



## استفاده از روش ESWM به منظور تخمین ضخامت لایه کدر ورودی به مخزن سد دز

حمید خاکزاد<sup>۱</sup>، دکتر ابراهیم جباری<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

khakzad@civileng.iust.ac.ir

### خلاصه

جریانهای گل آلود یک نوع از جریانهای غلیظ هستند که غالباً به وسیله حجم های زیاد رسوبات که به داخل کانالها وارد می شوند و یا طغیانهای شدید با قابلیت حمل رسوبات زیاد در رود که تراکم و یکپارچگی خود را نگه می دارند و در بستر باقی می مانند، تولید می شوند. به علت غلظت بالای رسوبات ناشی از جریانهای گل آلود، بخش عمده ای از این رسوبات، بسته به شیب بستر و دبی جریان، در بستر رود حرکت کرده و رسوب گذاری قابل ملاحظه ای را در مخزن سد ایجاد می کنند. در مطالعات زمین شناسی معمولاً از دو مدل Suspension balance model (SBN) و Extend shallow water model (ESWM) در مطالعات رسوب گذاری استفاده می شود. مدل ESWM در مقایسه با SBN دارای پیچیدگی کمتری است و برای مدل سازی جریانهای کم عمق با غلظت پائین استفاده می شود. به جهت سهولت استفاده از مدل ESWM و انطباق مناسب نتایج حاصل از این مدل با داده های میدانی (Middleton and Southard and Neal 1989, Bonnetcaze et al. 1995)، معمولاً برای تخمین اولیه از ابعاد رسوب گذاری، از این مدل استفاده می شود. این مدل با توجه به میزان ضریب بدون بعد تسلسل (Ne) و ضریب بدون بعد اصطکاک (Nf) به چهار مدل: NFNE, SFNE, SFSE, NFSE (negligible friction and significant entrainment) تقسیم می شود. در هر یک از این مدلها میزان ضخامت لایه کدر ناشی از جریان گل آلود بر اساس تابعی از غلظت، سرعت سقوط ذرات، ضریب تسلسل، ... به دست می آید. در این مقاله رژیم جریان گل آلود ورودی به مخزن سد دز از نوع مدل NFNE شناسایی شد و نتایج حاصل از این مدل با داده های میدانی مقایسه گردید.

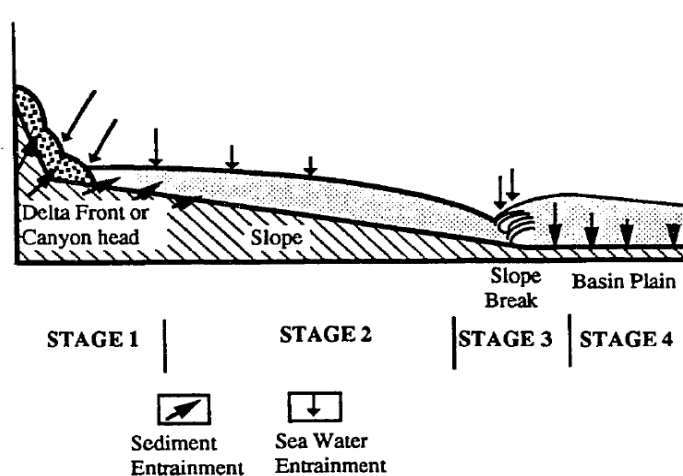
کلمات کلیدی: جریان گل آلود، ESWM، ضخامت لایه کدر، سد دز

### مقدمه

جریان گل آلود از یک جبهه یا نوک پیش رونده به داخل سیال محیط خود تشکیل یافته است که بوسیله یک بدنه ای دنبال می شود. نیروی محرک و جلو برنده برای یک جبهه جریان در اصل، گرادیان فشار می باشد که ناشی از اختلاف چگالی بین جبهه جریان و سیال محیط اطراف خود است، در این حالت جریان، غیر دائمی است. مراحل تکاملی جریان گل آلود را میتوان به چهار بخش تقسیم کرد: (۱) مرحله غیر دائمی اولیه (۲) مرحله دائمی (۳) مرحله پرش هیدرولیکی (۴) مرحله غیر دائمی نهایی در مرحله غیر دائمی اولیه، حرکت جریان گل آلود تند شونده است و علاوه بر اینکه سیال رقیق محیطی، با منبع ثابت ایجاد جریان گل آلود مخلوط می شود، به فرسایش بستر نیز می پردازد. (parker, ۱۹۸۰) در مرحله دوم، حرکت تند شونده جریان به جریان دائمی و یکنواخت تبدیل شده و فرسایش بستر کاهش می یابد.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد  
<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه

هنگامی که جریان در مرحله دوم به فوق بحرانی رسید، پرش هیدرولیکی رخ می دهد. در آخرین مرحله جریان حرکت جریان گل آلود کند شونده است و جریان گل آلود به رسوب گذاری در بستر می پردازد.



شکل ۱- مراحل تکاملی جریان گل آلود

مدل ESEM متمرکز بر مرحله دوم که جریان یکنواخت و دائمی می باشد، است. در این مدل از معادلات جریان کم عمق به منظور تخمین ضخامت لایه کدر استفاده شده است. در معادلات جریان کم عمق تاثیر تسلسل سیال محیطی، اصطکاک کف و شناوری و سقوط ذرات در نظر گرفته شده است. در این مقاله هدف اصلی استفاده از روابط جریان کم عمق، تخمین ضخامت لایه کدر در یک سطح شیبدار می باشد. در ادامه روابط حاکم بر جریانهای کم عمق ارائه شده و نحوه استخراج روابط ESWM از این معادلات بیان می گردد. سپس نحوه استفاده از این روابط در تخمین ضخامت لایه کدر سد دز بیان و نتایج با اندازه گیریهای میدانی مقایسه شده است.

### معادلات حاکم در روش ESWM

در مرحله دوم تکاملی جریان گل آلود که در آن جریان یکنواخت و دائمی می باشد، شتاب عمودی ناچیز است و می توان جریان را دو بعدی در نظر گرفت. در این مرحله که جریان گل آلود مسافت زیادی را نیز طی می کند، فرض می شود که غلظت ذرات کم و توزیع فشار در جهت عمودی هیدرواستاتیکی باشد. مدل ESWM متمرکز بر همین مرحله است. معادلات مدل ESWM شامل سه معادله تفاضلی است که از معادلات پیوستگی و معادلات ناویر-استوکس استخراج شده است. معادله اول بیان کننده تغییرات ضخامت این جریان می باشد:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (uh) = E|u| \quad (1)$$

که در آن  $u$  بردار سرعت موازی کف بستر و  $\nabla$  گرادیان دو بعدی و  $E$  ضریب تسلسل است که تابع عدد ریچاردسون می باشد.

$$R_i = g_0 (\cos \theta) \frac{\phi h}{u^2} \quad (2)$$

در معادله دوم میزان تغییرات ممان در طی جریان از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t} + \nabla \cdot (uuh) + \frac{1}{2} g_0 \cos \theta \nabla (\phi h^2) = g_0 \sin \theta \phi h e_x - \frac{1}{2} C_f |u| u \quad (3)$$

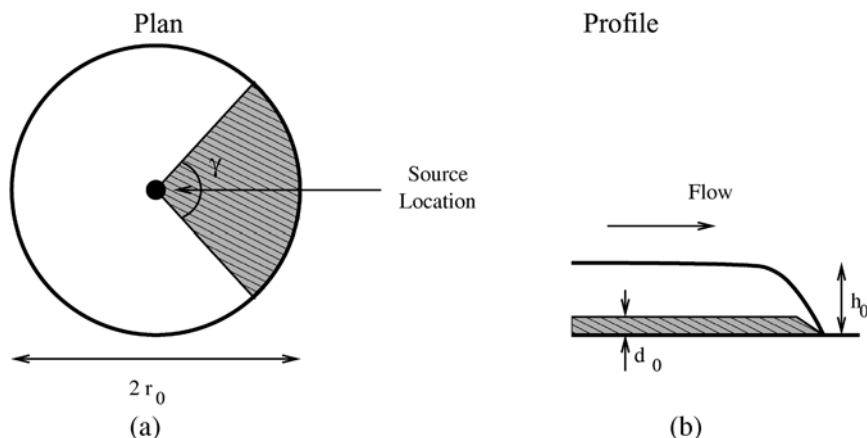
در این رابطه  $\phi$  تابع غلظت ذرات است و  $e_x$  بردار واحد در جهت شیب  $x$  است. معادله سوم بیان کننده بقاء حجم ذرات است و نشان می دهد که میزان تغییرات حجم ذرات وابسته به جابجایی ذرات توسط جریان و ته نشینی آنها می باشد.

$$\frac{\partial (\phi h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\phi uh) = -v_s \phi \quad (4)$$

میزان ضخامت لایه کدر نیز از این رابطه تعیین می شود:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = \frac{v_s \phi}{(1-\varepsilon)} \quad (5)$$

که در آن  $\varepsilon$  میزان تخلخل است. در معادله ۵ از اثر هیدرودینامیکی ذرات رسوب بر یکدیگر چشم پوشی شده است.



شکل ۲- شکل شماتیک حرکت جریان گل آلود بر روی یک سطح صاف (a) پلان؛ (b) پروفیل

در روش ESWM میزان متغیر تخمین زده شده را با اندیس 0 نشان می دهیم به طور مثال  $r_0$  نشان دهنده تخمینی از مقدار  $r$  واقعی است. حال اگر مقادیر بی بعد  $r_D, t_D, h_D, u_D, \phi_D$  را در روابط ۱، ۳، ۴ وارد کنیم به معادلات زیر خواهیم رسید:

$$r_D = \frac{r}{r_0}, t_D = \frac{t}{t_0}, h_D = \frac{h}{h_0}, u_D = \frac{u}{u_0}, \phi_D = \frac{\phi}{\phi_0} \quad (6)$$

$$\frac{\partial h_D}{\partial t_D} + D_1 \frac{1}{r_D} \frac{\partial (r_D u_D h_D)}{\partial r_D} = D_2 u_D \quad (7)$$

$$\frac{\partial (u_D h_D)}{\partial t_D} + D_1 \frac{1}{r_D} \frac{\partial (r_D u_D^2 h_D)}{\partial r_D} + \frac{D_3}{2} \frac{\partial (\phi_D h_D^2)}{\partial r_D} = -D_4 u_D^2 \quad (8)$$

$$\frac{\partial (\phi_D h_D)}{\partial t_D} + D_1 \frac{1}{r_D} \frac{\partial (r_D \phi_D u_D h_D)}{\partial r_D} = -D_5 \phi_D \quad (9)$$

که اعداد بی بعد  $D_1$  تا  $D_5$  از روابط زیر به دست می آیند:

$$D_1 = \frac{u_0 t_0}{r_0} \quad (10)$$

$$D_2 = \frac{E u_0 t_0}{h_0} \quad (11)$$

$$D_3 = \frac{g_0 \phi_0 t_0 h_0}{2 u_0 r_0} \quad (12)$$

$$D_4 = \frac{C_f u_0 t_0}{2 h_0} \quad (13)$$

$$D_5 = \frac{v_s t_0}{h_0} \quad (14)$$



**معرفی مدل NFNE(negligible friction and negligible entrainment)**

هنگامی که میزان ضریب تسلسل برابر صفر باشد میزان ضریب بی بعد  $D_2$  برابر صفر خواهد بود و زمانی که ضریب اصطکاک برابر صفر باشد  $D_4$  صفر است. در این حالت  $D_1 \sim D_3 \sim 1$  و برای تعیین میزان ضخامت لایه کدر می باید معادله زیر حل شود:

$$D_1 = D_3 = D_5 = 1 \quad (15)$$

**معرفی مدل NFSE(negligible friction and significant entrainment)**

اگر میزان ضریب تسلسل صفر نباشد،  $D_1 \sim D_2 \sim 1$  و برای تعیین میزان ضخامت لایه کدر می باید معادله زیر حل شود:

$$D_1 = D_2 = D_3 = D_5 = 1 \quad (16)$$

**معرفی مدل SFNE(significant friction and negligible entrainment)**

هنگامی که میزان ضریب تسلسل برابر صفر باشد میزان ضریب بی بعد  $D_2$  برابر صفر خواهد بود. در این مدل چون ضریب اصطکاک برابر صفر نیست،  $D_3 = D_4 \gg 1$  برای تعیین ضخامت لایه کدر باید معادلات زیر حل شوند:

$$D_1 = D_5 = 1, D_3 = D_4 \quad (17)$$

**معرفی مدل SFSE(significant friction and significant entrainment)**

در این مدل چون میزان ضریب تسلسل و اصطکاک صفر نیست،  $D_3 = D_4, D_2 = D_1 = 1$  برای تعیین ضخامت لایه کدر باید معادلات زیر حل شوند:

$$D_1 = D_2 = D_5 = 1, D_3 = D_4 \quad (18)$$

جدول ۱- حرکت جریان بر روی یک سطح شیبدار

	Without entrainment	With entrainment
Without friction	$x_0 \sim \left(\frac{g_0^3 V^4 \sin^5 \theta}{v_s^6 \cos^8 \theta}\right)^{1/9}$ $y_0 \sim \left(\frac{V \cos \theta}{\sin \theta}\right)^{1/3}$ $h_0 \sim \left(\frac{V^2 v_s^6 \cos^5 \theta}{g_0^3 \sin^2 \theta}\right)^{1/9}$ $d_0 \sim \left(\frac{V^2 \phi_{in}^9 v_s^6 \cos^5 \theta}{(1-\varepsilon)^3 g_0^3 \sin^2 \theta}\right)^{1/9}$	$x_0 \sim \left(\frac{2Eg_0^2 \sin^3 \theta V^2}{v_s^4 \cos^5 \theta}\right)^{1/4}$ $y_0 \sim \left(\frac{E^3 g_0^2 \sin \theta V^2}{2v_s^4 \cos^3 \theta}\right)^{1/4}$ $h_0 \sim \left(\frac{2E^5 g_0^2 \sin^3 \theta V^2}{v_s^4 \cos^5 \theta}\right)^{1/4}$ $d_0 \sim \left(\frac{v_s^2 \cos^2 \theta \phi_{in}}{E g_0 \sin \theta (1-\varepsilon)}\right)$ $\phi_0 \sim \left(\frac{v_s^{12} \cos^{13} \theta}{2E^9 g_0^6 \sin^7 \theta V^2}\right)^{1/4}$
With friction	$\frac{E\phi_{in}x_0}{d_0} \ll 1, \frac{C_f x_0}{2h_0} \ll 1$ $x_0 \sim \left(\frac{4g_0 V^2 \sin^2 \theta}{C_f v_s^2 \cos^3 \theta}\right)^{1/5}$ $y_0 \sim \left(\frac{V \cos \theta}{2 \sin \theta}\right)^{1/3}$ $h_0 \sim \left(\frac{C_f^3 V^4 v_s^6 \cos^4 \theta}{2g_0^3 \sin \theta}\right)^{1/15}$ $d_0 \sim \left(\frac{C_f^3 V^4 \phi_{in}^{15} v_s^6 \cos^4 \theta}{2(1-\varepsilon)^{15} g_0^3 \sin \theta}\right)^{1/15}$ $\frac{E\phi_{in}x_0}{d_0} \ll 1, \frac{C_f x_0}{2h_0} \gg 1$	$\frac{E\phi_{in}x_0}{d_0} \sim 1, \frac{C_f x_0}{2h_0} \ll 1$ $x_0 \sim \left(\frac{8E^3 g_0^2 \sin^3 \theta V^2}{C_f^2 v_s^4 \cos^5 \theta}\right)^{1/4}$ $y_0 \sim \left(\frac{2E^5 g_0^2 \sin^3 \theta V^2}{C_f^2 v_s^4 \cos^3 \theta}\right)^{1/4}$ $h_0 \sim \left(\frac{8E^7 g_0^2 \sin^3 \theta V^2}{C_f^2 v_s^4 \cos^5 \theta}\right)^{1/4}$ $d_0 \sim \left(\frac{C_f v_s^2 \cos^2 \theta \phi_{in}}{2E^2 g_0 \sin \theta (1-\varepsilon)}\right)$ $\phi_0 \sim \left(\frac{C_f^6 v_s^{12} \cos^{13} \theta}{128E^{15} g_0^6 V^2 \sin^7 \theta}\right)^{1/4}$ $\frac{E\phi_{in}x_0}{d_0} \sim 1, \frac{C_f x_0}{2h_0} \gg 1$

### نحوه انتخاب مدل مناسب

در یک جریان گل آلود وجود یا عدم وجود ضریب تسلسل و اصطکاک، با کمک دو عدد بی بعد  $N_f$  و  $N_E$  انجام می گیرد.

$$N_f = \frac{D_4}{D_1} = \frac{C_f r_0}{2h_0} \quad (19)$$

اگر  $N_f > 1$  می باید اصطکاک را در نظر گرفت.

$$N_E = D_2 = \frac{Eu_0 t_0}{h_0} \quad (20)$$

اگر  $N_E \sim 1$  می باید ضریب تسلسل را در نظر گرفت.

پیش بینی رژیم جریان معمولاً با سعی و خطا انجام می گیرد و باید مراحل زیر طی گردد:

(۱) یکی از چهار مدل  $NFSE, NFNE, SFNE, SFSE$  انتخاب گردد.

(۲) بر اساس نوع مدل مقادیر  $r_0$  و  $d_0$  تعیین شود.

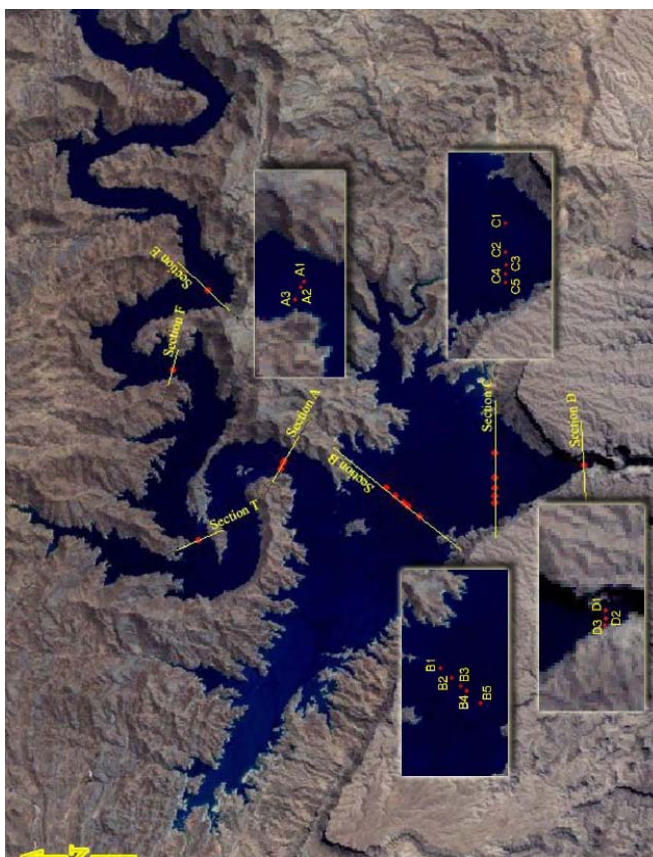
(۳) اعداد بی بعد  $N_f$  و  $N_E$  محاسبه گردد.

(۴) اگر مقادیر  $N_f$  و  $N_E$  مطابق با نوع رژیم جریان باشد مدل صحیح است در غیر این صورت می باید مدل دیگری انتخاب شود.

### استفاده از روش ESWM در تخمین ضخامت لایه کدر ورودی به مخزن سد دز

سد دز در استان خوزستان و در نزدیکی شهرستان اندیمشک قرار دارد. محدوده بررسی جریان گل آلود در مخزن این سد و در حد فاصل طول های جغرافیایی  $36^{\circ}98'00''N$  تا  $36^{\circ}21'30''N$  و عرض های  $50^{\circ}25'E$  تا  $10^{\circ}26'71'E$  واقع شده است. محدوده مطالعات در شکل نمایش داده شده است.

جدول ۱- ایستگاههای اندازه گیری جریان گل آلود



شکل ۳- ایستگاههای اندازه گیری جریان گل آلود

EASTING (m)	NORTHING (m)	نام ایستگاه	مقطع
۲۶۲,۰۶۰	۳,۶۱۷,۲۹۰	A <sup>۱</sup>	A
۲۶۲,۰۰۵	۳,۶۱۷,۳۱۵	A <sup>۲</sup>	
۲۶۱,۸۸۰	۳,۶۱۷,۳۷۰	A <sup>۳</sup>	
۲۶۱,۴۶۰	۳,۶۱۵,۰۱۵	B <sup>۱</sup>	B
۲۶۱,۲۷۰	۳,۶۱۴,۸۰۵	B <sup>۲</sup>	
۲۶۱,۱۲۰	۳,۶۱۴,۶۴۰	B <sup>۳</sup>	
۲۶۱,۰۲۵	۳,۶۱۴,۵۳۰	B <sup>۴</sup>	
۲۶۰,۷۹۵	۳,۶۱۴,۲۷۰	B <sup>۵</sup>	
۲۶۲,۲۴۰	۳,۶۱۲,۶۰۵	C <sup>۱</sup>	C
۲۶۱,۶۹۰	۳,۶۱۲,۶۰۵	C <sup>۲</sup>	
۲۶۱,۴۴۰	۳,۶۱۲,۵۹۵	C <sup>۳</sup>	
۲۶۱,۲۷۵	۳,۶۱۲,۶۰۰	C <sup>۴</sup>	
۲۶۱,۱۰۵	۳,۶۱۲,۶۰۵	C <sup>۵</sup>	
۲۶۱,۸۲۵	۳,۶۱۰,۶۳۵	D <sup>۱</sup>	D
۲۶۱,۹۵۰	۳,۶۱۰,۶۳۰	D <sup>۲</sup>	
۲۶۲,۱۰۵	۳,۶۱۰,۶۳۰	D <sup>۳</sup>	
۲۶۵,۹۳۰	۳,۶۱۸,۹۹۵	E	E
۲۶۴,۱۱۵	۳,۶۱۹,۷۵۵	F	F
۲۶۰,۲۷۵	۳,۶۱۹,۱۹۰	T	T



با توجه به اندازه گیریهای میدانی اندازه ذرات برابر ۱۰۰ میکرون و چگالی ویژه آنها برابر ۲/۶ در نظر گرفته شد. سرعت سقوط ذرات با استفاده از رابطه استوکس برابر:

$$v_s = \frac{(\rho_p - \rho_a)gd_p^2}{18\mu} = 0.01 m/s \quad (21)$$

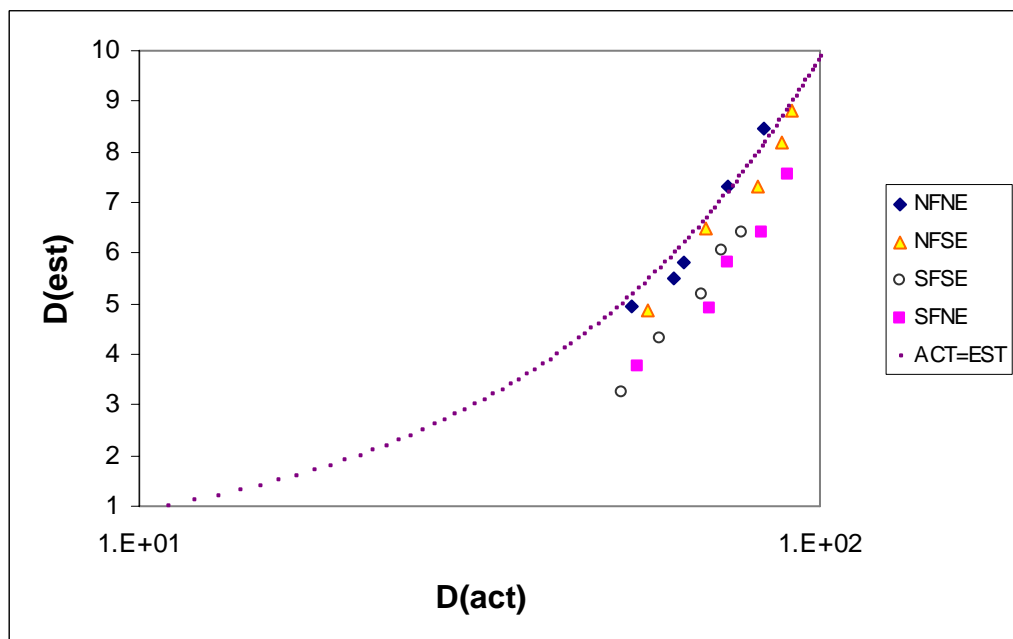
میزان ضریب تسلسل از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$E = \frac{0.075}{(1 + 718 R_i^{2.4})^{0.5}} \quad (22)$$

با توجه به اینکه میزان  $R_i \cong 1$  است، میزان  $E = 0.0028$  می باشد. در استفاده از این مدل میزان ضریب اصطکاک کف برابر  $C_f = 0.005$  و با توجه به اینکه میزان غلظت ذرات ورودی به مخزن سد بین ۵ تا ۱۵ درصد است میزان  $\phi_{in} = 0.1$  در نظر گرفته شده است.

### نتایج

با استفاده از روابط جدول ۱ و سعی و خطا، تطابق بهتری بین مدل NFNE با اندازه گیریهای میدانی مشاهده شد ( $N_f = 0.09$  و  $N_E = 0.12$ ). در نمودار نیمه لگاریتمی زیر مقایسه ای بین نتایج چهار مدل در مقطع B، انجام شده است.



شکل ۴- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده با مدل ۴

### نتیجه گیری

روش ESWM یک روش سریع و ساده جهت تخمین اولیه ابعاد هندسی رسوب گذاری چریان گل آلود می باشد. تطابق مناسب نتایج این روش با داده های میدانی سد دز نشان دهنده درستی فرضیات به کار رفته در استخراج روابط این روش و توانایی آن به منظور تخمین ابعاد هندسی رسوب گذاری ناشی از جریانهای گل آلود می باشد.

### قدردانی

از مساعدت لازم مرکز تحقیقات آب خوزستان و شرکت مهندسین مشاور دز آب، کمال تشکر و قدردانی می گردد.

### مراجع



1. Bonnecaze RT, Hallworth MA, Huppert HE, Lister JR (1995) Axisymmetric particle-driven gravity currents. *J Fluid Mech* 294:93–121
2. Middleton GV, Neal WJ (1989) Experiments on the thickness of beds deposited by turbidity currents. *J Sediment Petrol* 59:297–307
3. Parker G (1982) Conditions for the ignition of catastrophically erosive turbidity currents. *J Fluid Mech* 46:307–327
4. Parker G, Fukushima Y, Pantin HM (1986) Self-accelerating turbidity currents. *J Fluid Mech* 171:145–181
5. Parker G, Garcia MH, Fukushima Y, Yu W (1987) Experiments on turbidity currents over an erodible bed. *J Hydr Res* 25:123–147
6. Sparks RSJ, Bonnecaze RT, Huppert HE, Lister JR, Mader H, Phillips J (1993) Sediment-laden gravity currents with reversing buoyancy. *Earth Planet Sci Lett* 114:243–257
7. Walker RG (1992) Turbidites and submarine fans. In: Walker RG, James NP (eds) *Facies models—Response to sea level change*. Geological Association of Canada, St John's, Nfld, pp 239–263