

# اولویت‌بندی روش‌های پایداری متداول گودبرداری‌های شهری به روش AHP، گامی به سوی مدیریت بحران در ساخت‌وسازهای شهری

کیوان زندیه: کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران  
روح اله طاهرخانی\*: استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،  
taherkhani@eng.ikiu.ac.ir

رضاضیایی مؤید: دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

## چکیده

تعداد گودهای عمیق در سطح شهرها به دلیل افزایش جمعیت و ارزش بالای زمین افزایش یافته است. در همین راستا، بهره‌گیری از روش‌های مختلف پایداری گود به مسئله‌ای اجتناب‌ناپذیر برای مهندسان مبدل گشته است. با توجه به آمار بالای حوادث در کارهای گودبرداری، در راستای پیش‌گیری از این بحران در این مقاله به اولویت‌بندی روش‌های متداول پایداری جداره‌های گودهای شهری با استفاده از روش AHP پرداخته شده است. ابتدا با مصاحبه با کارشناسان این حوزه، در انتخاب ۶ روش پایداری و ۶ معیار برای بررسی این روش‌ها توافق شد. سپس با کمک پرسش‌نامه و مقایسه‌ی زوجی معیارها و گزینه‌ها با یکدیگر، با توجه به نظرات کارشناسان، هر یک از گزینه‌ها (روش‌ها) در معیارهای مختلف امتیازات متفاوتی به خود اختصاص دادند. در نهایت پس از تحلیل پرسش‌نامه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، ارزیابی و اولویت‌بندی نهایی روش‌ها صورت گرفته است. روش میخکوبی با در نظر گرفتن معیارهای این مقاله بهترین روش در گودهای کم‌عمق تا متوسط، شناخته شده است. پس از بررسی دو مطالعه‌ی موردی نتایج به‌دست آمده‌ی این تحقیق در مقایسه با روند انتخاب روش پایداری در عمل، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: گودبرداری‌های متداول شهری، روش‌های پایداری گود، اولویت‌بندی متخصصان، روش AHP، مدیریت بحران حوادث گودبرداری‌ها

## Prioritizing the common urban excavation supporting systems using AHP method: A step to crisis management in urban constructions

Keivan Zandie<sup>1</sup>, Roohollah Taherkhani<sup>2\*</sup>, Reza Ziaie Moayed<sup>3</sup>

### Abstract:

In urban areas, the number of deep excavations has been increasing due to the rising population and land cost. Hence, the application of different supporting systems for the excavations has become a common issue to engineers. Considering the critical accidents statistics in excavation works, this article has focused on prioritizing the most common supporting systems in the urban areas, using the AHP method. In the first step, by interviewing the experts on this issue, six common supporting systems and six criteria for prioritization of them were identified. Then, by designing a questionnaire, the pairwise comparison of the alternatives and criteria has been conducted. According to the expert's opinions, each of the supporting systems received different priorities in each of the six criteria. Finally, after the analysis of the questionnaires using EXPERT CHOICE, the final priorities of the supporting systems were presented. Accounting all the priorities in different criteria, "Soil Nailing" was recognized as the most appreciable method for supporting the excavation in shallow-to-medium excavation pits. In the final step, the article analysis results were evaluated compared with the real process of choosing the supporting systems in practical excavations.

**Keywords:** Common urban excavations, Excavation supporting systems, Prioritization by experts, AHP method, Excavation accidents crisis management

1 M.Sc Student, Faculty of Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2 Assistant Professor, Faculty of Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran; Email: ta-herkhani@eng.ikiu.ac.ir

3 Associate Professor, Faculty of Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

۸۱

شماره چهاردهم  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۷

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



بحران، رخدادی غیرمترقبه است که به طور طبیعی یا توسط بشر، ترکیبات زندگی روزمره و عادی مردم را در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی دستخوش تحول جدی می‌نماید [۱]. بحران به وضعیتی اطلاق می‌گردد که با تهدید شدید، عدم قطعیت و احساس فوریت همراه است. طیف وسیعی از پدیده‌ها مانند فجایع طبیعی و تکنولوژیک، سئیزه‌ها، آشوب‌ها و اقدامات تروریستی می‌توانند در این تعریف جای گیرند [۲]. مدیریت بحران، فعالیت‌ها و عملیات پیوسته‌ای است که در قالب برنامه‌ریزی، سازماندهی تشکیلات، رهبری، کنترل و هماهنگی برای پیش‌گیری از بحران و کاهش اثرات ناشی از آن و بهبود امور و اوضاع بعد از بحران صورت می‌گیرد. گفتنی است که مدیریت بحران را نباید فقط به منزله‌ی واکنش تاکتیکی در هنگام رخداد یک بحران و اتفاق در نظر گرفت، بلکه به منزله‌ی فعالیت‌های پیشگیرانه در درون فرایندهای مرتبط با پیش‌گیری از بحران و آمادگی بحران از طریق پاسخ بحران و بهبود وضعیت بحران در نظر گرفته می‌شود [۱].

در طرحی که از طرف سازمان ملل متحد و دفتر امور حوادث غیرمترقبه درباره‌ی مدیریت بحران ارائه شده است، مدیریت بحران را به چهار رکن اساسی تقسیم نموده است که عبارتند از کاهش و پیش‌گیری، آمادگی، مقابله و بازسازی. به طور کلی وظیفه‌ی مدیریت بحران کنترل بحران در زمان بسیار کوتاه با استفاده از بهترین اصول‌ها و روش‌ها است، و به طور خلاصه می‌توان گفت رابطه‌ی بحران با مدیریت بحران عبارت است از بهینه‌سازی شرایط برای مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از بحران [۳].

آسیب‌پذیری تابعی از میزان در معرض بودن (چه کسی و چه چیزی در ریسک است) و حساسیت یک سیستم (درجه‌ای که مکان‌ها و افراد آسیب می‌بینند) است. آسیب‌پذیری از تقابل سیستم‌های انسانی، محیط مصنوع و محیط طبیعی حاصل می‌شود. یکی از فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری جامعه‌ی شهری، واقع شدن آن در محدوده‌های مستعد خطر نظیر سواحل، سیلاب دشت‌ها، مناطق لرزه‌خیز و سایت‌های بالقوه‌ی آلوده است.

تاب‌آوری، تداوم ارتباط با یک سیستم را بیان می‌کند و عبارت است از یک معیار برای سنجش میزان توانایی این‌گونه سیستم‌ها برای جذب تغییر در متغیر وضعیت، متغیرهای متحرک و پارامترها که با این وجود پایداری سیستم حفظ شود. تاب‌آوری محلی با توجه به حوادث نیز بدین مفهوم است که یک جامعه‌ی محلی قادر به ایستادگی در برابر حوادث شدید طبیعی بدون صدمه دیدن از تلفات مخرب و خسارات یا از دست دادن قدرت تولید یا کیفیت زندگی باشد، درحالی که کمک زیادی از خارج از جامعه دریافت نکند. زیرساخت‌ها و ساختمان‌های غیرمستحکم، زیرساخت‌های عمومی ناکافی و توسعه‌ی صنعتی و تجاری، آسیب‌پذیری محیط مصنوع را در جوامع شهری افزایش می‌دهد [۴].

امروزه در صنعت ساخت‌وساز، به دلیل رشد قیمت و ارزش زمین، ساخت ساختمان‌های بلند در مناطق شهری باعث نیاز به گودبرداری‌های عمیق‌تر حتی با وجود خاک‌های نرم نامناسب و فشردگی فضا شده است. هنوز در کارهای گودبرداری و حفاری، نبود برنامه‌ریزی کافی، دوره‌های آموزشی ایمنی ضعیف، کمبود انگیزه برای برقراری ایمنی، و کمبود بررسی حوادث آن، به‌وفور به چشم می‌خورد که این مسائل موجب وقوع بحران در ساخت و سازهای شهری می‌گردد [۵، ۶].

بر اساس تحلیل سامانه‌ی اطلاعاتی تأمین دیه‌ی کارگران در سازمان آماري کار در امریکا (BLS)، حدود ۱۰۰۰ مورد از صدمات کارگران به‌طور سالانه مربوط به کارهای گودبرداری است؛ از این تعداد، حدود ۱۴۰ مورد از کارافتادگی دائم و ۷۵ مورد مرگ گزارش شده است [۷]. از این رو، برای پیش‌گیری و کنترل حوادثی که همواره در کارهای گودبرداری اتفاق می‌افتد، در مطالعه‌ی دیگر، در قالب توسعه‌ی پایدار به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در حوادث گودبرداری پرداخته شده است [۸]. این مقاله در راستای مدیریت بحران‌های ناشی از گودبرداری‌های شهری، به بررسی روش‌های پایدارسازی متداول در گودبرداری‌های شهری برای انتخاب بهترین روش‌ها برای تأمین ایمنی بیشتر در کارهای گودبرداری، می‌پردازد.

این مطالعه می‌تواند با تکیه بر چرخه‌ی مدیریت بحران، به‌ویژه در مرحله‌ی پیش‌گیری و آمادگی، از این رو که خطرات کارهای گودبرداری با توجه به آمارهای ارائه شده کاملاً آشکار است، از وقوع حوادث بسیار در گودبرداری‌ها پیش‌گیری نماید. همچنین با معرفی بهترین روش‌های پایدارسازی گودبرداری‌های متداول شهری با در نظر داشتن آسیب‌پذیری اجتناب‌ناپذیر ساختمان‌های مجاور، تاب‌آوری شهر را از جنبه‌ی کاهش خطرات جانی و مالی ناشی از حوادث گودبرداری، ارتقا می‌دهد.

اغلب مطالعات صرفاً حوادث گودبرداری‌ها و کارهای حفاری را هدف قرار داده‌اند. برای نمونه آربولدا و همکارش در سال ۲۰۰۴، ۲۹۶ گزارش مرتبط به حوادث حفاری و گودبرداری در OSHA را در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۷-۲۰۰۱، مورد بررسی قرار داده‌اند که دو مدل برای تحلیل این گزارش‌ها برای یافتن رابطه‌ی بین (چگونه) و (چرا) رخ دادن حوادث و تلفات در حفاری‌ها، به‌کار گرفته شده است. مدل اول روند فیزیکی کار را، و مدل دوم دلایل مرتبط به رفتار انسان را مبنای کار قرار داده است [۷].

روش (AHP)، یک روش ارزیابی با تلفیق تحلیل کیفی و کمی است که توسط ریاضی‌دان امریکایی A.L.Saaty در دهه‌ی ۱۹۷۰، شکل گرفته و گسترش یافته است. ایده‌ی اصلی ارزیابی این است که محقق مسئول ارزیابی، مشکل پیچیده را به سطوح مختلف و اجزای مختلف تقسیم می‌کند و با تشکیل مقایسات ساده، و قضاوت بین چندین جزء در یک سطح، در نهایت وزن به دست آمده از محاسبات در هر سطح را بر اساس تصمیم‌گیری متخصصان ارائه می‌دهد [۹، ۱۰]. محققان بسیاری از این تکنیک برای ارزیابی ریسک برای اهداف مهندسی و تجاری بهره برده‌اند [۱۱]. بوترو و همکارش با استفاده از روش AHP، دو روش حفاری میکروتونل

و ترانشه برداری را برای ساخت پروژه‌های فاضلاب شهری مقایسه نموده‌اند [۱۲]. جوو و همکارش به علت اهمیت خطر آب‌های زیرزمینی محصور در گودبرداری‌های عمیق به‌ویژه در خاک‌های نرم اشباع، که منجر به صدمه به ساختمان مجاور نیز می‌گردد با استفاده از تلفیق روش AHP و ارزیابی تلفیقی فازی، با تمرکز بر این مسئله، به ارزیابی ریسک‌های موجود پرداخته‌اند [۱۳]. کیم و همکاران برای ارزیابی تأثیرات متغیرهایی شامل عوامل انسانی، شرایط محل کار، حمل مصالح، و تجهیزات متحرک، با استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری به کمک نظر متخصصان و مجریان، از روش AHP فازی بهره گرفته‌اند [۱۴]. ینگ و همکاران با استفاده از روش AHP، نسبت‌های ۵ عامل اصلی منجر به حوادث در گودبرداری‌ها را شامل مشکلات در مدیریت در حین ساخت، تحقیقات و مطالعات قبل از آغاز به کار گودبرداری، طراحی، عملیات ساخت و نظارت بر ساخت، مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۹]. فنگ و همکاران، در مطالعه‌ای هم‌راستا با مقاله‌ی حاضر، با بهره‌گیری از روش AHP و تئوری تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی، برای کاهش دخالت انسانی، بر پایه‌ی علمی، برای تأمین نیازهای کاربردی، به انتخاب روشی مناسب برای پایدارسازی جداره‌های گود پرداخته‌اند [۱۵].

در این مقاله، با استفاده از چارچوب به دست آمده بر اساس مصاحبه با متخصصان این حوزه، روش‌های پایدارسازی گودبرداری‌های متداول شهری در ۶ معیار مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از روش AHP توسط متخصصان، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شده‌اند.

## روش‌های متداول پایدارسازی

### روش میخکوبی<sup>۲</sup>

در این روش متداول، گودبرداری به صورت مرحله‌ای صورت می‌گیرد (۱ تا ۲ متر). از پاشیدن بتن (شاتکریت) برای پوشش جداره‌ی گود معمولاً به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با قرار دادن یک شبکه‌ی متعامد آرماتورهای افقی و قائم (مش) استفاده می‌شود، چاهک‌ها در سطح دیوار توسط دستگاه‌های حفاری ویژه، به قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر حفاری شده و میل‌گردهای فولادی قرار داده شده و در نهایت دوغاب بدون ایجاد فشار تزریق می‌گردد [۱۶]. [۱۷]. در صورت محدودیت در کنترل تغییر مکان جداره، روش مناسبی نیست، محدودیت دیگر این روش در قرارگیری به‌ویژه در ردیف‌های بالاتر است، میخکوبی برای استفاده در مکان‌هایی که آب زیرزمینی زیادی وجود دارد، مناسب نیست [۵]. از مهم‌ترین مزیت‌های این روش اشغال نکردن فضای کار در داخل گود است.

### روش خریابی<sup>۳</sup>

این روش یکی از مناسب‌ترین و متداول‌ترین روش‌های اجرای سازه‌ی نگهبان در مناطق شهری است. اجرای آن ساده است و نیاز به تجهیزات و تخصص بالایی ندارد. همچنین قابلیت انعطاف‌پذیری زیاد از نظر اجرا در شرایط مختلف دارد. این روش، در ایران به‌میزان گسترده‌ای به‌کار می‌رود و می‌توان گفت که یکی از پرکاربردترین نوع سازه‌ی نگهبان گودها در ایران است [۱۷].

۱۸]. مراحل هشت‌گانه‌ی متوالی اجرای سازه‌های نگهبان خریابی شامل موارد زیر است:

۱. حفر چاه به‌طول  $(h+Lp)$ ؛ ۲. نصب آرماتوربندی شمع، پروفیل عضو قائم، و بتن‌ریزی شمع؛ ۳. برداشتن خاک، با شیب پایدار؛ ۴. اجرای پی پای عضو مایل؛ ۵. خاک‌برداری مرحله‌ی اول، و نصب عضو مایل؛ ۶. خاک‌برداری مرحله‌ی دوم و نصب اولین عضو افقی؛ ۷. خاک‌برداری مرحله‌ی بعد، و نصب ردیف بعدی عضوهای افقی و قطری و ۸. تکمیل اجرای خریا [۱۷]. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این روش اشغال فضای زیادی از محل گودبرداری و حجیم و سنگین شدن خریاها در گودهای عمیق است [۵].

### روش اجرای شمع درجا<sup>۴</sup>

روش اجرای شمع درجا برای ایجاد دیوار حائل، به دلیل در دسترس بودن و کارایی بالا بسیار روش محبوبی است. سه نوع دیواره‌ی شمع‌ی وجود دارد: با فاصله از هم<sup>۵</sup>، متقاطع<sup>۶</sup>، مماس بر هم<sup>۷</sup> [۱۷، ۱۹]. در ساخت دیواره‌ی شمع‌ی با فاصله از هم، فواصل بین شمع‌ها از قطر شمع، بیشتر است. قطر شمع‌ها و فاصله‌گذاری آن‌ها بر اساس نوع خاک و سطح آب زیرزمینی و میزان لنگرهای مورد نظر در طراحی تعیین می‌گردد، اما نباید این فواصل بسیار زیاد باشند، در غیر این صورت تدابیر ایمنی برای مهار ریزش توده‌های خاک باید در نظر گرفته شود [۵، ۱۹]. به‌طور معمول از شمع‌هایی با قطر، ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود [۱۶]. دیواره‌های شمع‌ی قابل استفاده در محدوده‌ی وسیعی از گودها با عمق‌های متفاوت، انواع خاک، بالاتر و پایین‌تر از سطح آب زیرزمینی هستند و در محدوده‌ی مالکیت زمین قابل اجرا هستند [۲۰].

### روش دوخت به پشت<sup>۸</sup>

روش مهار در خاک یا میل مهار یا دوخت به پشت از جمله مهم‌ترین روش‌های اجرای سازه‌های نگهبان است. این روش مشابهت زیادی با روش میخکوبی و روش مهارسازی دارد، ولی در آن به جای میل‌گرد (میخ) معمولی، از استرندها<sup>۹</sup> و تاندون‌های پیش‌تنیده<sup>۱۰</sup> و یا کابل‌های پیش‌تنیده<sup>۱۱</sup> و گاهی از میل‌گردهای ویژه‌ی پیش‌تنیده استفاده می‌کنند، در این روش بر خلاف روش میخکوبی، استرندها را در هنگام اجرای آن تحت کشش قرار می‌دهند. مزیت عمده‌ی این روش نسبت به روش میخکوبی تغییر شکل بسیار کمتر خاک است. بنابراین، در گودهایی که در مجاورت ساختمان‌ها قرار دارند، استفاده از این روش مناسب است [۱۷]. این روش به‌طور معمول برای گودبرداری‌های بزرگ‌تر مناسب است، چون فضای کار مناسبی در داخل گود مشابه روش‌های میخکوبی و مهارسازی در اختیار قرار می‌دهند. گرچه، از مهم‌ترین معایب آن مشابه دو روش مذکور لزوم گرفتن مجوز برای تجاوز به حریم همسایه، امکان برخورد با تأسیسات عمومی مدفون در زمین و باقی ماندن مهارها در گود پس از اتمام ساخت است؛ زیرا بیرون کشیدن آن‌ها حتی در صورت امکان بسیار هزینه‌بر خواهد بود [۲۱].

تفاوت این روش با روش مهارسازی و میخکوبی در اجرای مهارهاست، بدین شکل که پس از قرار دادن کابل‌های پیش‌تنیده

در چاهک، کابل‌های مذکور به کمک جک‌های ویژه‌ای کشیده می‌شود و انتهای بیرون آمده‌ی کابل بر روی سطح جداری گود مهار می‌گردد سپس به درون چاهک‌های مزبور بتن تزریق و پس از سخت شدن بتن و کسب مقاومت کافی آن، کابل‌ها از جک آزاد می‌شوند [۲۲].

### روش مهار متقابل<sup>۱۳</sup>

روش مهار متقابل برای استفاده در گودهای با عرض کم مناسب است، فضای کمی برای ماشین‌آلات و کار به جا می‌گذارد [۵، ۱۸]. در این روش اعضای قائمی مقابل هم در دو طرف گود قبل از آغاز گودبرداری در خاک کار گذاشته می‌شوند، و درحالی که گودبرداری پیش می‌رود تیرهایی افقی<sup>۱۳</sup> به‌طور موازی با شمع‌ها در مقابل آن‌ها نصب می‌شوند. در مقابل برای حمایت سازه‌ای تیرهای افقی، اعضای فشاری (پشت‌بندها)<sup>۱۴</sup> با قرارگیری در زاویه‌ی صحیح، که دو سر آزاد فوقانی این اعضا را به هم متصل می‌کنند، در صفحات افقی در عرض گود نصب می‌شوند. در جاهایی که گودبرداری بزرگ است، پشت‌بندها با شیب ملایم در گود<sup>۱۵</sup> قابل اجرا هستند. این عمل موجب آن می‌شود که هر یک از دو عضو قائم متقابل از طریق دستک‌های فشاری، یکدیگر را مهار کنند. این روش معمولاً برای گودهای با عرض کم، عموماً تا ۱۰ متر، و اعماق کم تا متوسط، مناسب و اقتصادی و اجرایی است [۲۳، ۱۷].

### روش مهارسازی با المان‌های قائم<sup>۱۶</sup>

در این روش ابتدا در حاشیه‌ی زمین، در فواصل معین چاه‌هایی حفر می‌شود. عمق چاه‌ها برابر عمق گود به اضافه‌ی ۲۵٪ تا ۳۵٪ عمق گود پایین‌تر از رقوم کف گود (عمق قرارگیری شمع‌ها ۱۰ تا ۳۰ درصد عمق گودبرداری) [۵] خواهد بود. پس از حفر چاه‌ها به‌طور معمول شامل شمع‌های فلزی (تکی و دوپل)، (در فواصل ۳ تا ۵ متر [۵] نظیر پروفیل IPB) داخل شمع جاگذاری می‌شود. در قسمت انتهایی این پروفیل‌ها شاخک‌هایی از نیشی یا ورق به صورت مثلثی و مستطیلی جوش می‌دهند تا پس از قرارگیری در داخل شمع، مهار کافی در دل شمع ایجاد نماید. سپس قسمت انتهایی شمع که قبلاً آرمان‌توربندی آن اجرا و کار گذاشته شده، بتن‌ریزی می‌شود [۱۸]. دیوار حاصل از این شمع‌ها از دیواره‌های طره‌ای غیروزی<sup>۱۷</sup> تشکیل می‌شوند که در یک یا چند تراز از دیوار، با روش مهارسازی به بخش پایدار خاک دوخته شده‌اند. در این نوع دیوارها، یا از المان‌های میله‌ای قائم (نظیر تیرهای خمشی قائم) یا از المان‌های صفحه‌ای قائم (نظیر سپرها) استفاده می‌کنند [۱۷]. پس از اجرای مراحل فوق، گودبرداری به‌صورت مرحله به مرحله اجرا می‌شود. پس از برداشتن خاک در هر مرحله، برای جلوگیری از ریزش خاک، با استفاده از دستگاه‌های حفاری ویژه، چاهک‌های افقی یا مایل به قطر حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در جداری گود ایجاد کرده و درون چاهک‌ها میل‌گردهایی کار می‌گذارند و درون آن‌ها را با بتن تزریق شده پر می‌کنند، طول چاهک‌ها به عمق گود و پارامترهای مکانیکی خاک  $\gamma=7000$  بستگی دارد که معمولاً بین ۵ تا ۱۰ متر متغیرند [۱۸، ۲۲]. این روش نیز همچون روش دوخت به

پشت، در مکان‌هایی که کنترل تغییر مکان جداره از اهمیت بالایی برخوردار است، مناسب است [۵].

## مواد و روش‌ها

روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) رویکردی مناسب برای به‌کارگیری در سیستم‌های پیچیده برای تصمیم‌گیری از میان چندین معیار است که مقایسه‌ای از معیارهای مورد بررسی را در اختیار می‌گذارد. اساس روش AHP، تشکیل یک سلسله‌مراتب با تقسیم‌بندی معیارها برای حل مشکل است. روش AHP در راستای تحلیل منطقی مشکل با تقسیم زیرمعیارهای آن به اعضای مستقل، کاربرد دارد؛ این تحلیل در گام بعد ابزاری در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد تا با مقایسات زوجی زیرمعیارها، بر اساس سلسله‌مراتب تشکیل شده، بتوانند تصمیم‌گیری نهایی را صورت دهند. این روش همچنین می‌تواند در نهایت اولویت‌بندی معیارها را ارائه کند [۱۱]. این روش به‌ویژه در زمینه‌های جدید که اندازه‌گیری‌ها و مقایسات کمی وجود ندارد، می‌تواند راهی برای کالیبره کردن و اختصاص مقادیر عددی به متغیرهای زبانی ارائه دهد [۱۳].

اساس کار روش AHP بر سه اصل اساسی استوار است:

۱. ایجاد ساختار شکست مسئله‌ی مورد بررسی؛ ۲. مقایسات زوجی معیارهای مختلف؛ ۳. تلفیق و به‌دست آوردن اولویت معیارها.

مرحله‌ی ۱ (ایجاد ساختار شکست مسئله) شامل تقسیم زیرمعیارها به گروه‌های ساده است که در سطوح مختلف در یک ساختار سلسله‌مراتب به نمایش در می‌آید. تجزیه‌ی ساختار از بالا به پایین، با قرارگیری (هدف) در صدر، و (معیارها) و (زیرمعیارها) در سطح بعد صورت می‌پذیرد.

مرحله‌ی ۲ (مقایسات زوجی معیارها) شامل اختصاص دادن میزانی از درجه‌ی اهمیت به هر گروه برای اندازه‌گیری اهمیت در هر سطح سلسله‌مراتب است. هر جزء مستقل به‌وسیله‌ی مقایسات زوجی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مقایسات در قالب مقیاس ۹ تایی صورت می‌پذیرند که همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، مقیاس اصولی ساعتی<sup>۱۸</sup> نام دارد [۹، ۱۲].

برای سادگی و عدم ایجاد خستگی و سردرگمی برای متخصصان به علت جامعیت و تعدد عوامل، در مقایسات زوجی در نظر گرفته شده در پرسش‌نامه، از ۵ سطح امتیازدهی استفاده شده است و مقادیر بینابین نادیده گرفته شده است.

سپس قضاوت‌های عددی در هر سطح از سلسله‌مراتب ماتریسی به‌وجود می‌آورند. در واقع در این ماتریس،  $n$  تعداد معیارها در یک سطح معین از سلسله‌مراتب، و  $m$  تعداد گزینه‌ها است. بنابراین  $n$  ماتریس در آن سطح با  $m$  سطر و  $m$  ستون شکل می‌گیرد. مثالی از ماتریس مقایسات زوجی در تصویر ۱ مشاهده می‌گردد. تمامی ماتریس‌های زوجی دو ویژگی اساسی دارند:

۱. قطر اصلی ماتریس همواره مقدار ۱ را به خود اختصاص می‌دهد (به دلیل اینکه هر معیار  $i$  با خود مقایسه می‌شود).

جدول ۱: اختصاص مقادیر عددی به متغیرهای زمانی برای بیان درجه‌ی اهمیت (مقیاس اصولی ساعتی) [۱۱، ۱۲، ۱۳]

تعریف	شدت اهمیت
اهمیت برابر	۱
ارجحیت کم	۳
ارجحیت قوی	۵
ارجحیت بسیار قوی	۷
ارجحیت کامل	۹
مقادیر بنیابین	۲ و ۴ و ۶ و ۸

N	۱	۲	۳	...	M
۱	۱				مقادیر قضاوت
۲		۱			
۳			۱		
...				۱	
M					۱

تصویر ۱: ماتریس مقایسات زوجی [۹]

جدول ۲: مقادیر میانگین شاخص تصادفی سازگاری (RI) [۲۱]

تعداد سطرو ستون ماتریس	RI
۱	۰
۲	۰
۳	۰.۵۲
۴	۰.۸۹
۵	۱.۱۲
۶	۱.۲۶
۷	۱.۳۶
۸	۱.۴۱
۹	۱.۴۶
۱۰	۱.۴۹
۱۱	۱.۵۲
۱۲	۱.۵۴
۱۳	۱.۵۶
۱۴	۱.۵۸
۱۵	۱.۵۹

۲. ماتریس‌ها معکوس هستند (مقادیری از ۱ تا ۹ در مقایسه‌ی معیار آنسبت به  $j$ ، و در مقابل مقادیر معکوس در مقایسه‌ی  $i$  نسبت به  $i$  در نظر گرفته می‌شود). توافق بر سر این مسئله وجود دارد که اولویت معیارها با یافتن بردار ویژه‌ی  $w$  اصلی ماتریس  $A$  محاسبه می‌گردد که به شکل رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید [۱۲، ۲۴].

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

$$\bar{w}_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad \text{رابطه‌ی ۳:}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

که در این روابط:

$A$ : ماتریس مقایسه‌ی زوجی با مقادیر مثبت؛

$n$ : تعداد سطرو ستون ماتریس؛

$\lambda_{\max}$ : بزرگ‌ترین مقدار ویژه؛

$w$ : بردار ویژه مرتبط به بزرگترین مقدار ویژه.

سازگاری ماتریس‌های قضاوت با بهره‌گیری از یک معیار اندازه‌گیری به نام نرخ سازگاری<sup>۱۹</sup> که به صورت رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌گردد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

که در آن:

$CI$ : شاخص سازگاری<sup>۲۰</sup>

$RI$ : شاخص تصادفی<sup>۲۱</sup>

$CI$  نیز به صورت رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌گردد:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

ژو مقادیر شاخص تصادفی (مقادیر  $RI$ ) ماتریس‌های قضاوت (تا اندازه  $15 \times 15$ ) را با انجام ۱۰۰۰ محاسبه، به دست آورده است، که در جدول ۲ به نمایش درآمده است [۲۴]. اگر  $CR$  ماتریس، مقدار بالایی داشته باشد، بدین معنی است که مقادیر قضاوت سازگار نیستند، بنابراین قابل اعتماد نیستند. عموماً، نرخ سازگاری  $0.1$  و پایین‌تر از آن مورد قبول است. اگر این مقدار بالاتر باشد، قضاوت‌ها مورد اعتماد نیستند و باید دوباره تجدید بشوند [۱۲].

## بحث و نتایج

تصویر ۲ سلسله‌مراتب ترسیم شده بر اساس نظر کارشناسان را برای شناسایی مناسب‌ترین روش پایدارسازی نمایش می‌دهد. پرسش‌نامه‌ی طراحی شده پس از بررسی و برطرف نمودن مشکلات استنباطی در اختیار بیش از ۳۸ متخصص قرار گرفت؛ در گام بعد پس از مکاتبات حضوری و غیرحضوری از قبیل پست الکترونیک و تماس تلفنی، تکمیل پرسش‌نامه به متخصصان یادآوری شد؛ در نهایت ۱۶ متخصص زنده اعم از متخصصان آکادمیک و متخصصان اجرایی و طراح و ناظر در پروژه‌های گودبرداری پرسش‌نامه‌ها را تکمیل نمودند. پس از بررسی تمامی پرسش‌نامه‌ها، میانگین هندسی نظرهای متخصصان محاسبه گشت؛ پس از به‌دست آمدن ماتریس‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice که نرم‌افزاری برای انجام محاسبات در تعیین



## یافتن روش بهینه پایدارسازی جداره های گود



تصویر ۲: سلسله مراتب ترسیم شده بر اساس نظر متخصصان برای یافتن روش بهینه پایدارسازی گودهای شهری

جدول ۳: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی معیارهای مورد بررسی جهت انتخاب روش بهینه پایدارسازی

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	$w_i$
B1	۱	۱,۶۱۷	۰,۲۰۱	۱,۳۳۱	۰,۲۲۸	۱,۰۶۵	۰,۰۹۰
B2		۱	۰,۲۴۷	۱,۵۴۳	۰,۳۰۶	۰,۹۰۴	۰,۰۸۳
B3			۱	۳,۵۹۵	۰,۳۵۱	۲,۱۹۸	۰,۲۶۵
B4				۱	۰,۲۳۲	۰,۶۶۸	۰,۰۶۸
B5					۱	۳,۷۶۸	۰,۳۹۸
B6						۱	۰,۰۹۷
$\lambda_{max} = 6.2174$ $RI = 1.26$ $CI = 0.043$ $CR = 0.034$							

جدول ۴: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی روش های پایدارسازی در معیار هزینه

	B11	B12	B13	B14	B15	B16	$w_i$
B11	۱	۰,۷۷۴	۱,۷۴۳	۳,۲۷۱	۱,۴۴۸	۳,۷۱۰	۰,۲۴۵
B12		۱	۲,۱۵۳	۳,۷۹۱	۲,۱۶۴	۳,۸۵۳	۰,۳۰۴
B13			۱	۱,۲۰۳	۰,۸۹۰	۱,۳۰۹	۰,۱۲۲
B14				۱	۰,۲۶۷	۰,۳۰۰	۰,۰۶۳
B15					۱	۰,۸۷۱	۰,۱۵۵
B16						۱	۰,۱۱۱
$\lambda_{max} = 6.2737$ $RI = 1.26$ $CI = 0.054$ $CR = 0.043$							

اولویت بندی ها به روش AHP است. پاسخ ها برای بررسی مورد تحلیل قرار گرفتند. محاسبه ی وزن هر یک از معیارها با استفاده از روابط ۱ تا ۵ صورت می پذیرد. برای اطمینان از کیفیت پاسخ متخصصان نرخ سازگاری هر یک از ماتریس ها با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه گشت. جدول ۳ نتایج حاصل از نظر متخصصان در اولویت بندی معیارهای مورد بررسی را به نمایش می گذارد. جداول ۴ تا ۹ ماتریس های قضاوت و نتایج حاصل در وزن دهی روش های پایدارسازی متداول در گودبرداری های شهری در معیارهای «هزینه»، «سرعت اجرا»، «قابلیت اجرا در خاک ها و شرایط مختلف»، «سهولت اجرا»، «ایمنی»، و «اجرا با تجهیزات و تخصص موجود» را به ترتیب نمایش می دهند. در نهایت همان طور که در جداول ۳ تا ۹ مشاهده می گردد، همه ی نرخ های سازگاری محاسبه شده کمتر از ۰/۱ هستند، بنابراین نتایج به دست آمده کاملاً قابل اعتماد هستند. با استفاده از نرم افزار Expert Choice اولویت بندی نهایی گزینه ها با توجه به هدف (روش بهینه ی پایدارسازی گودبرداری های متداول شهری) در تصویر ۳ به نمایش درآمده اند.

جدول ۵: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی روش های پایدارسازی در معیار سرعت اجرا

	B21	B22	B23	B24	B25	B26	$w_i$
B21	۱	۱,۶۰۹	۱,۴۴۸	۳,۰۱۹	۲,۳۴۳	۵,۰۴۴	۰,۳۲۴
B22		۱	۰,۸۵۷	۱,۱۵۴	۱,۰۸۲	۱,۰۴۸	۰,۱۴۳
B23			۱	۲,۳۳۰	۱,۶۰۱	۱,۶۹۶	۰,۱۹۶
B24				۱	۰,۵۲۷	۰,۹۶۸	۰,۰۹۶
B25					۱	۰,۸۴۳	۰,۱۳۰
B26						۱	۰,۱۱۱
$\lambda_{max} = 6.1419$ $RI = 1.26$ $CI = 0.028$ $CR = 0.022$							

جدول ۶: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی روش های پایدارسازی در معیار قابلیت اجرا در خاک ها و شرایط مختلف

	B31	B32	B33	B34	B35	B36	$w_i$
B31	۱	۲,۹۴۰	۱,۳۹۶	۲,۲۸۸	۱,۹۰۶	۱,۷۷۹	۰,۲۸۱
B32		۱	۰,۶۵۵	۰,۵۳۵	۰,۸۷۵	۰,۵۴۱	۰,۰۹۶
B33			۱	۰,۷۱۲	۱,۶۹۶	۰,۸۵۳	۰,۱۵۹
B34				۱	۱,۴۸۶	۰,۹۵۸	۰,۱۷۰
B35					۱	۰,۴۲۶	۰,۱۰۷
B36						۱	۰,۱۸۷
$\lambda_{max} = 6.0817$ $RI = 1.26$ $CI = 0.016$ $CR = 0.012$							

جدول ۷: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی روش های پایدارسازی در معیار سهولت اجرا

	B41	B42	B43	B44	B45	B46	$w_i$
B41	۱	۱,۷۳۵	۱,۳۸۰	۴,۰۶۰	۲,۹۷۲	۳,۸۳۰	۰,۳۱۹
B42		۱	۰,۶۷۶	۱,۸۰۸	۲,۷۱۷	۱,۲۵۴	۰,۱۷۱
B43			۱	۲,۹۲۶	۱,۹۱۶	۲,۷۳۲	۰,۲۳۲
B44				۱	۰,۸۱۷	۱,۰۹۹	۰,۰۸۶
B45					۱	۰,۷۷۵	۰,۰۹۳
B46						۱	۰,۰۹۹
$\lambda_{max} = 6.0907$ $RI = 1.26$ $CI = 0.018$ $CR = 0.014$							

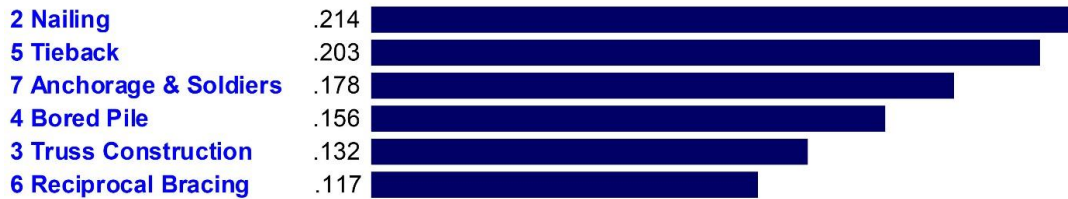
جدول ۸: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی روش های پایدارسازی در معیار ایمنی

	B51	B52	B53	B54	B55	B56	$w_i$
B51	۱	۴,۳۷۰	۰,۹۶۹	۰,۱۹۷	۰,۹۱۴	۰,۳۰۷	۰,۱۱۶
B52		۱	۰,۴۳۱	۰,۲۲۳	۰,۵۷۹	۰,۳۵۰	۰,۰۵۸
B53			۱	۰,۳۳۹	۰,۹۹۵	۰,۴۵۴	۰,۱۱۴
B54				۱	۳,۳۴۱	۱,۳۸۰	۰,۳۵۹
B55					۱	۰,۴۳۸	۰,۱۰۶
B56						۱	۰,۲۴۷
$\lambda_{max} = 6.2374$ $RI = 1.26$ $CI = 0.047$ $CR = 0.037$							

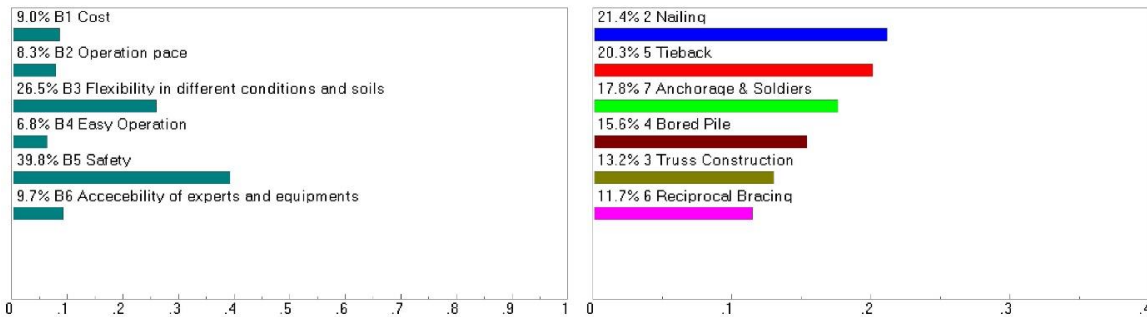
جدول ۹: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن دهی روش های پایدارسازی در معیار اجرا با تجهیزات و تخصص موجود

	B61	B62	B63	B64	B65	B66	$w_i$
B61	۱	۰,۴۴۳	۰,۷۷۹	۳,۹۱۴	۰,۶۹۷	۲,۴۰۶	۰,۱۶۹
B62		۱	۱,۳۵۲	۳,۱۵۱	۲,۱۵۳	۳,۵۳۹	۰,۲۹۵
B63			۱	۳,۱۴۹	۱,۹۴۶	۳,۶۵۲	۰,۲۳۹
B64				۱	۰,۳۸۵	۰,۶۲۱	۰,۰۶۳
B65					۱	۱,۱۹۶	۰,۱۴۸
B66						۱	۰,۰۸۶
$\lambda_{max} = 6.1664$ $RI = 1.26$ $CI = 0.033$ $CR = 0.026$							

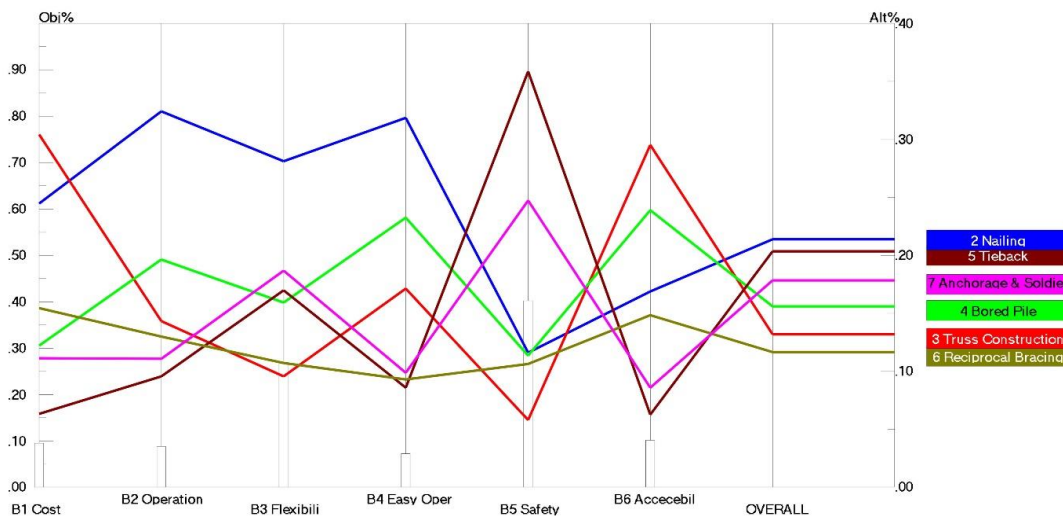
**Synthesis with respect to:**  
**Goal: Choosing the Excavation supporting system**  
 Overall Inconsistency = .03



تصویر ۳: خروجی نرم افزار Expert Choice در اولویت بندی نهایی گزینه‌ها (روش‌ها) با توجه به هدف (روش بهینه پایدارسازی گودبرداری‌های متداول شهری).



تصویر ۴: خروجی نرم افزار Expert Choice در بخش تحلیل حساسیت دینامیک



تصویر ۵: خروجی نرم افزار Expert Choice در تحلیل حساسیت عملکرد

تأثیرگذار در انتخاب روش پایدارسازی شناخته شده است، دو گود با شرایط متفاوت برای بررسی انتخاب شدند. جدول ۱۰ مشخصات اصلی دو پروژه‌ی مذکور را نمایش می‌دهد. در نگاه اول شباهت دو پروژه در ابعاد و مساحت زمین و عمق گود به چشم می‌خورد، اما تفاوت اصلی در نوع خاک و شرایط ملک مجاور منجر به انتخاب دو سیستم پایدارسازی گوناگون برای دو پروژه شده است. در پروژه‌ی اول اضلاع جنوبی و شرقی مورد پایدارسازی قرار گرفته‌اند که ضلع جنوب در مقابل خیابانی کم تردد واقع گشته و در ضلع شرقی به میزان ۳ متر زیر ساختمان مجاور مورد پایدارسازی قرار گرفته است و در پروژه‌ی دوم نیز اضلاع

خروجی‌های مختلف نرم‌افزار برای درک بهتر از اولویت و اهمیت هر یک از معیارها و روش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تصویر ۴ خروجی تحلیل حساسیت دینامیک را به تصویر می‌کشد. تصویر ۵ نیز آنالیز خروجی تحلیل حساسیت عملکرد را نمایش می‌دهد.

### مطالعات موردی

در راستای ارزیابی نتایج به دست آمده، دو پروژه‌ی گودبرداری با شرایطی متفاوت در این بخش مورد بررسی قرار خواهند گرفت. از آنجا که مطابق نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها در تصویر ۴، معیار «قابلیت اجرا در خاک‌ها و شرایط مختلف» دومین معیار



### جدول ۱۰: مشخصات مطالعات موردی انتخاب شده

مکان پروژه	مساحت زمین	عمق گود	روش پایدارسازی	نوع خاک
۱. کرج، مهرشهر، بلوار شهرداری، نبش خیابان ۲۲۳، مجتمع تجاری زندیه	۹۸۸	۱۰/۹۰	میخکوبی	تیپ ۳- رسی-سیلنتی
۲. کرج، خ شهید بهشتی، نرسیده به میدان شهدا، ساختمان مدیریت شعب بانک مسکن استان البرز	۱۲۰۰	۱۱/۴۵	مهارسازی با المان قائم	تیپ ۲- شن با دانه بندی متوسط

### جدول ۱۱: وضعیت املاک و زمین‌های مجاور گود در پروژه‌ها

عنوان پروژه	ضلع شمالی	ضلع جنوبی	ضلع غربی	ضلع شرقی
پروژه ۱	ساختمان مجاور با فاصله ۱۵ متر از دیواره گود	متقابل به خیابان فرعی کم تردد	زمین خالی	ساختمان نوساز مجاور دیواره گود دارای دو طبقه دیوار برشی در زیرزمین
پروژه ۲	متقابل به پیاده‌رو خیابان اصلی	ساختمان فرسوده مجاور گود	متقابل به کوچه با عرض کم در محله‌ای فرسوده	زمین خالی

نتایج طراحی نشانگر پاسخ‌گویی سیستم مهارسازی با المان قائم در این ضلع بوده است که در غیر این صورت باید روش دوخت به پشت به منزله‌ی سیستم پایدارسازی در نظر گرفته می‌شد.

علیرغم وجود خاک ریزدانه رسی- سیلنتی در پروژه‌ی اول با مشخصات مکانیکی بسیار ضعیف‌تر نسبت به پروژه‌ی دوم که دارای خاکی با دانه‌بندی مناسب و مشخصات مکانیکی قابل قبول است، طراحی سیستم میخکوبی برای پروژه‌ی اول و طراحی سیستم مهارسازی با المان قائم در پروژه‌ی دوم نکته‌ی جالب توجهی است. در توضیح این نکته می‌توان به اهمیت شرایط و محل قرارگیری پروژه و همجواری همسایگان اشاره داشت که منجر به تعیین اهمیت میزان تغییر مکان مجاز در پروژه می‌شود.

دلایل گوناگونی برای کنار گذاشتن سایر روش‌ها در این پروژه‌ها پس از بررسی‌های جامع روش‌ها بر اساس شرایط موجود از سوی مجریان مطرح گشت که می‌توان به موارد ذیل اشاره داشت:

۱. با شرایط موجود روش خرابایی نسبت به روش‌های انتخاب شده به هزینه‌ی بیشتری احتیاج دارد. گفتنی است سرعت اجرای کمتر و جایگیر بودن این روش، تمایل به آن را به صفر می‌رساند.
۲. روش مهار متقابل با توجه به بزرگ بودن ابعاد زمین، دارای توجیه فنی و اقتصادی کافی برای اجرا نیست.
۳. با توجه به حساسیت تغییر مکان‌های مورد نیاز، روش اجرای شمع درجا پاسخ‌گوی نیاز در این پروژه نیست. علاوه بر این اشغال فضای بسیار از زمین باعث تحمیل هزینه‌ی بسیار زیاد به کارفرما با از دست دادن چندین متر از زمین می‌گردد.
۴. با وجود درجه اطمینان بسیار بالای روش دوخت به پشت، نیاز به تخصص بالاتر و هزینه‌ی بیشتر و سرعت پایین‌تر این روش، باعث شده تا این روش فقط در شرایط خاصی در پروژه به کار گرفته شود که منوط به طراحی سیستم پایدارسازی و کنترل‌های نهایی توسط طراح است و در صورت صلاح دید طراح این روش به کار گرفته می‌شود.

جنوبی و غربی با استفاده از روش مهارسازی با المان قائم و اضلاع شمالی و شرقی با استفاده از روش میخکوبی مورد پایدارسازی قرار گرفته‌اند. جدول ۱۱ وضعیت املاک و زمین‌های همجوار پروژه‌ها را نمایش می‌دهد.

### تحلیل مطالعات موردی

طی مصاحبه‌ای که با مجریان پروژه‌های مذکور صورت گرفت با توجه به شرایط موجود شامل شرایط خاک و وضعیت ملک مجاور و عمق گود، سیستم‌های پایدارسازی پیشنهادی اولیه با در نظر داشتن توجیه فنی و اقتصادی به کارفرما ارائه شده است که با در نظر داشتن شرایط مذکور به طور معمول سیستم پایدارسازی مورد نیاز قابل پیش‌بینی است.

در پروژه‌ی اول با توجه به واقع شدن گود در خیابانی کم تردد، مشخصاً تغییر مکان ناشی از بار دینامیک (وسایل نقلیه‌ی عبوری) قابل چشم‌پوشی است، بنابراین سیستم‌های میخکوبی و مهارسازی با المان قائم به منزله‌ی گزینه‌های پیشنهادی اولیه ارائه شده‌اند. پس از طراحی روش پایدارسازی مشخص شد که روش میخکوبی پاسخ‌گوی تغییر مکان مورد نیاز در پروژه است و به المان‌های قائم که هزینه‌ی بیشتری اعمال می‌کند، نیازی نیست. در پروژه‌ی دوم برای پایدارسازی ضلع غربی پروژه با در نظر داشتن فرسوده بودن ساختمان‌های مجاور و قرار داشتن گودبرداری دیگری سمت دیگر کوچه در مقابل پروژه، نیاز به تغییر مکان بسیار جزئی کاملاً آشکار است. از این رو در گام اول دو روش مهارسازی با المان قائم و روش دوخت به پشت (المان‌های پیش‌تنیده) به منزله‌ی سیستم‌های پیشنهادی ارائه شده‌اند. از آنجا که روش دوخت به پشت به صرف هزینه و زمان و تخصص بیشتری نیاز دارد، با وجود ایمنی بسیار بالاتر روشی اقتصادی برای پایدارسازی این ضلع نیست. لذا تلاش اولیه‌ی طراحان بر این بوده است تا با استفاده از شمع‌های با مقطع H با طول گیرداری استاندارد و مهارهایی با طول کمتر به دلیل محدودیت فضای مقابل این ضلع، تغییر مکان مورد نیاز را تأمین نمایند. در نهایت

با توجه به اهمیت معیارهای ایمنی و قابلیت اجرا در خاک‌ها و شرایط مختلف برای مجریان پروژه‌ها در عمل، نتایج انتخاب روش‌های پایداری برای دو پروژه مذکور، معیارهای به دست آمده بر اساس نتایج این تحقیق را مورد تأیید قرار می‌دهند. همچنین سایر معیارهای تعیین شده در این تحقیق نیز همواره در انتخاب روش پایداری، مورد توجه واقع می‌شوند. لذا اجرای روش میخکوبی در پروژه‌ی اول با در نظر داشتن قابلیت اجرا با شرایط موجود و اطمینان از جواب‌گویی و ایمنی آن و اجرای روش مهارسازی با المان‌های قائم در پروژه‌ی دوم با توجه به نیاز به ضریب اطمینان بیشتر به دلیل اهمیت بالاتر تغییر مکان دیواره‌ی گود، نشانگر اولویت این روش‌ها نسبت به سایر روش‌ها در عمل است. انتخاب روش‌های میخکوبی و مهارسازی با المان قائم و دوخت به پشت در بیشتر گودهای ۷ تا ۱۶ متری (کم عمق تا متوسط)، نتایج به دست آمده بر اساس مطالعات انجام شده به روش AHP را تأیید می‌نماید.

### نتیجه‌گیری

انجام صحیح گودبرداری‌ها می‌تواند نقش بسیار مؤثری در پیش‌گیری از وقوع بحران‌های جانی و مالی در ساخت و سازهای شهری داشته باشد. گودبرداری صحیح و اصولی در یک پروژه نیازمند بررسی شرایط و ویژگی‌های کلی لایه‌های خاک، اثرات آب، ساختمان‌های مجاور، شرایط هندسی و فضا است. با بررسی روش‌های مذکور، به خوبی می‌توان دریافت که هیچ‌یک از این روش‌ها کامل نیست و هر محیطی با شرایط و ویژگی‌هایش، روشی را می‌طلبد که علاوه بر جوابگو بودن، از نظر اقتصادی و زمانی نیز توجیه‌پذیر باشد. بر اساس مطالعه‌ی حاضر، برای پایداری گودهای شهری، روش میخکوبی علی‌رغم محدودیت‌هایش، روش مناسب‌تری از سایر روش‌ها باشد. با توجه به ۶ معیار در نظر گرفته شده برای انتخاب روش مناسب پایداری در گودهای شهری، روش‌های مختلف دارای برتری نسبی هستند اما در نهایت نتایج نشانگر برتری کلی روش نیلینگ و دوخت به پشت نسبت به سایر روش‌هاست.

تعیین‌کننده‌ترین معیارها، در این مطالعه «ایمنی» و «قابلیت اجرا در شرایط و خاک‌های مختلف» شناخته شده‌اند. از این رو مشاهده می‌گردد، روش‌هایی که در این دو معیار نسبت به سایرین برتری داشته‌اند، در اولویت‌بندی نهایی نیز برترین شناخته شده‌اند. بر اساس تحلیل نتایج، اولویت‌بندی نهایی روش‌ها با در نظر گرفتن معیارهای تحقیق، به ترتیب روش میخکوبی، روش دوخت به پشت، روش مهارسازی با المان قائم، روش اجرای شمع درجا، روش خرپایی، و روش مهار متقابل است.

در مقایسه‌ی نتایج حاصل از تحلیل پرسش‌نامه‌ها توسط نرم‌افزار با نتایج مطالعات موردی به وضوح منطقی بودن پاسخ‌های به دست آمده قابل مشاهده است. این نتایج نشانگر این مسئله هستند که مجریان و متخصصانی که به طور مستقیم در این زمینه فعالیت دارند، در گام اولیه به منظور انتخاب روش پایداری مناسب، به چه معیارهایی توجه دارند و اینکه

معیارهای به دست آمده بر اساس مطالعات انجام شده در عمل نیز مورد توجه واقع می‌شوند.

در نهایت با در نظر داشتن نیاز روزافزون به گودبرداری در پروژه‌ها و آمار بالای حوادث در کارهای گودبرداری، برای مدیریت این بحران، پیشنهاد می‌گردد پیش از آغاز پروژه معیارهای مذکور به دقت مورد بررسی قرار گیرند تا روشی اصولی بر اساس شرایط موجود پروژه انتخاب گردد.

### پی‌نوشت

1. Analytic Hierarchy Process
2. Nailing
3. Truss construction
4. Cast in-situ bored pile
5. Contiguous pile wall
6. Secant pile wall
7. Tangent pile wall
8. Tieback
9. Strands
10. Prestressing tendons
11. Prestressing cables
12. Reciprocal support
13. Wale
14. Strut
15. Raker
16. Anchorage and soldier piles
17. Nongravity cantilevered walls
18. Fundamental scale of Saaty
19. Consistency Ratio
20. Consistency Index
21. Random Index

### فهرست علائم

<i>A</i>	ماتریس مقایسات زوجی قضاوت
<i>C</i>	چسبندگی خاک
<i>H</i>	عمق گود، <i>m</i>
<i>L<sub>p</sub></i>	طول شمع (عمق گیرداری)، <i>m</i>
<i>n</i>	تعداد سطر و ستون ماتریس
<i>w</i>	بردار ویژه مرتبط به بزرگ‌ترین مقدار ویژه
<i>CI</i>	شاخص سازگاری
<i>CR</i>	نرخ سازگاری
<i>RI</i>	شاخص تصادفی
$\lambda_{\max}$	بزرگ‌ترین مقدار ویژه
$\varphi$	زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک، درجه
$\gamma$	وزن مخصوص خاک، $\frac{kN}{m^3}$

14. Kim, D. I., et al. (2014). A Fuzzy AHP-based Decision Support Model for Quantifying Failure Risk of Excavation Work. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(7), 1966-1976.
15. Feng, Q., Zhu, N., and Zhang, Y. (2014). Multi-objective optimizing selection method for supporting structure of deep foundation excavation. *Advanced Materials Research Vols 889-890*, 1337-1342.
16. Ergun, M. U. (2008). *Deep Excavations. Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, See also URL [http://www.ejge.com/Bouquet08/UfukErgun\\_ppr.pdf](http://www.ejge.com/Bouquet08/UfukErgun_ppr.pdf).
۱۷. اشرفی، حمیدرضا (۱۳۹۴). گودبرداری و سازه‌های نگهبان. انتشارات نوآور، نوبت هفدهم چاپ، ویرایش دوم، ۱۱۰-۱۷۴.
۱۸. سرمد نهری، امیر؛ کادان، محسن (۱۳۹۲). اصول و مبانی گودبرداری و سازه‌های نگهبان. انتشارات سیمای دانش، نوبت پنجم چاپ، ویرایش دوم، صفحات ۲۱۶-۲۴۶.
19. Godavarthi, V. R., et al. (2011). Contiguous Pile Wall as a Deep Excavation Supporting System. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, Issue 19, 144-160 (ISSN 1583-1078).
20. Gil-Martin, L. M., et al. (2012). Developments in excavation bracing systems. *Tunnelling and Underground Space Technology* 31, 107-116.
21. Kim, G. H., et al. (2005). Modified braced wall system with pre-stressed wale for excavation in urban areas. *Building and Environment* 40, 1689-1696.
۲۲. سازمان نظام مهندسی ساختمان استان تهران (۱۳۹۳). مجله پیام نظام مهندسی استان تهران، شماره ۵، دوره ۱ ششم، سال هفدهم، تابستان، ۱۵-۱۳.
23. Raymond, G. P. (1997). Braced and Strutted Excavations. *Geotechnical Engineering*, p.No.185. See also URL <http://www.geoffice.it/files/Download/19-BRACE.pdf>.
24. Li, F., et al. (2013). Improved AHP Method and Its Application in Risk Identification. *Journal of Construction Engineering and Management* 139 (3), 312-320.
۱. علوی، علی؛ سالاروند، اسماعیل؛ احمدآبادی، علی؛ فرخی سیس، سعیده؛ بسحاق، محمدرضا (پاییز و زمستان ۱۳۹۱). تحلیل فضا-مکانی عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی بر پایه‌ی مدیریت بحران با استفاده از روش تلفیقی MCDM و تحلیل شبکه، مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی ۶ تهران. دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره‌ی دوم.
۲. رحمانی، یاسر؛ اسماعیلی، علیرضا؛ صحرایی، کبری (اردیبهشت ماه ۱۳۹۶). تأثیر مدیریت در مراحل بحران بر امنیت شهری. اولین کنفرانس بین‌المللی و هشتمین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، مشهد.
۳. آرمان نژاد، امید؛ حیدری، مسلم (مرداد ماه سال ۱۳۹۶). کاربرد چرخه‌ی مدیریت بحران در بناها و بافت‌های تاریخی با استناد از واژگان تخصصی مرمت. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه اسوه.
۴. بهتاش، محمدرضا فرزاد؛ آقا بابایی، محمد تقی؛ کی نژاد، محمد علی؛ پیربابایی، محمد تقی (اسفند ماه سال ۱۳۹۱). تاب‌آوری شهر؛ مفاهیم و مدل‌ها. اولین کنفرانس ملی بهسازی و مقام‌سازی بافت‌های شهری در مجاورت گسل‌های فعال، تبریز.
5. Yasrebi, S, et al. (2015). Support Systems for Deep Urban Excavation. *State of the Art and Innovation Trends*, Bangkok.
6. Pan, N. F. (2009). Selecting an appropriate excavation construction method based on qualitative assessments. *Expert Systems with Applications* 36(5), 5481-5490.
7. Arboleda, C. and Abraham, M. (2004). Fatalities in Trenching Operations—Analysis Using Models of Accident Causation. *Journal of Construction Engineering and Management* 130(2), 273-280.
۸. زندیه، کیوان؛ طاهرخانی، روح اله؛ ضیایی موید، رضا (۱۳۹۴). تحلیل موضوعی مطالعات مدیریت ایمنی در صنعت ساخت. سومین کنگره‌ی بین‌المللی عمران، معماری و توسعه‌ی شهری.
9. Yang, Z., Liu, J., and Wang, Y. (2015). Weight Analysis of Accident Factors in Deep Foundation Excavation Based on Analytic Hierarchy Process. *Applied Mechanics and Materials* 711, 529-534.
10. Hyun, K. C., et al. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 49, 121-129.
11. Jeng, H. L., and Feng, C. C. (2015). AHP-Based Risk Assessment of Construction Project of New Factory for High Technology. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 5(1), See also URL <http://www.ijetae.com> (ISSN 2250-2459).
12. Bottero, M., and Peila, D. (2005). The use of Analytic Hierarchy Process for the comparison between microtunnelling and trench excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology* 20, 501-513.
13. Ju, J., and Xu, L. P. (2007). Construction risk assessment on deep excavation pits due to confined water. *ISGSR2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk*, Shanghai.

