بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور)
دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی ارشد (رشته مهندسی عمران-گرایش مهندسی خاک وپی سازی)

ارزیابی عددی میزان نشست سطحی زمین در اثر حفر تونل در مناطق شهری (مطالعه موردی: خط ۲ قطار شهری کرج)

تحقیق و تدوین:

انسیه ظهوریان

استاد راهنما:

دکتر علی نورزاد

استاد مشاور:

دکتر یاسر جعفریان

بهار ۱۳۹۱

دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران خانم انسیه ظهوریان

تحت عنوان

ارزیابی عددی میزان نشست سطحی زمین در اثر حفر تونل در مناطق شهری (مطالعه موردی: خط ۲ قطار شهری کرج)

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

	نام و نام خانوادگی	امضاء
1. استاد راهنمای پایان نامه	دکتر علی نورزاد	
2. استاد مشاور پایان نامه	دکتر یاسر جعفریان	
3. استاد داور(خارجی)	دکتر کاوه آهنگری	
4. استاد داور(داخلی)	دکتر عباس مهدویان	
5. معاون تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر رضا راستی	

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند کارساز بنده نواز را که توفیق پیدا و پنهانش یاریم کرد تا این کار سامان و پایان یافت. همو که استاد راهنمایم را فرهیخته ای توانا و وارسته ای درد آشنا قرار داد که سعی او در این نامه نمایان است و بزرگواریش بر همگان عیان. نیازی نیست نه به شناساندن و نه به شناخته شدن که نامش جویندگان دانش و پویندگان راه را آشناست. سطر به سطر این اثر از نظر نکته سنج و نکته یاب ایشان گذشته است. ایشان با سعه صدر و بینش بر اشتباهات و اشکالات تحقیق انگشت نهاده و در رفع آنها راهنماییم کرده و ادای دین مرا دشوارترساختند. زبان این بنده از سپاسگذاری او ناتوان است؛ خداوندا تو خود وی را از چشمه سار لطف و محبت خویش سیراب گردان و هردم بر توفیقش بیفزای.

سپس از استاد مشاورم جناب آقای دکتر یاسر جعفریان به خاطر تذکرات خیرخواهانه و راهنمایی های ارزنده ، کمال تشکر را دارم و برای ایشان از خداوند متعال توفیات روز افزون را مسئلت می نمایم.

همچنین از جناب آقای مهندس یازرلو به دلیل همکاری های بسیار ارزنده و بی دریغشان سپاسگذارم.

در پایان نیز از پدر و مادر دلسوز و مهربانم که با ترغیب و دعای خیر خویش الطاف الهی را شامل حال من نمودند؛ همسر فداکارم که با صبر و حوصله در تمام لحظات سخت و دشوار زندگی مرا از یاری و پشتیبانی خود محروم نکرد سپاسگزارم. امیدوارم خداوند مجالی برای جبران باقی گذارد تا بتوانم اندکی از دین خود را به این بزرگواران ادا نمایم.

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر:

اینجانب انسیه ظهوریان تأئید می کنم که مطالب مندج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می باشد و به دستاورد های پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.
این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پائین تر و بالاتر ارائه نشده است.
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق(شهید عباسپور) می باشد.

انسیه ظهوریان

تقدیم به

تمامی کسانی که در راه اعتلای علم و دانش در جهان گام برمی دارند.

فهرست مطالب

چکیده ..... ی

فصل اول: کلیات 1

1-1-مقدمه 2

2-1-هدف تحقیق 3

3-1-ضرورت انجام پایان نامه 4

4-1-بیان مسئله 5

5-1-روش شناسی تحقیق 5

6-1- ساختار پایان نامه 6

فصل دوم: مروری بر ادبیات تحقیق 7

1-2- مقدمه 8

2-2- تاریخچه استفاده از روش های عددی 8

3-2- مروری بر کارهای انجام شده قبلی 10

فصل سوم: تئوری تحقیق 22

1-3-مقدمه 23

2-3- شیوه های تونل سازی مدرن 24

1-2-3- روش تونل سازی با جبهه کار باز 24

2-2-3-روش تونل سازی با جبهه کار بسته 24

3-3- تغییر شکلها در نتیجه تونلسازی با جبهه کار بسته 25

4-3- تغییر شکل در نتیجه تونل سازی با جبهه کار باز 25

5-3- ارزیابی میزان نشست سطحی 26

1-5-3- روشهای تجربی 26

1-1-5-3- نشست سطحی عرضی 26

2-1-5-3- جابجایی افقی در مقطع عرضی 27

3-1-5-3- نشست سطحی طولی 28

4-1-5-3- جابه جایی افقی در مقطع طولی 29

3-5-1-5- عرض گودی نشست 30
3-5-1-6-افت حجمی زمین 31
3-5-2- نتایج حاصل از مدل های آزمایشگاهی 33
3-5-3- روش های تحلیلی 34
3-5-4- استفاده از روش های عددی برای مدلسازی تونلها 37
3-5-4-1- روش های شبیه سازی در تونلسازی های متداول (با جبهه کار باز) 38
3-5-4-2- روش های شبیه سازی در تونل سازی سپری (با جبهه کار بسته) 39
فصل چهارم: معرفی طرح پروژه خط 2 قطار شهری کرج 41
4-1- مقدمه 42
4-2- معرفی پروژه خط 2 قطار شهری کرج 42
4-3-مطالعات ژئوتکنیکی 44
4-4-روش ساخت تونل 44
4-8-1- احداث رمپ 44
4-8-2-اهداف تونل دسترسی 45
4-8-3- حفاری تونل اصلی 45
4-8-4- سیستم نگهداری 45
4-8-5- اجرای سیستم ایزولاسیون 46
4-8-6-اجرای پوشش دائمی 47
4-9- ابزار دقیق 48
فصل پنجم: مدلسازی عددی و تجزیه و تحلیل نتایج 51
5-1-مقدمه 52
5-2- معرفی نرم افزار PLAXIS 52
5-3- المان‌های بکارگرفته شده نرم‌افزار در مدلسازی 53
5-4- کلیات مدل کردن در PLAXIS 53
5-5- مراحل مدلسازی 54
5-5-1- انتخاب مقطع مناسب و ابعاد فضای کار 54
5-5-2- انتخاب مدل رفتاری 54
5-5-3-تفاوت های مدل رفتاری خاک سخت شونده با مدل رفتاری موهر - کولمب 56
5-5-4-پارامترهای مدل خاک سخت شونده 56

5-5-5-بدست آوردن مقدار پارامترهای هر مدل 57
5-5-6- تعریف خصوصیات هندسی و مکانیکی مقطع تونل 58
5-5-7- اعمال شرایط مرزی و تنش های اولیه 58
5-5-8-نقش K_O 59
5-5-9- طریقه محاسبه K_O 62
5-5-10- ابعاد مش بندی 62
5-5-11- تأثیر درشتی مش بندی 64
5-5-12-اعمال ترخیص تنش 64
5-6- مشخصات لایه های خاک در مقاطع مورد بررسی 66
5-6-1-تعیین مشخصات فیزیکی لایه های خاک 66
5-6-1-1-مقطع کیلومتر 1+451 66
5-6-1-2-مقطع کیلومتر 1+732 67
5-6-2-تعیین مشخصات مکانیکی لایه های خاک 67
5-6-2-1-مقطع کیلومتر 1+451 68
5-6-2-2-مقطع کیلومتر 1+732 68
5-7- آنالیز برگشتی 69
5-7-1-مقطع کیلومتر 1+451 70
5-7-2-مقطع کیلومتر 1+732 71
5-8-پارامترهای مدل رفتاری خاک سخت شونده 75
5-9- آنالیز مقطع کیلومتر 1+451 76
5-9-1- آنالیز مقطع کیلومتر 1+451 در مدل رفتاری موهر-کولمب 76
5-9-2- آنالیز مقطع کیلومتر 1+451 در مدل رفتاری خاک سخت شونده 78
5-10- آنالیز مقطع کیلومتر 1+732 79
5-10-1- آنالیز مقطع کیلومتر 1+732 در مدل رفتاری موهر-کولمب 79
5-10-2- آنالیز مقطع کیلومتر 1+732 در مدل رفتاری خاک سخت شونده 82

5-11- صحت سنجی مدل سازی عددی بکار رفته 83
5-12- مقایسه نتایج حاصل از دو مدل رفتاری 88
5-13- جمع بندی و نتیجه گیری 90
فصل ششم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات 92
6-1-مقدمه 93
6-2- نتیجه گیری 93
6-3- پیشنهادات برای انجام تحقیقات آتی 95
فهرست مراجع 96
فصل هفتم: پیوست ها 1
محاسبه نشست مجاز 2
پیوست شماره 1: نتایج ایستگاه نشست سطحی در کیلومتراژ 1+451 4
پیوست شماره 2: نتایج ایستگاه نشست سطحی در کیلومتراژ 1+732 5
پیوست شماره 3: مشخصات هندسی مقطع تونل 6
پیوست شماره 4: نتایج آزمایش تحکیم در پروژه قطار شهری کرج و حومه(عمق 2 و 4/5 متر) 7
پیوست شماره 5: پروفیل ژئوتکنیکی در مقطع کیلومتر1+451 8
پیوست شماره 6: پروفیل ژئوتکنیکی در مقطع کیلومتر 1+732 9

فهرست جداول

جدول2-1- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محدوده تونل SAO PAULO [14] 16

جدول 3-1- گستره پروفیل نشست کریگ و وود (1978)[30] 29

جدول5-1- خصوصیات پوشش معادل تونل 58

جدول 5-2-مشخصات فیزیکی خاک در مقطع کیلومتر1+451 66

جدول5-3- مشخصات فیزیکی لایه های خاک در مقطع کیلومتر1+732 67

جدول5-4- مشخصات مکانیکی خاک در مقطع کیلومتر1+451 68

جدول5-5- مشخصات مکانیکی لایه های خاک در مقطع کیلومتر1+732 68

جدول5-6- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن مقدار مدول الاستیسیته در مقطع کیلومتر 1+451 70

جدول5-7- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن نسبت تنش ها در مقطع کیلومتر 1+451 71

جدول5-8- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن مقدار مدول الاستیسیته در مقطع کیلومتر 1+732 72

جدول5-9- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن مقدار K_{O1} در مقطع کیلومتر 1+732 73

جدول5-10- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن مقدار K_{O2} در مقطع کیلومتر 1+732 73

جدول5-11- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن مقدار K_{O3} در مقطع کیلومتر 1+732 74

جدول5-12- آنالیز برگشتی برای بدست آوردن مقدار K_{O4} در مقطع کیلومتر 1+732 74

جدول5-13- پارامترهای مدل رفتاری خاک سخت شونده در مقطع کیلومتر1+732 75

جدول5-14- مقایسه نتایج حاصل از دو مدل رفتاری با منحنی واقعی 89

جدول 7-1-مقادیر مجاز اعوجاج زاویه ای(بیروم) 2

فهرست اشکال

شکل2-1- پروفیل نشست طولی دلافیوانته و اُتِ اُ (1996)[31].....9

شکل 2-2- پروفیل نشست سطحی پیش بینی شده به وسیلهFDM [40].....11

شکل 2-3- ابزار بکاررفته به صورت سطحی و زیر سطحی در تونل HEATHROW ،حفاری از یک گوشه BOWERS (1997)[22].....11

شکل 2-5 - پروفیل نشست سطحی عرضی اندازه گیری شده با FLAC و ABAQUS 12

شکل2-4- مقایسه بین پیش بینی تنش در FLAC و ABAQUS با مقادیر اندازه گیری شده در سلول ها، فوول و کاراکاس(2005)[40].....12

شکل 2-6- جابه جایی اطراف تونل[50].....13

شکل 2-7-مقایسه نشست سطحی با روش های مختلف[50].....14

شکل 2-8- مقایسه بین نشست سطحی محاسبه شده به روش تحلیلی و اندازه گیری شده در عمق 13/5 متری محور تونل میلان[53].....15

شکل 2-9- مقایسه بین نشست سطحی محاسبه شده به روش المان محدود و اندازه گیری شده در عمق 13/5 متری محور تونل میلان[53].....16

شکل2-10- مقایسه بین پروفیل نشست پیش بینی شده و نتایج مشاهده شده[14].....17

شکل 2-11- نشست سطحی ماکزیمم پیش بینی شده و مشاهده شده در طول مسیر[79].....19

شکل2-12- نشست های عرضی مشاهده شده و پیش بینی شده[79].....19

شکل 2-13- نشست سطحی در مقابل فشار بکار رفته برای نگهداری جبهه کار(آریوگلو و همکاران ، 2002)[15] 20

شکل2-14- تغییرات نشست سطحی ماکزیمم با عمق حفاری برای قطرهای مختلف تونل(شکل سمت راست: مدل رفتاری موهر- کولمب، شکل سمت چپ: مدل رفتاری خاک سخت شونده)[10].....20

شکل2-15- مقایسه منحنی نشست سطحی بدست آمده بامدل های رفتاری متفاوت برای خاک (آدنبروک و همکاران1997)[13].....21

شکل3-1- اصول تونلسازی برای کنترل پایداری زمین و تغییر شکل های آن، استفاده سیستماتیک از شاتکریت و مهار[54].....24

شکل3-2- موارد مهم تغییر شکل زمین: A) تونلسازی سپر بسته B) تونلسازی با جبهه کار باز[54].....25

شکل 3-3- گودی نشست بوجود آمده در اثر اجرای تونل، اتیویل و همکاران(1986)[19].....26

شکل 3-4- منحنی گوس برای گودی نشست عرضی و حجم از دست رفته زمین[54]. 27
شکل3-5- جابه جایی سطحی افقی و گودی نشست عرضی[54]..... 28
شکل 3-6- گودی نشست طولی بالای خط مرکزی تونل بعد از اتیویل و همکاران(1986)[19]..... 29
شکل3-7- رابطه عرض گودی نشست و عمق تونل برای زمین های مختلف، پک (1969)[62]..... 30
شکل3-8- فازهای محاسباتی در روش نگهداری هسته(A)[54]..... 38
شکل3-9- روش گپ توسط روُ و دیگران(1983)[54] 39
شکل3-10- روش کاهش تنش با کنترل افت حجمی توسط آدنبروک و همکاران(1997)[13]..... 40
شکل3-11- روش همگرایی[54] 40
شکل 4-1- نقشه خط 2 پروژه قطار شهری کرج و حومه[6] 43
شکل 4-2- حفاری مقطع فوقانی 45
شکل4-3- سیستم نگهداری موقت 46
شکل4-4- اجرای سیستم ایزولاسیون 47
شکل4-5- نصب شبکه آرماتور 47
شکل4-6- اجرای بتن ریزی به صورت یک در میان در بخش های 6 متری. 48
شکل4-7-سیستم نگهداری دائمی 48
شکل 4-8- پین نشست سنج نصب شده در سطح خیابان 49
شکل4-9- موقعیت پین های نشست سنجی در مقطع عرضی تونل 50
شکل5-1- موقعیت نقاط جابه جایی و نقاط تنش[63]..... 53
شکل5-2- رابطه تنش و کرنش هیپربولیک در بارگذاری اولیه برای آزمایش سه محوره زهکشی شده استاندارد [63]..... 55
شکل5-3- تعریف E_{OED}^{REF} در نتایج آزمایش تحکیم[63]..... 58
شکل5-4- بزرگی و جهت تنش های اولیه در شرایط غیر افقی بودن سطح زمین..... 59
شکل5-5- گودی های نشست سطحی عرضی در آنالیز دو بعدی و سه بعدی بازای مقادیر مختلفK_O [54] 61
شکل5-6- گودی های نشست سطحی نرمال شده در آنالیزهای دو بعدی و سه بعدی[54] 61
شکل5-7- خطوط تراز کرنش افقی در مقطع کیلومتر1+451 62

شکل5-8- خطوط تراز کرنش قائم در مقطع کیلومتر1+451 63
شکل5-9-تغییر شکل زمین در نتیجه کاهش تنش و منحنی پاسخ زمین[54] 65
شکل5-10- طرح کلی سینه کار در حال پیشروی [78]..... 65
شکل 5-11- تغییرات روند جابه جایی بر حسب فاصله از سینه کار[78]..... 65
شکل5-12- نمودارحداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردن E در مقطع کیلومتر1+451..... 71
شکل5-13- نمودار حداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردن K_O در مقطع کیلومتر1+451 71
شکل5-14-نمودار حداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردن مقادیر E_1 تا E_4 در مقطع کیلومتر1+732. 73
شکل 5-15- نمودارحداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردنK_{O1} 73
شکل5-16- نمودار حداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردن K_{O2} 74
شکل5-17- نمودار حداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردنK_{O3} 74
شکل5-18- نمودار حداقل سازی تابع خطا برای بدست آوردنK_{O4} 75
شکل5-19- مش بندی در مقطع کیلومتر1+451..... 76
شکل5-20- خطوط تراز تغییر مکان قائم در مقطع کیلومتر 1+451 با مدل رفتاری MC 76
شکل5-21- منحنی نشست سطحی عرضی در مقطع کیلومتر1+451 با مدل رفتاری MC..... 77
شکل5-22- خطوط تراز جابه جایی افقی در مقطع کیلومتر1+451 با مدل رفتاری MC 77
شکل5-23- خطوط تراز تغییر مکان قائم در مقطع کیلومتر 1+451 با مدل رفتاری HS 78
شکل5-24- منحنی نشست سطحی عرضی در مقطع کیلومتر 1+451 با مدل رفتاری HS..... 78
شکل5-25- خطوط تراز جابه جایی افقی در مقطع کیلومتر 1+451 با مدل رفتاری HS..... 79
شکل5-26- مش بندی در مقطع کیلومتر1+732..... 80
شکل5-27- خطوط تراز جابه جایی قائم در مقطع کیلومتر 1+732 با مدل رفتاری MC 80
شکل5-28- منحنی نشست سطحی عرضی در مقطع کیلومتر1+732 با مدل رفتاری MC..... 81
شکل5-29- خطوط تراز جابه جایی افقی در مقطع کیلومتر 1+732 با مدل رفتاری MC 81
شکل5-30- خطوط تراز جابه جایی قائم در مقطع کیلومتر 1+732 با مدل رفتاری HS..... 82
شکل5-31- منحنی نشست سطحی عرضی برای مقطع کیلومتر1+732 با مدل رفتاریHS 82
شکل5-32- خطوط تراز جابه جایی افقی در مقطع کیلومتر 1+732 با مدل رفتاری HS..... 83

شکل5-33- منحنی های نشست سطحی با K_Oهای مختلف برای مقطع کیلومتر1+732.....84
شکل5-34- منحنی های نشست سطحی با K_Oهای مختلف برای مقطع کیلومتر1+451.....84
شکل5-35- منحنی های نشست سطحی با مقادیرمختلف E برای مقطع کیلومتر1+732.....85
شکل5-36- منحنی های نشست سطحی با مقادیرمختلف E برای مقطع کیلومتر1+451.....85
شکل5-37- منحنی های نشست سطحی با مقادیرمختلف C برای مقطع کیلومتر1+732 86
شکل5-38- منحنی های نشست سطحی با مقادیرمختلف C برای مقطع کیلومتر1+451 86
شکل5-39- منحنی های نشست سطحی با مقادیرمختلف Φ برای مقطع کیلومتر1+732 87
شکل5-40- منحنی های نشست سطحی با مقادیرمختلف Φ برای مقطع کیلومتر1+451 87
شکل 5-41- مقایسه منحنی نشست مدلسازی عددی با مدل های رفتاری MC ، HS و منحنی نشست سطحی واقعی در مقطع کیلومتر1+451 88
شکل 5-42- مقایسه منحنی نشست مدلسازی عددی با مدل های رفتاری MC ، HS و منحنی نشست سطحی واقعی در مقطع کیلومتر1+732 89
شکل 7-1-پارامترهای لازم برای تعریف نشست مجاز 2

چکیده

امروزه با توجه به افزایش بار ترافیک شهری و مشکلات عبور و مرور در سطح شهرها، سیستم‌های حمل و نقل زیرزمینی توسعه زیادی یافته اند. با رویکرد روز افزون استفاده از تونل به منظور حمل و نقل در مناطق پر جمعیت شهری کنترل نشست سطحی به معیاری تعیین کننده برای طراحی تونل مبدل شده است. علاوه بر این طراحی صحیح تونل های شهری، مستلزم استخراج اطلاعات کافی در خصوص پروفیل خاک، ساختمان های اطراف و مدلسازی صحیح مسئله می باشد. به خصوص که حرکات زمین در اثر حفاری تونل های کم عمق شهری به دلیل حساسیت نسبت به میزان نشست و احتمال آسیب به سازه های سطحی، تفاوت زیادی با بروز این پدیده ها در تونل های عمیق مانند معادن دارد. تغییر پروفیل خاک در طول مسیر، تعدد پارامترهای ژئوتکنیکی مورد نیاز، رفتار پیچیده توده خاک، تنوع شرایط سطحی و تعدد سازه های موجود در طول مسیر، حل این مسئله را مشکل تر کرده است.

کرج یکی از هفت کلان شهرکشور می باشد. مهاجرت از شهرهای دیگر و رشد سریع شهرک های اطراف کرج مسلماً در آینده ای نه چندان دور مشکلات ترافیکی امروز را مضاعف خواهد کرد. همچنانکه سفرهای روزانه ، آمد و شد را دچار مشکل ساخته است. خط 2 پروژه قطار شهری کرج به طول 28 کیلومتر و با 26 ایستگاه از اوایل سال1383 در دو فاز آغاز به کار کرده است. در این تحقیق سعی شده است با انتخاب دو مقطع مناسب از تونل قطار شهری کرج و مدلسازی آنها با استفاده از نرم افزار PLAXIS 2D به مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی عددی با مقادیر اندازه گیری شده توسط ابزاردقیق پرداخته شود. بدین منظور برای مطالعه موردی مقاطع کیلومتر1+451 و 1+732 از پروژه قطار شهری کرج که میزان نشست سطحی در آنها به ترتیب 5 و 9/5 سانتی متر می باشد و از نشست مجاز بیشتر شده و لذا به نظر می رسد بحرانی باشند، انتخاب شده اند. پس از بررسی تأثیر پارامترهای ژئوتکنیکی روی میزان نشست سطحی ملاحظه شد که پارامترهای E وk_o بیشترین تأثیر را روی میزان نشست سطحی دارند. با استفاده از تکنیک آنالیز برگشتی مقادیر بهینه این پارامترها بدست آمده است. سپس به مقایسه منحنی نشست سطحی عرضی حاصل از مدل سازی عددی و منحنی بدست آمده از اندازه گیری های ابزار دقیق پرداخته شده است. نتایج بدست آمده نشان داده است که این دو منحنی با یکدیگر مطابقت خوبی دارند.

کلمات کلیدی: PLAXIS 2D، آنالیز برگشتی، مدلسازی عددی، نشست مجاز، نشست سطحی.

فصل اول

کلیّات

۱-۱-مقدمه

از اوایل قرن نوزدهم با توجه به سیر صعودی افزایش جمعیت کره زمین و تراکم جمعیت در شهرها از یکسو و پیشرفت تکنولوژی در تمامی زمینه های علمی و بالا رفتن سطح استاندارد زندگی از سوی دیگر، لزوم تحول و گسترش امکانات جهت تأمین نیازهای عمومی مورد توجه بیشتری قرار گرفت.

در این زمینه تأمین و توزیع آب قابل شرب از طریق احداث سدها و انتقال آب به وسیله تونل های آبرسانی، جمع آوری فاضلاب ساختمانها، احداث متروی زیرزمینی به منظور رفت و آمد سریع شهری و حفر تونل ها برای توسعه راه ها جهت تسریع در توزیع و حمل کالا از مراکز تولید به مصرف از اولویت خاصی برخوردار گردید.

اهمیت اجرای پروژه هایی از این قبیل باعث شد که در اکثر قریب به اتفاق کشورها فن تونل سازی مورد توجه روزافزون قرار گیرد. در این مورد استفاده از تونل و سازه های زیرزمینی به عنوان پناهگاه، احداث انبارهای زیرزمینی مواد سوختی، نیروگاه زیرزمینی، ساخت تأسیسات زیرزمینی از جمله استخر شنا، مجموعه ورزشی، گالریهای هنری و نیز اجرای شبکه تونل های مترو را می توان به عنوان نمونه هایی برای کاربرد فضاهای زیرزمینی نام برد [5]. در سال 1863 اولین خط متروی زیرزمینی در لندن احداث شد. از آن به بعد در بیش از 100 شهر جهان سیستم حمل و نقل زیرزمینی بکار گرفته شد و بیش از 50% آنها درصدد توسعه و گسترش برآمدند [33].

امروزه با توجه به افزایش بار ترافیک شهری و مشکلات عبور و مرور در سطح شهرها، سیستم‌های حمل و نقل زیرزمینی فراگیرتر شده اند. با رویکرد روز افزون استفاده از تونل به منظور حمل و نقل در مناطق پر جمعیت شهری،کنترل نشست سطحی به معیار تعیین کننده برای طراحی تونل مبدل شده است. ترخیص تنش ناشی از حفاری تونل موجب تغییر شکل هایی در توده خاک و در نهایت در سطح زمین می شود. پیش بینی تغییر شکل ایجاد شده در سطح زمین در اثر تونل سازی به یک معما در پروسه طراحی و برنامه ریزی تبدیل شده است.

از مشخصه های تونل های شهری می توان به عمق روبار کم آنها، زمین سست شهری، دهانه بزرگ این فضاها و وجود ساختمان ها روی ایستگاه را نام برد که همگی کنترل نشست سطحی و حفظ پایداری در این فضاهای زیر زمینی را دشوارتر می کند. نشست ها و تغییر شکل های ایجاد شده ناشی از حفر تونل می تواند آسیب های جدی به سازه های اطراف وارد آورد [12].

تخمین درست نشست های سطحی و نیروهای وارد بر پوشش، منجر به طراحی صحیح تونل می شود. بسته به روش حفاری و نگهداری تونل مقادیر متفاوتی از تغییر شکل زمین های اطراف و فشارهای متفاوت زمین وارد بر پوشش ایجاد خواهد شد. مهندسین سابقاً از روش های مقدماتی تحلیل که شامل روش های تجربی و تحلیل های ساده (غالباً الاستیک یا الاستوپلاستیک) بوده است، برای ارزیابی نشست سطحی استفاده می کردند. امروزه روش های مقدماتی تحلیل هنوز در مهندسی استفاده می شوند و نمی توان آنها را در نظر نگرفت چرا که منعکس کننده تجارب طراحی و شیوه های رایج تونلسازی هستند.

با بالا رفتن ظرفیت کامپیوترها روش های عددی برای تحلیل توسعه یافت به طوری که تونلسازی بتواند به صورت واقعی تری شبیه سازی شود. رفتار غیرخطی زمین و هندسه پیچیده آن مانند لایه بندی زمین یا مقاطع غیر دایره ای تونل می تواند به راحتی در نظر گرفته شود. به علاوه تأثیرات نصب پوشش نیز ثبت می شود، همچنین رسیدن به بارهای مناسب وارد بر پوشش و تخمین واقعی تر نشست سطحی از دیگر نتایج آن است [54].

بطور کلی می توان روشهای ارائه شده برای پیش بینی نشست را در سه بخش روشهای تجربی، تحلیلی و عددی تقسیم بندی نمود.

با شروع دهه 1960 توسعه و پیشرفت در بکارگیری روش های عددی برای تونلسازی آغاز شد. گرچه در آغاز این پیشرفت آنالیزهای عددی به عنوان یک ابزار طراحی اغلب مورد انتقاد بودند، امروزه افزایش ظرفیت کامپیوترها انقلابی در تونلسازی بوجود آورده است، به طوری که پروژه تونلسازی مهمی وجود ندارد که بدون تحلیل عددی انجام شود. امروزه محدوده وسیعی از ابزار عددی مدرن گوناگون برای مهندسین تونل فراهم شده است مانند : روش المان محدود(FEM)، روش تفاضل محدود(FDM)، روش المانهای مرزی(BEM)، روش المانهای گسسته(DEM) و..... .

استفاده از روش های عددی علاوه بر داشتن اطلاعات ژئوتکنیکی کافی به فهم صحیحی از روش های عددی هم نیازمند است. برخلاف راه حل های تحلیلی نتایج روش های عددی به سختی می تواند تأئید شود و تنها یک قضاوت خوب مهندسی تعیین می کند که این نتایج می تواند پذیرفته شود یا خیر [54].

۱-۲-هدف تحقیق

فعالیت های اصلی تونل سازی شامل حفر زمین همراه با نگهداری جبهه کار و محیط تونل از طریق حفاظ، انتقال مواد کنده شده و نصب پوشش می باشد. هدف از ایجاد پوشش های اولیه و نهایی، پایدار ساختن زمین اطراف آن و تحت کنترل در آوردن نیروهای ناشی از حرکت زمین حفاری شده می باشد. نوع حفاری و سیستم نگهداری بکار رفته میزان نشست سطحی متفاوتی را ایجاد می کند که با استفاده از روشهای آنالیز عددی می توان این میزان نشست سطحی(جابه جایی عمودی عرضی و طولی)، نیروهای وارد بر پوشش و حرکت های افقی زمین را محاسبه کرد.

اجرای سازه های بزرگ زیر زمینی نیازمند برنامه ریزی و داشتن شناخت کافی از شرایط ژئوتکنیکی محل حفاری می باشد. بطور کلی قبل از اجرای چنین عملیاتی، آزمایشهای برجا و آزمایشگاهی بسیاری انجام می گیرد. با انجام چنین آزمایشهایی می توان شرایط تنش های برجای محل حفر و نیز کیفیت مصالح را با دقت مناسبی تخمین زد.

یکی از روش های تعیین پارامترهای برجا استفاده از ابزار دقیق و انجام آنالیز برگشتی بر روی داده های حاصل از آن می باشد. داده هایی که ابزار دقیق در اختیار قرار می دهد، شامل ثبت جابجایی ها می باشد. با انجام آنالیز برگشتی بر اساس جابجایی های ثبت شده، می توان با دقت مناسب و صرف هزینه و زمان اندک، پارامترهای ژئوتکنیکی بهینه را تعیین نمود. همچنین می توان این پارامتر ها را براساس پیشرفت عملیات حفاری به روز نمود و