

# پیش بینی نشست سطح زمین در اثر استخراج لایه های زغال سنگ با استفاده از توابع ریاضی

عباس مجدی

استادپار دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

amajdi@ut.ac.ir

آوات قم قلعه

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

ghomghale@bim.ir

(تاریخ دریافت ۸۴/۴/۱۸، تاریخ تصویب ۸۴/۱۱/۲۹)

## چکیده

نشست در معدن بمعنی بوجود آمدن اختلاف ارتفاع سطح طبیعی زمین در اثر استخراج منابع زیرزمینی می باشد. یکی از روشهای متداول استخراج زیرزمینی استفاده از روش جبهه کار طویل است. در این مقاله با استفاده از مدل ریاضی دو روش برای پیش بینی نشست در سطح زمین بالای جبهه کار طویل پیشنهاد شد. تاثیر پارامترهایی چون طول جبهه کار طویل، زاویه تاثیر، زاویه اصطکاک داخلی لایه های بالای سقف و ضخامت لایه استخراجی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که با کاهش زاویه تاثیر و افزایش طول جبهه کار طویل، ضخامت لایه استخراجی و زاویه اصطکاک داخلی مقدار نشست احتمالی اضافه می شود. اما این افزایش نشست نسبت به ضخامت استخراجی دارای رابطه خطی و حال اینکه نسبت به طول جبهه کار طویل و زاویه تاثیر رابطه غیر خطی دارد. افزایش نشست نسبت به طول جبهه کار طویل دارای حدی است که بعد از آن حتی با افزایش طول جبهه کار مقدار نشست ثابت باقی می ماند.

واژه های کلیدی: نشست، جبهه کار طویل، تابع ریاضی نشست

## مقدمه

نشست سطح زمین بالای سقف استخراجی از محاسن این روش نسبت به روش استخراج اطاق و پایه می باشد. شناخت و ارزیابی تاثیر پارامترهای مختلف در پیش بینی نشست حائز اهمیت است. اشمیت [۲] با جمع آوری داده ها از منابع مختلف نشان داد که شکل نیمرخ های دوبعدی نشست شبیه به منحنی توزیع نرمال گوس می باشد مشروط بر اینکه نسبت  $\frac{L}{H}$  در استخراج جبهه کار طویل کوچکتر از یک باشد، بطوریکه  $L =$  عرض دیواره استخراجی و  $H =$  ضخامت روباره و یا عمق لایه استخراجی میباشد. اگر این نسبت بزرگتر از یک باشد تمایل کشیدگی در شکل نیمرخ ها آنها را به تابع هارمونی تقریب میسازد [۳]. منحنی توزیع نرمال گوس بعدها بوسیله پژوهشگران مختلف نیز مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت [۴، ۵، ۶، ۷]. شکل نیمرخ های دو بعدی نشست بموازات سینه کار فعالیت و عمود بر پیشروی و در امتداد محور طولی پیشروی اکثرا شبیه به نیمرخ های نشست در

نشست سطح زمین در معادن بر حسب روش معدنکاری متفاوت بوده و پدیده ای غیر قابل اجتناب و درعین حال قابل پیش بینی است. در روشهای استخراج کامل معادن لایه ای، رها نمودن سقف بدون سیستم نگهداری موجب شکست و ریزش آن میگردد. هزینه های ناشی از خسارات حاصل از اینگونه شکست ها اغلب بیش از درآمدهای حاصل از استخراج کامل مواد معدنی می باشد [۱]. یکی از روشهای متداول استخراج کامل، معدنکاری بروش جبهه کار طویل است که از روشهای مهم استخراج زغال در معادن زیرزمینی می باشد. روش دیگر اطاق و پایه است که تاریخچه کاربرد آن در معادن زیرزمینی بسیار قدیمی تر و متداول تر از روش جبهه کار طویل است. اما در روش جبهه کار طویل بدلائل مختلف نظیر پیوستگی دوره استخراج، بازیافت زغال استخراجی زیادتر، عدم نیاز به تقویت سقف استخراجی و سهولت کنترل سیستم تهویه و بویژه قابلیت پیش بینی نشست

اقدام های جدی در زمینه پیش بینی نشست در معادن زغال سنگ انگلستان با شروع کار سازمان زغالسنگ آن کشور در سال های ۱۹۵۰ انجام شد [۸]. در طول سالهای ۱۹۵۷ تا ۱۹۸۴ محققین بسیاری تلاش در جهت ارائه روابط در زمینه پیش بینی نشست سطح زمین نمودند [۱۱]. در روشهای پیش بینی نشست سه روش، تجربی [۸]، تابع تاثیر [۱۲]، و تابع پروفیل [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸] مورد توجه بیشتری قرار گرفته اند. در روش تجربی برای حالت های مختلف شکل و ابعاد فضای استخراج شده، نمودار و جدول هایی تهیه شده است که براساس آن نشست سطح زمین را پیش بینی می کنند. در روش تابع پروفیل یک سری توابع استاندارد از نوع نمایی، تانژانت هیپربولیک را برای نشست در سطح زمین تعریف می کنند. این توابع از ضرائب ثابتی استفاده می کنند که میتوان آنها را بر اساس شرایط محیطی تعیین کرد. روش تابع تاثیر، نشست در سطح زمین را ناشی از نشست تمامی اجزاء کوچک تشکیل دهنده لایه های بالای فضای استخراجی میدانند. نمونه ای از روشهای ارائه شده جهت پیش بینی نشست در سطح زمین در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: برخی از روشهای ارائه شده در پیش بینی نشست.

| مرجع   | روش ارائه شده  | روش             |
|--|--|-----------------|
| NCB,1975[8]  | $\frac{S}{M} = f\left(\frac{W}{h}\right)$  | روش تجربی       |
| Knothe,1953[12]  | $f(x) = \frac{1}{r} \text{Exp}\left(-\frac{x}{r}\right)^2$   | روش تابع پروفیل |
| King and Whetton,1957[13]                                  | $S = \frac{S}{2} (1 - \tanh\left(\frac{2x}{R}\right))$   | روش تابع تاثیر  |
| Martos,1958[14]  | $S = S_{\max} \cdot \text{Exp}\left(-0.5\left(\frac{x+R}{R}\right)^2\right)$   |                 |
| Peng,1978[15]  | $S(x) = \frac{1}{2} S_0 [\tanh\left(\frac{2(x+W)}{B}\right) - \tanh\left(\frac{2x}{B}\right)]$   | روش تابع پروفیل |
| Karmis,1984[16]  | $S(x) = \frac{1}{2} S_0 [1 - \tanh\left(\frac{cx}{D}\right)]$  |                 |
| J. Torano, R. Rodriguez and P. Ramirez,2000[17]            | $S(x) = D_1 \text{Exp}\left(-\left(\frac{x-x_{o1}}{B_1}\right)^2\right) + D_2 \text{Exp}\left(-\left(\frac{x-x_{o2}}{B_2}\right)^2\right) + D_3 \text{Exp}\left(-\left(\frac{x-x_{o3}}{B_3}\right)^2\right)$ |                 |
| A. Asadi, K. Shahriar, K. Goshtashabi and K. Najm,2004[18] | $S(x) = -s_{\max} [c \text{Exp}\left(-f\left(\frac{x}{r}\right)\right)g] + d \cdot \text{Exp}\left(-p\left(\frac{x}{R}\right)\right)q + y$   | روش تابع تاثیر  |

بالای تونل های حفر شده در خاک های رسی است [۳]. از این رو بیان رابطه بین نسبت نشست حداکثر به لایه استخراجی با نسبت طول سینه کار طویل به عمق آن حائز اهمیت می باشد [۸]. در این مقاله با مطالعه عمیق مکانیزم نشست و فاکتورهای موثر بر آن، دومدل ریاضی برای پیش بینی نشست ارائه شد.

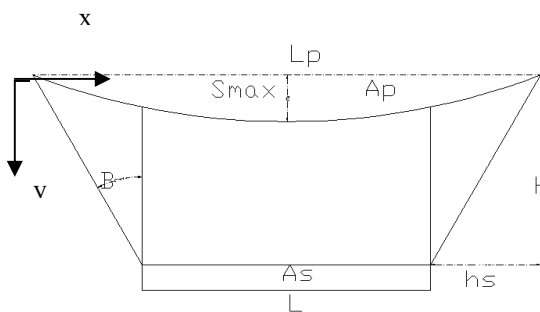
## مروری بر روشهای پیش بینی نشست

مراجع مربوط به پژوهشهای انجام گرفته در نشست با مقایسه دیگر موضوعات تحقیقاتی بسیار محدود و در عین حال پراکنده میباشد. شرط اصلی موفقیت در هر پژوهش، انتخاب روند متناسب با آن میباشد تا بدانوسیله بتوان عوامل موثر را شناسایی و ارزیابی نمود. عوامل موثر در نشست بر حسب اینکه برانگیخته از یک فرآیند طبیعی و درونی<sup>۱</sup> باشد و یا اینکه در اثر پروسه غیر طبیعی و بیرونی<sup>۲</sup> باشد [۹، ۱۰] دامنه بسیار وسیعی را بوجود می آورد که موجب استنتاج غیر یکنواخت می گردد. عوامل درونی خود دارای ریشه های مختلف و بسیار متنوع می باشند نظیر نشست های حاصل از حرکات تکتونیکی، تخلیه مواد ماگمایی، حل سنگهای آهکی، تراکم رسوبات عمیق که تاثیرات آنها اکثراً بسیار محدود بوده و در مقیاس زمانی بسیار طولانی ظاهر میگردد. برعکس، عوامل موثر بیرونی که اکثراً زائیده فعالیت های انسانی است خیلی سریع و جدی اثرات خود را ظاهر می نماید. بطوریکه استخراج سیالات از زمین نظیر استخراج آب، نفت و گاز موجب تسریع در تحکیم خاک های رسی و تراکم رسوبات و حل بسیاری از سنگها میگردد. در همه حالات تاثیرات عوامل بیرونی بصورت نتیجه حاصل از اندرکنش فعالیت های انسانی با عوامل زیست محیطی ظاهر میگردد. پژوهشگران زیادی در زمینه عوامل بیرونی و اثرات آن در تولید نشست فعالیت نموده و مقالات متعددی را ارائه کرده اند که از بین آنها فقط تعداد معدودی از مقالات منتخب و در جدول (۱) ارائه شد. پژوهش های علمی در مورد نشست برای اولین بار در سال ۱۸۲۵ در بلژیک انجام شد [۸]. در این سال کمیته ای از کارشناسان بلژیکی برای جلوگیری از زیان های ناشی از نشست سطح زمین در اثر انجام عملیات معدنکاری زیرزمینی به تحقیق در این زمینه پرداختند.

## روش ۱- محاسبه نشست بدون احتساب فاکتور افزایش حجم

اگر بدون احتساب فاکتور افزایش حجم مواد سنگی پس از شکست، نشست را محاسبه کنیم، مطابق شکل (۱)، چنین فرض می شود که حجم فضای حاصل از نشست در سطح زمین برابر با حجم فضای استخراج شده در زیر زمین است. در اینصورت اگر حجم فضای تولید شده در سطح زمین برابر با  $A_p$  و حجم فضای استخراج شده در زیر زمین برابر با  $A_s$  باشد، می توان گفت که این دو حجم و دو سطح متناظر باید با هم برابر باشند یعنی  $A_s = A_p$ . برای محاسبه نشست با استفاده از توابع ریاضی می توان تابع منحنی بر روی سطح زمین را با یک تقریب مناسب بدست آورد.

براین اساس میتوان با بکارگیری یک تابع چند جمله ای درجه ۴ وبا اعمال شرایط مرزی، تابع نشست را بصورت زیر بیان نمود (شکل ۱):



شکل ۱: نمایی از نشست احتمالی و پارامترهای آن.

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e \quad (1)$$

با اعمال شرایط مرزی اولیه برای رابطه (۱) چنین فرض می شود که در نقاط  $x = 0$  و  $x = L_p$  شیب منحنی نشست باید صفر باشد، در اینحالت می توان نوشت:

$$\frac{dy}{dx} = 4ax^3 + 3bx^2 + 2cx + d \quad (2)$$

$$x = 0 \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow d = 0 \quad (3)$$

$$x = L_p \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow 4aL_p^3 + 3bL_p^2 + 2c = 0 \quad (4)$$

در ابتدای منحنی یعنی در  $x = 0$  و در انتهای آن یعنی  $x = L_p$  منحنی، تغییرات قائم صفر است. پس باید این نقاط نیز در معادله منحنی صدق کنند یعنی:

با توجه به روشهای موجود استفاده از روشی که نسبت به سایر روشهای دیگر بتواند با پارامترهای ساده تری نشست سطح زمین را با دقت بالاتری محاسبه کند از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد. در این مقاله دو مدل ریاضی ارائه شده است که مقدار نشست حاصل از معدنکاری به روش جبهه کار را هم بدون احتساب فاکتور افزایش حجم و هم با احتساب فاکتور افزایش حجم ناشی از شکست سنگ پیش بینی می نماید.

## مکانیزم تولید نشست

در روش معدنکاری جبهه کار طویل، در اثر استخراج لایه معدنی نظیر لایه زغالسنگ و حرکت جک های هیدرولیکی برای پیشروی، سقف بلاواسطه پشت جک ها بعثت از دست دادن تکیه گاه خود و نیز در اثر شکست برشی در دولبه انتهایی سینه کار و پیلار، رها شده و در فضای استخراجی پشت جک های هیدرولیکی بر رویهم انباشته می شوند. فضای خالی در اثر شکست لایه های سقف به سمت بالا توسعه یافته و ارتفاع فضای خالی آنقدر افزایش می یابد تا اینکه تحت مقاومت کششی لایه های بالاتر، شکست متوقف و سقف نهایی پایدار گردد. افزایش حجم حاصل از شکسته شدن طبقات سقف ممکن است عامل کنترل کننده برای توقف افزایش ارتفاع شکست در فضای استخراج شده باشد.

اگر  $L$  معرف طول جبهه کار طویل و  $H$  ضخامت روباره ویا عمق کارگاه استخراج فرض گردد، حدود نشست را می توان چنین بیان نمود [۸]: اگر  $\frac{L}{H} < 1.4$  باشد طول جبهه کار تحت بحرانی، اگر  $\frac{L}{H} = 1.4$  باشد طول جبهه کار بحرانی و اگر  $\frac{L}{H} > 1.4$  باشد طول جبهه کار فوق بحرانی است بطوریکه در حالت اخیر حداکثر نشست رخ می دهد.

## پیشنهاد دوروش جدید محاسبه نشست

در این مقاله دو روش ریاضی جدید برای محاسبه نشست ارائه شده است:

روش ۱- محاسبه نشست بدون احتساب فاکتور افزایش حجم

روش ۲- محاسبه نشست با احتساب فاکتور افزایش حجم  
ذیلاً به ترتیب به بیان هر دو روش پرداخته میشود.

$$y = -16 \frac{S_{\max} x^4}{L_p^4} + 32 S_{\max} \frac{x^3}{L_p^3} - 16 S_{\max} \frac{x^2}{L_p^2} \quad (15)$$

با انتگرال گیری از این تابع در طول پروفیل نشست می توان مساحت سطح نشست را محاسبه کرد:

$$Ap = \int_0^{L_p} (-16 \frac{S_{\max} x^4}{L_p^4} + 32 S_{\max} \frac{x^3}{L_p^3} - 16 S_{\max} \frac{x^2}{L_p^2}) dx$$

$$Ap = -\frac{16 S_{\max} x^5}{5 L_p^4} + \frac{32 S_{\max} x^4}{4 L_p^3} - \frac{16 S_{\max} x^3}{3 L_p^2} \Big|_0^{L_p}$$

$$Ap = \frac{-16}{5} S_{\max} L_p + 8 S_{\max} L_p - \frac{16}{3} S_{\max} L_p$$

$$Ap = \left| -\frac{8}{15} S_{\max} L_p \right| = \frac{8}{15} S_{\max} L_p \quad (16)$$

حال می توان طول پروفیل نشست را بر حسب طول جبهه کار بصورت زیر نوشت:

$$Ap = \frac{8}{15} S_{\max} \cdot L_p = \frac{8}{15} S_{\max} (L + 2H \tan \beta) \quad (17)$$

در رابطه ۱۷،  $\beta$  زاویه تاثیر است که در شرایط مختلف فرق خواهد کرد.  $H$  عمق لایه استخراجی زغالسنگ از سطح زمین است.

مساحت سطح استخراجی را نیز می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$As = h_s \times L \quad (18)$$

بطوریکه  $h_s =$  ضخامت لایه استخراجی و  $L =$  طول جبهه کار طویل میباشد.

با مساوی قرار دادن دو رابطه ۱۷ و ۱۸ می توان حداکثرنشستی را که در سطح زمین اتفاق می افتد محاسبه کرد. در اینصورت خواهیم داشت:

$$hs.L = \frac{8}{15} S_{\max} (L + 2H \tan \beta)$$

$$S_{\max} = \frac{15}{8} \frac{hs.L}{(L + 2H \tan \beta)} \quad (19)$$

در نتیجه می توان با استفاده از تئوری حرکت فعال رانکلین زاویه تاثیر را بر حسب زاویه اصطکاک داخلی و یا زاویه مقاومت برشی محاسبه نمود. در این حالت چنین خواهیم داشت:

$$x = 0, y = 0 \rightarrow e = 0 \quad (5)$$

$$x = L_p, y = 0 \rightarrow aL_p^2 + bL_p + c = 0 \quad (6)$$

حداکثر نشست، بعلت تقارن، در وسط منحنی حاصل میگردد. با فرض حداکثر جابجایی برابر با  $S_{\max}$  می توان نوشت:

$$x = \frac{L_p}{2}, y = S_{\max} \quad (7)$$

$$S_{\max} = (a \frac{L_p^4}{16} + b \frac{L_p^3}{8} + c \frac{L_p^2}{4}) \quad (8)$$

از ترکیب روابط ۴ و ۶ و حل آنها در یک دستگاه معادلات و با حذف پارامتر  $c$  در نتیجه مقدار پارامتر  $a$  بر حسب پارامتر  $b$  بدست می آید:

$$a = -\frac{b}{2L_p} \quad (9)$$

با جایگزینی رابطه ۹ در رابطه ۴ می توان پارامتر  $c$  را بر حسب پارامتر  $b$  بدست آورد:

$$c = -\frac{bL_p}{2} \quad (10)$$

با جایگزینی روابط ۹ و ۱۰ در رابطه ۸ و نیز حل معادله حاصل مقدار پارامتر  $b$  بدست می آید:

$$-a \frac{L_p^2}{4} - \frac{bL_p}{2} - c = -\frac{4S_{\max}}{L_p^2} \quad (11)$$

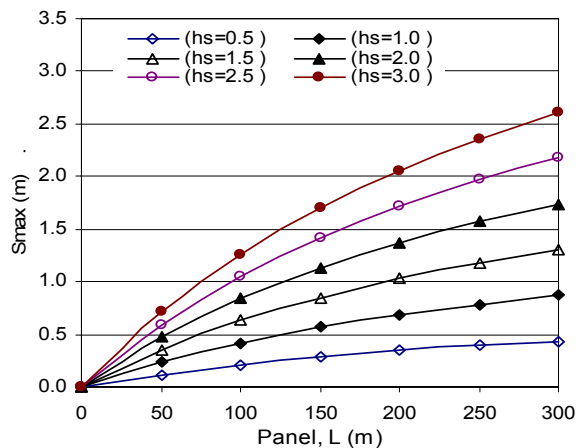
$$a = \frac{16S_{\max}}{L_p^4} \quad (12)$$

$$b = -\frac{32S_{\max}}{L_p^3} \quad (13)$$

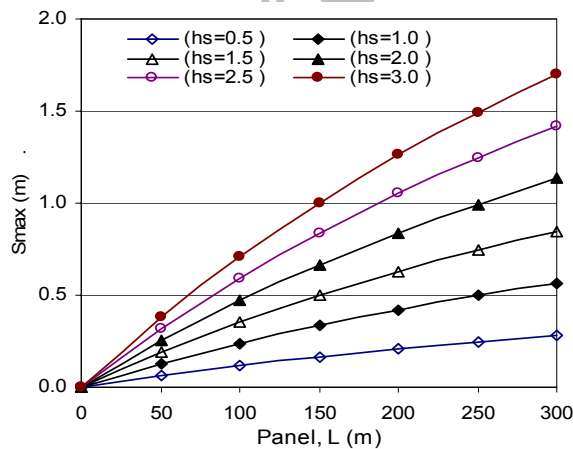
$$c = \frac{16S_{\max}}{L_p^2} \quad (14)$$

با جایگزینی ضرائب بدست آمده در معادله (۱) می توان تابع ریاضی نشست را بر حسب فاصله از ( $x = 0$ ) بصورت رابطه زیر بدست آورد:

طول جبهه کار طویل بدون احتساب فاکتور افزایش حجم حاصل از مواد سنگی شکسته می باشد. بامقایسه شکل های (۲) و (۳) و نیز (۴) و (۵) علاوه بر نتیجه گیریهای فوق اختلاف مقادیر نشست در اعماق مختلف قابل توجه می باشد. بطوریکه مقدار نشست در عمق ۳۰۰ متری (شکل ۲) بمراتب بیشتر از مقدار نشست در عمق ۶۰۰ متری می باشد (شکل ۳). در صورتیکه شرایط زاویه تاثیر یکسان در نظر گرفته شده است. در حقیقت از تحلیل فوق می توان چنین استنتاج نمود که مقدار نشست با افزایش عمق نسبت معکوس دارد و این در رابطه پیشنهادی ۱۹ نیز ثابت شده است. شکل های (۶)، (۷)، (۸) و (۹) بیانگر افزایش خطی مقدار نشست نسبت به ضخامت لایه های استخراجی زغالسنگ می باشد.



شکل ۴: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازویه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۳۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).



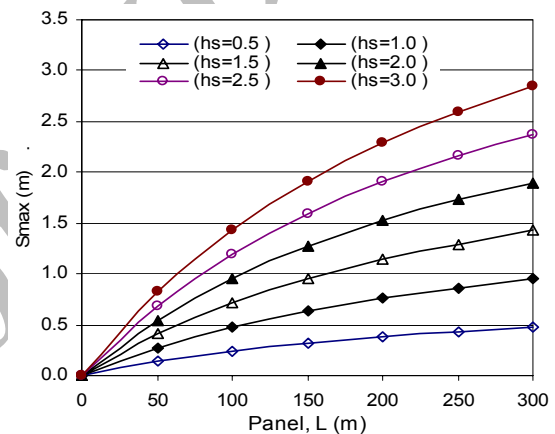
شکل ۵: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازویه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۶۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).

$$\beta = 45 - \frac{\phi}{2}$$

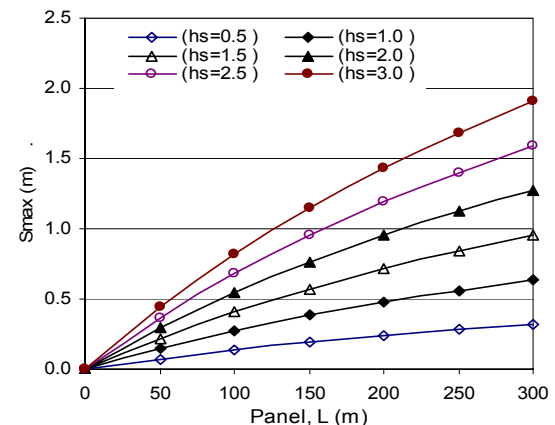
(۲۰)

## تحلیل رابطه پیشنهادی به روش ۱

مطابق شکل های (۲) و (۳) مقادیر نشست با افزایش طول جبهه کار افزایش می یابد. اما این افزایش دارای حدی است که بعد از آن حتی با افزایش طول جبهه کار مقدار نشست ثابت باقی می ماند. مطابق رابطه ۱۹ حداکثر نشست، نسبت معکوس با زاویه تاثیر دارد بطوریکه با افزایش زاویه تاثیر مقدار نشست بطور غیر خطی کاهش می یابد و همینطور بالعکس.

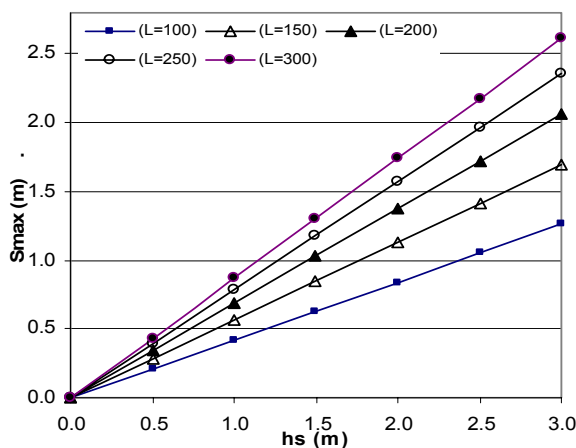


شکل ۲: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازویه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۳۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).

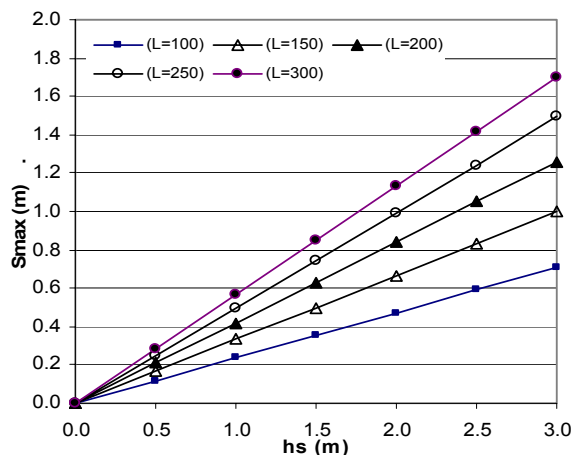


شکل ۳: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازویه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۶۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).

شکل های (۴) و (۵) مبین نمودار تغییرات نشست در



شکل ۸: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کار طولی بازایه تاثیر ۳۰ درجه در عمق.



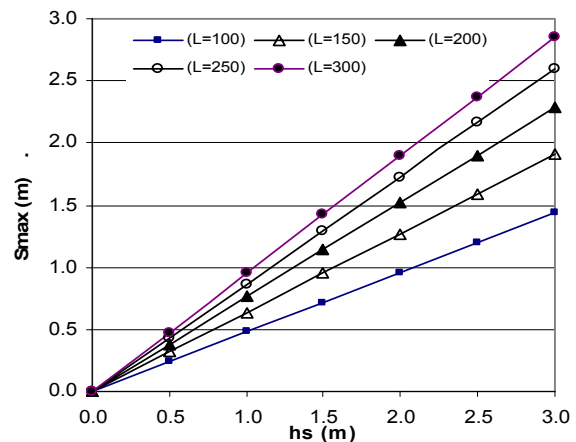
شکل ۹: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کار طولی بازایه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۶۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).

## روش ۲- محاسبه نشست با احتساب فاکتور افزایش حجم

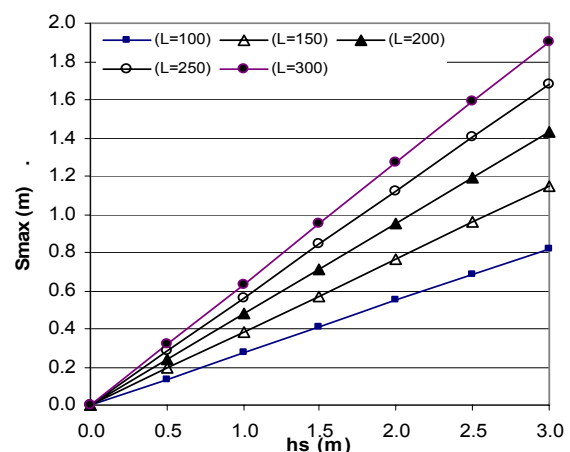
با تخریب سقف و با فرض افزایش حجم مواد سنگی شکسته نسبت به حالت اولیه مقدار نشست احتمالی کمتر از روش ۱ خواهد بود. مطابق شکل (۱۰) حجم فضای خالی احتمالی تولید شده در سقف فضای استخراجی باید برابر با حجم فضای گودی حاصل از نشست در سطح زمین باشد. در نتیجه تغییرات دو حجم با تقریب مناسبی برابر است با:

$$\Delta V = h_s L - Hc.(K-1) \times \frac{(L_c + L)}{2} \quad (21)$$

با توجه به شکل های فوق و مشخص شدن پارامترهای موثر در نشست در حالتی که ضریب افزایش حجم در آن تاثیر گذار نباشد می توان دریافت که با افزایش ضخامت لایه زغالی مقدار نشست حداکثر نیز افزایش می یابد. مقدار نشست حداکثر برای طول یک جبهه کار ۱۰۰ متری در شرایط یکسان عمق وزاویه تاثیر حدود ۵۷ درصد کمتر از حالتی است که طول جبهه کار ۳۰۰ متر می باشد (شکل ۷). این اختلاف با کاهش عمق کمتر می شود (شکل ۶). شیب نمودار خطی برای اعماق یکسان با افزایش زاویه تاثیر کم خواهد شد.



شکل ۶: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کار طولی بازایه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۳۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).



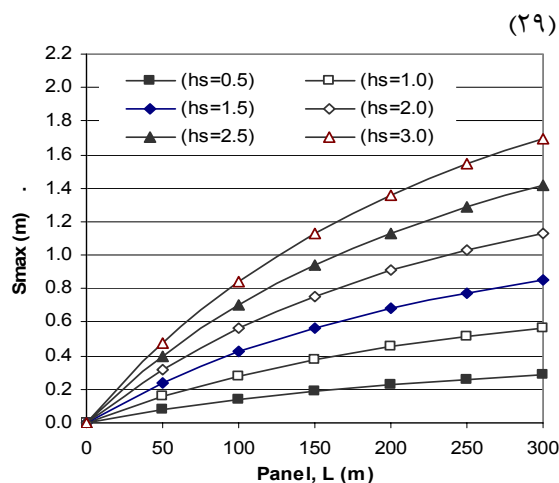
شکل ۷: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کار طولی بازایه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۶۰۰ متری (بدون احتساب فاکتور افزایش حجم).

مقدار اضافه حجم بایستی با تفاضل دو حجم پائل و پروفیل برابر باشد. در اینصورت می توان رابطه ۲۷ و ۱۷ را مساوی هم قرار داد که در اینصورت چنین حاصل می شود:

$$S_{\max} = \frac{15}{8} \times \frac{Lh_s \left[ 1 - m \left( 1 + \frac{Hc}{L} \tan \beta \right) \right]}{L + 2H \tan \beta}$$

$$S_{\max} = \frac{8}{15} \times \frac{h_s \left[ 1 - m \left( 1 + \frac{Hc}{L} \tan \beta \right) \right]}{\left( 1 + \frac{H}{L} 2 \tan \beta \right)}$$

$$S_{\max} = \frac{15}{16} \times \frac{h_s \left[ 1 - m \left( 1 + \frac{Hc}{L} \tan \beta \right) \right]}{\left( \frac{1}{2} + \frac{H}{L} \tan \beta \right)}$$

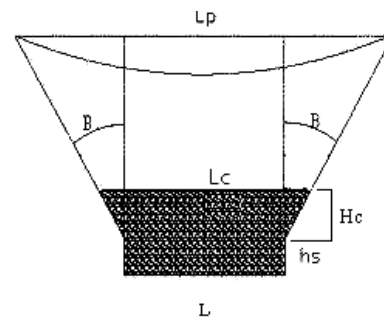


شکل ۱۱: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازایوه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۳۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).

## تحلیل رابطه پیشنهادی به روش ۲

با مقایسه شکل های (۲) و (۱۱) چنین استنباط میگردد که درصد افزایش حجم لایه های تخریبی تاثیر مستقیم در مقدار نشست احتمالی در سطح زمین دارد. بطوریکه در شرایط یکسان معدنکاری استخراج لایه های زغالی به ضخامت ۰,۵ متر، ۱,۵ متر و ۳ متر مقدار نشست با احتساب افزایش حجم به ترتیب معادل ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ درصد کمتر از مقدار نشستی است که بدون احتساب حجم رخ می دهد.

بطوریکه K ضریب افزایش حجم مواد برای ارتفاع تخریبی می باشد.



شکل ۱۰: تخریب سقف و نشست سطح زمین در اثر استخراج لایه معدنی.

در رابطه (۲۱) مقدار Hc را می توان از رابطه زیر تخمین زد [۱۹]:

$$Hc = \frac{hs}{b-1} \quad (۲۲)$$

از طرف دیگر Hc ارتفاع شکست اولیه است که می توان از رابطه (۲۲) محاسبه و در رابطه (۲۱) جایگزین کرد. در این صورت خواهیم داشت:

$$\Delta V = h_s \left[ L - \frac{(K-1)}{(b-1)} \times \frac{(L_c + L)}{2} \right] \quad (۲۳)$$

حال با تعریف پارامتر m که نسبت ضرائب افزایش حجم را در دو حالت نهایی و جاری نشان می دهد می توان نشست حاصل را از روابط زیر محاسبه کرد.

$$m = \frac{(K-1)}{(b-1)} \quad m \leq 1 \quad (۲۴)$$

$$\Delta V = h_s \left[ L - m \left( \frac{L_c + L}{2} \right) \right] \quad (۲۵)$$

بطوریکه

$$L_c = [L + 2Hc \tan \beta] \quad (۲۶)$$

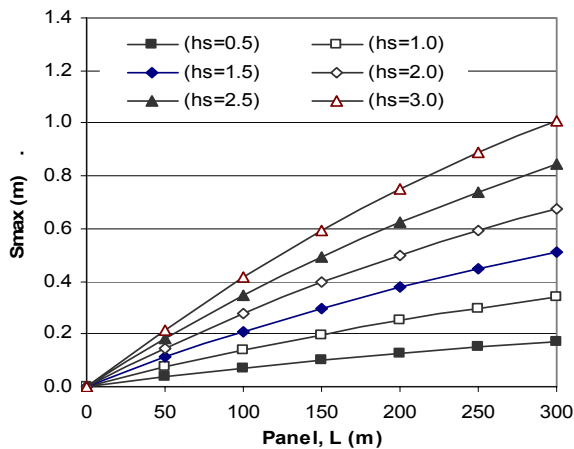
در نتیجه

$$\Delta V = h_s [L - m(L + Hc \tan \beta)] \quad (۲۷)$$

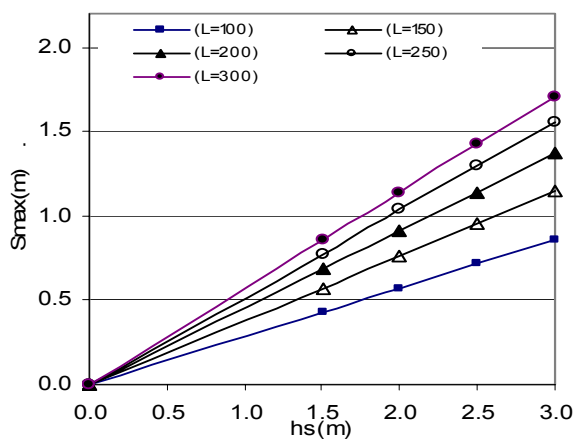
و یا

$$\Delta V = h_s L \left[ 1 - m \left( 1 + \frac{Hc}{L} \tan \beta \right) \right] \quad (۲۸)$$

در شکل (۱۴) تغییرات نشست را برای لایه های زغالی مختلف نشان می دهد. چنانکه مشاهده می شود در این نمودارها می توان یک روند خطی بودن را استنتاج نمود.

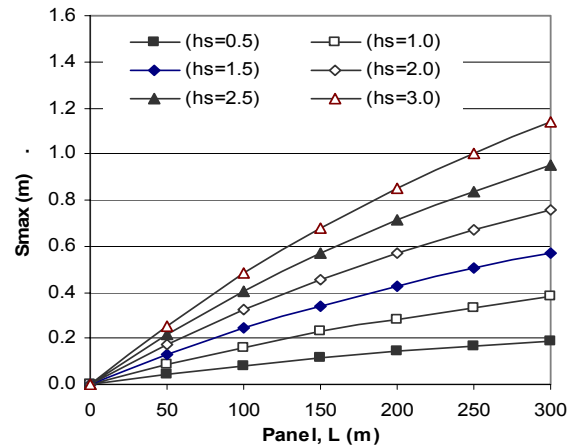


شکل ۱۴: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۶۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).

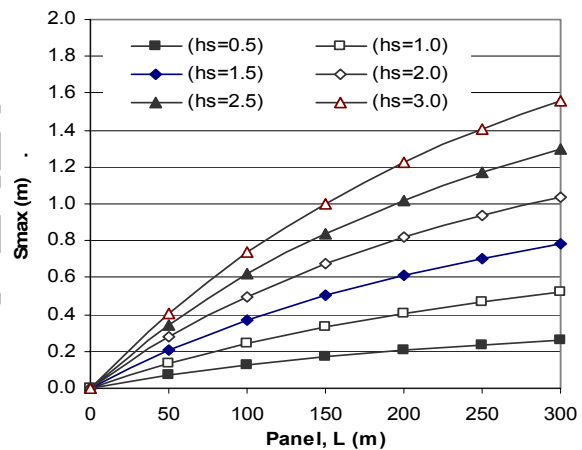


شکل ۱۵: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۳۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).

با افزایش طول جبهه کار طویل "L" مقدار تابع نشست بصورت حدی افزایش پیدا کرده و در نهایت به  $\frac{15}{8}hs$  خواهد رسید و در صورت احتساب افزایش حجم با ازدیاد مقدار L مقدار تابع به  $\frac{15}{8}h_s(m-1)$  خواهد رسید.



شکل ۱۲: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۶۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).



شکل ۱۳: نمودار تغییرات نشست در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۳۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).

در شکل (۱۱) مقدار نشست برای لایه های زغالسنگ مختلف از ۰/۵ متر تا ۳ متر ارائه شده است. بطوریکه مشاهده میشود با فرض درصد افزایش حجم  $k=10$  تحت زاویه تاثیر ۲۶ درجه حداکثر مقدار نشست قابل پیشبینی به حدود ۱/۷ متر میرسد. در صورتیکه با فرض مذکور حداکثر مقدار نشست احتمالی قابل پیشبینی در عمق ۶۰۰ متری کمتر از ۱/۲ متر میباشد (شکل ۱۲).

در شکل (۱۳) مقدار نشست حداکثر برای لایه های ۳ متری تحت زاویه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۳۰۰ متری به حدود ۱/۶ متر رسیده و حال آنکه تحت شرایط یکسان در عمق ۶۰۰ متری حداکثر مقدار نشست اندکی بیشتر از یک متر میباشد (شکل ۱۴).



ضخامت لایه: ۱,۸۳ متر

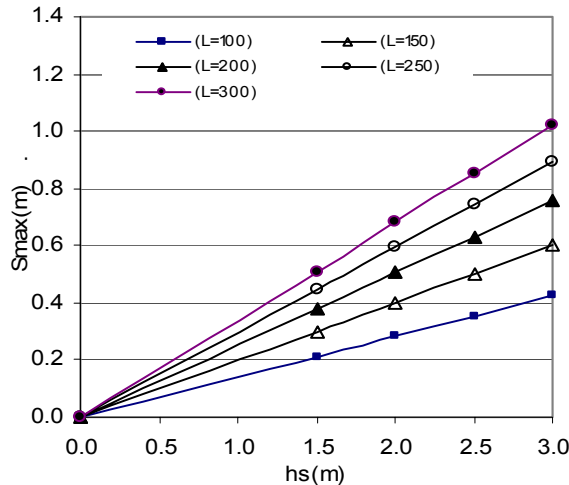
شیب لایه: صفر (افقی)

زاویه تاثیر: ۲۵ درجه

فاکتور اضافه حجم اولیه (b): ۱/۲۵

فاکتور افزایش حجم نهایی (k): ۱/۰۴

نشست اندازه گیری شده: ۱,۲۳ متر



شکل ۱۸: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۶۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).

**حل:** وضعیت واقعی داده شده فوق را با استفاده از دو روش ارائه شده در این مقاله مورد ارزیابی قرار می دهیم. تخمین درصد افزایش حجم اولیه جهت محاسبه پارامتر m ضروریست. در این مسئله مقدار فاکتور اضافه حجم اولیه، b، برابر با ۲۵ درصد فرض شده است. حال برای محاسبه حداکثر نشست چنین خواهیم داشت:

روش ۱- مدل بدون احتساب فاکتور افزایش حجم

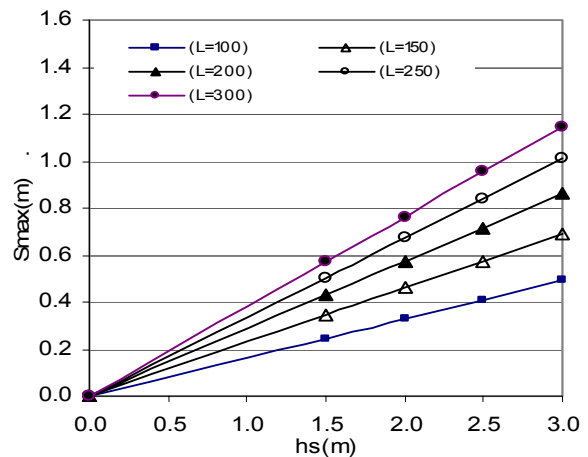
$$S_{\max} = \frac{15}{8} \times \frac{1.83 \times 152}{152 + 2 \times 213 \times \tan(25)}$$

به این ترتیب مقدار حداکثر نشست برابر است با:

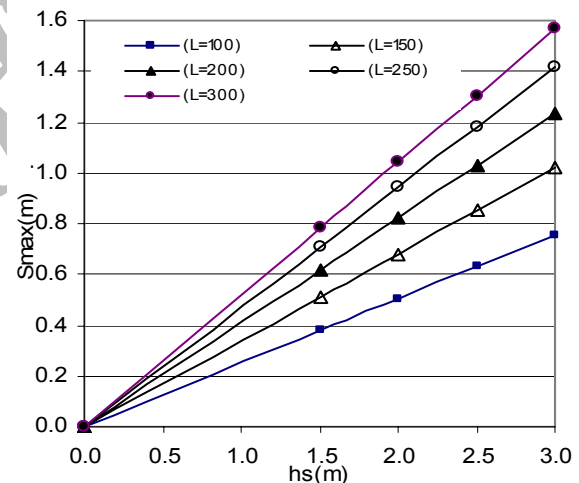
$$S_{\max} = 1.48 \text{ m}$$

روش ۲- مدل با فرض افزایش حجم نهایی (K=۴ درصد)

$$Hc = \frac{h_s}{b-1} = \frac{1.83}{1.25-1} = 7.32 \text{ m}$$



شکل ۱۶: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۲۶ درجه در عمق ۶۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).



شکل ۱۷: نمودار تغییرات نشست نسبت به ضخامت لایه استخراجی در طول جبهه کارطویل بازایه تاثیر ۳۰ درجه در عمق ۳۰۰ متری (با احتساب فاکتور افزایش حجم ۱۰ درصد).

## مثال موردی

به منظور تحلیل مدل های جدید ارائه شده در این مقاله برای تخمین نشست، مثالی از یک معدن استخراجی به روش جبهه کار طویل واقع در منطقه آپالاشیان آمریکا بشرح ذیل مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱]:

عمق کارگاه: ۲۱۳ متر

طول کارگاه: ۱۵۲ متر

- مقدار نشست با ازدیاد طول جبهه کار طویل افزایش یافته و این دارای حدی است که بعد از آن مقدار نشست ثابت باقی خواهد ماند. در اینصورت تغییرات نشست بطرف صفر میل می کند که مبین رابطه غیر خطی مقدار نشست با طول جبهه کار طویل میباشد.

- عمق بعنوان یکی از پارامترهای موثر در نشست میباشد که با افزایش آن مقدار نشست کاهش یافته و در حقیقت نسبت معکوس با آن دارد.

- زاویه تاثیر با مقدار نشست نسبت معکوس غیر خطی دارد یعنی مقدار نشست با افزایش زاویه تاثیر بطور غیر خطی کاهش می یابد.

- با استفاده از تئوری رانکاین میتوان زاویه تاثیر را از زاویه اصطکاک داخلی محاسبه نمود. مقدار نشست و زاویه اصطکاک داخلی بصورت همسو با یکدیگر عمل می کنند، بطوریکه با کاهش این زاویه مقدار نشست نیز کاهش می یابد.

- ضخامت لایه استخراجی از جمله پارامترهای موثر در نشست است بطوریکه نشست اتفاق افتاده با این پارامتر دارای رابطه خطی مستقیم می باشد، یعنی با ازدیاد ضخامت لایه زغالی مقدار نشست نیز افزایش می یابد.

- نتایج مدل های ارائه شده با اندازه گیری واقعی در یک معدن مقایسه شده که مبین دقت قابل توجه آنها می باشد.

- تعمیم کاربرد روشهای ارائه شده در این مقاله مستلزم مقایسه با اندازه گیریهای نشست در معادن بیشتر می باشد.

$$m = \frac{1.04 - 1}{1.25 - 1} = 0.16$$

$$S_{\max} = \frac{15}{16} \times \frac{h_s \left[ 1 - m \left( 1 + \frac{Hc}{L} \tan \beta \right) \right]}{\left( \frac{1}{2} + \frac{H}{L} \tan \beta \right)}$$

$$S_{\max} = \frac{15}{16} \times \frac{1.83 \times \left[ 1 - 0.16 \left( 1 + \frac{7.32}{152} \tan(25) \right) \right]}{\left( \frac{1}{2} + \frac{213}{152} \tan(25) \right)}$$

به این ترتیب مقدار حداکثر نشست برابر است با :

$$S_{\max} = 1.24 \text{ m}$$

تفاوت مقدار نشست محاسبه شده با استفاده از مدل اول نسبت به مقدار واقعی در حدود ۱۹ درصد می باشد که با توجه به اینکه فاکتور اضافه حجم مواد در آن لحاظ نشده است منطقی می نماید. اما در مدل دوم درصد اختلاف با مقدار واقعی در حدود ۱ درصد می باشد که مبین دقت قابل توجه این روش می باشد.

برای بدست آوردن نتایج دقیق تر می توان در هر منطقه مقدار m را محاسبه و در فرمول قرار داد و در نتیجه مقدار نشست نهایی را با دقت زیادتری محاسبه کرد.

## نتیجه گیری

در این مقاله دو روش ریاضی مستقل برای تخمین نشست های احتمالی سطح زمین واقع در بالای معادن استخراجی به روش جبهه کار طویل ارائه شده است. با بررسی دقیق پارامتریک روش های فوق نتایج زیر حاصل میگردد:

## مراجع

- 1 - Waltham, A. C. (1989). *Ground Subsidence*, Chapman and Hall, New York, PP. 202.
- 2 - Schmidt, B. (1969). *Settlement and ground movements associated with tunneling in soil*. Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana.
- 3 - Farmer, I. W. and Attewell, P. B. (1975). "A note on the similarities between ground movement around soft ground tunnels and longwall mining excavations." *Mining Engineering*, Vol. 134, PP. 392-402.
- 4 - Attwell, P.B. and Farmer, I. W. (1974). "Ground deformations resulting from shield tunneling in london clay." *Can. Geotech. J.* Vol. 11, PP. 380-395.
- 5 - Attwell, P. B. and Farmer, I. W. (1975). "Ground settlement above shield driven tunnels in clay." *Tunnels & Tunneling*, PP. 58-63.

- 6 - Peek, R. B. (1969). "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground." *State of the Art Report, 7<sup>th</sup> Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexicocity. PP. 225-290.
- 7 - Arsenio, Negro, Jr, and Eisenstein, Z. (1981). "Grond control technology compened in three Brazilia water tunnels." *Tunnels & Tunneling*.
- 8 -National Coal Board, (1975). *Subsidence Engineering Handbook*. National Coal Board mining Department, London, PP. 111.
- 9 - Costa, J. E. and Baker, V. R. (1981). *Surficial Geology*, Wiley, New York, PP. 498.
- 10 - Prokopovich, N. P. (1986). "Subsidence of peat in California and Florida." *Bull Assn Engg Geol*, PP.395-420.
- 11 - Hartman, H. L. (1992). *SME Mining Engineering Handbook*, 2<sup>nd</sup> ed. Sacramento, California.
- 12 - Knothe, S. (1957). "Observations of surface movements under influence of mining and theoretical nterpretation." *Proceedings of European Congress on Ground Movement*, University of Leeds, U. K.
- 13 - King, H. J. and Whetton J. T. (1957). *Mechanics of Mine Subsidence Proceedings European Congress on Ground Movement* , University of Leeds, UK, Apr., PP.27-38.
- 14 - Martos, F. (1958). *Concerning an Approximate Equation of the Subsidence Trough and its Time factor* ,*Procedding International Starta Control Congress*, Leipizig, Germany, PP.191-205.
- 15 - Peng, S. S. (1978). *Coal Mine Ground Control*, Wiley, New York, PP.456.
- 16 - Karmis, M., Triplett, T., Haycocks, C. and Goodman, G. (1983). "Mining subsidence and its prediction in the appalachian coalfield." *Proceedings of the 24th U. S. Symposium on Rock Mechanics*, PP. 665-675.
- 17 - Torano, J., Rodriguez, R. and Ramirez- Oyanguren, P. (2000). "Probabilistic analysis of subsidence-induced strains at the surface above steep seam mining." *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 37, PP. 1161-1167.
- 18 - Asadi, A., Shahriar, K., Goshtasbi, K. and Najm, K. (2004). *Development of new mathematical model for prediction of surface subsidence due to iinclined coal seam mining*, The South African Institute of Mining and Metallurgy.
- 19 - Peng, S. and Chiang, H. (1984). *Long wall Mining*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, PP.708.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Endogenic
- 2 - Exogenic