} (soil)}{d_{90} (grout)}$

=GR

= $D_{15}(soil)$

= $D_{10}(soil)$

= $d_{max}(grout)$

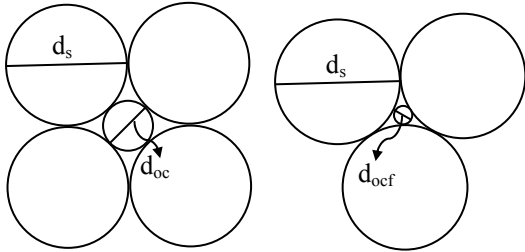
= $d_{85}(grout)$

= $d_{95}(grout)$

= $d_{90}(grout)$

( ) ) -  
:d<sub>ocf</sub> .(

( ) ) ( ) (



شکل ۱: مقایسه قطر فضای خالی موثر بین ذرات کروی خاک در دو حالت: الف- متقارن ب- نامتقارن.

تعیین میزان فضای خالی موثر در حالتی که ذرات خاک بیضوی میباشند

تعیین میزان فضای خالی موثر در حالتی که ذرات خاک کروی هستند  
الف- ذرات کروی خاک بصورت متقارن قرار دارند

$$d_{oc} = 0.41d_s$$

( )  
:d<sub>oc</sub>

:d<sub>s</sub>

ب- ذرات کروی خاک بصورت نامتقارن قرار دارند

( - )

[ ]

الف- ذرات بیضوی خاک بصورت متقارن قرار دارند

( )

[ ]

$$d_{ocf} = 0.15 d_s$$

$$\frac{(x - r_s)^2}{(r_s)^2} + \frac{\left(y - \frac{r_s}{2}\right)^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

( )

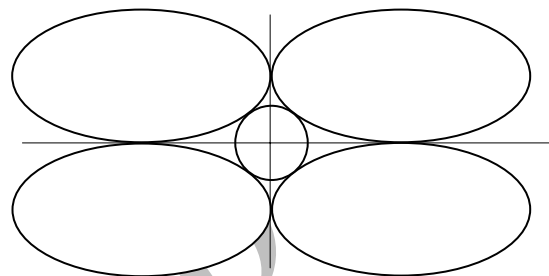
$r_s$ :

$$y = \frac{1}{2} \left( r_s \pm \sqrt{r_s^2 - (x - r_s)^2} \right)$$

( )

$y$  ( )

$E_1$



شکل ۲: قرارگیری ذرات بیضوی خاک بصورت متقارن و فضای خالی موثر بوجود آمده بین این ذرات.

$$s = \sqrt{x^2 + y^2}$$

( )

$S$ :

: ( ) ( )  $y$

$$S = \sqrt{x^2 + \left[ \frac{1}{2} \left( r_s - \sqrt{r_s^2 - (x - r_s)^2} \right) \right]^2}$$

( )

$$\frac{(x - h)^2}{a^2} + \frac{(y - k)^2}{b^2} = 1$$

( )

$h$ :

$k$ :

$a$ :

$b$ :

$x$

$y$

$y$

( )

( )

( )

$$s'_{(x)} = 0 \Rightarrow x = 0.16 r_s$$

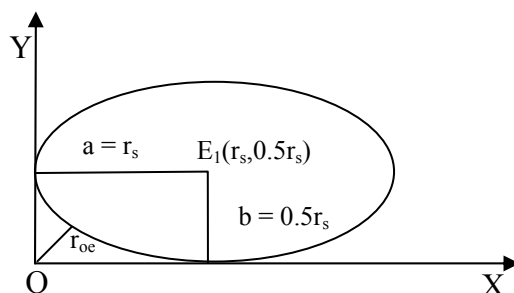
( )

$y$  ( )  $x$

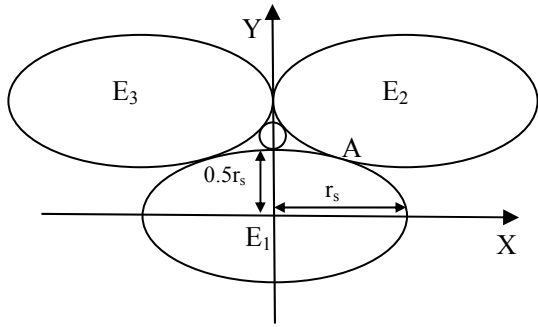
$$y = 0.22 r_s$$

( )

( ) ( ) ( )



شکل ۳: مختصات بیضی موجود در ربع اول.



$$S_{\min} = r_{oe} = 0.27r_s \Rightarrow d_{oe} = 0.27d_s \quad ( )$$

:S<sub>min</sub>

:r<sub>oe</sub>

:d<sub>oe</sub>

شکل ۵: انتخاب مرکز محورهای مختصات منطبق بر مرکز بیضی E<sub>1</sub> جهت تعیین نقطه تماس بیضی ها.

ب- ذرات بیضوی خاک بصورت نامتقارن قرار دارند

(E<sub>2</sub>)

(E<sub>2</sub>)

( )

$$\frac{(x - r_s)^2}{r_s^2} + \frac{(y - 0.86 r_s)^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

( )

(n=0.5r<sub>s</sub>)

( )

( )

(E<sub>1</sub>)

(E<sub>1</sub>)

( )

F D B

$$\frac{x^2}{r_s^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

)

(E<sub>3</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>1</sub>)

( )

E<sub>2</sub> E<sub>1</sub>

( )

A

(C )

( )

0.5r<sub>s</sub>

CH

C

BF

( ) ( )

HCB

$$y_A = 0.43 r_s$$

( )

$$HB = 0.86 r_{oef}$$

A

( )

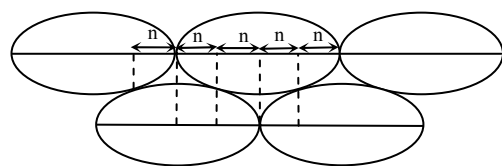
$$HC = 0.5 r_{oef}$$

(r<sub>s</sub>, 0.86 r<sub>s</sub>)

(E<sub>2</sub>)

( )

:I<sub>oef</sub>



HC HB

E<sub>2</sub>

) B

r<sub>oef</sub>

(

(n=0.5r<sub>s</sub>)

:

$$9.74 r_{oef}^2 + 0.52 r_s^2 - 6.04 r_{oef} \cdot r_s = 0$$

( )

$$r_s^2$$

$$9.74 \left( \frac{r_{oef}}{r_s} \right)^2 - 6.04 \left( \frac{r_{oef}}{r_s} \right) + 0.52 = 0$$

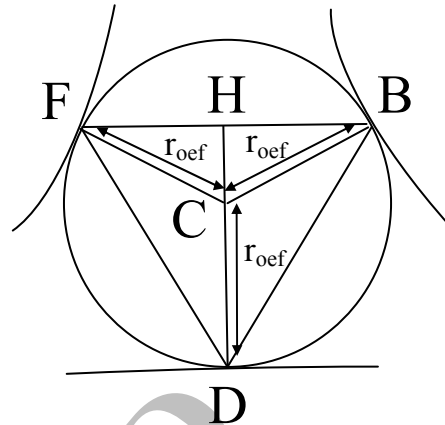
( )

( )

$$r_{oef} = 0.1 r_s \Rightarrow d_{oef} = 0.1 d_s$$

( )

:d<sub>oef</sub>



( )

شکل ۶: فضای خالی موثر و نقاط تماس آن با بیضی ها.

$$x_B = HB = 0.86 r_{oef}$$

( )

بررسی تزریق پذیری خاک ها با استفاده از  
مدل ریاضی ارائه شده

$$y_B = OD + DC + HC = 0.5 r_s + r_{oef} + 0.5 r_{oef}$$

$$y_B = 0.5 r_s + 1.5 r_{oef}$$

( )

E<sub>1</sub>

:OD

(E<sub>2</sub>)

B

( ) y x

( ) ( )

E<sub>2</sub>

$$\frac{(0.86 r_{oef} - r_s)^2}{r_s^2} + \frac{(0.5 r_s + 1.5 r_{oef} - 0.86 r_s)^2}{\left(\frac{r_s}{2}\right)^2} = 1$$

( )

( )

جدول ۲: قطر فضای خالی موثر برای حالت‌های مختلف شکل و نحوه قرارگیری ذرات خاک.

○		[10] ○		
0.1	0.27	0.15	0.41	

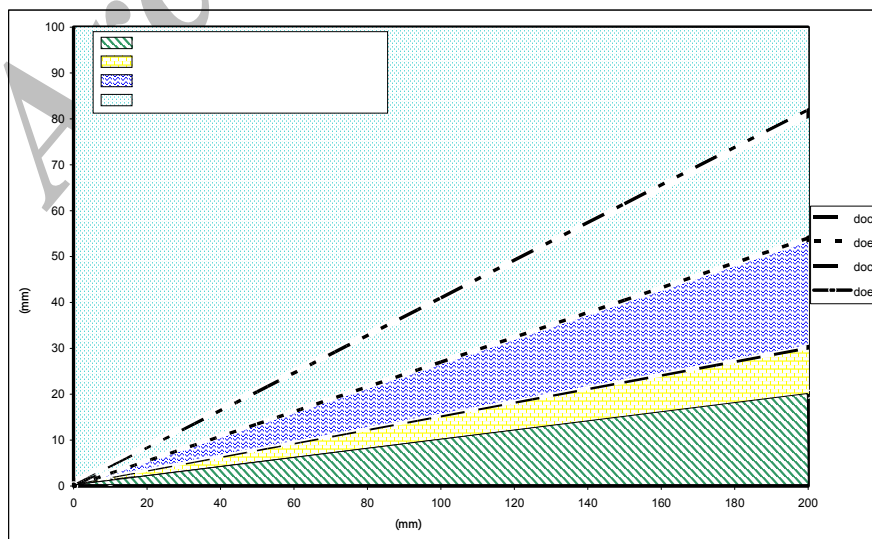
( )

( )

جدول ۳: دسته بندی کیفیت عملیات تزریق بر اساس رابطه بین بزرگترین ذرات معلق آمیزه تزریق و قطر فضاهای خالی بین ذرات خاک در حالت‌های مختلف.

$d_{\max(\text{grout})} < d_{\text{odef}}$	( )
$d_{\text{odef}} < d_{\max(\text{grout})} < d_{\text{ocf}}$	( )
$d_{\text{ocf}} < d_{\max(\text{grout})} < d_{\text{oe}}$	( )
$d_{\text{oe}} < d_{\max(\text{grout})}$	( )

$d_{\max(\text{grout})}$ :



شکل ۷: قطر فضای خالی موثر و محدوده بزرگترین ذرات معلق آمیزه تزریق در ایجاد کیفیت های مختلف تزریق برای اندازه های مختلف خاک.





( ) ( ) ( )

) ( ) [ ] ( )

) G1 ( ) D<sub>10(Soil)</sub>

G5 (No.10 )

[ ] ( )

$$0.1 D_{10(Soil)} < d_{100(Grout)} < 0.15 D_{10(Soil)}$$

$$\frac{7 D_{10(Soil)}}{D_{10(Soil)}} < \frac{D_{10(Soil)}}{d_{100(Grout)}} < \frac{10 D_{10(Soil)}}{D_{10(Soil)}}$$

$$7 < \frac{D_{10(Soil)}}{d_{100(Grout)}} < 10$$

G1 ( )

G5 ( ) ( )

( )

D<sub>10(Soil)</sub> 7 < GR < 10 ( )

(d<sub>100(Grout)</sub>) ( ) ( )

( ) ( ) ( )

( ) 4 < GR < 7 ( )

GR < 4 ( )

( )

) 1.5cm ( 0.15 cm

مطالعه موردی و مقایسه ای

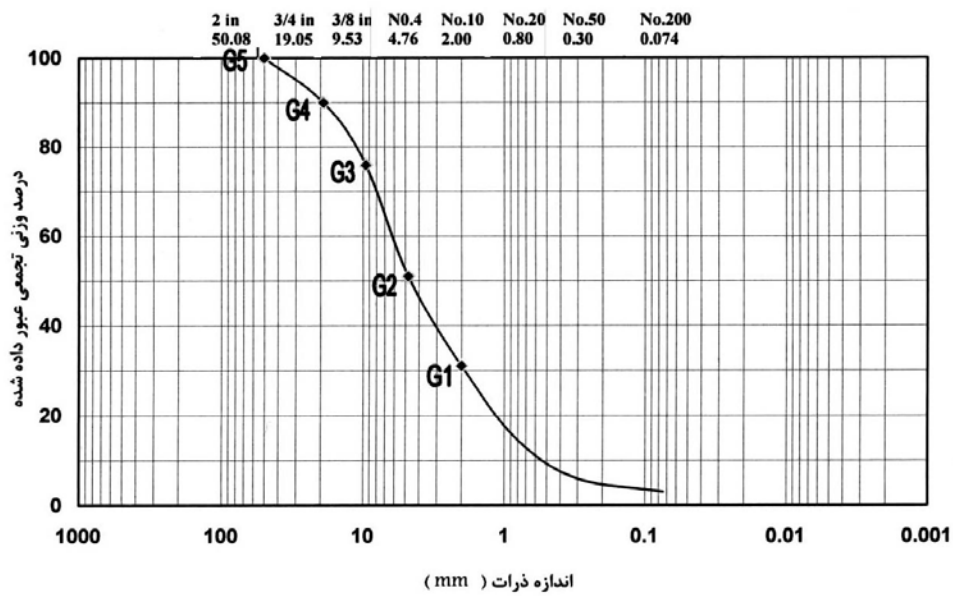
جدول ۴: کیفیت عملیات تزریق بر اساس تغییرات نسبت تزریق پذیری.

10 < GR	( )
7 < GR < 10	( )
4 < GR < 7	( )
GR < 4	( )

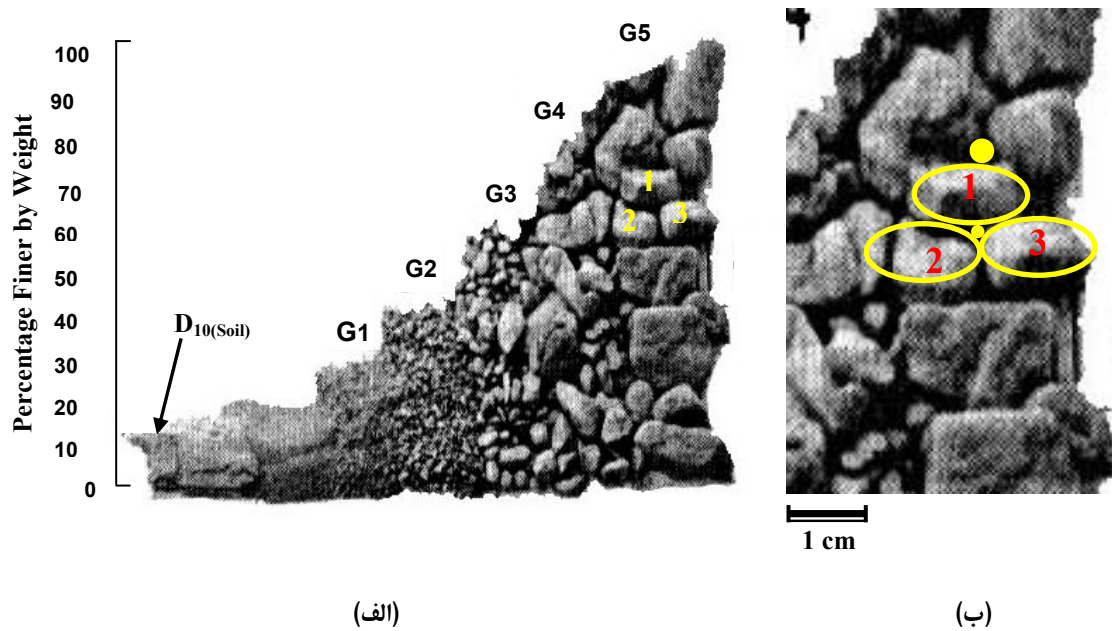
( )

( )

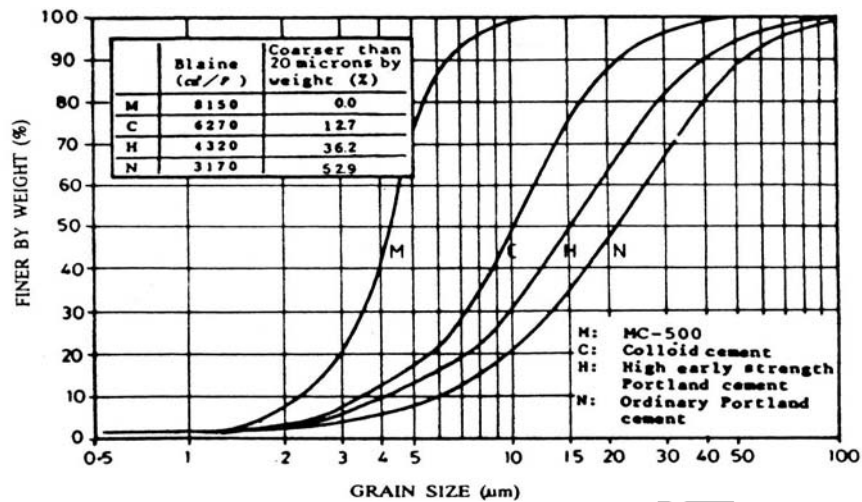
MC-500



شکل ۸: منحنی دانه بندی مورد استفاده جهت تعیین نسبت تزریق پذیری [۱۴].



شکل ۹: الف- شکل شماتیکی دانه بندی خاک مورد استفاده را به تفکیک گروه ۵ گانه نشان می دهد [۱۵]  
ب- بررسی مدل ریاضی ارائه شده بر روی نمونه خاک.



شکل ۱۰: دانه بندی سیمانهای مورد استفاده جهت تعیین نسبت تزیق پذیری [۱۶].

جدول ۵: مقایسه نسبتهای تزیق پذیری پیشنهاد شده توسط محققین مختلف.

مقدار عددی نسبت تزیق پذیری و کیفیت عملیات تزیق						اندازه ذرات مختلف خاک (mm)		اندازه های مختلف ذرات سیمان (mm)												نام محققین
								سیمان معمولی				سیمان کلوییدی				سیمان MC-500				
تزیق با سیمان معمولی		تزیق با سیمان کلوییدی		تزیق با سیمان MC-500		D <sub>10</sub>	D <sub>15</sub>	d <sub>85</sub>	d <sub>90</sub>	d <sub>95</sub>	d <sub>100</sub>	d <sub>85</sub>	d <sub>90</sub>	d <sub>95</sub>	d <sub>100</sub>	d <sub>85</sub>	d <sub>90</sub>	d <sub>95</sub>	d <sub>100</sub>	
B	10	T	25	T	78	0.55	-	-	.055	-	-	-	.022	-	-	-	.007	-	-	سرن [9]
M	19	T	50	T	141	-	0.85	.045	-	-	-	.017	-	-	-	.006	-	-	-	بورول [5]
M	19	T	50	T	141	-	0.85	.045	-	-	-	.017	-	-	-	.006	-	-	-	هندرون [3]
M	13	T	34	T	106	-	0.85	-	-	.062	-	-	-	.025	-	-	-	-	.008	میچل [7]
M	9	T	22	T	69	0.55	-	-	-	.062	-	-	-	.025	-	-	-	-	.008	کینگ [6]
B	8	T	17	T	71	-	0.85	-	-	-	0.1	-	-	-	.05	-	-	-	.012	شرارد [8]
M	5	T	11	T	46	0.55	-	-	-	-	0.1	-	-	-	.05	-	-	-	.012	مجدی-ظهیری

( ) :T  
 ( ) :B  
 ( ) :M

( )

( )

( )

نتیجه گیری

---

( )

( )

### مراجع

- 1 - Cambefort, H. (1951). "Foliate gravelly alluvium with opened structure." (In French). *Proceedings of the Fourth Conference on Large Dams* New Delhi, Vol. IV, PP. 434-452.
- 2 - Cambefort, H. (1977). "The principels and applications of grouting." *Q. J. Eng. Geol.*, Vol. 10 PP. 57-95.
- 3 - Hendron, J. and Lenahan, T. (1976). "Grouting in soils." *Vol. 2: Design and Operations Manual Federal Highway Administration Halliburton Services Duncan Oklahoma Technical Report.*
- 4 - Akbulut, S. and Saglamer, A. (2002). "Estimating the groutability of granular soils." *Tunnelling and underground space technology.* Vol. 17, PP. 371-380.
- 5 - Burwell, E. B. (1958). "Cement and clay grouting of foundations." *Practice of the Corps of Engineering. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE.* Vol. 84 PP.1551/1-1551/22.
- 6 - King, J. C. and Bush, E. G. W. (1961). "Symposium on grouting, grouting of granular materials." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE .* Vol. 87 (SM2).
- 7 - Mitchell, J. K. (1970). "In-place treatment of foundation soils." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE.* Vol. 96, No. 1, PP. 73-110.

- 
- 8 - Sherard, J. L. and Dunningan, L. P. (1984). "Basic properties of sand and gravel filters." *J. G. ASCE* New York Vol. 110, No. 6, PP. 684-750.
- 9 - Incecik, M. and Ceren, I. (1995). *Cement grouting model tests*. Bulletin of the Technical University of Istanbul Istanbul Vol. 48, No. 2, PP. 305-317.
- 11 - Budhu, M. (2000). *Soil Mechanics & foundation*. John Wiley & Sons Inc., PP. 586.
- 12 - Das, M. B. (1990). *Advanced soil mechanics*. Mc Graw-Hill Book CO. PP.511.
- 14 - Majdi, A. and Aalee, A. R. (2002 ). "Effect of cementitious grouts on strength properties of alluvial deposits." *4<sup>th</sup> International Conference on Ground Improvement Techniques*, Kuala Lumpur Malaysia, PP. 497-504.
- 16- Bell, A. L. (1992). *Grouting in the ground*. Thomas Telford London, PP.658.

Archive of SID