



## ارزیابی پارامتریک تونل‌های شهری تحت اثر بارگذاری فونداسیون‌های سطحی در شهر کرمان

افسانه کیانی نژاد<sup>۱</sup>، وحید عسکری پور<sup>۲</sup>، محمد حسین باقری پور<sup>۳</sup>، فضل الله سلطانی<sup>۴</sup>  
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان  
۲- دانشیار گروه خاک و پی دانشگاه شهید باهنر کرمان  
۳- استادیار گروه خاک و پی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

afsanekianinejad@yahoo.com

### خلاصه

اثر متقابل نشست ناشی از احداث تونل و سازه‌های روی سطح زمین همواره یکی از مسائل مهم در احداث پروژه‌های زیرزمینی در مناطق شهری می‌باشد. در این مقاله با استفاده از تحلیل عددی به روش اختلاف محدود امکان احداث یک تونل مترو در شهرستان کرمان مدل سازی شد. در این راستا اثرات متقابل خاک و سازه‌های سطحی احداث شده بعد از حفر تونل مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور تاثیر تغییر پارامترهای مختلف مانند تراز آب زیرسطحی، عمق تونل، و مشخصات ساختمان مانند نسبت طول به عرض پلان ساختمان، تعداد طبقات و محل ساختمان نسبت به محور تونل بر نشست سطح زمین ارزیابی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل‌های انجام گرفته، ماکزیمم نشست سطح زمین در امتداد مقاطع طولی و عرضی تونل در گراف‌ها آورده شده و تاثیرگذاری هر پارامتر تفسیر گردیده است.

**کلمات کلیدی:** نشست، تونل، تحلیل اختلاف محدود، آب زیرزمینی

### مقدمه

گسترش شهرها نیاز به افزایش زیرساخت‌های شهری را اجتناب ناپذیر کرده است. با توجه به محدود بودن فضا در محیط‌های شهری، استفاده از فضاهای زیرزمینی به منظور ایجاد زیرساخت‌ها گزینه مناسبی می‌باشد. مواردی مانند تونل‌های مترو و راه آهن، جاده، فاضلاب، مخبرات و شریان‌های حیاتی زیر سطحی را می‌توان در زیر زمین احداث کرد. جهت رویارویی با جمعیت زیاد و ترافیک سنگین شهرها سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری یا مترو بیش از سایر روش‌ها نظر را به خود جلب کرد.

یکی از آثار مهم حفاری تونل در مناطق شهری، نشست در سطح زمین و تاثیر آن بر محیط اطراف می‌باشد. از این رو همواره تخمین میزان نشست سطح زمین و بررسی اثر آن بر روسازه‌ها یکی از دغدغه‌های مهندسی و متخصصین بوده است. در همین راستا روش‌های مختلف آزمایشگاهی، تجربی، تحلیلی و عددی جهت تخمین تغییر شکل زمین‌های خاکی در اثر حفر تونل و چگونگی توزیع این نشست، تاکنون پیشنهاد شده است.

روش‌های تجربی زیادی برای برآورد و تخمین میزان نشست تونل‌ها در خاک‌های نرم ابداع شد که از مهمترین آن‌ها می‌توان به روش‌های پک (۱۹۶۹)، اتنو (۱۹۸۶)، نیو و اریلی (۱۹۹۱) و روش نیمه تجربی لئو (۱۹۸۴) اشاره کرد. محققینی از قبیل ساگاستا (۱۹۸۷)، و ورویجت و بوکر (۱۹۹۶)، لوگاناتان و پولوس (۱۹۹۸) و پیتنو (۱۹۹۷) روش‌های تحلیلی را برای تخمین نشست ارائه کردند. مهم‌ترین آن‌ها روشی است که توسط ساگاستا (۱۹۸۷) ارائه شد که روش حل بسته‌ی الاستیکی را برای بدست آوردن کرنش‌ها در خاک غیر قابل تراکم ارائه کرد. [۱] با استفاده از روش‌های عددی بخصوص اجزاء محدود، می‌توان معادلات تنش-تغییر مکان و تراوش را به صورت‌های همزمان حل کرد. مهمترین مزیت روش‌های عددی، قابلیت ساخت مدل با پیچیدگی مختلف هندسی، بارگذاری و مصالح است. امروزه در بسیاری از پروژه‌ها برای تحلیل پایداری فضای ایجاد شده در زمین در اثر حفاری از مدلسازی عددی استفاده می‌شود. میر حبیبی و سرروش (۲۰۱۲) مدلسازی عددی دوبعدی بر روی داده‌های سایت تونل‌های دوقلو خط ۱ مترو شیراز انجام دادند و با تغییر فاکتورهای مختلف مثل عمق تونل، فاصله مرکز به مرکز تونل‌ها، سختی ساختمان‌ها، وزن ساختمان‌ها، پهنا و محل قرارگیری ساختمان‌ها روی سطح زمین به بررسی اندرکنش سازه-خاک پرداخته است. [۲] یزدچی (۲۰۰۵) با مدلسازی سه بعدی، تاثیر روش‌های مختلف حفر تونل در خاک‌ها با شرایط مختلف بر نشست سطح زمین و اثر نشست بر سازه‌های مجاور را مورد مطالعه قرارداد. [۳] شهرور و همکارش در سال ۲۰۰۳