Journal of Structural and Construction Engineering, 10(8), 2023, pp. 87-110

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Investigating The Safety Level of Urban Deep Excavation Projects Stabilized by The Method of Braced Excavations (struts) Using Methods Based on Risk Assessment and Failure Analysis

Erfan Anjomshoa[1], Ali Karbakhsh[2]*

1- MSc, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran

2 -Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Sirjan Branch, Sirjan, Iran

ABSTRACT

The expansion of cities and the increase in the price of land has caused an increase in the number of underground floors and the depth of excavation, and considering that ensuring safety in excavation workshops, in addition to ensuring the health of employees, leads to an increase in the quality of the project, therefore, one of the important issues in urban construction and structures. Is to create proper stability during excavation, excavation is one of the dangerous earth operations. According to available statistics, many people lose their lives every year in excavation projects due to non-compliance with safety principles. In this research, first by conducting library studies, a list of effective risks in sustainable urban deep pit projects was prepared using the strut method, and experts' opinions were collected through a questionnaire and analyzed in SPSS software. Then the decision matrix was formed based on the desired indicators and criteria and were ranked using a questionnaire and based on the criteria of "level of influence", "level of importance" and "existence of necessary tools." Execution for wide pits", "Execution limitation in projects with irregular geometry or geometry", "Inability to use to increase the depth of the pit during execution or after the completion of excavation", "Too much settling in the pit and causing disturbance to the implementation of the foundation and structure", "the possibility of equipment and machinery colliding with the elements and putting them at risk", "collapse of walls and elements falling", "increasing the cost of implementation in deep pits and large fields compared to usual methods", "increasing Implementation time in deep pits and large fields compared to usual methods", "Falling from a height during work on connections", "need for strict quality control to implement restraints, especially connections" have the highest impact, respectively.

ARTICLE INFO

Receive Date: 26 November 2022
Revise Date: 28 August 2023
Accept Date: 06 February 2023

Keywords:
Safety
Excavation, Braced excavations
Struts Method
Risk Assessment
Fuzzy Vikor Method

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.374031.2980

*Corresponding author: Ali Karbakhsh.
Email address: dr.karbakhsh@iau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

بررسی میزان ایمنی پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل (Struts) با استفاده از روش های مبتنی بر ارزیابی ریسک و تحلیل خرابی

عرفان انجم شعاع[۱]، علی کاربخش [۲*]

۱- کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سیرجان، سیرجان، ایران

چکیده

گسترش شهرها و افزایش شدید قیمت زمین باعث گشته که بر تعداد طبقات زیرزمینی و عمق گودبرداری افزوده گردد و باتوجه به اینکه تامین ایمنی در کارگاه‌های گودبرداری، علاوه بر تضمین سلامت کارکنان، منجر به افزایش کیفیت فعالیت‌های پروژه می‌گردد لذا یکی از مسائل مهم در ساخت و سازه‌های شهری، ایجاد پایداری مناسب در هنگام تخریب و گودبرداری است، عملیات گودبرداری در زمره عملیات‌های خاکی خطرناک قرار دارد. براساس آمارهای موجود همه ساله در پروژه‌های گودبرداری بدلیل عدم رعایت اصول ایمنی، انسان‌های زیادی جان خود را از دست داده یا صدمات شدیدی می‌بینند. دراین تحقیق، ابتدا با انجام مطالعات کتابخانه ای، فهرستی از ریسک های مؤثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل تهیه شد و از طریق پرسشنامه، نظر خبرگان حوزه گودبرداری و ژئوتکنیک در شهر کرمان جمع آوری و در نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. سپس ماتریس تصمیم گیری بر اساس شاخصها و معیارهای موردنظر تشکیل و با استفاده از پرسشنامه مربوط به روش ویکورفازی و بر اساس معیارهای «میزان تأثیر»، «میزان اهمیت» و «وجود ابزار لازم» رتبه بندی شدند. براساس یافته های تحقیق ریسک های «عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گودهای با عرض زیاد»،« محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم»،«عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری»، «جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه»، «امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان‌ها و به مخاطره انداختن آنها»، «ریزش دیواره‌ها و سقوط المان‌ها»،«افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین‌های بزرگ نسبت به روش‌های معمول»،«افزایش زمان اجرا در گودهای عمیق و زمین‌های بزرگ نسبت به روش‌های معمول»،«سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات»،«نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات» به ترتیب دارای بالاترین میزان تأثیر می‌باشند.

کلمات کلیدی: ایمنی، گودبرداری، روش مهار متقابل، روش استرات، ارزیابی ریسک، تحلیل خرابی، روش ویکور فازی.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.374031.2980
۱۴۰۱/۰۹/۰۵	۱۴۰۱/۱۱/۰۶	۱۴۰۱/۱۱/۱۷	۱۴۰۱/۱۱/۱۷	۱۴۰۲/۰۸/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2023.374031.2980

[*]نویسنده مسئول: علی کاربخش

پست الکترونیکی: dr.karbakhsh@iau.ac.ir

۱- مقدمه

رشد جمعیت در اکثر مناطق موجب افزایش نیاز به اجرای زیرساخت‌ها شده است و هر چه محیط شهری شلوغ تر و فضای سطحی محدودتر گشته نیاز به ایجاد سازه های زیرزمینی مانند تونل ها و ایستگاه متروها برای تامین این زیرساخت‌ها بیشتر احساس می شود [۱].

گسترش روز افزون شهرها و نیاز به فضاهای کار و سکونت از یک طرف و افزایش شدید قیمت زمین در شهرها و از سوی دیگر ضرورت استفاده حداکثری از زمین باعث گشته که بر تعداد طبقات زیرزمینی و در نتیجه عمق گودبرداری افزوده گردد. مهارمتقابل از جمله روش های پایدارسازی موقت دیواره گودبرداری های عمیق میباشد [۲].

یکی از مسائل مهم در ساخت و سازه های شهری، ایجاد پایداری مناسب در هنگام تخریب، گودبرداری و اجرای سازه نگهبان است عملیات گودبرداری در زمره عملیات های خاکی خطرناک قرار دارد. براساس آمارهای موجود همه ساله در پروژه‌های گودبرداری بدلیل عدم رعایت اصول ایمنی، انسان‌های زیادی جان خود را از دست داده یا صدمات شدیدی می‌بینند [۳].

در این نوع سازه‌ی نگهبان نیروی فعال خاک به یک دیوار نازک منتقل می‌گردد و دیوار از طریق ستون‌هایی که در فواصل معینی در آن قرار دارد، نیرو ها را به مهاربند، دستک و پشت بند منتقل می کند. تکیه گاه مهاربند که در خاک قرار دارد به کمک نیروهای رانش مقاوم خاک، در برابر نیروهای مهاربند و در نتیجه نیروهای فعال خاک وارد بر دیواره ی مقابله می نماید. معمولاً دیوارها از جنس بتن مسلح، صفحه های فلزی یا الوارمی باشند [۴].

تامین ایمنی در کارگاه‌های گودبرداری، از قبیل تلاش برای مدیریت ریسک، علاوه بر تضمین سلامت کارکنان، منجر به افزایش کیفیت فعالیتهای مدیریتی، بهره وری از امکانات و پیشرفت متناسب پروژه میگردد. پروژه‌های حفاری و طراحی و اجرای سازه‌های محافظ آن نیاز به بررسی‌ها و مطالعات فنی، سازه‌ای، ژئوتکنیکی و اجرایی واقتصادی و اجتماعی فراوانی دارد. نکته بسیار مهمی که در این پروژه‌ها باید مد نظر قرار گیرد این است که در گام نخست، میبایست مخاطرات مختلفی همچون ریزش زمین، فروریختن ساختمانهای مجاور، سقوط اجسام به درون کانال و ... به طور کامل شناسایی گشته و اقدامات کنترلی لازم برای هریک از آنها انجام گیرد. بنابراین انتخاب روش مناسب حفاری و گودبرداری، به همه پارامترها و شرایط موثر بستگی دارد که میتواند در حالات گوناگون، به شکلهای مختلف رخ دهد. بعلاوه، روش‌های اجرای گودبرداری و سازه‌های محافظ، متاثر از ملاحظات اجرایی و تجربی مخصوص بخود را دارد. ارزیابی و اولویت بندی شاخص‌های موثر در کاهش عوامل خطرآفرین ناشی از گودبرداری در رابطه با مدیریت ایمنی لازم جهت اجرای این پروژه‌ها و نیز بررسی دلایل عدم اجرای صحیح و نادیده گرفتن ضوابط در گودبرداری‌ها موضوعی مهم و چالش برانگیز در پروژه‌های عمرانی به شمار میرود [۵].

گسترش فوق العاده شهرنشینی و نیاز به فضاهای مسکونی، تجاری و اداری و نیز افزایش شدید قیمت زمین و محدودیت آن در مناطق و شمار روزافزون اتومبیل‌ها و نیاز به پارکینگ، تعداد طبقات زیرزمین و گودبرداری افزایش یافته و مخاطرات و صدمات به دلیل رعایت نکردن اصول ایمنی بیشتر شده است و مشاهده می شود که همه ساله چندین دیوار بر اثر گودبرداری غیراصولی ریزش می‌کنند که در اکثر موارد به زیان‌های مادی و انسانی منجر خواهد شد که توجه به این امر حیاتی و مهم می باشدگودبرداری یکی از کارهای پیچیده و خطرناک مهندسی به شمار می رود که به منظور حفظ جان انسان های داخل و خارج از گود، ساختمان های مجاور و فراهم آوردن شرایط ایمن و مطمئن جهت انجام کار می بایستی دیواره های آن بوسیله سازه های نگهبان مهاربندی و پایدار سازی شود [۶].

گستردگی ابعاد، تغییر در ماهیت مسائل شهری و پیچیدگی آن‌ها، توجه به ابعاد مختلف مسئله به‌منظور حل پایدار آن‌ها را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. در این میان تأکید برنامه‌ریزی شهری بیش از هر زمان دیگری متوجه سطوح پایین‌تر و ابعاد ملموس‌تر زندگی شهری شده است [۷].

سازه های نگهبان انواع مختلفی دارد که با توجه به نوع خاک، عمق گودبرداری و حساسیت ساختمان های مجاور گود انتخاب و توسط افراد دست اندر کار پروژه های گودبرداری ساختمانی که هریک وظایف و مسئولیت های مشخصی دارند اجرا و توسط اشخاص و سازمان‌های ذیربط نظارت می شود. اجرای عملیات گودبرداری نیازمند بکارگیری تمهیداتی در حین، قبل و بعد از انجام کار می باشد که بکارگیری آنها می‌تواند از بروز حوادث گودبرداری جلوگیری کند [۸].

در ایران نیز با توجه به گسترش روزافزون جمعیت به طبع آن افزایش شهرنشینی ایجاد حفاری های عمیق گسترش یافته است. همه این عوامل باعث استفاده بیشتر از فضاهای زیرزمینی شده که ایجاد چنین حفاری هایی باعث آسیب رساندن به سازه های موجود طی سالیان متمادی شده و این امر خسارت جبران ناپذیری از لحاظ مالی و جانی بر جامعه داشته است [۹].

تعداد گودبرداری های ساخته شده با سیستم استرات و دیوار دیافراگمی در شهرهای بزرگ در دهه های اخیر رو به افزایش بوده است. این گودهای عمیق در مناطق شهری عموماً با هدف احداث شالوده های بزرگ یا ایستگاه های مترو انجام می شوند. مطالعات رفتار دیوارهای حائل از جمله اقدامات ضروری در هر پروژه ای می باشد. بدلیل اهمیت بالای گودبرداری های عمیق، بررسی رفتار گودبرداری ها حتی بعد از طراحی نیز ادامه می یابد [۱۰].

افراد نیز می توانند با افزایش اطلاعات خود نسبت به مخاطرات گذشته و تاریخی و آموزش نحوه ی مقابله با این خطرات و همچنین کسب اطلاعات مربوط به زمین لغزش ها و مناطق مستعد از مراجع ذی صلاح خود را از معرض این خطرات مصون بدارند. همچنین می توان از خدمات حرفه ای یک زمین شناس مهندسی، یک مهندس ژئوتکنیک یا یک مهندس عمران که می توانند به طور صحیح استعداد خطر وقوع زمین لغزش را در یک مکان ارزیابی نمایند، کمک گرفت. کشور ایران به دلیل مستعد بودن شرایط جغرافیایی و فقدان عدم مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه های محیطی به عنوان یک کشور پرخطر به شمار می رود به طوری که جزء ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است. بنابراین علت اصلی بالا بودن لغزش‌ها در ایران نتیجه ترکیب زمین شناسی، توپوگرافی و آب و هوا می باشد [۱۱].

هدف اصلی در حفاظت از گود ایمن سازی جداره های گود با استفاده از سازه های نگهبان، حفظ جان انسان‌های خارج و داخل گود، نیز فراهم آوردن شرایط امن و مطمئن برای اجرای کار عوامل کارگاهی می باشد یکی از مهمترین مشکلات و دغدغه های موجود در گود برداری ها و احداث ساختمان،حفاظت از این فضاها و همچنین ساختمان های مجاور آنها می باشد بطوریکه در صورت عدم انتخاب صحیح گودبرداری ممکن است منجربه بروز خسارت های جبران‌ناپذیر جانی و مالی گردد لذا به منظور جلوگیری از وقوع چنین مواردی لازم است قبل از شروع عملیات گودبرداری تمامی جوانب امر سنجیده شود و با در نظر گرفتن مسأله اقتصادی در طرح نهایی و مقرون به صرفه بودن در کنار عوامل مشروحه دیگر بتوان طرح مناسبی را ارائه نمود. با یادآوری این موضوع که طراحی،گودبرداری و اجرای سازه های نگهبان موضوع گسترده ای است و نیاز به بررسی و مطالعات و ملاحظات ژئوتکنیکی، اجرائی و اقتصادی و اجتماعی بسیاری دارد [۱۲].

۱-۱- گودبرداری

گودبرداری یا در اصطلاح عامه خاکبرداری، به برداشتن خاک از سطح و عمق زمین گفته می‌شود. گودبرداری به چند منظور انجام می‌شود، که از دلایل اصلی آن می‌توان به رسیدن عمق و خاک سفت (خاک بکر) اشاره کرد. گود برداری نوعی کار ژئوتکنیکی محسوب می‌شود [۱۳].

منظور از خاکبرداری و گودبرداری عبارتست از برداشت خاک‌های محوطه، گودبرداری پی ساختمان‌ها و محل ابنیه فنی تأسیسات، برداشت خاک از منابع قرضه با وسایل، تجهیزات و ماشین آلات تا تراز و رقوم‌های خواسته شده در نقشه‌های اجرایی و دستورالعمل‌های اجرایی این عملیات می‌باشد [۱۴].

۱-۱-۱- ملاحظات ایمنی در زمان عملیات آماده سازی و گودبرداری ساختمان

گستر فوق العاده شهر نشینی و نیاز به فضاهای مسکونی، تجاری و اداری و نیز افزایش شدید قیمت زمین و محدودیت آن درمناطق و شمار روز افزون اتومبیل ها و نیاز به پارکینگ، تعداد طبقات زیر زمینی و گود برداری افزایش یافته و مخاطرات و صدما به دلیل رعایت نکردن اصول ایمنی بیشتر شده است و مشاهده می شود که همه ساله چندین دیوار بر اثر گودبرداری غیراصولی ریزش میکنند که در اکثر موارد به زیان‌های مادی و انسانی منجر خواهد شد که توجه به این امر حیاتی و مهم می باشد، براساس تجربه و تحلل و بررسی های آماری در سال های اخیر در کشورمان از کل حواد بوجود آمده به طور متوسط حواد کارگاهی ساختمانی در عملیات گودبرداری و آماده سازی زمین به وقوع پیوسته که از این میزان ۲۳ درصد حواد منجر به فوت کارگران حادثه دیده طی عملیات گودبرداری شده است، به همین لحاط یکی از مسائل مهم در ساخت و سازه ها، ایجاد پایداری مناسب در هنگام تخریب، گودبرداری و اجرای سازه نگهبان است و

عدم رعایت مسائل فنی و ایمنی در تخریب گودبرداری و ساخت سازه‌های نگهبان باعث تخریب برخی ساختمان های مجاور گوبرداری در ساخت و سازها میگردد و عملیات خاکی شامل مراحل خاکبرداری، خاکریزی، تسطیح زمین، گودبرداری، پی کنی ساختمان ها، حفر شیارها، کانال‌ها و مجاری آب و فاضلاب و حفر چاه‌های آب وفاضلاب با وسایل دستی یا ماشین آلات است و روش مناسب گودبرداری بایستی با توجه به شرایط و جنس خاک، سطح آب زیرزمینی، عمق و ابعاد گودبرداری، موقعیت و نحوه قرارگیری محل گود، موقعیت و شرایط مجاورین، لرزه خیزی منطقه، الزامات قانونی ساختگاه، اصل ایمنی کامل مجاورین و بخصوص انسان‌ها، هزینه‌های پایدارسازی، هزینه‌های ناشی از گسیختگی و یا تغییر شکل جداره‌های گودبرداری و مشکلات و محدودیت‌های اجرایی انتخاب گردد. برای پایدار نمودن دیواره گودبرداری‌ها درمناطق شهری که از انواع عناصر ساختمانی که از ترکیب خاک و سنگ تشکیل یافته اند، دیواره ها و سیستم‌های نگهبان ساخته می‌شود که اصطلاحاً سازه نگهبان نامیده میشود و در تخریب، گودبرداری و اجرای سازه‌های نگهبان، یکی از مهمترین نکات لازم حفظ ایمنی کارگاه است. بطور کلی بایستی قبل از اینکه عملیات گودبرداری و حفاری شروع شود زمین مورد نظر از لحاظ استحکام دقیقاً مورد بررسی قرار گرفته و موقعیت تاسیسات زیر زمینی از قبیل کانال‌های فاضلاب، لوله کشی آب، گاز، کابل‌های برق، تلفن و غیره که ممکن است در حین انجام عملیات گودبرداری موجب بروز حادثه گردند و یا خود دچار خسارت شوند، مورد شناسایی قرار گیرد و در صورت لزوم نسبت به تغییر دانم یا موقت و یا قطع جریان آنها اقدام گردد [۱۵].

۱-۱-۲- رعایت ایمنی در گودبرداری

سالیانه در کارگاه های ساختمانی تعداد زیادی از افراد، به ویژه کارگران، بر اثر حوادث ناشی از ریزش گودها جان خود را از دست داده یا دچار انواع صدمات می شوند، که می توان از جمله دلایل رخداد اینگونه حوادث را به درستی اجرا نکردن مباحث ایمنی اشاره کرد. برای محافظت از دیواره ها در هنگام گودبرداری و جلوگیری از وقوع گسیختگی و کنترل تغییر شکل ها در اطراف گودبرداری، می بایست تدابیری در نظر گرفت [۸].

۱-۲- روش مهار متقابل[1]

اطراف زمین چاه هایی حفر می شود، المان های عمودی (تیرآهن) درون این چاه ها قرار گرفته و انتهای آن بتن ریزی می شود. انتهای فوقانی آنها تا حدی بالاتر ازتراز بالایی گود قرار گیرند. آنگاه قسمت فوقانی هر دو پروفیل قائم متقابل مزبور را به کمک تیر ها یا خرپاهایی به یکدیگر متصل می گردد و سپس گوبرداری به تدریج انجام می‌شود [۱۶].

مهارگذاری فشاری خاک یا به اختصار مهارمتقابل یکی از روش‌های پایدارسازی گودهای با عرض کم است که غالباً به علت عدم اجازه همسایه‌های مجاور استفاده می گردد. در این روش، همانند روش سازه نگهبان خرپایی، اعضای عمودی در فواصل معین نصب می گردد و سپس با قراردادن عضو افقی بین این اعضای عمودی، جلوی تغییرشکل دیواره ها گرفته می شود. در گودهای با عرض کم، به علت کمبود فضا جهت اجرای عضو مایل خرپایی، عملا روش سازه نگهبان خرپایی منتفی است و روش مهارمتقابل جایگزین مناسبی می‌باشد.در این روش از اعضای فشاری (مهارهای فشاری) جهت انتقال فشار خاک استفاده می گردد [۱۷].

۱-۲-۱- مزایای روش مهار متقابل

۱- هزینه آن نسبت به روش های دیگر کمتر است.

۲- از سرعت اجرای خوبی برخوردار است. در عرض های کم، کاربردی می باشد. (منظور عرضی که مقاطع پروفیل، حجیم و دست و پاگیر نشود)

۳- محدودسازی تغییرشکل ها

۴- مناسب گودهای عمیق واقع در مناطق شهری

۵- مناسب برای گودبرداری ها با عرض کم

۶- امکان بازیافت بخشی از مصالح (اعضای افقی)

۷- عدم ورود به زمین های مجاور

[1] Braced Exavations - Struts

۸- قابلیت انطباق با روش های زهکشی
۹- انعطاف پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا
۱۰- عدم وابستگی کارآیی روش به جنس خاک
۱۱- عدم نیاز به اجازه همسایه ها

۱-۲-۲- معایب روش مهارمتقابل

۱- غیراقتصادی بودن در زمین های با عرض زیاد
۲- اشغال فضای داخل گود و صعوبت خاکبرداری و اجرای سازه اصلی
۳- سرعت نسبتا پائین اجرای عملیات
۴- محدودیت اجرا در پروژه های با هندسه نامنظم
۵- عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری
۶- نیاز به تجهیزات و ماشین آلات خاص
۷- نیازمند افراد مجرب و کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات.

۱-۳- ریسک

نایجل[2]ریسک را چنین معرفی می نماید: ریسک به احتمال وقوع یک اتفاق نامعلوم گفته می‌شود، در شرایطی که آن اتفاق بتواند باعث بروز مشکلاتی گردد. به عبار دیگر ریسک به موقعیتی بستگی دارد که نتیجه واقعی یک چیز، احتمالا تحت تاشیر یک اتفاق نامعلوم قرار دارد و این در حالی است که احتمال و اثرات آن اتفاق دقیقا قابل تعیین باشد [۱۸].

کرنر[3] ریسک را اندازه گیری احتمال و مقدار نرسیدن به اهداف از قبل تعریف شده پروژه میداند و به طور عمومی ریسک برابر نداشتن دانش از یک واقعه در آینده است. ریسک می تواند روی زمان ، بهره وری ، کیفیت و بودجه لازم برای پروژه اثر بگذارد [۱۹].

ریسک عبارت است از خطرات بالقوهای که برای بدست آورده یا از دست دادن ارزش ممکن است بوجود آید [۲۰].

ریسک به عنوان انحراف در رویدادهای احتمالی که در یک موقعیت خاص وجود دارد تعریف می شود. ریسک یا آسیب پذیری یک مفهوم کیفی است و نشان دهنده عدم اطمینان در مورد انتظارات آینده است. این عدم اطمینان باعث ایجاد نگرانی در مورد آینده برای سرمایه گذار می‌شود. رونق و رکود اقتصادی، استقبال خریدار از محصولات، تغییر شرایط اجتماعی و سیاسی، هجوم رقبا به بازار تولید محصولات مشابه، تغییر شرایط جغرافیایی یا محیطی، وقوع حوادث ناگوار مانند زلزله یا آتش سوزی و ... سرمایه گذاری را به همراه دارد [۲۱].

برخی محققان ریسک را تغییری می‌دانند که می‌تواند به طور طبیعی در نتایج یک موقعیت رخ دهد. ریسک‌ها در پروژه، رویدادهای ناشناخته یا موقعیت‌های احتمالی هستند که در صورت وقوع، به صورت پیامدهای منفی و مثبت بر اهداف پروژه تأثیر می‌گذارند [۲۲].

۱-۳-۱- ریسک در کارگاه‌های عمرانی

از میان پروژه های مرتبط با کارگاه‌های عمرانی، گودبرداری و حفاری، جزء خطرناکترین و مخاطره آمیزترین، از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران شناخته شده اند [۲۳].

در این بین آسیب‌های جدی جانی، شغلی و زمان از دست رفته کار با توجه به طبیعت منحصر بفرد آن بسیار شایع میباشد. اکثر شرکت‌های ساختمانی یک رویکرد واکنشی نسبت به مدیریت ریسک‌های ساخت و ساز دارند و به جای آنکه یک رویکرد پیشگیرانه نسبت به ریسک داشته باشند، تا زمان وقوع حوادث منتظر می‌مانند و همین امر میتوان مشکلات و ریسک‌های عدیده بعدی را فراهم آورد [۲۴].

[2] NIGEL
[3] Kerner

تجزیه‌وتحلیل ریسک ایمنی و شغلی در سایت‌های محل کار پروژه‌های عمرانی، گام کلیدی برای دستیابی به سطح ایمنی مناسب بوده و به عنوان پایه و اساس مدیریت ایمنی در ساخت و ساز به شمار میرود، بخشی از سیستم مدیریت ایمنی[4] را تشکیل می‌دهد [۲۵].

اقدامات احتیاطی در برابر ریسک و مخاطرات در سازمان یا محل کار، یکی از وظایف اساسی افراد با مسئولیت مدیریت است. بنابراین از بین بردن ریسک‌های ایمنی کار از طریق تعیین سیاست‌های ایمنی و عملکرد مدیریت ایمنی قابع حصول می‌باشد [۲۶].

به طور کلی ایمنی کارگاه‌های ساختمانی باید از ابتدای طراحی نقشه ساختمان و انتخاب زمین مناسب برای ساخت آن شروع شده و در ادامه در مراحع گودبرداری، پی‌سازی، جوشکاری، همچنین در تجهیزات و ماشین‌آلات مورد استفاده و سایر عملیات ساختمانی با بازرسی های مرتب پیگیری شود.

۱-۳-۲- مراحل فرایند تحلیل ریسک ایمنی

به طور کلی فرآیند آنالیز ایمنی در رابطه با هر ریسکی بخصوص در پروژه‌های عمرانی شامل سه مرحله اصلی است:

۱- شناسایی: یک شغل یا فعالیت خاص را انتخاب و آن را به سلسله مراتبی از مراحل توزیع کرده، سپس عوامل منجر به بروز حوادث و همه وقایعی که ممکن است در طول کار رخ دهد، شناسایی میگردد. به طور کلی نظرسنجی در میان ناظران ساخت و ساز مناسب‌ترین منبع برای کسب اطلاعات عملی در مورد شناسایی حوادث است.

۲- ارزیابی: در این مرحله، از طریق توزیع پرسشنامه بین کارشناسان، احتمال وقوع و شدت پیامد برای هر سناریو حادثه مشخص گردیده و سپس ارزیابی سطح نسبی ریسک برای همه حواد شناسایی شده در مرحله قبلی، تعیین میگردد [۲۷].

۳- عمل: دراین فاز، ریسک‌های شناسایی و ارزیابی شده در مراحل قبلی، با در نظر گرفتن اقدامات کافی برای کاهش یا از بین بردن آنها کنترل میشوند [۲۷].

برای کنترل و پیشگیری موثر از حوادث، فهمیدن علل حوادث نیز گامی ضروری در این مرحله محسوب میشود [۲۸].

یزدانی و اسفندی به بررسی تحقیقی با عنوان بررسی تاثیر مقاطع مهارها بر روی تغییرشکل افقی دیوار در پایدارسازی گود به روش مهار متقابل پرداختند که در آن به کمک مدل رفتاری خاک سخت شونده در نرم افزار میداس۱ با در نظرگرفتن شرایط یکسان برای مشخصات خاک و همچنین برای هندسه گود و شرایط مرزی ، تاثیرمقاطع مختلف فولادی شامل BOX و PIPE و IPE بر کاهش تغییر مکان دیواره گود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان میدهد که با ممان اینرسی برابر برای این سه مقطع، مقطع PIPE در پایدارسازی گود بهتر عمل میکند و ماکزیمم تغییر مکان افقی کمتری برای دیواره گود به وجود می آید [۲].

درویش پور و همکاران به بررسی تحقیقی با عنوان بررسی تغییر مکان افقی دیوار های دیافراگمی مهار شده به روش مهار متقابل تحت اثر فونداسیون های شمعی مجاور گودهای عمیق شهری پرداختند که نتایج حاصل از مدلسازی نشان می دهد که فاصله افقی شالوده از لبه گود و همچنین طول شمع ها می تواند تاثیر بسزایی بر تغییر مکان افقی دیوار و همچنین دیاگرام لنگر وارد بر دیوار داشته باشد، به نحوی که از یک فاصله مشخص به بعد اثر شالوده بر دیوار بسیار کاهش می یابد [۲۹].

شیرمحمدی و همکاران به بررسی تحقیقی با عنوان تحلیل متقابل دیوار دیافراگمی بتنی و سیستم سختی استرات در گودبرداری های عمیق پرداختند که در آن نحوه تغییرشکل دیوار بتنی دیافراگمی و نشست سطح زمین در گام های زمانی گودبرداری مترو شانگهای در خاک رس نرم شانگهای ارزیابی شده است و با استفاده از نمودارهای نیمه تجربی مرسوم، پایداری سازه ی مدفون مورد بررسی قرار گرفته، در ادامه به شبیه سازی سه بعدی رفتار دیوار دیافراگمی مذکور به همراه المان استرات در خاک نرم پرداخته شده است. نتایج حاصله از این شبیه سازی عددی گویای رفتار و مقادیر مشابه در مقایسه با شرایط واقعی می باشد [۱۰].

قجاوند و همکاران به بررسی تحقیقی با عنوان بررسی روش های پایدارسازی گود های عمیق درون شهری پرداختند که در این پژوهش از تحلیل تعادل حدی با نرم افزار Geostudio و تحلیل عددی با روش تفاضل محدود با استفاده از نرم افزار FLAC استفاده شده تا از طریق آن بتوان رفتار دیواره گودهای پایدار شده با استفاده ار مهارگذاری و میخ کوبی را بررسی نمود. نتایج بر اساس مدل رفتاری الاستو پلاستیک (موهر کولمب) معرفی شده است. در مطالعات انجام شده رفتار دیواره گود در دو حالت استفاده از مهاری و میخکوبی در شرایط

[4] **Safety Management System (SMS)**

بارگذاری استاتیکی با هم مقایسه شده است. تنش ها، نواحی پلاستیک و جابجایی ایجاد شده دردیواره گود مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که روش مهارگذاری با توجه به حساسیت سازه های اطراف گود به جابجایی های قائم و افقی به مراتب نتایج بهتری در مقایسه با روش میخ کوبی در بردارد [۳۰].

شین و همکاران به بررسی اثر روش تحلیل در پیش بینی تغییر شکل های دیوار مهار شده به وسیله المان های افقی پرداختند، نتایج نشانگر آن بود که تحلیل اختلاف محدود، تغییر شکل زمین و نیروهای داخلی دیوار را کمتر از نتایج حاصل از DEM پیش بینی می‌کند. این امر به دلیل عدم توانایی تحلیل اختلاف حدود و مدل های DP و MC برای مدل سازی رفتار مکانیکی خاک‌های دانه‌ای تحت شرایط پیچیده تنش در گودبرداری است.

هدف اصلی تحقیق حاضر شناسایی، رتبه‌بندی و مدیریت ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای ویکور فازی می‌باشد و لذا با توجه به اهداف تحقیق سؤالاتی که مطرح می‌شود شامل موارد ذیل هست:

- مهم‌ترین ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل چه می‌باشند؟
- رتبه‌بندی ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای ویکور فازی چگونه است؟
- چه راهکار هایی جهت مدیریت ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل ارائه می‌دهید؟

همان‌طور که مشخص است با توجه به اهداف و سؤالات پژوهش فرضیه‌های زیر در مورد این پژوهش متصور است:

- باتوجه به میزان حوادث پیش آمده در مراحل مختلف گودبرداری و آمار بالای حوادث ، استفاده از روش های مختلف پایدارسازی گودبرداری های عمیق در مناطق شهری از توجیهات اقتصادی و فنی برخوردار است
- روش های سنتی گودبرداری بدون در نظر گرفتن پایداری گودها از لحاظ فنی و ایمنی مورد تایید و اطمینان نمیباشند.
- عدم آشنایی کافی با روشهای مختلف پایدارسازی گودها یکی از دلایل عدم به کار گیری این روش‌ها می باشد.

۲- روش تحقیق

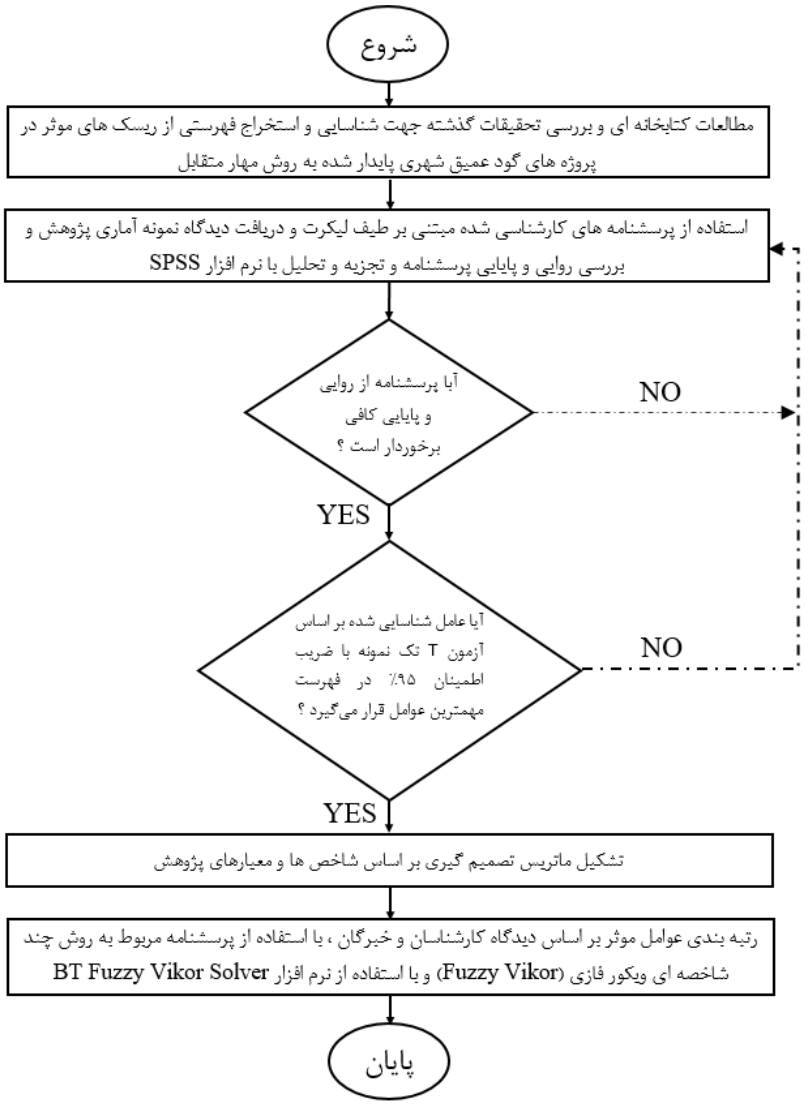
تحقیق حاضر از نوع تحقیقات کاربردی[5]، توصیفی[6] و پیمایشی[7] است. در تحقیق حاضر، جامعه آماری تحقیق شامل گروهی از اساتید دانشگاه و متخصصان مشغول به کار زمینه گودبرداری و ژئوتکنیک در شهر کرمان هست. روش نمونه‌گیری هدفمند بوده و آن دسته از افراد که در بخش‌های مرتبط با موضوع تحقیق مشغول فعالیت هستند و از شناخت و درک قابل قبولی نسبت به موضوع برخوردارند برای جمع‌آوری داده‌های موردنیاز انتخاب‌شده‌اند. نمونه انتخابی در این تحقیق شامل ۲۸ تن از اساتید دانشگاه و متخصصان مشغول به کار زمینه گودبرداری و ژئوتکنیک در شهر کرمان هست که مشخصات آنها در جدول۱ نمایش داده شده است.

جدول۱ : شاخص های دموگرافیک (مشخصات عمومی) مصاحبه شوندگان

جنسیت	۲۷ نفر مرد (۹۶٪) – ۱ نفر زن (۴٪)
سن	۲۱ نفر سن ۳۶سال و بیشتر (۷۵٪) – ۵ نفر سن ۳۱تا۳۵ (۱۸٪) – ۲ نفر سن ۲۶ تا ۳۰ (۷٪)
مدرک تحصیلی	۱۱ نفر مدرک دکتری (۳۹٪) – ۱۴ نفر کارشناسی ارشد (۵۰٪) – ۳ نفر کارشناسی(۱۱٪)
سابقه کاری	۱۸ نفر سابقه بیش از ۱۵ سال (۶۴٪) – ۸ نفر سابقه ۱۱ تا ۱۵ سال (۲۹٪) – ۲ نفر سابقه ۶ تا ۱۰ سال (۷٪)

[5] Applied research
[6] Descriptive research
[7] Survey Research

روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری ویکور فازی[8] است، به‌طورکلی مراحل انجام تحقیق به شرح زیر می باشد (شکل ۱)



شکل۱ : مراحل انجام تحقیق بصورت فلودیاگرام (فلوچارت)

- در فاز نخست، مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی تحقیقات گذشته جهت شناسایی و استخراج فهرستی از ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل انجام می‌شود.

- در فاز دوم با انجام مطالعات میدانی، با استفاده از پرسشنامه مبتنی بر طیف لیکرت، پس از بررسی روایی پرسشنامه توسط خبرگان و تأیید پرسشنامه و بررسی پایایی آن با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ، دیدگاه اساتید دانشگاه و متخصصان مشغول به کار زمینه گودبرداری و ژئوتکنیک در شهر کرمان گردآوری‌شده و پس از تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مهم‌ترین ریسک‌های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل، تعیین می‌شود.

- در فاز سوم ماتریس تصمیم‌گیری روش ویکور فازی به‌صورت شاخص و معیار ترسیم می‌گردد و بر اساس دیدگاه کارشناسان و خبرگان در حوزه موردمطالعه، ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل از منظر میزان تأثیر، میزان اهمیت و

[8] Fuzzy Vikor

وجود ابزار لازم بر مبنای داده‌های به‌دست‌آمده، بر اساس تکنیک چند شاخصه‌ای[9] و با استفاده از نرم‌افزار BT Fuzzy Vikor Solver رتبه‌بندی می‌گردد. در این مرحله به‌منظور گردآوری داده‌های موردنیاز، از پرسشنامه استفاده می‌شود.

- در فاز چهارم بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش ویکور فازی، راهکار هایی جهت مدیریت ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل در این تحقیق ارائه می‌گردد.

۱-۲- استفاده از تکنیک ویکور فازی

نخستین بار سرافیم اپریکویک[10] در مقاله‌ای با عنوان روش ویکور فازی و کاربرد آن در برنامه‌ریزی منابع آب از تکنیک ویکور با رویکرد فازی استفاده کرده است [۳۱].

روش ویکور فازی برای تعیین راه‌حل توافقی مسئله چند معیاره فازی توسعه‌یافته است. در ماتریس تصمیم تکنیک ویکور مقادیر J امین گزینه به‌صورت $A_j=\{X_1,X_2,\ldots,X_n\}$ نمایش داده می‌شود. هر X_{ij} نشان‌دهنده مقدار گزینه J ام بر اساس معیار i ام است. هدف این روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین گزینه (توافقی) است.

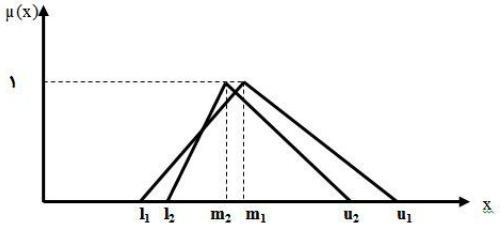
$$X=\begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

شکل۲ : ماتریس تصمیم ویکور

گزینه‌ها را می‌توان ایجاد کرد و با مدل‌های ریاضیاتی، مدل‌های فیزیکی و یا به‌وسیله آزمایش‌های مختلف بر روی سیستم موجود یا دیگر سیستم‌های مشابه، مورد آزمون قرارداد. محدودیت‌ها به‌عنوان اهداف با اولویت بالا تلقی می‌شوند که باید در فرآیند ارزیابی گزینه‌ها عنوان شوند. در این بحث، اعداد فازی مثلثی با نماد $\tilde{F}_{ij}=(l_{ij},m_{ij},u_{ij})$ نمایش داده می‌شوند. مجموعه معیارهایی که بار مثبت دارند (سودمندی) با lb و مجموعه معیارهایی که بار منفی دارند (هزینه) با lc نشان داده می‌شوند.

۱-۱-۲- تشکیل ماتریس تصمیم فازی برای تکنیک ویکور

ماتریس تصمیم یا همان ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم با X و هر درایه آن با xij نشان داده‌شده است. دقت کنید تکنیک ویکور برخلاف تکنیک تاپسیس بر آمار و ارقام واقعی متکی است و کمتر برای ارزیابی از طیف لیکرت استفاده می‌شود. در مورد بسیاری از ارزیابی‌های کمی می‌توان کمترین مقدار ممکن، بیشترین مقدار ممکن و محتمل‌ترین مقدار ممکن را شناسایی کرد. نمایش این دو مقدار به‌صورت زیر است:



شکل۳ : نمایی از اعداد فازی مثلثی

این روش ارزیابی برای m گزینه بر اساس n معیار قابل‌تعمیم است. به‌این‌ترتیب می‌توان یک ماتریس ارزیابی فازی تشکیل داد. در غیر این صورت اگر بخواهید از همان روش طیف لیکرت برای ارزیابی استفاده کنید از طیف زیر بهره بگیرید:

[9] Multiple Attribute Decision Making (MADM)
[10] Serafim Opricovic

جدول۲ : طیف فازی ۷ درجه جهت ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها

متغیر زبانی	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی ضعیف (Very Poor)	۱	(0, 0, 1)
ضعیف (Poor)	۲	(0, 1, 3)
ضعیف تا متوسط (Medium Poor)	۳	(1, 3, 5)
متوسط (Fair)	۴	(3, 5, 7)
تقریبا خوب (Medium Good)	۵	(5, 7, 9)
خوب (Good)	۶	(7, 9, 10)
خیلی خوب (Very Good)	۷	(9, 9, 10)

۲-۱-۲- فازی زدایی مقادیر در تکنیک ویکور

در روش‌های مختلف که با رویکرد فازی صورت می‌گیرد هدف پژوهشگر آن است که مقادیر فازی نهایی را به یک عدد قطعی و قابل‌درک تغییر دهد. روش‌های متعددی برای فازی زدایی وجود دارند: برای نمونه روش مرکز ثقل، روش مرکز سطح و میانگین ماکسیمم از این دسته هستند. زنگ و تنگ[11] (۱۹۹۳) روش ساده‌ای را برای فازی زدایی اعداد فازی مثلثی بر اساس روش مرکز سطح (COA) ارائه داده‌اند. اپریکویک و زنگ[12] (۲۰۰۳) مقاله‌ای با عنوان «فازی زدایی در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره» ارائه کرده‌اند. در این مقاله به‌طورکلی روش‌های متعدد فازی زدایی بررسی‌شده است و درنهایت تکنیک CFCS به‌عنوان یک روش مناسب فازی زدایی در تکنیک‌های MCDMپیشنهادشده است [۳۱].

باوجود همه انتقاداتی که اپریکویک (۲۰۰۳) برای روش‌های ساده و مرسوم فازی زدایی مطرح کرده است وی در الگوریتم پیشنهادی خود برای فازی زدایی $\tilde{Q}_j$, $\tilde{R}_j$, $\tilde{S}_j$ و $j=1,\ldots,J$ از روش ساده زیر استفاده کرده است:

رابطه (۱) – تبدیل عدد فازی به قطعی

$$Crisp(N)=\frac{(1+2m+u)}{4}$$

در اینجا برای تبدیل یک عدد فازی به عدد قطعی، دومین روش فازی زدایی میانگین موزون که توسط بوجادزیف نیز توصیه‌شده است مورداستفاده قرارگرفته است. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از طبقه‌بندی با استفاده از مقادیر قطعی S ، R و Q به ترتیب کاهنده استفاده می‌شود. نتایج سه فهرست رتبه‌بندی $Q_{\{A\}}$ و $R_{\{A\}}$ و $S_{\{A\}}$ هستند. در این زمینه درست مانند الگوریتم اجرای تکنیک ویکور با مقادیر قطعی عمل می‌شود.

۲-۱-۳- گام‌های روش ویکور فازی

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم فازی

گام دوم: شناسایی بهترین مقدار و بدترین مقدار در هر معیار ماتریس تصمیم (جواب‌های ایده آل مثبت و ضد ایده آل منفی).

برای معیار مثبت (با ماهیت سود) بزرگ‌ترین مقدار بهترین مقدار است و کوچک‌ترین مقدار بدترین مقدار است و برای معیار منفی برعکس است.

رابطه (۲) - شناسایی بهترین و بدترین در هر معیار ماتریس

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij} \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij}$$

گام سوم: محاسبه مقادیر شاخصه‌ای مطلوبیت یا سودمندی (S) و عدم مطلوبیت و نارضایتی (R):

[11] Tzeng & Teng
[12] Tzeng & Opricovic

رابطه (۳) - محاسبه مقادیر شاخصه‌ای سودمندی (S)

$$\breve{S}_j = \sum_{j=1}^{n} \frac{\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij})}{(f_j^{u*} - f_j^l)}$$

رابطه (۴)- محاسبه عدم مطلوبیت (R)

$$\breve{R}_j = \max_j \frac{\tilde{w}_j (\tilde{x}_{ij} - \tilde{f}_j^*)}{(f_j^u - \tilde{f}_j^{l*})}$$

مقدار S و R به ترتیب مقادیر میزان مطلوبیت و غیر مطلوبیت را نشان می‌دهد. هرچقدر این دو شاخص که عددهای فازی مثلثی هستند کوچک‌تر و کمتر باشند در حالت بهتر و مساعدی می‌باشند.

به عبارات رابطه(۵) که هنگام محاسبه شاخص مطلوبیت یا غیر مطلوبیت باید محاسبه کرد به‌صورت مستقل ماتریس اختلاف‌فازی نرمال شده (dij) می‌نامند.

رابطه (۵)- ماتریس اختلاف‌فازی نرمال شده (dij)

$$\breve{d}_{ij} = \frac{(\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij})}{(\tilde{f}_j^{u*} - \tilde{f}_j^{l-})} \rightarrow i \in B$$

$$\breve{d}_{ij} = \frac{(\tilde{x}_{ij} - \tilde{f}_j^*)}{(\tilde{f}_j^u - \tilde{f}_j^{l*})} \rightarrow i \in C$$

حرف B منظور معیارهای وزن سود است و حرف C معیارهای جنس هزینه است

گام چهارم محاسبه شاخص Q (شاخص ویکور) با استفاده از مقادیر شاخصه‌ای S و R:

رابطه (۶) – محاسبه شاخص Q

$$\breve{Q} = \nu \frac{(\breve{s}_j - \tilde{s}^*)}{(s^u - s^{*l})} + (1-\nu) \frac{(\breve{s}_j - \tilde{s}^*)}{(R^u - R^{*l})}$$

گام پنجم: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخصه‌ای Q, S, R

۳- یافته‌ها

۳-۱- تعیین مهم‌ترین ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل

در تحقیق حاضر برای تعیین مهم‌ترین ریسک‌های موثر در پروژه‌های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل، با انجام مطالعات کتابخانه‌ای پیرامون موضوع تحقیق، فهرستی از ریسک‌های مؤثر تهیه گردید. فهرست یادشده در جدول ۳ ارائه‌شده است.

جدول۳ : ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل

دسته بندی	ریسک
ریسک های ایمنی	امکان برخورد نیروی انسانی با المان ها و ایجاد صدمه به پرسنل
	امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها
	ریزش دیواره ها و سقوط المان ها
	سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات
	پتانسیل ریزش معابر شریانی حیاتی واقع در مجاورت گود در هنگام وقوع زلزله
	امکان رانش زمین در دامنه های پر شیب
ریسک های مالی	محدودیت استفاده از پروفیل های خاص (ترجیحا مقاطع لوله ای یا قوطی شکل با شعاع ژیراسیون بالا)
	افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول
	محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم
ریسک های زمان‌بندی	افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول
	امکان اختلال در عملکرد ماشین آلات بدلیل طراحی و اجرای مهارها
ریسک های فنی و اجرایی	جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه
	عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد
	محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز
	افزایش نیروی فشاری به دستک ها با افزایش دهانه و عرض گود
	امکان خیز برداشتن دستک های فشاری
	احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور
	نیاز به تیم اجرایی متخصص در اجرای استرات و اتصالات آن‌ها
	عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری
	نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات
	کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش به دلیل محدودیت های پروژه های انجام شده
	لغزش توده های خاک
	نبود پهنه بندی و ضوابط مشخص برای عمق گود در نواحی مختلف و لحاظ نکردن اثر تغییر عمق آتی احتمالی املاک مجاور
	عدم وجود ضوابط فنی و استانداردهای اجرایی
	امکان انسداد یا تغییر مسیر قنوات و انسداد چاه های آب
ریسک های زیست محیطی	آلودگی صوتی ناشی از کارکرد ماشین آلات
	آلودگی هوا در اثر بلندشدن خاک حین خاک برداری، دپو و بارگیری
	آلودگی آب زیر زمینی، آب قنات و آب چاه با دوغاب سیمان، گازوییل و روغن ناشی از کار ماشین آلات

پس از استخراج ریسک‌های موثر در پروژه‌های گود عمیق شهری به روش مهار متقابل که بر اساس تحقیقات انجام‌شده صورت گرفت به‌منظور اخذ دیدگاه اساتید دانشگاه و متخصصان مشغول به کار زمینه گودبرداری و ژئوتکنیک در شهر کرمان، فهرست مذکور در اختیار اعضای نمونه تحقیق یعنی ۲۸ تن از این خبرگان قرار گرفت و نظر ایشان در رابطه با میزان‌تأثیر ریسک‌های استخراج‌شده با استفاده از پرسشنامه مبتنی بر طیف لیکرت که شامل پنج گزینه (بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم، بسیلر کم) است، جمع آوری گردید و نتایج حاصل از آن با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. خروجی این نرم‌افزار در جدول ۴ نمایش داده‌شده است.

جدول۴ : خروجی نرم‌افزار SPSS

One-Sample Test						
	Test Value = 3					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
امکان برخورد نیروی انسانی با المان ها و ایجاد صدمه به پرسنل	۵/۲۱۸	۲۷	۰/۰۰	۰/۸۲۱	۰/۳۰	۱/۲۴
امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها	۶/۵۶۱	۲۷	۰/۰۰	۰/۸۵۷	۰/۶۰	۱/۲۱
ریزش دیواره ها و سقوط المان ها	۱۰/۱۴۴	۲۷	۰/۰۰	۱/۱۴۳	۰/۹۱	۱/۳۵
سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات	۲/۲۵۰	۲۷	۰/۰۶۲	۰/۲۴۰	۰/۰۲	۰/۲۸
پتانسیل ریزش معابر شریانی حیاتی واقع در مجاورت گود در هنگام وقوع زلزله	۱/۵۳۶	۲۷	۰/۱۳۴	۰/۱۷۹	-۰/۰۶	۰/۴۲
امکان رانش زمین در دامنه های پر شیب	-۱/۳۵۲	۲۷	۰/۲۲۵	-۰/۱۴۳	-۰/۴۱	۰/۱۲۶
محدودیت استفاده از پروفیل های خاص	۶/۶۳	۲۷	۰/۰۰	۰/۸۲۱	۰/۶۰۸	۱/۲۷
افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	۴/۳۵۵	۲۷	۰/۰۰	۰/۶۷۹	۰/۳۵	۱/۰۰
محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم	۳/۲۵۶	۲۷	۰/۰۰۳	۰/۵۷۱	۰/۲۱	۰/۹۳
افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	۳/۸۲۴	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۶۰۷	۰/۲۸	۰/۹۳
امکان اختلال در عملکرد ماشین آلات بدلیل طراحی و اجرای مهارها	۱/۶۶۵	۲۷	۰/۱۰۹	۰/۲۵۰	-۰/۰۶	۰/۵۶
جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه	۱/۸۴۸	۲۷	۰/۰۷۰	۰/۲۵۰	۰/۰۲	۰/۵۲
عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد	۳/۳۲۶	۲۷	۰/۰۱۳	۰/۳۹۳	۰/۱۵	۰/۶۴
محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز	۱/۳۱۶	۲۷	۰/۲۰۲	۰/۱۵۹	-۰/۱۰	۰/۴۶
افزایش نیروی فشاری به دستک ها با افزایش دهانه و عرض گود	۴/۳۳۱	۲۷	۰/۰۰	۰/۶۶۳	۰/۲۲	۰/۶۳
امکان خیز برداشتن دستک های فشاری	۳/۰۳۴	۲۷	۰/۰۰۵	۰/۳۹۳	۰/۲۳	۰/۶۳
احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور	۱/۳۴۲	۲۷	۰/۱۸۴	۰/۲۱۴	-۰/۱۱	۰/۵۳
نیاز به تیم اجرایی متخصص در اجرای استرات و اتصالات آن‌ها	۳/۰۵۷	۲۷	۰/۰۱۵	۰/۴۲۹	۰/۱۴	۰/۷۳
عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری	۶/۰۲۱	۲۷	۰/۰۰	۰/۸۵۷	۰/۴۶	۱/۱۷
نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات	۱/۵۲۶	۲۷	۰/۱۳۴	۰/۱۵۹	۰/۲۶	۰/۳۲
کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش	۱/۲۳۷	۲۷	۰/۲۵۹	۰/۱۴۹	-۰/۲۴	۰/۵۰
لغزش توده های خاک	۱/۰۱۴	۲۷	۰/۳۱۶	۰/۱۳۹	-۰/۱۷	۰/۵۳
نبود پهنه بندی و ضوابط مشخص برای عمق گود در نواحی مختلف و...	۱/۳۲۳	۲۷	۰/۱۶۱	۰/۲۲۴	-۰/۰۹	۰/۵۲
عدم وجود ضوابط فنی و استانداردهای اجرایی	۱/۶۲۲	۲۷	۰/۱۱۰	۰/۲۲۴	-۰/۰۵	۰/۴۸
امکان انسداد یا تغییر مسیر قنوات و انسداد چاه های آب	۲/۲۲۲	۲۷	۰/۰۳۷	۰/۳۲۶	-۰/۰۲	۰/۵۲
آلودگی صوتی ناشی از کارکرد ماشین آلات	-۳/۹۲۲	۲۷	۰/۰۳۸	-۰/۲۸۶	-۰/۵۸	۰/۱۱
آلودگی هوا در اثر بلندشدن خاک حین خاک برداری، دپو و بارگیری	۳/۱۵۵	۲۷	۰/۰۱۵	۰/۴۲۹	۰/۱۴۸	۰/۷۲۳
آلودگی آب زیرزمینی،آب‌قنات و .. با دوغاب سیمان،... و روغن ناشی از کار ماشین آلات	-۱/۱۳۲	۲۷	۰/۲۳۵	-۰/۱۴۳	-۰/۴۰	۰/۱۱

بر اساس آنالیزهای انجام‌شده در نرم‌افزار SPSS با استفاده از آزمون آماری T تک نمونه با اطمینان ۹۵٪ بنا بر دیدگاه خبرگان(نمونه آماری)، از میان فهرست استخراج‌شده، به‌جز سه مورد شامل: «امکان رانش زمین در دامنه های پر شیب»، «آلودگی صوتی ناشی از کارکرد ماشین آلات» و «آلودگی آب زیرزمینی،آب‌قنات و .. با دوغاب سیمان،... و روغن ناشی از کار ماشین آلات»، سایر ریسک‌ها به‌عنوان ریسک های مهم و حائز اهمیت در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل می‌باشند.

۳-۲- تشکیل ساختار سلسه‌مراتبی و ماتریس تصمیم‌گیری روش ویکور فازی (هدف، معیار، گزینه)

برای تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی، عوامل شناسایی‌شده به‌عنوان شاخص و بر اساس معیارهای میزان تأثیر، میزان اهمیت و وجود ابزار لازم موردبررسی قرار می‌گیرند. (شکل ۴)

شکل۴ : ساختار سلسله‌مراتب روش ویکورفازی (هدف، معیار، گزینه)

۳-۳- مراحل اجرای روش ویکورفازی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل

۱- تشکیل ماتریس تصمیم فازی (جدول ۵)

۲- شناسایی بهترین مقدار و بدترین مقدار در هر معیار ماتریس (جواب‌های ایده آل مثبت و منفی) در (جدول ۶)

۳- محاسبه مقادیر شاخصه‌ای مطلوبیت یا سودمندی (S) و عدم مطلوبیت و نارضایتی (R) در (جدول ۷)

۴- محاسبه شاخص Q با استفاده از مقادیر شاخصه‌ای S و R در (جدول ۸)

۵- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخصه‌ای Q, S, R (جدول ۹)

جدول۵ : تشکیل ماتریس تصمیم فازی

	میزان تأثیر			میزان اهمیت			وجود ابزار لازم		
وزن معیارها←	۰/۴۰	/۴۰	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
جهت معیارها←	+			+			+		
ماتریس میانگین	میزان تأثیر			میزان اهمیت			وجود ابزار لازم		
حد←	L	M	U	L	M	U	L	M	U
امکان برخورد نیروی انسانی با المان ها و ایجاد صدمه به پرسنل	۳/۲۷	۵/۰۸	۷/۰۳	۴/۸۹	۶/۷۳	۸/۶۳	۵/۰۹	۷/۱۱	۹/۲۱
امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها	۵/۵۳	۷/۱۳	۹/۹۳	۴/۲۹	۶/۱۹	۸/۲۹	۲/۷۹	۴/۷۱	۶/۷۱
ریزش دیواره ها و سقوط المان ها	۶/۳۶	۸/۸۶	۱۰/۵۶	۷/۱۳	۹/۰۹	۱۱/۰۸	۶/۸۶	۸/۸۶	۱۰/۸۶
سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات	۳/۰۷	۵/۰۷	۷/۰۷	۴/۹۳	۶/۹۳	۸/۹۳	۱/۰۷	۳/۰۷	۵/۰۷
پتانسیل ریزش معابر شریانی حیاتی واقع در مجاورت گود در هنگام وقوع زلزله	۷/۱۱	۹/۰۸	۱۱/۱۰	۵/۰۰	۷/۱۱	۹/۰۰	۱/۲۳	۳/۶۸	۵/۰۲
محدودیت استفاده از پروفیل های خاص	۱/۱۱	۳/۲۱	۵/۱۳	۱/۰۰	۳/۲۲	۵/۳۸	۱/۶۶	۱/۰۰	۳/۲۵
افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	۵/۰۹	۷/۰۰	۹/۰۰	۳/۱۱	۵/۰۹	۷/۲۱	۱/۱۵	۳/۱۷	۵/۵۴
محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم	۶/۴۶	۸/۳۶	۱۰/۳۶	۴/۴۳	۶/۴۳	۸/۴۳	۲/۸۶	۴/۸۶	۶/۸۶
افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	۶/۷۶	۸/۷۴	۱۰/۸۶	۵/۱۴	۷/۱۶	۹/۱۴	۳/۰۳	۵/۰۰	۷/۰۸
امکان اختلال در عملکرد ماشین آلات بدلیل طراحی و اجرای مهارها	۳/۲۰	۵/۴۴	۷/۲۳	۳/۰۷	۵/۰۷	۷/۰۷	۴/۹۳	۶/۸۳	۸/۸۳
جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه	۵/۱۴	۷/۶۸	۹/۵۵	۱/۸۴	۳/۲۹	۵/۰۰	۳/۰۷	۵/۲۷	۷/۱۷
عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد	۶/۸۶	۸/۸۶	۱۰/۸۶	۲/۵۷	۴/۵۷	۶/۵۷	۷/۰۰	۹/۰۰	۱۱/۰۰
محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز	۳/۰۷	۵/۰۷	۷/۰۷	۱/۲۱	۳/۲۱	۵/۳۱	۳/۱۷	۵/۲۷	۷/۰۷
افزایش نیروی فشاری به دستک ها با افزایش دهانه و عرض گود	۳/۰۷	۵/۰۷	۷/۰۷	۴/۸۶	۶/۷۹	۸/۶۹	۱/۲۱	۱/۳۶	۳/۴۶
امکان خیز برداشتن دستک های فشاری	۱/۱۰	۳/۰۳	۵/۱۳	۳/۵۴	۵/۷۴	۷/۷۰	۱/۳۵	۳/۲۱	۵/۳۲
احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور	۵/۰۰	۷/۳۰	۹/۲۹	۳/۲۸	۵/۸۳	۷/۲۳	۱/۲۷	۳/۰۷	۵/۳۷
نیاز به تیم اجرایی متخصص در اجرای استرات و اتصالات آن‌ها	۶/۶۶	۸/۸۶	۱۰/۸۶	۲/۵۰	۳/۳۶	۵/۳۶	۷/۰۰	۹/۰۰	۱۱/۰۰
عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری	۶/۳۱	۸/۲۱	۱۰/۲۱	۴/۲۶	۶/۱۶	۸/۱۶	۴/۷۱	۶/۵۱	۸/۷۱
نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات	۶/۶۶	۸/۸۶	۱۰/۸۶	۵/۰۰	۷/۲۶	۹/۵۸	۷/۲۳	۹/۷۶	۱۱/۰۰
کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش	۱/۰۴	۳/۰۰	۵/۴۷	۱/۱۴	۳/۲۴	۵/۳۴	۱/۱۴	۳/۱۴	۵/۱۴
لغزش توده های خاک	۳/۰۶	۵/۰۰	۷/۰۰	۱/۳۶	۳/۰۰	۵/۳۷	۱/۱۷	۳/۰۷	۵/۰۷
نبود پهنه بندی و ضوابط مشخص برای عمق گود در نواحی مختلف و...	۷/۰۲	۹/۷۵	۱۱/۱۲	۲/۹۳	۴/۹۳	۶/۹۳	۱/۰۷	۱/۱۴	۳/۱۴
عدم وجود ضوابط فنی و استانداردهای اجرایی	۷/۸۴	۹/۰۰	۱۱/۰۹	۳/۵۹	۵/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰	۹/۱۳	۱۱/۰۰
امکان انسداد یا تغییر مسیر قنوات و انسداد چاه های آب	۳/۶۹	۵/۲۴	۷/۵۵	۵/۰۰	۷/۵۸	۹/۰۵	۱/۰۷	۱/۳۴	۳/۱۴
آلودگی هوا در اثر بلندشدن خاک حین خاک برداری، دپو و بارگیری	۶/۷۲	۸/۶۳	۱۰/۹۳	۲/۵۰	۴/۵۰	۶/۵۰	۷/۱۱	۹/۲۳	۱۱/۳۰

در جدول ۵ ماتریس تصمیم بر مبنای اعداد فازی مثلثی تشکیل گردید که این اعداد فازی شامل کمترین ، بیشترین و محتمل ترین مقدار مطابق با طیف فازی ۷ درجه می باشند.

جدول۶ : شناسایی بهترین مقدار و بدترین مقدار در هر معیار ماتریس (جواب‌های ایده آل مثبت و منفی)

راه‌حل‌ها	میزان تأثیر			میزان اهمیت			وجود ابزار لازم		
حد←	L	M	U	L	M	U	L	M	U
ایده آل (+)	۷	۹	۱۱	۷	۹	۱۱	۷	۹	۱۱
ضد ایده آل (-)	۱	۱/۱۷	۳/۱۷	۱	۳	۵	۱	۱	۳

در جدول ۶ به شناسایی جواب های ایده آل مثبت و منفی پرداخته شده که بدین منظور برای معیار مثبت(با ماهیت سود) بزرگترین مقدار بهترین مقدار است و کوچکترین مقدار بدترین مقدار است و برای معیار منفی برعکس است.

جدول۷ : محاسبه مقادیر شاخصه‌ای مطلوبیت یا سودمندی (S) و عدم مطلوبیت و نارضایتی (R)

مطلوبیت و عدم مطلوبیت	S			R		
حد←	L	M	U	L	M	U
امکان برخورد نیروی انسانی با المان ها و ایجاد صدمه به پرسنل	-۰/۳۹۵۳	۰/۳۸۵۳	۲/۱۱۵۱	-۰/۰۰۷۲	۰/۲۱۳	۰/۹۱۸۲
امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها	-۰/۴۸۶۶	۰/۳۲۴۶	۲/۰۳۵۳	۰/۰۰۶۶	۰/۱۶۱۷	۰/۸۳۸۳
ریزش دیواره ها و سقوط المان ها	-۱/۲۳۲۱	۰/۰۱۲۵	۱/۲۸۴۳	-۰/۲۸۷۳	۰/۰۰۶۱	۰/۵
سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات	-۰/۱۹۱۴	۰/۵۳۱۶	۲/۴۱۱۸	۰/۰۵۷۹	۰/۲۲۳	۰/۹۰۸۲
پتانسیل ریزش معابر شریانی حیاتی واقع در مجاورت گود در هنگام وقوع زلزله	-۰/۶۴۸۲	۰/۳۰۸۳	۱/۹۵۸۲	۰/۰۶	۰/۲۲۵	۰/۷۵
محدودیت استفاده از پروفیل های خاص	۰/۲۵۰۴	۰/۸۸۸۴	۳/۱۲۱۹	۰/۲۲	۰/۳۲۸۴	۱/۲۵
افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	-۰/۱۶۹۱	۰/۵۱۵۲	۲/۴۳۷۳	۰/۰۶	۰/۲۳۵	۱
محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم	-۰/۵۵۸۸	۰/۲۷۹	۱/۹۵۴	۰/۰۰۴۳	۰/۱۵۴۴	۰/۸۲۱۴
افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	-۰/۷۰۹۷	۰/۲۳۵۵	۱/۸۰۶۷	۰	۰/۲۵	۰/۷۳۲۱
امکان اختلال در عملکرد ماشین آلات بدلیل طراحی و اجرای مهارها	-۰/۱۵۳۶	۰/۴۵۸۴	۲/۳۵۲۸	۰	۰/۲۳۷	۰/۹۹۲۱
جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه	-۰/۱۷۴۴	۰/۵۲۱۸	۲/۵۳۱۹	۰/۱۵	۰/۴۵	۱/۲۵
عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد	-۰/۷۳۲۱	۰/۱۹۳۶	۱/۸۳۸۱	۰/۰۱۱۷	۰/۱۷۴۵	۱/۰۵۳۶
محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز	۰/۰۳۱۱	۰/۶۱۱۴	۲/۷۲۶	۰/۰۴۴۶	۰/۲۳۱۱	۱/۲۱۳۲
افزایش نیروی فشاری به دستک ها با افزایش دهانه و عرض گود	-۰/۱۲۳۱	۰/۶۰۲۸	۲/۳۱	۰/۱۰۷۳	۰/۲۸۵۶	۰/۹۱۸۲
امکان خیز برداشتن دستک های فشاری	۰/۲۵	۰/۷۳۳۲	۲/۸۷۵۵	۰/۰۹	۰/۳۵۰۵	۱/۱۵۵۵
احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور	-۰/۱۷۲۲	۰/۵۰۳۵	۲/۴۳۲۹	۰/۰۵۶۹	۰/۲۲۳۳	۱
نیاز به تیم اجرایی متخصص در اجرای استرات و اتصالات آن‌ها	-۰/۷۰۱۷	۰/۲۴۴۲	۱/۸۴۷	۰/۰۳۱۱	۰/۲۵۵۱	۱/۰۶۵۵
عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری	-۰/۶۶۵۴	۰/۲۴۱۴	۱/۵۵	-۰/۱۲۵۶	۰/۱۱۲۱	۰/۸۳۱۴
نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات	-۰/۹۹۲۸	۰/۰۹۲۴	۱/۵۳۴۵	-۰/۳۵	۰/۰۸۲۳	۰/۷۱۵
کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش	۰/۱۹۳۱	۰/۸۱۴۲	۳/۱۲۶۹	۰/۱۹	۰/۳۳۰۵	۱/۲۳۳۱
لغزش توده های خاک	۰/۱۰۶۹	۰/۶۹۷۳	۲/۹۲۱	۰/۰۵۶۹	۰/۳۵	۱/۳۵
نبود پهنه بندی و ضوابط مشخص برای عمق گود در نواحی مختلف و...	-۰/۳۴۱۷	۰/۴۶۳۳	۲/۲۱۲۸	۰/۱۲۵۷	۰/۲۷۴۶	۱/۰۱۸۹
عدم وجود ضوابط فنی و استانداردهای اجرایی	-۰/۷۳۸۲	۰/۱۶۵۷	۱/۷۵۷۲	۰	۰/۱۶۵۷	۱
امکان انسداد یا تغییر مسیر قنوات و انسداد چاه های آب	-۰/۱۳۵۳	۰/۶۱۵	۲/۴۲۱	۰/۱۱۳۷	۰/۲۶۴۶	۰/۹۳۵۴
آلودگی هوا در اثر بلندشدن خاک حین خاک برداری، دپو و بارگیری	-۰/۷۲۷۵	۰/۱۹۴۶	۱/۸۶۸۹	۰/۰۱۳۵	۰/۱۸۴۵	۱/۰۳۲۵

در جدول ۷ مقدارهای S و R به ترتیب مقادیر میزان مطلوبیت و عدم مطلوبیت را نشان میدهد . هرچقدر این دو شاخص که عدد های فازی مثلثی هستند کوچکتر باشند در حالت بهتری میباشند.

جدول۸ : محاسبه شاخص Q با استفاده از مقادیر شاخصه‌ای S و R

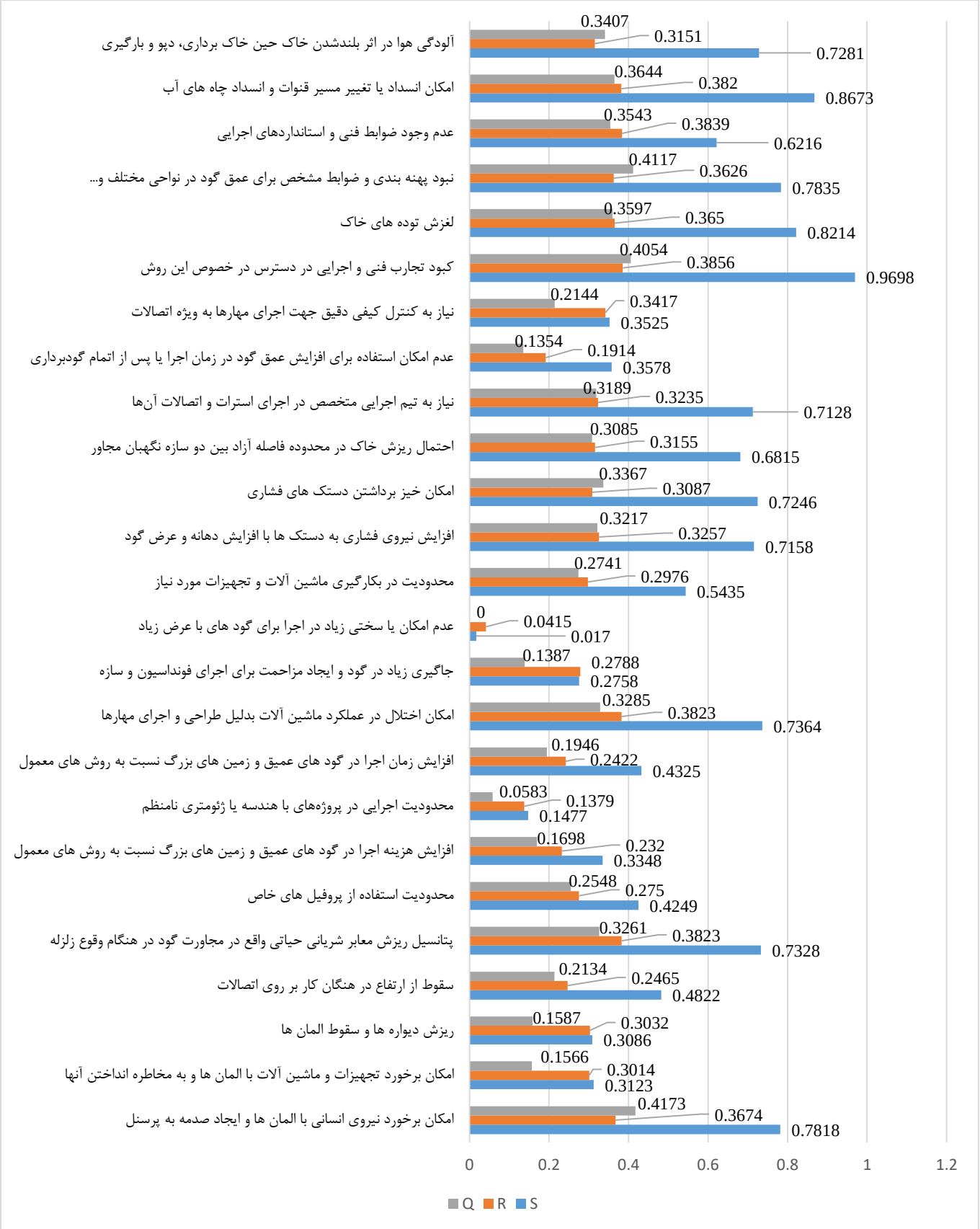
شاخص ویکور	Q		
حد ←	L	M	U
امکان برخورد نیروی انسانی با المان ها و ایجاد صدمه به پرسنل	-۳/۴۴۰۱	۰/۴۳۷۵	۳/۲۵۰۵
امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها	-۳/۳۴۴۴	۰/۳۵۴۳	۳/۱۵۵۸
ریزش دیواره ها و سقوط المان ها	-۲/۶۲۵۷	۰	۲/۶۷۳۷
سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات	-۳/۶۱۳۴	۰/۵۲۲۷	۳/۴۲۰۸
پتانسیل ریزش معابر شریانی حیاتی واقع در مجاورت گود در هنگام وقوع زلزله	-۳/۱۴۳۶	۰/۴۳۵۹	۳/۰۴۹۷
محدودیت استفاده از پروفیل های خاص	-۴/۴۲۳۸	۰/۸۳۲۴	۴/۲۵۷۶
افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	-۳/۷۲۶۸	۰/۵۲۱۷	۳/۵۷۴۵
محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم	-۳/۲۳۱۹	۰/۳۲۱۷	۳/۱۰۲۸
افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	-۳/۰۳۷۸	۰/۲۸۸۹	۲/۹۱۱۹
امکان اختلال در عملکرد ماشین آلات بدلیل طراحی و اجرای مهارها	-۳/۸۱۷	۰/۵۱۰۷	۳/۵۲۶۳
جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه	-۴/۱۵۹۳	۰/۵۳۱۲	۳/۹۲۷۱
عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد	-۳/۵۲۵۴	۰/۳۰۲۲	۳/۲۴۸
محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز	-۴/۲۱۱۶	۰/۶۰۵۲	۳/۹۴۹
افزایش نیروی فشاری به دستک ها با افزایش دهانه و عرض گود	-۳/۶۳۱۶	۰/۶۵۵۳	۳/۴۵۹۸
امکان خیز برداشتن دستک های فشاری	-۴/۲۱۳۲	۰/۷۸۱۶	۴/۰۰۸۹
احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور	-۳/۷۶۲۲	۰/۵۲۵۱	۳/۵۷۴۴
نیاز به تیم اجرایی متخصص در اجرای استرات و اتصالات آن‌ها	-۳/۵۷۲۵	۰/۳۸۶۷	۳/۳۱۳۲
عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری	-۳/۲۲۱۶	۰/۲۴۶۶	۳/۰۴۸
نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات	-۲/۹۳۹۱	۰/۱۲۰۲	۲/۷۵۹
کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش	-۴/۴۵۲۳	۰/۸۳۳۳	۴/۲۳۵
لغزش توده های خاک	-۴/۳۸۱۴	۰/۶۷۱۲	۴/۱۳۳۲
نبود پهنه بندی و ضوابط مشخص برای عمق گود در نواحی مختلف و...	-۳/۶۵۱۷	۰/۵۸۳۸	۳/۴۵۸۲
عدم وجود ضوابط فنی و استانداردهای اجرایی	-۳/۴۳۲۷	۰/۲۲۸	۳/۱۸۲۹
امکان انسداد یا تغییر مسیر قنوات و انسداد چاه های آب	-۳/۶۲۴۷	۰/۶۷۶۲	۳/۴۶۹۷
آلودگی هوا در اثر بلندشدن خاک حین خاک برداری، دپو و بارگیری	-۳/۵۶۷۵	۰/۳۰۵۹	۳/۲۹۸۵

در جدول ۸ به محاسبه شاخص ویکور (Q) با استفاده از مقادیر شاخصه ای مطلوبیت یا سودمندی (S) و عدم مطلوبیت یا نارضایتی (R) پرداخته شده.

جدول۹ : رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس شاخصه‌ای Q, S, R

مقادیر قطعی / رتبه	S	رتبه	R	رتبه	Q	رتبه
امکان برخورد نیروی انسانی با المان ها و ایجاد صدمه به پرسنل	۰/۷۸۱۴	۲۲	۰/۳۶۷۳	۱۹	۰/۴۱۷۲	۲۵
امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها	۰/۳۱۲۵	۵	۰/۳۰۱۲	۱۰	۰/۱۵۶۴	۵
ریزش دیواره ها و سقوط المان ها	۰/۳۰۸۴	۴	۰/۳۰۳۳	۱۱	۰/۱۵۸۵	۶
سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات	۰/۴۸۲۵	۱۱	۰/۲۴۶۳	۶	۰/۲۱۳۳	۹
پتانسیل ریزش معابر شریانی حیاتی واقع در مجاورت گود در هنگام وقوع زلزله	۰/۷۳۲۶	۱۹	۰/۳۸۲۸	۲۱	۰/۳۲۶۲	۱۶
محدودیت استفاده از پروفیل های خاص	۰/۴۲۴۴	۹	۰/۲۷۴	۸	۰/۲۵۴۶	۱۱
افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	۰/۳۳۴۲	۶	۰/۲۳۳	۴	۰/۱۶۹۲	۷
محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم	۰/۱۴۷۵	۲	۰/۱۳۷۱	۲	۰/۰۵۸۱	۲
افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول	۰/۴۳۲۴	۱۰	۰/۲۴۲۳	۵	۰/۱۹۴۳	۸
امکان اختلال در عملکرد ماشین آلات بدلیل طراحی و اجرای مهارها	۰/۷۳۶۴	۲۰	۰/۳۸۲۲	۲۲	۰/۳۲۸۲	۱۷
جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه	۰/۲۷۵۸	۳	۰/۲۷۸۱	۷	۰/۱۳۷۴	۴
عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد	۰/۰۱۶۹	۱	۰/۰۴۱۳	۱	۰	۱
محدودیت در بکارگیری ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز	۰/۵۴۳۳	۱۲	۰/۲۹۷۵	۹	۰/۲۷۴۲	۱۲
افزایش نیروی فشاری به دستک ها با افزایش دهانه و عرض گود	۰/۷۱۵۸	۱۶	۰/۳۲۵۳	۱۶	۰/۳۲۱۲	۱۵
امکان خیز برداشتن دستک های فشاری	۰/۷۲۴۵	۱۷	۰/۳۰۸۶	۱۲	۰/۳۳۶۷	۱۸
احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور	۰/۶۸۱۵	۱۴	۰/۳۱۵۴	۱۴	۰/۳۰۸۵	۱۳
نیاز به تیم اجرایی متخصص در اجرای استرات و اتصالات آن‌ها	۰/۷۱۲۶	۱۵	۰/۳۲۳۳	۱۵	۰/۳۱۸۲	۱۴
عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری	۰/۳۵۷۶	۸	۰/۱۹۱۵	۳	۰/۱۳۵۲	۳
نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات	۰/۳۵۲۳	۷	۰/۳۴۱۵	۱۷	۰/۲۱۴۲	۱۰
کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش	۰/۹۶۹۲	۲۵	۰/۳۸۵۳	۲۴	۰/۴۰۵۲	۲۳
لغزش توده های خاک	۰/۸۲۱۳	۲۳	۰/۳۶۲	۲۵	۰/۳۵۹۵	۲۱
نبود پهنه بندی و ضوابط مشخص برای عمق گود در نواحی مختلف و...	۰/۷۸۳۵	۲۱	۰/۳۶۲۶	۱۸	۰/۴۱۱۴	۲۴
عدم وجود ضوابط فنی و استانداردهای اجرایی	۰/۶۲۱۳	۱۳	۰/۳۸۳۶	۲۳	۰/۳۵۴۲	۲۰
امکان انسداد یا تغییر مسیر قنوات و انسداد چاه های آب	۰/۸۶۷۲	۲۴	۰/۳۸۳	۲۰	۰/۳۶۴۳	۲۲
آلودگی هوا در اثر بلندشدن خاک حین خاک برداری، دپو و بارگیری	۰/۷۲۸۲	۱۸	۰/۳۱۵۲	۱۳	۰/۳۴۰۵	۱۹

در جدول ۹ رتبه بندی شاخص ها قرار گرفته است که بدین منظور اعداد فازی R و S و Q دیفازی شده و سپس گزینه ها بر اساس مقادیر دیفازی شده رتبه بندی گردیده اند ، کمترین مقادیر رتبه اول را اختیار کردند و رتبه آخر بیشترین مقادیر را دارا می باشند.



شکل۵ : رتبه‌بندی ریسک های موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل

۴- نتیجه گیری

۱- همانطور که مشاهده می‌شود ده ریسک موثر در پروژه های گود عمیق شهری پایدار شده به روش مهار متقابل به ترتیب شامل : «عدم امکان یا سختی زیاد در اجرا برای گود های با عرض زیاد»، «محدودیت اجرایی در پروژه‌های با هندسه یا ژئومتری نامنظم»، «عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری»، «جاگیری زیاد در گود و ایجاد مزاحمت برای اجرای فونداسیون و سازه»، «امکان برخورد تجهیزات و ماشین آلات با المان ها و به مخاطره انداختن آنها»، «ریزش دیواره ها و سقوط المان ها»، «افزایش هزینه اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول»، «افزایش زمان اجرا در گود های عمیق و زمین های بزرگ نسبت به روش های معمول»، «سقوط از ارتفاع در هنگان کار بر روی اتصالات»، «نیاز به کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات» می‌باشد ، لذا توجه به این ریسک‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

۲- روش مهار متقابل یا استرات از جمله روش‌های پایدارسازی موقت برای نگهداری و حفاظت جداره‌های حاصل از گودبرداری و برای جلوگیری از تغییر مکان‌های جانبی در گودهایی با عرض کم است که در محیط‌های شهری استفاده می‌شود و برای گودهای با عرض کم مناسب و اقتصادی است. پایدارسازی گود به روش مهار متقابل یا استرات شباهت‌هایی با روش سازه نگهبان خرپایی دارد. استفاده از المان‌های مهار متقابل باعث کنترل و کاهش تغییرشکل‌های جانبی دیواره‌های گودبرداری می‌گردد. در این روش نیز المان‌های قائم در داخل شمع‌هایی به طول بیش از ارتفاع گود قرار می‌گیرند که انتهای آن‌ها با بتن به صورت گیردار در داخل شمع‌ها مهار شده است. این المان‌های قائم می‌توانند پروفیل‌های H شکل یا I شکل و یا مقاطع مستطیلی شکل باشند. بعد از جانمایی این المان‌های قائم در دو طرف دیوارهای گود، آن‌ها را به کمک تیرها و المان‌های افقی شکل به صورت سازه خرپایی به یکدیگر متصل می‌گردد تا بتوانند به پایداری یکدیگر کمک کنند. در این روش بهتر است شرایط دو سازه مجاور گود یکسان باشد. مهار متقابل (استرات)، دوختن خاک به خاک متقابل است. در روش مهار متقابل (استرات) می‌توان از شمع فولادی، شمع بتنی، سپر و یا دیافراگم استفاده کرد. این روش در گودبرداری دارای عرض کم نسبت به عمق گودبرداری، در مقایسه با سازه نگهبان خرپایی و سایر روش های مرسوم میتواند اقتصادی تر و دارای فضای بیشتر جهت اجرای سازه اصلی ساختمان باشد.

۳- بطور کلی اجرای سازه نگهبان به روش مهار متقابل نه تنها موجب افزایش ظرفیت باربری سازه نگهبان می‌شود، بلکه موجب کاهش میزان تغییر شکل های سازه نگهبان و در نتیجه کاهش میزان تغییر شکل و نشست احتمالی خاک پشت دیوار می‌شود.این امر، به ویژه هنگامی که در مجاورت گود ساختمان‌هایی وجود داشته باشند، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. همچنین سرعت بالایی در اجرا دارد، نسبت به روش‌های دیگر هزینه آن کمتر است، نسبت به سازه نگهبان خرپایی، جاگیری کمتری دارد، اتصالات در مهار متقابل نسبت به سازه نگهبان خرپایی کمتر است، مهار متقابل با دیگر روش‌های پایدارسازی گود قابل ترکیب است و این روش، به ویژه در بسیاری از عملیات حفاری ترانشه‌ها و کانال‌ها می‌تواند بسیار مناسب باشد، و همچنین سهولت روش اجرای مهار متقابل باعث می‌شود به تخصص بالای نیروی انسانی، مصالح و دستگاه‌های خاص نیازی نباشد. البته این روش نیز معایبی هم دارد از جمله اینکه اگر عرض گود زیاد باشد (مثلا بیش از ۱۰ متر) ممکن است هزینه و زمان اجرای کار افزایش یافته و کار با سختی بیشتر انجام شود. در یک پروژه خاص باید این امر مورد مطالعه قرار گرفته و با دقت مشخص شود، اگر عمق گود زیاد باشد، ممکن است هزینه و زمان اجرای کار افزایش یابد. همچنین مهاربندی‌های ترازهای مختلف می‌توانند دست و پا گیر باشند و موجب بروز مشکل شوندو همچنین مهار متقابل ممکن است برای ماشین آلات سرگیر باشد و در صورت خوردن ضربه به دستک‌ها ممکن است گود فرو بریزد.

۵- پیشنهادات

۱- برای استفاده از این روش در گودهای با عرض زیاد باید از مقاطع با شعاع ژیراسیون بالا استفاده شود تا از خیز برداشتن دستک ها جلوگیری بعمل آید، با زیاد شدن عرض گود، نیروی فشاری وارد بر دستک‌های فشاری افزایش خواهد یافت. در این صورت امکان خیز برداشتن دستک‌های فشاری وجود داشته و باید از مقاطعی استفاده کنیم که شعاع ژیراسیون بالایی دارند. پروفیل‌های لوله‌ای یا پروفیل‌هایی با مقطع قوطی از شعاع ژیراسیون بالایی برخوردار هستند.

۲- برای جلوگیری از مزاحمت مهارها برای ماشین‌آلات و نیروی‌کار باید شمع‌ها را به منظور تامین طول مهاری در انتهای تحتانی سولجرها اجرا کرد.پس عمق این چاهک‌ها برابر با عمق گود به علاوه عمق شمع سولجرها(به اندازه معمولا در حدود ۱/۲۵ تا ۱/۳۵ برابر عمق گود)باشد سپس قفسه آرماتورهای شمع‌ها آماده شده و سولجرها را بر اساس محاسبات و مطابق با نقشه‌های اجرایی، به آرماتوربندی شمع‌ها متصل می‌کنیم. انتهای تحتانی سولجرها باید حداقل به یک میزان مشخص، داخل شمع فرو روند. سپس سولجرهای متصل به آرماتوربندی شمع‌ها را داخل چاه قرار می‌دهیم و سپس شمع انتهای چاهک‌ها را بتن ریزی می‌کنیم. طول سولجرها معمولا به اندازه‌ای محاسبه می‌شود که قسمت فوقانی آن‌ها بالاتر از تراز لبه گود قرار گیرند. با این امر و پس از نصب دستک فشاری فوقانی، از سرگیر شدن دستک‌ها برای کارگران و ماشین آلات حفاری جلوگیری می‌شود.

۳- اگر برای دستک‌های فشاری از خرپاها و تیرهایی با مقطع I شکل که شعاع ژیراسیون کمی دارند استفاده کنیم، یکی از دو روش زیر را باید اعمال کنیم: در هر یک از طرفین گود، دو سولجر نزدیک به هم (مثلا با فاصله حدود نیم متر) را قرار می‌دهیم. در مرحله بعد دو خرپا را با همان فاصله از هم به ترتیب به انتهای فوقانی سولجرها متصل می‌کنیم. آنگاه بال‌های فوقانی و بال‌های تحتانی خرپاها را با المان سازه‌ای افقی که در راستاهای عمود و مایل نسبت به یال‌های خرپا قرار می‌گیرند، به هم متصل کنیم تا مجموعه دو خرپا و این المان‌های متصل کننده آن‌ها به صورت یک مقطع خرپایی سه بعدی با شعاع زیراسیون زیاد درآیند.این مقاطع مشابه ستون جرثقیل‌های برجی[13] هستند.

۴- روش دیگر این است که برای مقابله با کمانش این دستک‌های فشاری خرپایی یا تیرهایی با مقاطع I شکل، مقاطع دیگری را در راستای عمود بر دستک‌ها و در وسط دهانه آن‌ها به آن‌ها متصل می‌کنیم . با این کار طول کمانش دستک‌ها کم شده و مقاومت خمشی بیشتری پیدا می‌کنند. حتی می‌توانیم به جای یک ردیف مقاطع عمود بر دستک‌های فشاری، از چند ردیف مقاطع موازی در راستای عمود بر دستک‌ها، استفاده کرده و آن‌ها را به دستک‌های فشاری متصل کنیم.

۵- در صورتی که عمق گود زیاد باشد، لنگر خمشی ایجاد شده در سولجرها بسیار زیاد خواهد شد و لازم است از پروفیل‌های سنگین‌تری برای آن‌ها استفاده کنیم .برای حل این مشکل می‌توانیم پس از اجرای سولجرها و دستک‌های فشاری متصل به انتهای فوقانی سولجرها، گودبرداری را شروع کنیم .سپس، پس از رسیدن به یک عمق مشخص، دستک دیگری را در تراز پایین‌تر به سولجرها متصل کنیم تا سولجرها مانند یک تیر واقع بر روی چند تکیه گاه عمل کرده و لنگر خمشی ایجاد شده در آن‌ها کاهش یابد.به این نکته توجه داشته باشید که باید فضای ارتفاعی کافی در زیر دستک فشاری وجود داشته تا سازه نگهبان هم برای کارگران و هم برای ماشین آلات حفاری خاک سرگیر نبوده و امکان عبور و مرور ماشین آلات خاکبرداری در محوطه زیر دستک فشاری فراهم باشد.

۶- در صورت وجود احتمال ریزش خاک در محدوده فاصله آزاد بین دو سازه نگهبان مجاور باید در بین سولجرها از شاتکریت یا انواع پانل‌ها استفاده کنیم.

۷- سیستم مهار متقابل باید در جهت عمود بر سیستم قابی آن، یعنی در جهت طول گود نیز به صورتی مناسب مهاربندی شود. این عمل موجب تأمین صلبیت جانبی و پایداری سازه می‌شود. طول دستک‌های فشاری در صورتی که زیاد باشد، از حالت فعال به مقاوم در آمده و به دو طرف فشار وارد می‌کند. اگر طول دستک کم باشد، موجب کشش سولجر خواهد شد، لذا باید در اندازه‌گیری طول دستک‌های فشاری دقت کرد. دستک‌ها مثل المان‌های واسط هستند و نیروی فشاری که از دو طرف خاک به آن‌ها وارد می‌کند را خنثی می‌کنند.

۸- جهت طراحی گود به روش مهارمتقابل باید با شبیه‌سازی شرایط پروژه در نرم‌افزارهای ۲بُعدی یا ۳بُعدی، نیروی ایجاد شده در اعضای افقی و عمودی محاسبه گردیده و سپس با کنترل حالات حدی نهایی و بهره‌برداری عضو مناسبی جهت این اعضا طراحی گردد. اعضای عمودی و افقی عموماً فولادی بوده و مطابق آئین‌نامه سازه‌های فولادی طراحی می‌گردند.در نظر گرفتن پدیده کمانش در طراحی اعضای افقی از مباحث مهم روش مهارمتقابل می باشد.

۹- جهت گیرداری بهتر عضو قائم در بتن ریشه، قطعات نبشی یا ناودانی را به عنوان برش گیر به عضو قائم جوش می دهند.

۱۰- همان‌طور که شمع های فلزی در روش‌های میخ‌کوبی، مهارگذاری، سازه نگهبان خرپایی و ... می بایست به طور کامل به دیواره گود تکیه داده شوند، جهت عملکرد مناسب روش مهارمتقابل نیز عضو قائم باید کاملاً چسبیده به دیوار باشد تا تغییرشکل ها به

[13] Tower Crane

حداقل برسد. جهت چسبیدن کامل عضو قائم، پشت آن با مصالح مناسبی که حداقل مقاومت فشاری خاک آن قسمت را دارا باشد، پر می شود تا هیچ گونه فضای خالی بین عضو قائم و دیوار باقی نماند.با توجه به اینکه اعضای افقی می بایست از دو طرف به اعضای قائم متصل گردند، بنابراین اعضای قائم حتی الامکان در دو دیواره مقابل کاملاً رو به روی یکدیگر اجرا می گردند تا از تمام ظرفیت آنها استفاده گردد.

منابع

[1] Castaldo P., Calvello M.Palazzo, B.(2014).“Structural safety of existing buildings near deep excavations”.Int.J.ofStructuralEngineering.5.163-187.10.1504/IJSTRUCTE.2014.060907.

[2] Yazdani M., and Esfandi R.(2018).“investigation of the effect of cross-sections of restraints on the horizontal deformation of the wall in pit stabilization by mutual restraint method”, civil conference, architecture and urban planning of the countries of the Islamic world, Tabriz

[3] Sangyong K. Seoung-Wook W. Young-Do L. Yoonseok S. & Gwang-Hee K.(2017).“Comparison of High-Strength Steel Pipe and H-Shaped Steel in the Strut of a Braced Wall System”, Journal of Asian Architecture and Building Engineering,16:1, 179-184, DOI: 10.3130/jaabe.16.179

[4] Altafi M., Sahraian, A., Afrosheh, F.(2017), “Safety Principles of Excavation in Urban Areas”, International Conference of HSE Experts of Oil, Petrochemical Gas, Steel and Cement Industries and Construction Projects, Shiraz,

ion workshops with a risk management approach (excavation safety in construct“ ,(۲۰۱۸).Ghanbari, A ,.Sharifi M [۵] National Conference of Architecture and Urban Development, Torbat Jam ,”projects)

[6] Wu, M. Du Ch. Yang K. Geng X-Y. Liu, X. & Xia, T.(2019) “A new empirical approach to estimate temperature effects on strut loads in braced excavation”. Tunnelling and Underground Space Technology. 94. 103115. 10.1016/j.tust.2019.103115.

[7] Anjomshoa, E., & Tabatabaei Mirhosseini, R.(2022).“Identify and ranking of effective factors in changing urban infrastructure for a carbon-free and sustainable future”. *Journal of Structural and Construction Engineering*.doi: 10.22065/jsce.2022.337222.2774

[8] Olipour, M., Hosseini Dehdashti S.A. Yarahmad, R.(2018), “Applied Safety Principles in Building Excavation”, 6th International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Economy Development, Shiraz

[9] Farajmohammadie M. aouria A. (2018).“Effects Of Deep Excavation on Seismic Vulnerability of ExistingSteelFramedStructures”.MCEJ;18(4):171-185

URL: http://mcej.modares.ac.ir/article-16-16865-en.html

[10] Shirmohammadi A., Khadem al-Rasoul, A.G., Pakbaz, M.S., Labibzadeh, M. (2019). “cross-analysis of concrete diaphragm wall and stratum stiffness system in deep excavations”, the third international conference on applied research in structural engineering and construction management, Tehran

methods of stabilizing trenches (case “ .(۲۰۲۰).Suleiman Nejad J ,.Bahrami Yarahmadi R ,.Pirouzfar F ,.A.Heydari M [۱۱] th International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Management۴ ,”study: Lorestan Railway)

nal construction the first internatio ,”risk management in urban excavations“.(۲۰۱۸).and Fili A .Alizade Derakhshi A [۱۲] industry congress focusing on new technologies in the construction industry, Tabriz

[13] El-Kelesh A.,Hassan Dena. (2022) .“Impact of ground conditions and excavation depth on selection of excavation support system”. International Journal of Construction Management.1-12. 10.1080/15623599.2022.2076017.

[14] Ghamraoui N. Tabbal, D.(2021).“Effect of Deep Excavations on Adjacent Structures and Importance of Deep Excavation Support”. 10.11159/icgre21.lx.110.

[15] Daniyari D. and Khaiz Meraj.(2015). “investigation of common methods of stabilization of excavations in urban areas”, the first national conference on urban development of metropolises with an investment approach, Ahvaz

[16] Häussler-Combe, Ulrich.(2014). “Strut-and-Tie Models” .10.1002/9783433603611.ch4.

[17] Ciortan R.& Manea S. VASILACHE E. (2018).“Engineering judgement for deep excavation in urban area”. ce/papers. 2. 941-944. 10.1002/cepa.792.

[18] Smith N.Merna T. Jobling P. (1999).“.illustrated ,۳ .”Managing Risk in Construction Projects. ISBN: 1118347226, 9781118347225.

[19] Kerzner H. Phd, Project Management.(2002) “A System to Planning Scheduling& contorolling”, Jhon Wiley& Sons,Inc.

[20] Kungwani P.(2014).“Risk Management-An Analytical Study. IOSR Journal of Business andManagement” (IOSR-JBM) e-ISSN: 2278-487X, p-ISSN: 2319-7668. Volume 16, Issue 3. Ver. III(Feb. 2014), PP 83-89.

[21] Božić V. (2022). “THE RISK MANAGEMENT METHODOLOGY: THE RISK MANAGEMENT STANDARD”.

[22] Jia, J. Li Z.(2022).“Risk Management Committees and Readability of Risk Management Disclosure”.JournalofContemporaryAccounting&Economics.100336. 10.1016/j.jcae.2022.100336.

[23] Tsoukalis F. Chassiakos A.(2019) “Building Information Modeling (BIM) for Safety Risk Identification in Construction Projects”. 812-817.10.3311/CCC2019-111.

[24] Pete Kines a. Lars P.S. Andersen b, Soren Spangenberg a,7, Kim L. Mikkelsen a,7, Johnny Dyreborg a,7, Dov Zohar c. (2010). "Improving construction site safety through leader-based verbal safety Communication" Journal of Safety Research.
[25] Abel Pinto a. Isabel L. Nunes a, Rita A. Ribeiro b.(2011)."Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection".
[26] Metin Dag ˘deviren a. Ihsan Yu ¨ksel b. (2007)."Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management".
[27] Yu-Ting L. Wei-Chih W. Han-Hsiang W. (2008). "AHP- and simulation-based budget determination procedure for public building construction projects".Volume 17, Issue 5 July.
[28] IvanW.H. Fung, Tommy Y. Lo, Karen C.F. Tung. (2011)."Towards a better reliability of risk assessment: Development of a qualitative & quantitative risk evaluation model (Q5REM) for different trades of construction works in Hong Kong" Accident Analysis and Prevention.
[30] Darvishpour A., and Ranjbar A. Amiri, A.,(2019)."investigation of the horizontal displacement of diaphragm walls restrained by the mutual restraint method under the effect of pile foundations adjacent to deep urban pits, the 6th National Conference of Applied Researches in Civil Engineering, Architecture and Management Shahri and the 5th mass specialized exhibition of housing and building builders of Tehran Province, Tehran.
[31] Ghajavand H., Saba H., Yousefi Rad, M. (2013) "investigation of methods of stabilization of deep pits in the city", International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development, Tabriz
[31] Zhang, N., and Wei, G. (2013)."Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set". Applied Mathematical Modelling, 37(7), 4938-4947.