

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه معدن

پایاننامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن (M.Sc)

گرایش: استخراج

عنوان:

کنترل و مهار نشست سطحی زمین در حفاری مکانیزه تونل‌های شهری مترو

مطالعه موردی خط 2 قطار شهری تبریز

استاد راهنما:

دکتر محمود پارسایی

استاد مشاور:

مهندس سیداحمد ابوالقاسمیفر

نگارش:

میر علی حسینی

تابستان 1393

تشکر و قدردانی

سپاس خدای مهربان را که اندیشه‌ام داد.

حمد و ستایش بی‌قیاس خدای را سزااست که از الطاف خود در انسان دمید و او را اشرف مخلوقات خود قرار داد. حال که به لطف او توفیق تحصیل علم و کسب دانش را پیدا نمودم ، از خداوند متعال می‌خواهم که قدم‌هایم را در راه خدمت به جامعه استوار گرداند تا بتوانم از آنچه در این سال‌ها آموخته‌ام در مسیر پیشرفت و آبادانی کشور عزیزم استفاده نمایم.

سپاس از راهنمایی‌های اساتید ارجمند و فرزانه، جناب آقای دکتر محمود پارسایی و مهندس ابوالقاسمیفر به خاطر تمام زحمات و راهنمایی‌های ارزنده که در تدوین پایان‌نامه متحمل شدند.

سپاس از مشاوره‌ی استاد محترم جناب آقای مهندس اسماعیل عباسزاده، مهندس مشاور و مسئول نقشه‌برداری شرکت گنو که در این راه اینجانب را از راهنمایی‌های بسیار ارزنده خود بهره‌مند ساختند.

تقدیم به:

کاه من بودم دلیل زخم تو
لیک مینالم هنوز از اشک تو

شخراده تمام زندگی من

عاشقانه تقدیم تو باد

بدرم

چکیده

امروزه در کلانشهرها، تونل‌های شهری و متروها به‌عنوان یکی از کلیدیترین و مهمترین زیرساخت‌های شبکه حمل و نقل شهری به‌شمار می‌آیند. هر چه محیط شهری پرجمعیت و پرتردد باشد، نیاز به ایجاد سازه‌های زیرسطحی مانند تونلها برای تامین آسایش و عدم اتلاف زمان، پرنگتر میشود. با توجه به اینکه احداث تونل‌های کم عمق شهری در زمینهای سست مشکل ساز بوده و عوارض ناخوشایندی از جمله تخریب تاسیسات زیرزمینی و نشست سطحی را در بر دارد، بنابراین برای مهار این نوع عوارض بایستی بررسیهای دقیق جهت کنترل نشست و عواقب حاصله از آن، اقدامات جدی و کنترلی در حین حفاری انجام داد. حفاری در تونل شهری متروی تبریز توسط دستگاه حفاری مکانیزه تمام مقطع *TBM* سپردار به روش فشار تعادل زمین است. برای بررسی و کنترل نشست حین حفاری اقداماتی از جمله تنظیم سرعت حفاری، کنترل فشار سینه‌کار، و تزریق دوغاب سیمان پشت قطعات بتنی پیش ساخته و فضا‌های خالی و ثبت روزانه نشست از ایستگاهها توسط دوربین نقشه‌برداری، در فواصل 100 متری حول سازه‌های مربوطه انجام می - شود. در این تحقیق برای بدست آوردن نتایج بهینه، از نرم‌افزار *Plaxis 3D Tunnel* جهت مدلسازی و شبیه‌سازی تاثیر فشار تزریق و همچنین تاثیر فشار جبهه‌کار بر نشست سطحی در حین حفاری و نهایتاً کنترل نشست، صورت شد. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مشخص شد که در فاصله سه برابر قطر تونل، از ابتدا و انتهای سازه تا مرز مدل، نشست به حالت تعادل میرسد.

کلمات کلیدی: کنترل نشست، *Plaxis 3D Tunnel*، قطار شهری تبریز، تونل کم عمق، دوغاب سیمان تزریقی، فشار سینه‌کار.

1	چکیده
2	مقدمه
	فصل اول: کلیات
5	1-1- کلیاتی در مورد نشست سطح زمین
5	2-1- پدیده‌های مسبب نشست سطح زمین
6	1-2-1- نشست در اثر استخراج منابع آب
6	2-2-1- نشست در اثر استخراج منابع نفت و گاز
8	3-2-1- نشست سطح زمین در نتیجه گازی شدن زغال سنگ
8	4-2-1- نشست در اثر استخراج منابع معدنی
14	5-2-1- نشست ناشی از حفاری تونل‌های شهری
	فصل دوم: پارامترهای نشست
17	1-2- نشست ناشی از معدنکاری زیرزمینی
18	2-2- پارامترهای نشست سطحی زمین
18	1-2-2- گودال نشست ایجاد شده در سطح
20	2-2-2- زاویه حد در رخداد نشست سطحی زمین
21	3-2-2- زاویه شکست در رخداد نشست سطحی زمین
23	4-2-2- زاویه تاثیر در نشست سطحی زمین
24	5-2-2- شعاع تاثیر در نشست سطحی زمین
24	6-2-2- زاویه گودی در نشست سطحی زمین
25	7-2-2- نقطه عطف در نشست سطحی زمین
25	8-2-2- زاویه کشش در نشست سطحی زمین
26	9-2-2- سطح بحرانی در نشست سطحی زمین
28	10-2-2- حداکثر جابجایی در نشست سطحی زمین
29	11-2-2- حداکثر نشست سطح زمین
30	3-2- روشهای اندازه‌گیری و پیشبینی میزان نشست در سازه‌های سطحی
30	1-3-2- پیشبینی نشست با استفاده از روش تجربی
32	2-3-2- پیشبینی نشست با استفاده از مدل‌های فیزیکی
33	3-3-2- پیشبینی نشست با استفاده از روش تحلیلی
36	4-3-2- پیشبینی نشست با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی

فصل سوم: عوامل مؤثر در نشست در اثر حفاری فضای زیرزمینی

- 1-3-1- تاریخچه و روند پیدایش و توسعه تئوریهای نشست 40
- 3-1-1- پیشرفتهای اصلی تا سال 1900 40
- 3-1-2- پیشرفتهای اصلی در طی سالهای 1900-1950 42
- 3-1-3- پیدایش روشهای محاسباتی نشست 44
- 3-1-4- مهمترین پیشرفتها بعد از سال 1950 46
- 3-2- عوامل مؤثر در نشست در اثر حفاری زیرزمینی 47
- 3-2-1- پارامترهای زمان 47
- 3-2-2- ضخامت اسنخراجی 47
- 3-2-3- خواص فیزیکی طبقات فوقانی 48
- 3-2-4- عمق حفاری 48
- 3-2-5- روشهای پر کردن فضای استخراج شده 50
- 3-2-6- سرعت حفاری و معدنکاری 51
- 3-2-7- تاثیر شیب لایههایی بر نشست 52
- 3-2-8- تاثیر زمان 53
- 3-2-9- اثر رطوبت در مواد رویاره بر نشست 55

فصل چهارم: معرفی ساختگاه منطقه و سیستم حفاری و نگهداری

- 4-1- معرفی طرح قطار شهری تبریز 55
- 4-2- زمینشناسی و جغرافیای منطقه 59
- 4-3- بررسی ساختاری مسیر 60
- 4-4- مطالعات ژئوتکنیکی 64
- 4-5- مشخصات لرزه خیزی ساختگاه قطار شهری تبریز 69
- 4-5-1- گسلهای مهم مولد زلزله گستره طرح 71
- 4-6- اصول طراحی پوشش تونلهای کم عمق 73
- 4-6-1- هندسه قطعات بتنی پیش ساخته 73
- 4-6-2- بررسی مقاومت پوشش بتنی 75
- 4-7- معرفی سیستم حفاری مکانیزه متروی تبریز 85
- 4-7-1- سپر شیلد 86
- 4-7-2- دستگاه چرخشی Drive Unit 87
- 4-7-3- دریچه چمبر Chamber 88
- 4-7-4- پوشش قطعات بتنی پیش ساخته 89
- 4-8- مشخصات سازههای محدوده مورد مطالعه 93
- 4-9- بررسی نشست سطحی سازههای مورد مطالعه 95

فصل پنجم: روشهای کنترل نشست در حفاری مکانیزه تونل‌های شهری

101	.....نگهداری سازه‌های سطحی
103	.....1-1-5 معرفی روشهای مهار نشست در سازه‌ها بر اثر حفاری مکانیزه
104	.....2-5 نگهداری و کنترل معادن و فضاهاى زیرزمینی
108	.....3-5 تمهیدات لازم برای کنترل نشست با توجه به نحوه حفاری
111	.....1-3-5 کنترل نشست بر اثر حفاری دستگاه TBM-EPB
113	.....2-3-5 روشهای تزریق در تونل‌های شهری
116	.....3-3-5 مدلسازی و تحلیل تاثیرات فشار تزریق بر نشست سطحی زمین
122	.....4-3-5 فاکتور نسبت تزریق (M) و فاکتور نسبت تزریق اصلاح شده (Mo)
	.....5-3-5 مدلسازی و تحلیل فشار جبهه‌کار در حفاری مکانیزه بر نشست
123	.....
	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
136	.....1-6 نتیجه‌گیری
138	.....2-6 پیشنهادها
140	.....فهرست منابع و مراجع
148	.....پیوستها

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل 1-1- حرکت سطح زمین در اثر استخراج منابع معدنی 5
- شکل 2-1- ایجاد نشست در اثر استخراج آبهای زیرزمینی 6
- شکل 3-1- نحوه نشست سطح زمین در اثر استخراج مخازن نفت و گاز 7
- شکل 4-1- نشست زمین از نوع پیوسته در اثر استخراج به روش جبهه‌کار بلند
..... 9
- شکل 5-1- نشست زمین از نوع ناپیوسته 10
- شکل 6-1- نوع خاصی از نشست ناپیوسته 11
- شکل 7-1- مثالی از یک نشست غیرپیوسته 12
- شکل 8-1- تشکیل دودکشی به صورت ثانوی در توده نشست 12
- شکل 9-1- نشست ناپیوسته در کمر بالا در اثر استخراج به روش تخریب در طبقات فرعی
..... 13
- شکل 10-1- نشست به صورت واژگونی طبقات کمر بالا در روش استخراج در طبقات فرعی
..... 13
- شکل 11-1- نشست سطحی در ایستگاه متروی تهران 15
- شکل 1-2- ایجاد نواحی گسترده‌گی و فشردگی در اثر استخراج ذخایر معدنی 18
- شکل 2-2- لایه‌های گودال نشست در اثر استخراج یک لایه افقی 19
- شکل 3-2- لایه‌های گودال نشست در اثر استخراج یک لایه شیبدار 19
- شکل 4-2- منحنی‌های نشست، کج شدگی حاصل از استخراج یک پهنه
..... 22
- شکل 5-2- منحنی‌های نشست و اختلاف جابجایی حاصل از استخراج یک پهنه
..... 23
- شکل 6-2- موقعیت زاویه تاثیر در اطراف کارگاه استخراج 23
- شکل 7-2- مفهوم شعاع تاثیر 24
- شکل 8-2- مفهوم زاویه گودی 24
- شکل 9-2- زاویه کشش برای لایه‌های افقی 25
- شکل 10-2- زاویه کشش برای لایه‌ها شیبدار 26
- شکل 11-2- روند تدریجی شکل‌گیری سطح زیربهرانی، سطح بحرانی و سطح فوق‌بحرانی
..... 27
- شکل 12-2- مفهوم سطح بحرانی، فوق‌بحرانی و زیربحرانی 27
- شکل 13-2- سطح بحرانی و فوق‌بحرانی و زیربحرانی و ارتباط بین سطح بحرانی و عمق
..... 28
- شکل 14-2- سطح بحرانی (چپ) و سطح فوق‌بحرانی (راست) 28
- شکل 15-2- نمونه‌هایی از شبکه عصبی MLP با یک لایه مخفی
..... 37

- شکل 3-1- رابطه نسبت $\frac{w}{h}$ و $\frac{S}{M}$ در حالتهاي مختلف پرکردن فضاي استخراجي 51
- شکل 3-2- ايجاد نواحی گسترده و فشردگی در اثر حفاری 51
- شکل 3-3- تاثیر شیب لایه در منحنیهاي جابجایی، نشست و وضعیت زاویه حد 52
- شکل 3-4- تاثیر زمان بر نشست سطح زمین 54
- شکل 4-1- خطوط اصلي متروي تبریز 57
- شکل 4-2- وضعیت زمینشناسي تبریز و ساختگاه، پروژه قطار شهري تبریز 61
- شکل 4-3- تصویر ماهوارهاي شهر تبریز 63
- شکل 4-4- نقشه گسلهاي منطقه آذربایجان 64
- شکل 4-5- محل گمانهها روي نقشه و ستون چینهشناسي مطالعه موردی 65
- شکل 4-6- نقشه شدت خطرات زلزله شمالغرب ایران 69
- شکل 4-7- مقطع مورد تحلیل پوشش 76
- شکل 4-8- بلوك تنش مقطع الف) مقطع واقعي ب)مقطع بلوك تنش مستطيلي 77
- شکل 4-9- مقطع مستطيلي با فولاد کششي و فشاري 79
- شکل 4-10- قرارگیری تونل در زیرزمین 81
- شکل 4-11- معادلسازي فشار وارده از طرف زمین بر تونل 82
- شکل 4-12- فشار آب وارده بر پوشش نگهداری 83
- شکل 4-13- ماشین حفاری مکانیزه سازمان قطار شهری تبریز 85
- شکل 4-14- شمای قسمت بکآپ دستگاه TBM 86
- شکل 4-15- بخش شیلد دستگاه TBM 86
- شکل 4-16- تصویر دستگاه چرخش TBM 87
- شکل 4-17- قسمت چمبر دستگاه حفاری TBM 89
- شکل 4-18- قطعات نگهداری پیش ساخته بتنی قطعات بتنی پیش ساخته 89
- شکل 4-19- رینک کامل بتنی برای نگهداری تونل 90
- شکل 4-20- موقعیت قرارگیری قطعه کلید در 11 حالت مختلف 91
- شکل 4-21- ایستگاه هفت متروی تبریز جهت انتقال ابزار و مصالح لازم 92
- شکل 4-22- چرثقیل دروازهایی نصب شده در ایستگاه هفت 93
- شکل 4-23- کد بندی ساختمانهای واقع در مسیر تونل سهند 94
- شکل 4-24- دوربین نقشهبرداری توتال جهت بررسی جابجایی سازهها 95
- شکل 4-25- نمودار جابجایی ساختمان شماره 9 در محور ارتقایی بر حسب زمان 96
- شکل 4-26- نمودار جابجایی ساختمان شماره 13 در محور ارتقایی بر حسب زمان 97
- شکل 4-27- نمودار جابجایی ساختمان شماره 13/1 در محور ارتقایی بر حسب زمان 98

- شکل 4-28- رنگبندی و تعیین سطح ریسک آسیبیپذیری سازه‌های مسیر تونل..... 99
- شکل 5-1- حفر تراشه اطراف یک ساختمان 102
- شکل 5-2- استفاده از توده خاکی متراکم 103
- شکل 5-3- باقی گذاشتن پایه‌های بزرگ برای حفاظت از ساختمانها 105
- شکل 5-4- پر کردن منطقه استخراج شده برای حفاظت از ساختمانها 106
- شکل 5-5- استخراج ناقص 107
- شکل 5-6- استخراج ناقص 107
- شکل 5-7- استخراج هماهنگ 108
- شکل 5-8- شمای کلی اجزای اصلی ماشین حفاری TBM-EPB 109
- شکل 5-9- عوامل اصلی تغییر شکل زمین در اثر حفر تونل با سپرهای بسته 113
- شکل 5-10- طرز عملیات دوغابریزی برای تحکیم ساختمانها 114
- شکل 5-11- تصویر شماتیکی از مسیر تونل و سیستم نگهداری و آرایش طولی گمانه‌های تزریق 116
- شکل 5-12- شمایی سه بعدی از ابعاد و هندسه مدل 119
- شکل 5-13- مقطع طولی نشست سطح زمین در خاکهای چسبنده 121
- شکل 5-14- مقطع طولی نشست سطح زمین در خاکهای غیرچسبنده 121
- شکل 5-15- لایه بندی، شرایط زمین شناسی، سطح آب و موقعیت تونل 125
- شکل 5-16- مدلسازی جابجایی کلی حاصل از تنشهای اطراف تونل 126
- شکل 5-17- مدلسازی تغییر شکل حاصل از شکافهای کششی در اطراف تونل 126
- شکل 5-18- تاثیر فشار جبهه‌کار و فشار تزریق بر نشست سطح زمین 129
- شکل 5-19- فشار جبهه‌کار در برابر بیشترین نشست سطح زمین 131
- شکل 5-20- تاثیر فشار جبهه‌کار و فشار تزریق بر نشست سطح زمین 132
- شکل 5-21- فشار جبهه‌کار در برابر بیشترین نشست سطح زمین 133
- شکل 5-22- مقایسه‌ی تاثیر فشار جبهه‌کار در دو مقطع بر پروفیل طولی نشست سطح زمین فشار تزریق 50 کیلوپاسکال بیشتر از فشار جبهه‌کار 134

فهرست جدولها

عنوان
صفحه

جدول 1-2-1- مقادیر زاویه حد در مناطق مختلف	21
جدول 2-2-2- مقادیر زاویه کشش در مناطق مختلف	26
جدول 3-2-3- ضریب نشست برای روشهای مختلف پرکردن فضای استخراج شده	29
جدول 4-2-4- معرفی پارامترهای ورودی و پارامتر هدف در مدلسازی	37
جدول 1-3-1- اطلاعات نشست با توجه به کارهای ادونا هو (1907)	42
جدول 2-3-2- روند توسعه نشست توسط پرز (1948)	45
جدول 3-3-3- پیش بینی رفتار سنگ پوشاننده توسط IRH	55
جدول 1-4-1- سازندهای تشکیل دهنده مطالعه موردی شهر تبریز	62
جدول 2-4-2- تقسیمبندی تراکم خاکهای درشت دانه بر اساس عدد SPT	66
جدول 3-4-3- تقسیمبندی مقاومت خاکهای ریزدانه بر اساس عدد SPT	66
جدول 4-4-4- خواص استاتیکی خاک با استفاده از روابط تجربی بر اساس عدد SPT برای گمانه - BH	10
جدول 5-4-5- خصوصیات ژئومکانیکی لایه‌های مقطع مورد مطالعه	67
جدول 6-4-6- بزرگترین زمین لرزه‌های رخ داده در محدوده 200 کیلومتری ساختگاه	68
جدول 7-4-7- چشمه‌های لرزه‌زای گستره طرح و بیشینه توان لرزه‌زایی آنها	70
جدول 8-4-8- مقدار γ و β_1 به ازای f'_c مختلف	72
جدول 9-4-9- مشخصات کلی سازها و واقع در محدوده مطالعه موردی	78
جدول 10-4-10- مقدار جابجایی برای ساختمان شماره 9	94
جدول 11-4-11- مقدار جابجایی قرائت شده ساختمان شماره 13	96
جدول 12-4-12- مقدار جابجایی قرائت شده ساختمان شماره 13/1	97
جدول 1-5-1- مشخصات مکانیکی محیط (خاک)	98
جدول 2-5-2- پارامترهای ژئوتکنیکی برای واحدهای زمینشناسی مهندسی مسیر تونل	120
جدول 3-5-3- خصوصیات ماشین حفاری EPB و پوشش بتنی تونل خط 2 متروی تبریز	125
جدول 4-5-4- درصد نشست سطح زمین در حالات مختلف فشار جبهه‌کار	127
جدول 5-5-5- درصد نشست سطح زمین در حالات مختلف فشار جبهه‌کار	130
جدول 5-5-5- درصد نشست سطح زمین در حالات مختلف فشار جبهه‌کار	133

مقدمه

در اثر حفاری فضای زیرزمینی و استخراج مواد معدنی از دل زمین، باعث میشود طبقات فوقانی برای پر کردن فضای خالی شده شکسته، و به تدریج به سمت پایین حرکت کند این عمل نهایتاً در سطح زمین تاثیرگذار بوده و سبب نشست سطحی میشود. محیط زمین در ابتدا تحت تنشهای ناشی از تنش طبیعی زمین هستند که بر اثر حفر گالریها و تونلها شرایط تنش در زمین تغییر کرده و این امر موجب انقباض دهانه تونل و بوجود آمدن تغییر شکلهایی در مقطع سطحی زمین، و نهایتاً موجب نشست در سطح میشود. با توجه به حفر تونلهای شهری مترو در نواحی کم عمق، می - بایستی تاثیرات ناشی از حفاری بر روی سازههای سطحی بهصورت جدی مورد بررسی واقع شود تا از بروز حوادث ناخواسته جلوگیری به عمل آید. از مهمترین مسائل در حفاری فضاها، زیرزمینی در نواحی کم عمق شهری در زمینهای نرم نشست سطحی و تاثیرات آن بر سازههای سطحی و تاسیسات شهری هستند.

از آثار زیست محیطی نشست میتوان به آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی، تغییر مسیر جریان آب رودخانهها، تغییر در اکولوژی گیاهان و جانوران، تغییر چهره سطح زمین، تغییر ظرفیت و دبی آبهای زیرزمینی و تغییر در خواص خاک اشاره کرد و همینطور نشست سطح زمین میتواند خساراتی را به سازههای سطحی مانند ساختمانها، تاسیسات صنعتی، جادهها، پلها، خطوط راه آهن، لولههای انتقال آب و گاز، انرژی، و مخازن نگهداری آب و نیز در مزارع، جنگلها و ... به بار آورد. در قوانین معادن کشورهای اروپایی آثار زیست محیطی و رعایت آن از جمله مهمترین عامل در هرگونه فعالیت معدنی و عمرانی جزء اولویت اول بهشمار میرود و هر نوع تخریب که در اثر فعالیت معدنکاری و عمرانی در سطح زمین ایجاد شود بایستی مجدداً طوری بازسازی شود تا بتوان از این منطقه مثل سابق بهره‌برداری کرد. این بازسازی همواره مخارج هنگفتی دربر خواهد داشت. خسارات ناشی از نشست سطح زمین ممکن است به اندازهایی باشد که فعالیت معدنی و عمرانی را غیراقتصادی کند. بنابراین در طراحی و محاسبات و برنامه‌ریزی بایستی هزینههای بازسازی منظور شود و در صورت امکان مقدار آن هزینهها را به حداقل رساند. این کار وقتی قابل اجرا و دقیق است که، مقدار و فرم حرکات زمین در اثر حفاری پیشبینی شده و لذا نشست سطحی در هرگونه فعالیت باید مورد توجه و کنترل شده انجام گیرد [27].

برای کنترل نشست بایستی سه مرحله را طی کرد که عبارتند از:

پیشبینی^۱، پیشگیری^۲، محافظت^۳

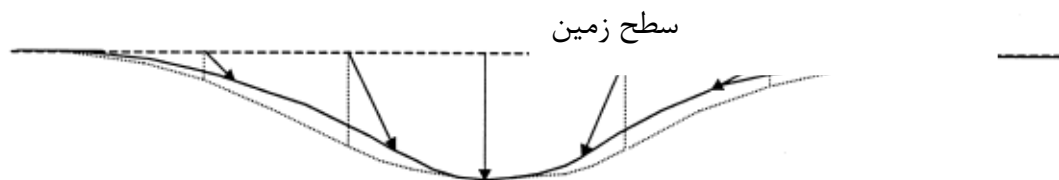
روشهای پیشگیری و کنترل نشست با روش پیشبینی نشست ارتباط مستقیم دارد لذا بایستی در مرحله پیشبینی نشست بیشترین دقت کامل را بکار برد تا بهتر بتوان عملیات پیشگیری و کنترل را در برابر نشست انجام داد [27].

1 - Prediction
2 - Prevention
3 - Control

کلیات

1-1- کلیاتی در مورد نشست سطح زمین

در اثر حفاری زیرزمینی پس از مرور زمان به موجب فرو ریختن طبقات بالایی، حفراتی به صورت گودال در سطح زمین ایجاد میشود. حرکات سطحی در قسمتهای مختلف نشست متفاوت بوده است به این صورت که در قسمتهای مرکزی منطقه حفر شده، حرکت سطح زمین به صورت قائم و لی در سایر قسمتهای سطح زمین علاوه بر حرکت قائم به سمت داخل گودی نیز بصورت شیبدار حرکت میکنند. مولفه‌های عمودی حرکت سطح زمین نشست¹ و مولفه‌های افقی حرکت سطح زمین جابجایی² نامیده میشود شکل (1-1).



شکل 1-1- حرکات سطح زمین در اثر استخراج منابع معدنی [27]

1- Subsidence
2- Displacement

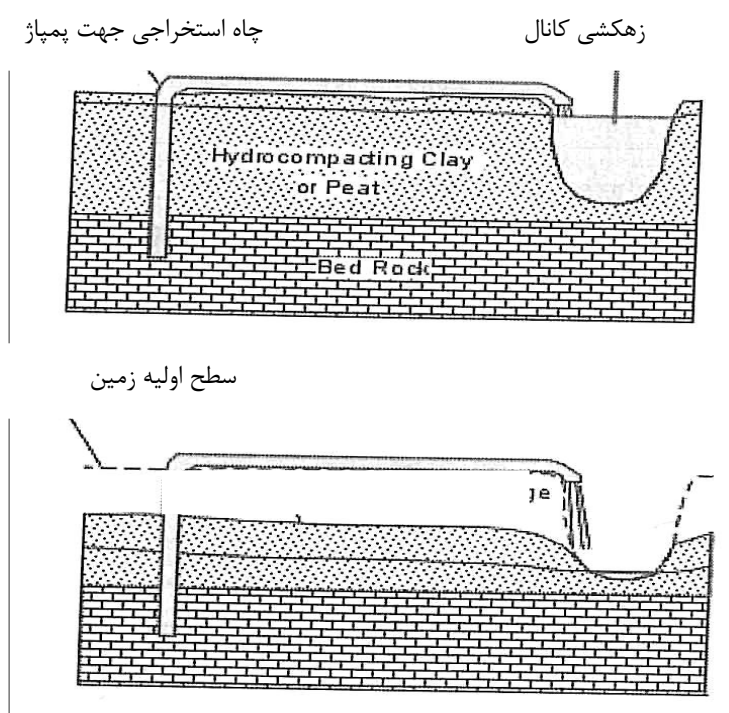
بهطوري كلي اختلاف اين نوع حرکات (نشست و جابجايی) در سطح زمین باعث تخریبهای متفاوتی از جمله در تاسیسات و خانههای مسکونی و یا صنعتی، راههای حمل و نقل، لولههای آب و گاز و فاضلاب شهری، مناطق کشاورزی و ... ایجاد خواهند کرد و لذا در مطالعات و محاسبات نشست و جابجایی تواما با هم در نظر شده میشود مثلاً در ساختمان اختلاف نشست و اختلاف جابجایی (انحراف) باعث تخریب میشود [27].

2-1- پدیدههای مسبب نشست سطح زمین

از جمله مهمترین پدیدههایی که باعث تخریب و نشست در سطح زمین میشوند.

1-2-1- نشست در اثر استخراج منابع آب

یکی از منابع ایجاد نشست در سطح زمین، استخراج منابع آب میباشد. بهعنوان مثال در منطقه ایسلند در اثر پمپ کردن آبهای زیرزمینی از سال 1940 نشست در سطح زمین آغاز و در سال 1951 سرعت نشست از دو فوت در سال تجاوز و در سال 1985 مساحت تحت تاثیر نشست به 20 مایل مربع رسید بود شکل (2-1) [23].

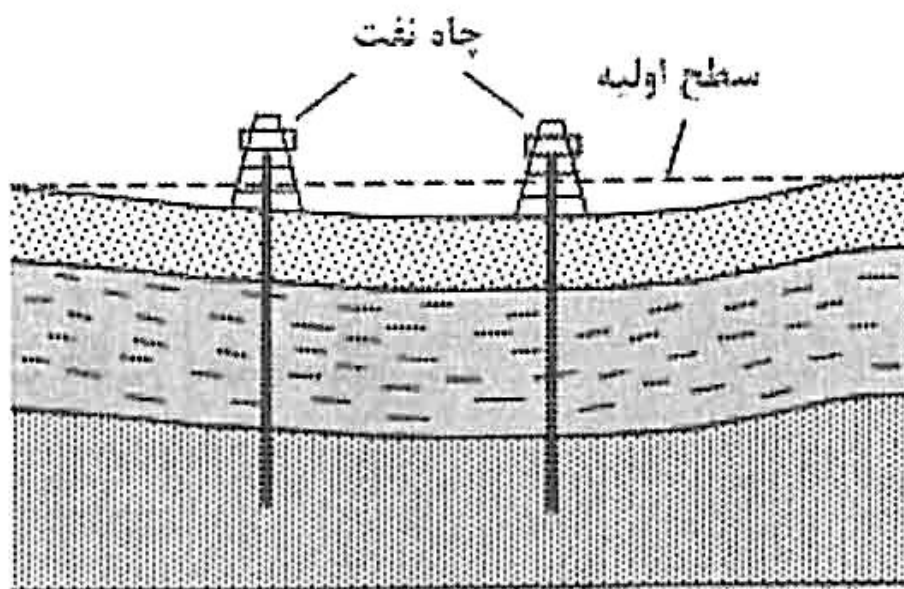


شکل 2-1- ایجاد نشست در اثر استخراج آبهای زیرزمینی [23]

1-2-2- نشست در اثر استخراج منابع نفت و گاز

به خاطر مسائل محیط زیستی و استفاده از زغالسنگ برای ایجاد انرژی حرارتی و مسائل ایمنی حل نشدنی تفالهایی اتمی در اثر تولید انرژی هسته‌ای و مخصوصاً اتفاقات سالهای اخیر در نیروگاههای اتمی جهان، استخراج زغالسنگ و استفاده از نیروگاههای اتمی روز به روز در جهان و بخصوص در اروپای مرکزی کمتر شده است. بدین جهت استخراج نفت و گاز اهمیت مخصوصی پیدا کرده است زیرا استخراج این نوع معادن خیلی اقتصادیتر بوده و ضمناً تأثیر سوء بر محیط زیست نیز خیلی کمتر میباشد. این امر باعث شده که کشورهای نفتخیز دنیا مقدار تولید خود را به سرعت افزایش دهند [42].

فشار کانسار میتواند در برابر فشار طبقات بالا (یعنی وزن آنها) مقاومت کند و از نشست جلوگیری کند. این موضوع وقتی صادق است که فشار کانسار ثابت باقی بماند. در اثر استخراج مخازن نفت و گاز، فشار کانسار کاهش مییابد و چون وزن طبقات بالا همواره ثابت است، لذا کم شدن فشار کانسار باعث بیشتر شدن فشار طبقات بالا و در نتیجه فشردن سنگهای مادر خواهد شد. به عبارت دیگر کاهش فشار مخزن باعث انقباض سنگها میشود و در نتیجه مخزن متراکم خواهد شد. تراکم مخزن به نوبه خود باعث تغییر شکل سنگهای روباره و در نهایت نشست در سطح زمین میشود در شکل (1-3) نحوه نشست سطح زمین در اثر استخراج مخازن نفت و گاز نشان داده شده است [42].



شکل 1-3- نحوه نشست سطح زمین در اثر استخراج مخازن نفت و گاز [42]

1-2-3- نشست سطح زمین در نتیجه گازی شدن زغال سنگ

در اثر گازی شدن زغال زیرزمینی^۱، زغال در زیر زمین به وسیله مخلوطی از گازهایی که با استفاده از گمانه به لایه‌های زغال تزریق شده، سوخته می‌شود. گازهای تولید شده از فرآیند سوختن، از طریق گمانه دیگری استخراج می‌شوند [42].

فرآیند سوختن زغال در زیرزمین در لایه با ارتفاع محدود، به تدریج حفره‌های (که معمولاً دایره‌های است) ایجاد می‌کند. لایه‌های زغال ضخیم باعث ایجاد حفرات کروی یا بیضوی شکل می‌شوند. آزمایش‌هایی که در زغال بریتانیا انجام شده است، نشان می‌دهد که تغییرات عمده‌ای در مقاومت فشاری ماسه سنگ ایجاد نمی‌شود، ولی شیله‌ها و گل‌سنگ‌ها تغییرات قابل توجهی را متحمل می‌شوند که لایه‌ها نازک چند گانه‌ای به وجود می‌آید.

مواد کربن‌دار موجود در چنین سنگ‌هایی شکست سنگ بستر را در طی فرآیند سوختن به سرعت توسعه می‌دهند. مواد حاوی رس بعد از سوختن، ویژگی‌های پخته شدن را دارند که خواص سختی را افزایش و مقاومت در برابر آب را بهبود می‌دهند [42].

1-2-4- نشست در اثر استخراج منابع معدنی

در اثر استخراج مواد معدنی در معادن زیرزمینی، طبقات بالایی مواد معدنی شکسته شده و به تدریج به سمت پایین حرکت می‌کنند تا فضای خالی را پر کنند. این عمل در نهایت در سطح زمین نشست ایجاد خواهد کرد.

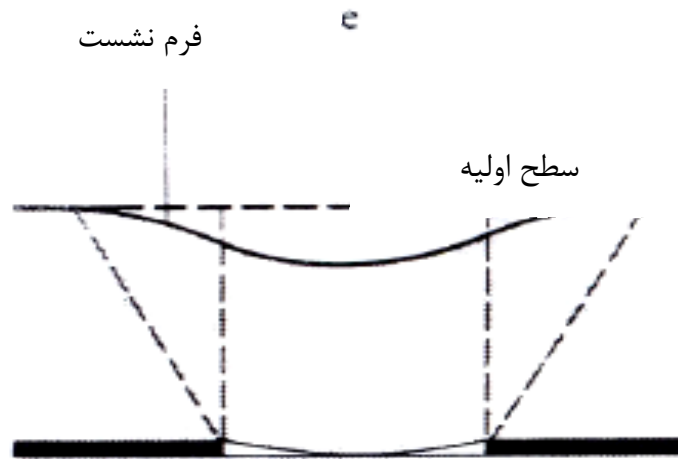
نشست در سطح زمین رابطه مستقیم با نوع طراحی تاسیسات، زمین‌شناسی کانسار و طبقات بالایی، روش استخراج، عمق معدنکاری و حفاری بیشتر از همه با ضخامت لایه‌های استخراجی دارد.

اگر لایه‌های استخراجی ضخیم باشند، در این صورت حرکات در سطح زمین نیز خواهد شد. مثلاً در یک منطقه زغال‌سنگ در کشور آلمان نشست 26 متر، در منطقه زغال سنگ لهستان به 30 متر و در اسلونی به 60 متر یا بیشتر رسیده است و در سایر مناطق معدنی نیز نشست‌هایی به این بزرگی به وجود آمده است [23].

^۱-Underground coal gasification

الف) انواع نشست در معادن

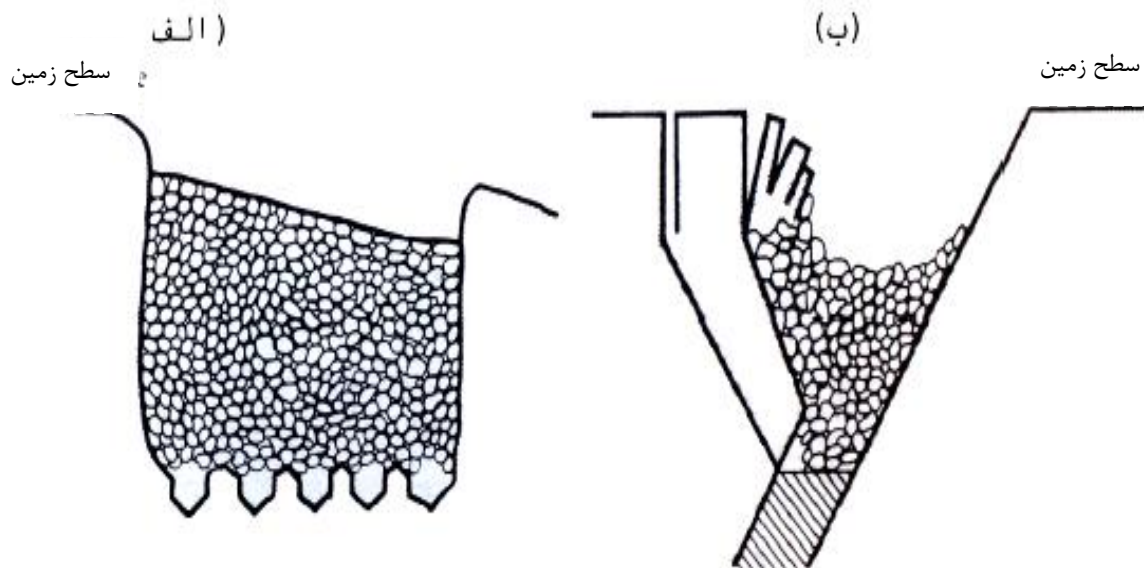
نشست عبارت است از جابجایی سطح زمین در اثر استخراج مواد معدنی و تخلیه بخشی از توده‌های زیرزمینی، پدیده نشست ممکن است در اثر فرآیندهای دیگر غیر از استخراج نظیر زلزله، ناپایداری و ریزش غارها، انحلال توده‌های تبخیری و نشست توده‌های تحکیم نیافته حادث شود. نشست زمین در اثر استخراج بسته به روش استخراج به دو دسته پیوسته و ناپیوسته^۱ تقسیم می‌شود. نوع پیوسته به نشستی اطلاق می‌شود که در آن جابجایی زمین به صورت یکنواخت و بدون ایجاد شدن پله و شکستگی بوده و عموماً ناشی از استخراج کانسارهای لایه‌ای است (شکل 1-4). نوع ناپیوسته همراه با جابجایی به صورت پلکانی شدن و تغییرات وسیع در محدوده‌های کوچک است و مرتبط با برخی روش‌های استخراج زیرزمینی نظیر تخریب در طبقات فرعی و تخریب بلوکی^۲ است (شکل 1-5) [17].



شکل 1-4- نشست زمین از نوع پیوسته در اثر استخراج به روش جبهه‌کار بلند [17]

^۱ - Continuous & Discontinuous

^۲ - Sublevel caving & Block caving



شکل 1-5- نشست زمین از نوع ناپیوسته: (الف) در اثر استخراج به روش تخریب بلوکی و (ب) در اثر استخراج به روش تخریب در طبقات فرعی (تخریب پیایی سقف) [17]

نوع خاصی از نشست غیر پیوسته موسوم به نشست دودکشی^۱ است، که به آن تنورهای^۲ هم اطلاق میشود. در این نوع نشست تخریب در کمر بالایی قسمت استخراج شده به صورت ممتد و ستون مانند تا سطح زمین ادامه مییابد. این نوع نشست ممکن است در شرایط وجود طبقات سست در بالایی قسمت استخراج شده یا در بخشهای فوقانی که قبلاً تخریب شده و تشکیل مواد و تودههایی خرد شده را داده است و یا تودههایی که درزهایی منظم در آنها وجود دارد ایجاد شود. چنانچه تشکیل این نوع نشست به صورت ناگهانی باشد، آن را نوع سمبهای^۳ میخوانند شکل (1-6) [17].

^۱ -Chimney Subsidence

^۲ -Piping

^۳ -Plug type