Archive of SID

اولویت‌بندی روش‌های پایدارسازی 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
رضا ضیایی 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 پایدارسازی 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 پایدارسازی جداره‌های گودهای شهری با استفاده از روش AHP پرداخته شده است. ابتدا با مصاحبه با کارشناسان این حوزه، در انتخاب ۶ روش پایدارسازی 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 نظرگرفتن 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 پایدارسازی در عمل، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *گودبرداری‌های متداول شهری، روش‌های پایدارسازی 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 [1], Roohollah Taherkhani [2*], Reza Ziaie Moayed [3]

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 criterions for prioritization of them were identified. Then, by designing a questionnaire, the pairwise comparison of the alternatives and criterions has been conducted. According to the expert's opinions, each of the supporting systems received different priorities in each of the six criterions. 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 criterions, "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: taherkhani@eng.ikiu.ac.ir
3 Associate Professor, Faculty of Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بحران، رخدادی غیرمترقبه است که به‌طور طبیعی یا توسط بشر، ترکیبات زندگی روزمره و عادی مردم را در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی 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، ستیزه‌ها، 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 به‌منزله‌ی واکنش تاکتیکی در هنگام رخداد یک بحران و اتفاق در نظر گرفت، بلکه به‌منزله‌ی فعالیت‌های پیشگیرانه در درون فرایندهای مرتبط با پیش‌گیری از بحران و آمادگی بحران ازطریق 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. به‌طور کلی وظیفه‌ی مدیریت بحران کنترل بحران در زمان بسیار کوتاه با استفاده از بهترین اصول‌ها و روش‌ها است، و به‌طور 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 به‌چشم 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 آماری 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 مطالعه‌ای 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)[1]، 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

www.SID.ir

Archive of SID

و ترانشه‌برداری 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[۲]

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 درنهایت 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 خرپایی[۳]

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 خرپایی 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 خرپا [۱۷]. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این روش اشغال فضای زیادی از محل گودبرداری و حجیم و سنگین شدن خرپاها در گودهای عمیق است [۵].

روش اجرای شمع درجا[۴]

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[۵]، متقاطع[۶]، مماس بر هم[۷] [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[۸]

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[۹] و تاندون‌های پیش‌تنیده[۱۰] و یا کابل‌های پیش‌تنیده[۱۱] 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 درصورت 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

www.SID.ir

Archive of SID

در چاهک، کابل‌های مذکور به کمک جک‌های ویژه‌ای کشیده می‌شود و انتهای بیرون آمده‌ی کابل بر روی سطح جداره‌ی 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[۱۳]

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[۱۳] به‌طور موازی با شمع‌ها در مقابل آن‌ها نصب می‌شوند. در مقابل برای حمایت سازه‌ای تیرهای افقی، اعضای فشاری (پشت‌بندها)[۱۴] 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[۱۵] 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 [۱۷، ۲۳].

روش مهارسازی با المان‌های قائم[۱۶]

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 دوبل)، (در فواصل ۳ تا ۵ متر [۵] نظیر پروفیل IPB) داخل شمع جاگذاری می‌شود. در قسمت انتهایی این پروفیل‌ها شاخک‌هایی از نبشی 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 آرماتوربندی آن اجرا و کار گذاشته شده، بتن‌ریزی می‌شود [۱۸]. دیوار حاصل از این شمع‌ها از دیواره‌های طره‌ای غیروزنی[۱۷] 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 جداره‌ی گود ایجاد کرده و درون چاهک‌ها میل گردهایی کار می‌گذارند و درون آن‌ها را با بتن تزریق‌شده پر می‌کنند، طول چاهک‌ها به عمق گود و پارامترهای مکانیکی خاک γ, φ, c 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 ۹تایی صورت می‌پذیرند که همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، مقیاس اصولی ساعتی[۱۸] 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. بنابرین 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).

www.SID.ir

Archive of SID

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 بینابین	۲ و ۴ و ۶ و ۸

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

تصویر۱: ماتریس مقایسات زوجی [۹]

۲. ماتریس‌ها معکوس هستند (مقادیری از ۱ تا ۹ در مقایسه‌ی معیار i نسبت به j، و در مقابل مقادیر معکوس در مقایسه‌ی j 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].

رابطه‌ی ۱: $$Aw = \lambda_{\max} w$$

رابطه‌ی ۲: $$\overline{w_i} = \left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij} \right)^{1/n}$$

رابطه‌ی ۳: $$w_i = \frac{\overline{w_i}}{\sum_{i=1}^{n} \overline{w_i}}$$

رابطه‌ی ۴: $$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

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

که در این روابط:

A: ماتریس مقایسه‌ی زوجی با مقادیر مثبت؛

n: تعداد سطر و ستون ماتریس؛

λ_{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[۱۹] که به صورت رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌گردد:

رابطه‌ی ۶: $$CR = \frac{CI}{RI}$$

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

تعداد سطر و 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

که در آن:

CI: شاخص سازگاری[۲۰]

RI: شاخص تصادفی[۲۱]

CI نیز به صورت رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌گردد:

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

ژو مقادیر شاخص تصادفی (مقادیر RI) ماتریس‌های قضاوت (تا اندازه ۱۵×۱۵) 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 ۰/۱ 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 زبده 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

www.SID.ir

Archive of SID

اولویت‌بندی‌ها به روش AHP است، پاسخ‌ها برای بررسی مورد تحلیل قرار گرفتند. محاسبه‌ی وزن هر یک از معیارها با استفاده از روابط ۱ تا ۵ صورت می‌پذیرد. برای اطمینان از کیفیت پاسخ متخصصان نرخ سازگاری هر یک از ماتریس‌ها با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه گشت. جدول ۳ نتایج حاصل از نظر متخصصان در اولویت‌بندی معیارهای مورد بررسی را به نمایش می‌گذارد. جداول ۴ تا ۹ ماتریس‌های قضاوت و نتایج حاصل در وزن‌دهی روش‌های پایدارسازی متداول در گودبرداری‌های شهری در معیارهای «هزینه»، «سرعت اجرا»، «قابلیت اجرا در خاک‌ها و شرایط مختلف»، «سهولت اجرا»، «ایمنی»، و «اجرا با تجهیزات و تخصص موجود» را به ترتیب نمایش می‌دهند.

در نهایت همان‌طور که در جداول ۳ تا ۹ مشاهده می‌گردد همه‌ی نرخ‌های سازگاری محاسبه شده کمتر از ۰/۱ هستند، بنابرین نتایج به دست آمده کاملاً قابل اعتماد هستند. با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه به هدف (روش بهینه‌ی پایدارسازی گودبرداری‌های متداول شهری) در تصویر ۳ به نمایش درآمده‌اند.

تصویر ۲: سلسله‌مراتب ترسیم شده بر اساس نظر متخصصان برای یافتن روش بهینه‌ی پایدارسازی گودهای شهری

جدول ۳: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی 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

λ_{max} = 6.2174 RI= 1.26 CI= 0.043 CR= 0.034

جدول ۴: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی روش‌های 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

λ_{max} = 6.2737 RI= 1.26 CI= 0.054 CR=0.043

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی روش‌های 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

λ_{max} =6.1419 RI= 1.26 CI=0.028 CR= 0.022

جدول ۶: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی روش‌های پایدارسازی در معیار قابلیت اجرا در خاک‌ها 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

λ_{max} = 6.0817 RI= 1.26 CI=0.016 CR= 0.012

جدول ۷: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی روش‌های 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

λ_{max} =6.0907 RI= 1.26 CI=0.018 CR=0.014

جدول ۸: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی روش‌های پایدارسازی در معیار ایمنی

	B51	B52	B53	B54	B55	B56	
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

λ_{max} = 6.2374 RI= 1.26 CI=0.047 CR=0.037

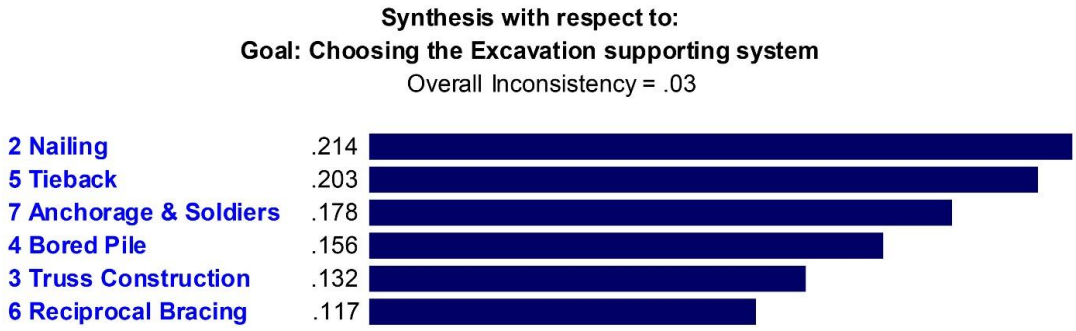
جدول ۹: میانگین هندسی نظرهای متخصصان در وزن‌دهی روش‌های پایدارسازی در معیار اجرا با تجهیزات و تخصص موجود

	B61	B62	B63	B64	B65	B66	
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

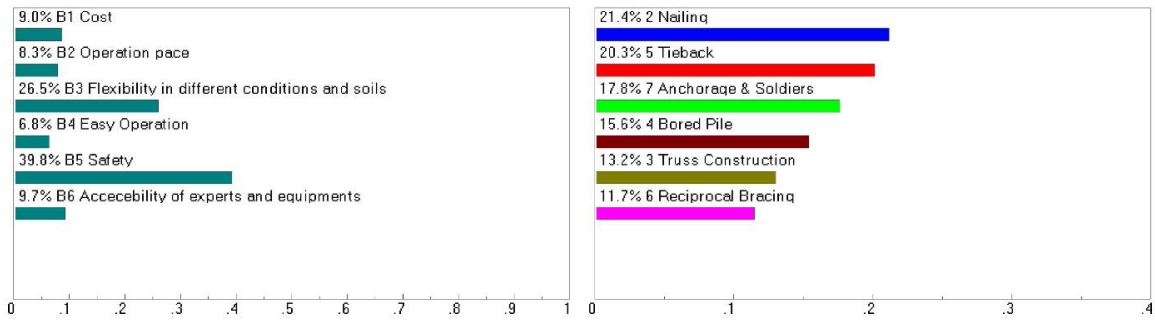
λ_{max} = 6.1664 RI= 1.26 CI= 0.033 CR= 0.026

www.SID.ir

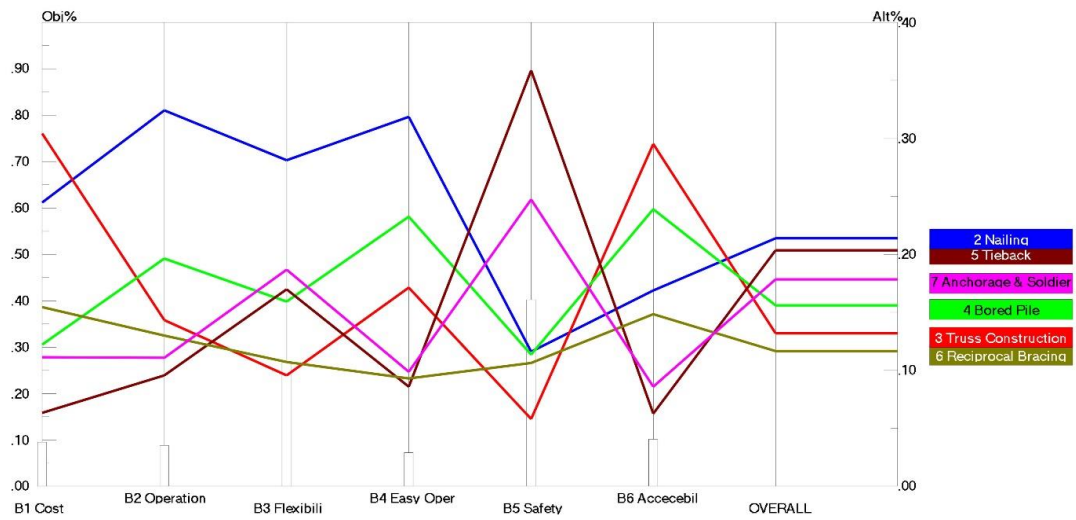
Archive of SID



تصویر ۳: خروجی نرم‌افزار Expert Choice در اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها (روش‌ها) با توجه به هدف (روش بهینه پایدارسازی گودبرداری‌های متداول شهری).



تصویر ۴: خروجی نرم‌افزار Expert Choice در بخش تحلیل حساسیت دینامیک



تصویر ۵: خروجی نرم‌افزار Expert Choice در تحلیل حساسیت عملکرد

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 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

www.SID.ir

Archive of SID

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-سیلتی
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 دانه‌بندی متوسط

جدول ۱۱: وضعیت املاک و زمین‌های مجاور گود در پروژه‌ها

عنوان پروژه	ضلع شمالی	ضلع جنوبی	ضلع غربی	ضلع شرقی
پروژه‌ی ۱	ساختمان مجاور با فاصله‌ی 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
پروژه‌ی ۲	متقابل به پیاده‌رو خیابان اصلی	ساختمان فرسوده مجاور گود	متقابل به کوچه با عرض کم در محله‌ای فرسوده	زمین خالی

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

علیرغم وجود خاک ریزدانه رسی- سیلتی 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 خرپایی نسبت به روش‌های انتخاب شده به هزینه‌ی بیشتری احتیاج دارد. گفتنی است سرعت اجرای کمتر و جاگیر 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 صلاح‌دید طراح این روش به کار گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اهمیت معیارهای ایمنی و قابلیت اجرا در خاک‌ها و شرایط مختلف برای مجریان پروژه‌ها در عمل، نتایج انتخاب روش‌های پایدارسازی برای دو پروژه‌ی 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 پایدارسازی، 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، به‌خوبی 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 پایدارسازی 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 پایدارسازی 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 این‌رو 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، به‌ترتیب 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 به‌منظور انتخاب روش پایدارسازی 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

A	ماتریس مقایسات زوجی قضاوت
C	چسبندگی خاک
H	عمق گود، m
L_p	طول شمع (عمق گیرداری)، m
n	تعداد سطر و ستون ماتریس
w	بردار ویژه مرتبط به بزرگ‌ترین مقدار ویژه
CI	شاخص سازگاری
CR	نرخ سازگاری
RI	شاخص تصادفی
λ_{max}	بزرگ‌ترین مقدار ویژه
φ	زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک، درجه
γ	وزن مخصوص خاک، $\frac{kN}{m^3}$

www.SID.ir

Archive of SID

* شرایط مرجع

منابع

۱. علوی، علی؛ سالاروند، اسماعیل؛ احمد آبادی، 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 برنامه ریزی 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 Tchnology and Advaced 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.

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.

۱۷. اشرفی، حمیدرضا (۱۳۹۴). *گودبرداری و سازه‌های نگهبان*. انتشارات نوآور، نوبت هفدهم چاپ، ویرایش دوم، ۱۱۰-۱۷۴.

۱۸. سرمد نهری، امیر؛ کادران، محسن (۱۳۹۲). *اصول و مبانی گودبرداری و سازه‌های نگهبان*. انتشارات سیمای دانش، نوبت پنجم چاپ، ویراش 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*، شماره‌ی ۵، دوره‌ی ششم، سال هفدهم، تابستان، ۱۳-۱۵.

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.

www.SID.ir