فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۶، شماره ۱، پاییز ۱۴۰۳، ص. ۴۲۰۷-۴۱۹۱

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی دیدگاه دست اندرکاران پروژه های عمرانی در انتخاب ماشین آلات و تجهیزات بر اساس معیارهای توسعه پایدار

مهیار عمژیک، دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

علی اصغر صادقی (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

E-mail: a.sadeghi@hsu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

چکیده

امروزه به دلیل پیامدهای منفی زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از توجه یک‌جانبه اقتصادی، بر توسعه پایدار در صنعت ساخت و ساز تاکید می‌شود. اجرای پروژه‌های عمرانی به ماشین‌آلات و تجهیزات عمرانی وابسته است. در این تحقیق سعی شده است ضمن شناسایی معیارهای انتخاب ماشین‌آلات ساخت و ساز بر مبنای توسعه پایدار، دیدگاه دست‌اندرکاران پروژه‌های عمرانی مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود که انتخاب ماشین آلات و تجهیزات بر اساس چه معیارهایی انجام می‌شود و تا چه حد به معیارهای توسعه پایدار توجه می‌شود. شاخص اهمیت نسبی در بررسی پاسخ‌های یک مطالعه میدانی با استفاده از پرسشنامه نشان می‌دهد که در میان ۳۲ معیار بررسی شده، هزینه مالکیت برای تهیه ماشین‌آلات، بهره‌وری و بازدهی تجهیزات و ایمنی دستگاه سه معیار مهم و ایجاد شغل و کارافرینی، استفاده از سوخت‌های مناسب و امکان استفاده از روان‌کننده های غیر مخرب، کم اهمیت‌ترین معیارها از دیدگاه پاسخ‌دهندگان بوده است. نتایج تحلیل عاملی به روش مولفه‌های اصلی نیز نشان می‌دهد که معیارهای مد نظر دست‌اندرکاران را در شش عامل تملک و سرمایه‌گذاری، هزینه های بهره‌برداری، قابلیت اطمینان و عملکرد، راحتی و دسترس پذیری، معیارهای اجتماعی و نهایتا معیارهای زیست محیطی می‌توان خلاصه کرد. بطور کلی رتبه‌بندی گروه‌های اصلی معیارها نشان می‌دهد در مقایسه با معیارهای مهندسی و اقتصادی، در ذهن دست اندرکاران پروژه های عمرانی به هنگام انتخاب ماشین آلات، دغدغه‌های اجتماعی و زیست محیطی که خصوصا معیارهای مهمی در توسعه پایدار می‌باشند جایگاه چندانی ندارد. این امر نیازمند توجه مدیران و مسوولان برای تغییر دیدگاه ها با راهکارهایی نظیر بالا بردن استانداردهای محیط زیستی و اصلاح قوانین، می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب ماشین آلات و تجهیزات ساخت، پروژه عمرانی، توسعه پایدار

۱. مقدمه

پروژه‌های عمرانی دامنه وسیعی از فعالیت‌ها را در بر می‌گیرد. صنعت ساخت و ساز سالانه مسئول بیش از ۳۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی و ٤٠ درصد از کل انرژی مصرف شده است. از نظر بحث تولید زباله صنعتی ۳۱ درصد از کل تولید زباله جهان بر عهده صنعت ساخت و ساز است. توجه به تاثیرات اقتصادی و محیط زیستی بر صنعت ساخت و ساز در دهه اخیر منجر به مطالعه و تلاش زیادی در بخش‌های مختلف صنعت ساخت و ساز برای بهبود توسعه پایدار این فعالیت گسترده شده است [Akadiri and Olomolaiye, 2012].

در هر پروژه عمرانی عوامل مختلفی همچون منابع مالی پروژه، منابع انسانی و نیروی کار متخصص و ... بصورت مستقیم و یا غیرمستقیم تاثیرگذار هستند. از مهمترین عوامل در انجام پروژه-های عمرانی استفاده از ماشین‌آلات و تجیهزات است که بدون آن‌ها انجام پروژه‌ها عملا ممکن نیست. نقش تجهیزات سنگین برای افزایش بهره‌وری ساخت و ساز به ویژه برای کارهای زیربنایی بسیار حیاتی است. همچنین، مالکیت آنها سرمایه بسیار قوی برای شرکت‌های ساخت و ساز است. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که مالکیت تجهیزات سنگین ٣٦ درصد کل هزینه-های پروژه را شامل می‌شود و دارای خطر و عدم اطمینان برای کارفرمایان است [Prasertrungruang and Hadikusumo, 2007].

انتخاب ماشین‌آلات بحث بسیار پیچیده‌ای است که به عوامل زیادی بستگی دارد. هرچه اهمیت و کاربرد و هزینه یک ماشین ساختمانی بیشتر باشد مقوله انتخاب آن هم دشوارتر و پیچیده‌تر خواهد بود. معمولا مهندسان و مجریان پروژه مواردی نظیر مدت زمان پروژه، حجم و نوع کار و میزان بودجه را در نظر می‌گیرند تا طبق خواسته‌شان تجهیزات مورد نظر را انتخاب کنند [Bureau of Technical Execution System, 2010]. انتخاب ماشین‌الات با استفاده از چنین مواردی لازم است اما کافی نمی‌باشد. به عنوان مثال اگر فقط به موارد بالا توجه شود و هدف تنها خرید دستگاهی باشد که به سرعت و با هزینه پایین کار را انجام دهد ممکن است از اثرات جانبی که آن دستگاه در طول مدت پروژه بر محیط اطراف می گذارد مورد غفلت واقع شود. فرض کنید پیمانکار پروژه برای انتخاب یک تجهیزات که با سوخت کار می کند به چگونگی سوخت و ساز این دستگاه توجهی نکند و یا برای هزینه پایین تر تجهیزاتی را انتخاب کند که دچار اختلال در سوزاندن سوخت هستند. نتیجه آن خواهد شد که خصوصا در پروژه های طولانی مدت، آلودگی های زیست محیطی و گازهای گلخانه ای بسیاری وارد محیط زیست می شود. اما در مقابل می توان تجهیزاتی را بررسی کرد که سوختشان برا محیط زیست و جامعه پیرامون آن مضر نباشد. عدم توجه به عواملی همچون نیروهای انسانی، اثرات اجتماعی و اثرات زیست محیطی می‌تواند عواقب ناخوشایندی برای جامعه داشته باشد و هزینه‌های مالی زیادی به پروژه تحمیل نماید. بنابراین برای انتخاب و استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات ساختمانی باید قواعد و معیارهای مناسبی وجود داشته باشد.

در این پژوهش ابتدا در بخش دوم، سوابق تحقیقاتی در زمینه معیارهای انتخاب ماشین‌آلات و توسعه پایدار و نوآوری تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم روش تحقیق و در بخش چهارم نتایج و تحلیل ارائه شده است. در بخش پایانی نتیجه‌گیری بحث آورده شده است.

۲. ادبیات پژوهش

۲-۱ توسعه پایدار

یکی از مشکلات اصلی که صنایع با آن مواجه اند، این است که چگونه پیشرفت خود را در جهت توسعه پایدار ارزیابی کنند. در حالی که هنوز تعریف دقیقی از مفهوم توسعه پایدار در صنایع مختلف صورت نگرفته، بسیاری معتقدند توسعه پایدار به معنی رضایت از اهداف اجتماعی، محیطی و اقتصادی است. این سه هدف باید در سطح محلی و جهانی برای نسل‌های حاضر و آینده برآورده شود [Azapagic and Perdan, 2000].

تعریف شایع و شناخته شده برای توسعه پایدار توسط کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه انجام شده است. از نظر این کمیسیون توسعه پایدار برآورده کردن نیازهای فعلی بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در رفع نیازهایشان تعریف می‌شود. بنابراین توسعه پایدار به عنوان یک هدف نهایی محسوب می‌شود که تعادل در فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی و نگرانی‌های زیست محیطی را مورد توجه قرار داده است[Waris et al., 2014].

شرکت های ساختمانی برای مدت طولانی پس از اتمام پروژه، مسئول تاثیر پروژه اجرا شده بر روی محیط پیرامون هستند. بنابراین توسعه ساخت و ساز و توسعه پایدار رابطه‌ای نزدیک باهم دارند، زیرا توسعه پایدار عمدتا به کاهش اتلاف منابع جهانی کمک می‌کند[Rees,1999]. یعنی این شرکت‌های ساختمانی هستند که باید ساز و کار سازمان یافته‌ای برای انتخاب و استفاده از تجهیزات ساختمانی داشته باشند تا بتوانند تاثیر مثبت بر روی جامعه بگذارند. برای رسیدن به یک دسته‌بندی کلی در بحث توسعه پایدار محققان تلاش‌های زیادی را انجام داده‌اند که نتایج اکثرآن‌ها نزدیک به هم می باشد.

ازاپاجیک [Azapagic, 2004] یک چارچوب برای شاخص-های پایداری برای صنعت معدن و مواد معدنی ایجاد کرد. راجن و گلاویک [Krajnc and Glavic, 2005] مجموعه‌ای از شاخص‌های پایدار را برای شرکت‌هایی که همه جنبه‌های اصلی توسعه پایدار را رعایت می‌کنند، جمع‌آوری و توسعه دادند.

کمیسیون توسعهٔ پایدار سازمان ملل (CSD[1]) چارچوبی برای نظارت بر شاخص‌های توسعه پایدار برای ارزیابی عملکرد دولت به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار تبیین کرده است. ساختار چارچوب شامل چهار بعد است. اجتماعی، محیطی، اقتصادی و سازمانی و به ۳۸ زیر شاخص و ۱۵ شاخص اصلی تقسیم می‌شود [CSD, 2001; Labuschagnea et al., 2005].

اکادیری و اولومولایی [Akadiri and Olomolaiye, 2012] دستورالعمل جامع برای توسعه معیارها شامل جامع بودن، قابل اجرا بودن، قابل استفاده بودن و شفافیت را پیشنهاد کرده اند. طراحی پایدار نیازمند پیوند بین اثرات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی است [Foxon, Mcilkenny and Gilmour, 2002, Keshavarz Ghorabaee et al., 2018].

شاخص‌های محیط زیستی عواملی مهم در توسعه پایدار است که اکثر محققین براهمیت آن توافق دارند. این شاخص‌ها به منظور کمک به شرکت ها در سنجش سهم خود در محیط زیست و جامعه طراحی شده‌اند. با توجه به آلایندگی ماشین‌آلات ساختمانی شاخص‌های محیط زیستی در استفاده از آنها بی تاثیر نباید باشد. گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA[2]) نشان می‌دهد که یک بولدوزر جاده‌ای با ظرفیت موتور ۱۷۵ اسب بخار دارای انتشار ذرات معلقی است که با انتشار تولید شده توسط ۵۰۰ موتور خودرو سواری برابری می‌کند [Lewis et al., 2009; USEPA, 2007]. طبق تحقیقات موسسه تکنولوژی ساخت و ساز کره ، انتشار آلودگی هوا از تجهیزات ساختمانی در محل، ٦/٨٪ از کل انتشار تولید شده در کره در سال ۲۰۰۹ است. تاثیر تجهیزات ساخت و ساز بر روی محیط زیست در مقایسه با وسایل نقلیه عادی به دلیل تفاوت در نوع سوخت(دیزل در مقابل بنزین)، فن آوری موتور و قدرت اسب بیشتر است. به عنوان مثال، خاکبرداری و خاکریزی بیشترین درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان تمام فعالیت-های ساختمانی دارد [Kim et al., 2012, Jun et al., 2020]. شرکت‌ها و صاحبان ماشین‌آلات و تجهیزات با رعایت این شاخص‌های زیست محیطی می‌توانند تصویر خوبی از برند خود در ذهن عموم باقی بگذارند و همچنین از این فرصت به عنوان یک مزیت رقابتی استفاده کنند [Azapagic and Perdan, 2000].

فاکتور دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد سلامت و ایمنی است که در هزینه نهایی پروژه‌ها بسیار تاثیرگذار است. اثرات

سلامت و ایمنی در طراحی و اجرای ساختمان منجر به کاهش حق بیمه سازندگان، آسیب ها و حوادث می‌شود که به هزینه‌های کمتری منجر می‌شود. بنابراین، متخصصان طراحی می‌توانند با توجه به ایمنی در انتخاب مواد و تجهیزات و ماشین‌آلات و در نتیجه ایمنی ساخت ساز کمک کنند. بدون پرداختن به شاخص-های اخلاقی و شاخص‌های رفاه از جمله موارد مربوط به حقوق بشر، ارزش‌های فرهنگی، عدالت بین نسل فعلی و نسل آینده، ارزیابی پایداری کامل نخواهد بود. بنابراین به شاخص‌های توسعه پایدار در زمینه اجتماعی و انسانی احساس نیاز می‌شود تا حقوق افراد در کسب و کارها و در صنعت حفظ شده و بتوان این مسئولیت‌های اجتماعی را وسیع‌تر به نسل حاضر و آینده تبیین کرد. توزیع درآمد و رضایت شغلی کارکنان شاخص‌هایی است که مربوط به "استاندارد زندگی" است و رفاه اجتماعی را از طریق مفهوم اقتصادی توصیف می‌کند. با این حال، اندازه‌گیری تأثیر اجتماعی و رفتار اخلاقی یک شرکت کار ساده ای نیست. در حال حاضر هیچ استانداردی برای اندازه‌گیری عملکرد اخلاقی یک شرکت یا صنعت وجود ندارد [Azapagic and Perdan, 2000].

ارزش‌گذاری سیاست‌های جدید برای دستیابی به توسعه پایدار ارزشمند است و سپس باید شاخص‌های مناسب بر اساس اولویت مشخص شود. این کار ظاهرا آسان به نظر می‌رسد ، اما زمانی که روند انتخاب و توسعه شاخص‌ها شروع می‌شود، منجر به وضعیت پیچیده می‌شود.

۲-۲ ضوابط برای انتخاب ماشین آلات

تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که انتخاب مناسب تجهیزات همیشه به عنوان یک تصمیم استراتژیک در طول مرحله ساخت هر پروژه مورد توجه قرار گرفته است [Tatari and Skibniewski, 2006]. با رشد صنعتی، این امر برای شرکت-ها بسیار مهم‌تر و پیچیده‌تر می‌شود. شرکت‌ها باید بتوانند بهترین تصمیم را از بین مجموعه‌ای از گزینه‌های مختلف اتخاذ کنند.

جنبه اقتصادی یکی از مهمترین فاکتورها در انتخاب است. هزینه خرید، هزینه فرآیند، هزینه حمل و نقل و هزینه بازیافت/ دفع، چهار فاکتورمهم تحت مالکیت اقتصادی است[Akadiri and Olomolaiye, 2012]. نتایج حاصل از یک نظرسنجی که در آن سیاست‌های ساخت و ساز ۴۰۰ شرکت ساختمانی مورد بررسی قرار گرفته است نشان می‌دهد تجهیزات ساختمانی سرمایه بزرگی برای اکثر شرکت‌های ساختمانی است. در پروژه-های بزرگ و سرمایه‌گذاری‌های عظیم، ماشین‌آلات و تجهیزات ساخت و ساز نقش اساسی در سودآوری پروژه داشته است. عناصر اساسی سیاست‌گذاری‌ها در تجهیزات ساخت و ساز عبارتند از تامین تجهیزات، تجزیه و تحلیل جایگزینی، سوابق تجهیزات، استانداردسازی تجهیزات، مدیریت موجودی، مدیریت تعمیر و نگهداری و ایمنی می‌باشد [Tavakoli et al., 1989].

در مطالعه ای که توسط شپیرا و گلدنبرگ [Shapira and Goldenberg, 2005] انجام شده است، یک لیست از عوامل ملموس و نامرئی در انتخاب تجهیزات شناسایی شده است. عوامل ملموس شامل مشخصات فنی، شرایط سایت و هزینه است. عوامل نامشهود کیفی هستند و حاوی ملاحظات ایمنی، سیاست‌های شرکت در مورد خرید تجهیزات، شرایط بازار و محدودیت‌های زیست محیطی است.

باستین [Bascetin, A., 2003] یک سیستم پشتیبانی از تصمیم را بر حسب فاکتورهای کیفی و کمی برای انتخاب تجهیزات روباز معدن ایجاد کرد. او ضوابط انتخاب تجهیزات را به دو دسته هزینه‌ای و ملزومات فنی بهره‌برداری تقسیم بندی کرد.

۲-۳ اهمیت و نوآوری تحقیق

جدول (۱) خلاصه‌ای از معیارهای انتخاب ماشین‌آلات را در تحقیقات مرتبط قبلی و بر مبنای دیدگاه توسعه پایدار نشان می-دهد. با توجه به مرور سوابق موضوع، هرچند در اکثر تحقیقات [USEPA, 2007; Waris et al., 2014; Hai, Khoa

and Dung, 2017] بر ضوابط کلی نظیر معیارهای اقتصادی، معیار های فنی و مهندسی، معیارهای اجتماعی و معیارهای محیط زیستی تاکید کرده‌اند. اما تحقیق جامعی که همه عوامل توسعه پایدار را در بحث انتخاب ماشین آلات در پروژه های عمرانی را در نظر بگیرد به ندرت انجام شده است. همچنین مرور سوابق نشان می دهد، تحقیقی در ایران تا کنون در این زمینه انجام نشده است. لذا در این پژوهش سعی بر آن است تا ضوابط انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات ساخت و ساز بر مبنای توسعه پایدار شناسایی، شود و دیدگاه مهندسان و پیمانکاران در نحوه انتخاب ماشین آلات مورد بررسی قرار گیرد. در اینصورت آگاهی حاصل می‌شود که مهندسان و پیمانکاران چه دیدگاهی نسبت به انتخاب تجهیزات ساختمانی دارند. پس از آن در راستای بهبود آینده جامعه و توسعه پایدار در زمینه های محیطی، انسانی، اجتماعی و اقتصادی، راهکار های صحیح برای برای استفاده از ماشین آلات متناسب بتواند ارائه شود. شناخت ضوابط صحیح و شناخت دیدگاه موجود می‌تواند زمینه ساز تغییر نگرش صحیح در برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌ها در راستای بهبود آینده و توسعه پایدار در زمینه‌های محیطی، انسانی- اجتماعی و اقتصادی باشد.

جدول ۱. خلاصه‌ای از معیارهای انتخاب تجهیزات و ماشین آلات ساختمانی در تحقیقات پیشین همراه با دیدگاه توسعه پایدار

گروه	اقتصادی	مهندسی	اجتماعی	محیطی
معیار	-هزینه مالکیت [Peurifoy, Schexnayder and Shapira, 2006] -هزینه بهره برداری [Gransberg, Popescu and Ryan, 2006] -هزینه نگهداری [Zhang et al., 2020] [Asadi et al., 2021] - هزینه اپراتور [Peurifoy, Schexnayder and Shapira, 2006] -هزینه حمل و نقل به سایت [Peurifoy, Schexnayder and Shapira, 2006]	-سن تجهیزات [Goldenberg and Shapira, 2007] -ظرفیت تجهیزات [Alkass, Aronian and Moselhi, 1993] -قابلیت اطمینان تجهیزات [Allahkarami, sayadi and Ghodrati, 2023] - ایمنی تجهیزات [Arslan, Catay and Budak, 2004] - عمر عملیاتی تجهیزات [Valli and Jeyasehar, 2012] -بهره وری تجهیزات [Prasertrungruang and Hadikusumo, 2009] -مصرف سوخت [Peurifoy, Schexnayder and Shapira, 2006] -پیاده سازی سیستم [Tatum et al., 2006] -سیستم کشش[Tatum et al., 2006] -ساختار و سیستم تعلیق [Tatum et al., 2006] -سیستم قدرت[Tatum et al., 2006] -استهلاک دستگاه [Peurifoy, Schexnayder and Shapira, 2006] -انطباق با شرایط کاری سایت [Alkass, Aronian and Moselhi, 1993]	-در دسترس بودن اپراتور ماهر [Zaki, Mohamed and Yusof,1996] -سلامت اپراتور [Hai, Khoa and Dung, 2017] -شرایط اپراتور و راحتی [Temiz and Calis, 2017] -ویژگی های ایمنی [Arslan, Catay and Budak, 2004] -کارآفرینی [Alkass, Aronian and Moselhi, 1993] -نیازهای آموزشی برای اپراتور [Alkass, Aronian and Moselhi, 1993] -ارتباط با فروشنده / تامین کننده [Prasertrungruang and Hadikusumo, 2009]	-انتشار گازهای گلخانه ای [Jun et al., 2020] -مصرف سوخت فسیلی [Sharrard, Matthews and Roth, 2007] -صرفه جویی در مصرف انرژی [Kim et al., 2012] -کنترل صدا [Hai, Khoa and Dung, 2017] -کنترل لرزش [Koo and Ariaratnam, 2008] -مقدار ذرات تولید کننده [Hajji, 2013] - کنترل نشت نفت / زباله [USEPA, 2007] -استفاده از سوخت های پایدار [Lewis et al., 2009] -استفاده از روان کننده ها و روغن هیدرولیک تخریب کننده محیط زیست [USEPA, 2007]

گروه	اقتصادی	مهندسی	اجتماعی	محیطی
		-قابلیت حرکت در جاده [Eldin and Mayfield, 2005]		-سازگاری قانونی با محیط زیست[USEPA, 2007]
		-تعمیر و نگهداری آسان [Valli and Jeyasehar, 2012]		
		-ماشین / تجهیزات استاندارد [Tavakoli et al., 1989]		
		-در دسترس بودن لوازم یدکی [Prasertrungruang and Hadikusumo, 2009]		

۳. روش پژوهش

با هدف شناسایی ضوابط انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات ساخت و ساز و بررسی دیدگاه دست اندرکاران صنعت ساخت و ساز بر مبنای توسعه پایدار در این تحقیق ابتدا با مرور تحقیقات گذشته شماری از عوامل و ضوابط مربوطه شناسایی شده است و سپس به منظور جمع آوری داده‌ها، یک پرسشنامه ساختارمند متشکل از پنج بخش اصلی طراحی شده است. این پرسشنامه شامل ۳۸ گویه است که سوال های ۱ تا ۵ مربوط به معیارهای اقتصادی انتخاب تجهیزات ساخت و ساز، سوال‌های ٦ الی ۱۷ مربوط به معیارهای فنی و مهندسی انتخاب تجهیزات ساخت و ساز، سوال‌های ۱۸ تا ٢٤ مربوط به معیارهای زیست محیطی انتخاب تجهیزات ساخت و ساز، سوال‌های ۲۵ تا ۳۲ مربوط به معیارهای اجتماعی انتهاب تجهیزات ساخت و ساز و در نهایت سوال‌های ۳۲ تا ۳۸ مربوط به اطلاعات دموگرافیک پاسخ دهندگان از قبیل میزان تحصیلات، میزان تجربه کاری، سن سازمان، گرایش تحصیلی عمرانی، زمینه فعالیت سازمان، اندازه سازمان است. معیارهای این پرسشنامه از طریق طیف پنج گزینه-ای لیکرت (۱=مهم نیست، ۲=کم، ۳=خنثی، ٤= با اهمیت، ۵=بسیار با اهمیت) سنجیده شده است. جامعه آماری شامل مهندسان و پیمانکاران و کارفرمایان پروژه های عمرانی و ساخت و ساز می‌باشد.برای سنجش روایی پرسشنامه روایی محتوا مدنظر قرار گرفت. اگر سؤال‌های پرسشنامه نشان‌دهنده ویژگی‌ها و مهارت‌هایی باشد که محقق قصد اندازه‌گیری آن ها را داشته باشد، پرسشنامه دارای اعتبار محتوا است. اعتبار محتوای یک آزمون معمولاً توسط افرادی متخصص در موضوع مورد مطالعه تعیین می‌شود. در این تحقیق ابتدا پرسشنامه اولیه به اساتید دانشگاه و چند نفر از متخصصان داده شد و کلمات و سوالات مبهم اصلاح شد.

در این تحقیق جمع‌آوری پاسخ ها به دلیل متقارن شدن با ایام کرونا در سال ۱٤۰۰ و به شیوه مجازی و با استفاده از ابزار گوگل فرم صورت پذیرفت. این پرسشنامه مجازی به گونه‌ای طراحی شد که شرکت‌کنندگان به راحتی با کلیک بر روی گزینه مورد نظر به سوالات پاسخ دهند. استفاده از این شیوه جمع‌آوری پرسشنامه باعث می‌شود که پاسخ‌دهندگان به راحتی و در زمان مناسب و فراغت و با آرامش و تمرکز بیشتری پاسخ دهند و امکان پخش پرسشنامه در سطح کشور فراهم شد تا دیدگاه‌ها بصورت صرفا منطقه‌ای نباشد. شناسایی متخصصان برای پاسخ دهی به پرسشنامه به دو شیوه انجام شد. نسبت به تعدادی از متخصصان و دست اندرکاران موضوع شناخت وجود داشت و از آنان درخواست شد که پرسشنامه را تکمیل نمایند. در شیوه دوم پرسشنامه در گروه های و کانال های تخصصی شبکه های اجتماعی توزیع گردید و از اعضا درخواست شد که در صورت ارتباط کاری با موضوع، پرسشنامه را پر نمایند. سعی شد در شبکه های اجتماعی و بصورت تلفنی اطلاعات بیشتری از فعالیت شغلی پاسخ دهنده اخذ شود تا از مزتبط بودن فرد با موضوع اطمینان حاصل شود. با توجه به مجازی بودن شیوه جمع

آوری داده ها و با استفاده از ابزار گوکل فرم تعداد از تعداد افراد بسیار زیادی خواسته شد که پرسشنامه را پر نمایند اما در نهایت با توجه به شرایط شرح داده شده، تعداد ۹۸ پرسشنامه تکمیل شده جمع آوری شد. در شیوه مجازی بسیاری از افراد درخواست محققان را اجابت ننموده یا پرسشنامه را بصورت ناقص رها می کرده اند.

به منظور بررسی پایایی یا قابلیت اعتماد پرسشنامه از روش آلفای کرونباخ[۳] استفاده شده است. آلفای کرونباخ یک ضریب اعتبار است که میزان همبستگی یک مجموعه را باهم منعکس می‌کند. آلفای کرونباخ بر حسب میانگین همبستگی داخلی میان پرسش‌هایی که یک مفهوم را می‌سنجد، محاسبه می‌شود. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر زیر مجموعه سوال‌های پرسشنامه و واریانس کل را محاسبه کرد. سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار ضریب آلفا حاصل می‌شود.

$$r_\alpha = \frac{j}{j-1}\left(1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2}\right) \qquad (۱)$$

که در آن:

j = تعداد زیر مجموعه سوال‌های پرسشنامه یا آزمون.

S^2_j = واریانس زیر آزمون j ام.

S^2 = واریانس کل آزمون.

است. مقدار صفر این ضریب نشان‌دهنده عدم قابلیت اعتماد و ۱+ نشان‌دهنده قابلیت اعتماد کامل است. به طور معمول مقادیر بیش از ۰/۷ برای این ضریب می‌توانند پایایی پرسشنامه را تأیید نمایند [Momeni and Faal ghayomi, 2017]

جدول (۲) مقدار آلفای کرونباخ پرسشنامه و بخش‌های مختلف آن را نشان می‌دهد. از آن‌جا که مقدار ضریب آلفای کرونباخ در تمامی عامل‌های پرسشنامه ۰/۹۴۳ و بزرگتر از ۰/۷ می‌باشد، بنابراین عامل‌های پرسشنامه از نظر پایایی در سطح کاملا مناسبی قرار دارد، بنابراین پایایی عامل‌های پرسشنامه و کل سوالات پرسشنامه مورد تایید می‌باشد.

برای انجام تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم افزار SPSS استفاده شده است و در آن از روش تحلیل عاملی و تحلیل اکتشافی بهره گرفته شده است. همچنین در رتبه بندی معیارها از روش شاخص اهمیت نسبی RII[4] استفاده می‌شود تا رتبه و اهمیت هرکدام از معیارها در دسته بندی خود و دسته بندی کل مشخص شود.

جدول ۲. بررسی پایایی پرسشنامه

نام متغیر	تعداد سوالات	آلفای کرونباخ
معیارهای اقتصادی	۵	۰/۷۱۸
معیارهای مهندسی	۱۲	۰/۹۰۵
معیارهای زیست محیطی	۷	۰/۸۸۸
معیارهای اجتماعی	۸	۰/۸۷۶
کل پرسشنامه	۳۲	۰/۹۴۳

٤. نتایج و تحلیل

٤-۱ آمار توصیفی

جدول (۳) خلاصه ای از وضعیت کلی پاسخ دهندگان را نشان می‌دهد. تجربه کاری، میزان تحصیلات و عنوان شغلی فرد پاسخ دهنده، سن و اندازه سازمانی که پاسخ دهنده در آن مشغول بکار است پرسیده شده است تا سعی شود نظرات افراد متخصص و مرتبط با رشته عمران و ساخت و ساز استفاده شود. همانگونه که در جدول نشان داده شده است بیشترین افراد پاسخ دهنده را مهندسان عمران و سرپرستان کارگاه تشکیل می‌دهند که مهمترین افرادی هستند که با ماشین آلات و تجهیزات ساختمانی در ارتباط هستند. تجربه کاری مناسب و میزان تحصیلات تخصصی معمولا باعث دیدگاه بهتر در شناخت کارایی ماشین‌آلات می شود. همچنین معمولا شرکت‌ها و سازمان‌های بزرگ‌تر و با سابقه‌تر درگیر پروژه‌های بزرگ‌تری هستند و درگیری مهندسان با ماشین‌آلات و انتخاب آن‌ها بالاتر می‌باشد. همانگونه که در جدول آورده شده است درصد مناسبی از پاسخگویان در شرکت-های نسبتا بزرگ و با سابقه مشغول بکار بوده‌اند.

٤-۲ تحلیل رتبه بندی ضوابط انتخاب ماشین آلات

در این تحقیق با توجه به اینکه پاسخ‌ها در مقیاس یک تا پنج لیکرت اخذ شده است، استفاده از روش‌های پارامتریک برای ارزیابی اولویت نظرات پاسخ‌دهندگان قابل استفاده نیست. بنابراین از شاخص اهمیت نسبی برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای پایدار استفاده شده است. شاخص اهمیت نسبی (RII) یک روش غیر پارامتری است که به طور گسترده‌ای توسط محققان برای تحلیل پاسخ‌های مبتنی بر پرسشنامه استفاده شده است. رابطه (۲) شاخص اهمیت نسبی را بیان می‌کند [Kometa, Olomolaiye and Harris,1994].

جدول ۳. توصیف پاسخگویان بر اساس متغیرهای دموگرافیک

نام متغیر		فراوانی	درصد
تجربه فرد	بی‌پاسخ	٤	٤/١
	بیشتر از ۲۰ سال	۸	۸/۲
	بین ۱۱ تا ۲۰ سال	۲۸	۲۸/٦
	بین ٦ تا ۱۰ سال	۲٤	۲٤/٥
	کمتر از ۵ سال	۳٤	۳٤/۷
میزان تحصیلات	بی‌پاسخ	۳	۳/۱
	دکتری	۲	۲
	فوق لیسانس	٤۰	٤۰/۸
	لیسانس	٤۹	۵۰
	دیپلم	٤	٤/١
عنوان شغلی	بی پاسخ	٤	٤/١
	مهندس عمران	۱۷	۱۷/۳
	سرپرست کارگاه	۱۳	۱۳/۳
	مدیر پروژه	٦	٦/١
	مدیر عامل	۵	۵/١
	دیگر عناوین	۵۳	۵٤/١
سن سازمان	بی‌پاسخ	۵	۵/١
	بیشتر از ۲۰ سال	۳٦	۳٦/۷
	بین ۱۱ تا ۲۰ سال	۱۹	۱۹/٤
	بین ٦ تا ۱۰ سال	۲۱	۲۱/٤
	کمتر از ۵ سال	۱۷	۱۷/۳
اندازه سازمان	بی‌پاسخ	۵	۵/١
	بیشتر از ۱۵۰ پرسنل	۱۱	۱۱/۲
	بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ پرسنل	۵	۵/١
	بین ۵۰ تا ۱۰۰ پرسنل	۱٦	۱٦/۳
	کمتر از ۵۰ پرسنل	٦۱	٦۲/۲
کل		۹۸	۱۰۰

$$RII = \frac{\sum w}{A \times N} = \frac{5n_5 + 4n_4 + 3n_3 + 2n_2 + 1n_1}{5 \times N} \quad (۲)$$

که در آن:

w = وزنی است که در مقایس لیکرت به معیار داده شده

n_i = شاخص اهمیت در مقیاس لیکرت (به ترتیب n_5 با اهمیت‌ترین و n_1 کم اهمیت‌ترین عامل)

A= بالاترین وزن برابر عدد ۵ است

N= تعداد کل پاسخ‌دهندگان است.

مقدار RII در محدوده ۰ تا ۱ است ولی ۰ را شامل نمی‌شود. هرچه مقدار RII بیشتر و به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده این است که آن معیار در نظرسنجی از اهمیت و توجه بیشتری برخوردار بوده است.

جدول (٤) دسته‌بندی و اولویت‌بندی معیارهای پایدار مشخص شده در زمینه انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات ساختمانی را نشان می‌دهد. رتبه و اولویت هرکدام از مشخصه‌ها، هم در بین کل معیارها و هم در دسته‌بندی خاص خودشان نشان داده شده است. از بین ۳۲ معیار پایدار منتخب، هزینه مالکیت بالاترین رتبه را با شاخص اهمیت نسبی برابر با ۰/۸۵۹ بدست آورده است. طبعا مهمترین عامل در خرید یا تهیه ماشین‌آلات ساختمانی، هزینه‌ای است که کارفرما باید بپردازد و اگر بودجه او محدود باشد یا نتواند با میزان اعتباری که در دست دارد ماشین‌آلات مورد نیازش را تهیه کند بسیاری از معیارهای دیگر را زیر پا خواهد گذاشت. رتبه دوم مربوط به بهره‌وری و بازدهی تجهیزات با RII=۰/۸٤۲

است. قرار گرفتن این عامل در رتبه دوم نشان می‌دهد قشر حال حاضر مهندسان به معیارهای فنی و مهندسی اهمیت زیادی می-دهند. همچنین ممکن است قرار گرفتن این معیار در جایگاه دوم به این دلیل باشد که در کارگاه‌های ساختمانی در زمینه بهره‌وری و بازدهی تجهیزات ضربه‌های زیادی به پروژه‌ها وارد شده است. به عنوان مثال به خاطر عدم بهره‌وری و بازدهی تجهیزات مدت زمان تحویل پروژه‌ها به تعویق افتاده و کارفرمایان متحمل ضررهای سنگین شده‌اند. رتبه سوم مهمترین معیارها مربوط به ایمنی دستگاه است که دارای شاخص اهمیت نسبی ۰/۸۳٦= RII که باز هم از دسته فنی و مهندسی می باشد. انتخاب این معیار به عنوان رتبه سوم ذهنیت بسیار مثبتی را نسبت به آینده ایجاد می‌کند و نشان می‌دهد که مهندسان، کارفرمایان، پیمانکاران و ... برای مبحث ایمنی اهمیت قائل شدند و نگران سلامت پرسنل و نیروهای انسانی خود هستند.

از بین تمام معیارهای بحث شده، سه معیاری که از همه کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از: ایجاد شغل وکارآفرینی، استفاده از سوخت‌های پایدار، امکان استفاده از روان‌کننده‌های غیر مخرب برای محیط زیست. این معیارها در دسته اجتماعی و زیست محیطی قرار می‌گیرند.

بر حسب ستون متوسط شاخص نسبی در گروه، مجموعه معیارهای فنی مهندسی در رتبه اول قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد مهندسان ما در پروژه‌ها بر اساس دانش و تجربه خود به دنبال انجام و رعایت تمام اصول فنی و مهندسی ارائه شده هستند. بر اساس این نتایج آن‌ها تمایل دارند کاری که انجام می‌شود از نظر فنی به بهترین شیوه خود صورت پذیرد. با وجود مشکلات اقتصادی در اکثر پروژه‌ها اما بازهم معیارهای مهندسی در ذهن مهندسان نسبت به معیارهای اقتصادی کمرنگ نیست. البته مهمترین معیار از بین تمام معیارها، معیار هزینه مالکیت بود که مربوط به گروه معیارهای اقتصادی است.

معیارهای اجتماعی با توجه به رتبه‌ای که بدست آورده‌اند مشخص است که جایگاهی زیادی در بخش انتخاب ماشین‌آلات ساخت و ساز ندارند. به بیان دیگر، مهندسان و کارفرمایان ما آنقدر درگیر مسائل فنی مهندسی و اقتصادی هستند که فقط نیم نگاهی به مسائل اجتماعی هنگام تهیه ماشین‌آلات خواهند داشت. رتبه آخر به عنوان بی اهمیت‌ترین گروه معیارها، مربوط به معیارهای زیست محیطی است. بر اساس نظرسنجی که انجام گرفت مشخص شد که دست اندرکاران صنعت عمران اهمیتی چندانی برای مبحث محیط زیست قائل نیستند. نظر و رفتار پاسخ دهندگان ممکن است ناشی از این باشد که علی‌رغم این که حجم بسیاری از آلودگی مربوط به ماشین آلات و تجهیزات بخش ساخت و ساز است اما معیار و قانونی برای کنترل آلودگی در این بخش وجود ندارد. با دیدگاه حال حاضر، رشد آلودگی محیط زیست و روند افول در نظر گرفتن مسائل اجتماعی در استفاده از تجهیزات دور از انتظار نیست.

جدول ٤. آماره شاخص اهمیت نسبی و رتبه بندی معیارهای انتخاب ماشین آلات

	سوالات پرسشنامه	RII	رتبه در متغیر	رتبه کلی	متوسط RII در گروه
معیارهای اقتصادی	هزینه مالکیت (هزینه ای که برای خرید یا اجاره ماشین آلات پرداخت می کنید)	۰/۸۵۹	۱	۱	۰/۷۵٦
	هزینه تعمیر و نگهداری	۰/۷۸٦	۳	۱۰	
	هزینه اپراتور	۰/٦۸۲	٤	۲۱	
	هزینه حمل و نقل به سایت	۰/٦۵۱	۵	۲٤	

	سوالات پرسشنامه	RII	رتبه در متغیر	رتبه کلی	متوسط RII در گروه
	سرمایه گذاری تجهیزات (چه میزان در هنگام خرید به فکر سرمایه گذاری و سودآوری این محصول در آینده هستید)	۰/۸۰۸	۲	۷	
معیارهای مهندسی	سن تجهیزات	۰/۷٤۷	۹	۱۵	۰/۷۷٦
	ظرفیت تجهیزات (میزان حجم کاری که ماشین در ساعت می تواند انجام دهد)	۰/۸۱۸	٤	۵	
	قابلیت اطمینان تجهیزات	۰/۸۲٤	۳	٤	
	بهره وری و بازدهی تجهیزات (چه میزان کاری که از ماشین آلات انتظار داریم برآورده می شود)	۰/۸٤۳	۱	۲	
	پیاده سازی سیستم(نصب و راه اندازی در محیط کارگاه)	۰/٦۹۸	۱۲	۱۹	
	راحتی عملیاتی(انعطاف و راحتی کار در محیط کارگاه)	۰/۷۳۷	۱۰	۱٦	
	تعمیر و نگهداری آسان	۰/۷۵۳	۸	۱۳	
	استاندارد بودن تجهیزات	۰/۷۸۸	٦	۹	
	در دسترس بودن قطعات	۰/۸۱	۵	٦	
	مدت زمان از کار افتادگی دستگاه	۰/۷۵۹	۷	۱۱	
	استهلاک دستگاه	۰/۷۱	۱۱	۱۸	
	ایمنی دستگاه	۰/۸۳۷	۲	۳	
معیارهای اجتماعی	در دسترس بودن اپراتور ماهر محلی	۰/۷۵۷	۲	۱۲	۰/۷۰۱
	سلامت اپراتور	۰/۷۵۱	۳	۱٤	
	راحتی اپراتور در استفاده از دستگاه	۰/٦۷٦	۵	۲۲	
	امنیت شغلی اپراتور ماشین آلات	۰/٦٤۷	۷	۲۵	
	ایجاد شغل و کار آفرینی	۰/٦۱٦	۸	۳۰	
	مهارت اپراتور (آیا اپراتور ماهر برای استفاده از دستگاه مورد نظر وجود دارد)	۰/۷۹۲	۱	۸	
	نیازهای آموزشی برای اپراتور (وجود امکان آموزش برای اپراتور دستگاه چه میزان با انتخاب دستگاه وجود دارد)	۰/٦۵۹	٦	۲۳	
	ارتباط با فروشنده / تامین کننده (نحوه ارتباط به فروشنده به چه میزان اهمیت دارد)	۰/۷۱٦	٤	۱۷	
معیارهای زیست محیطی	انتشار گازهای گلخانه ای	۰/٦۳۱	٤	۲۸	۰/٦۲٦
	مصرف سوخت فسیلی	۰/٦۳۱	۵	۲۹	
	صرفه جویی در انرژی	۰/٦۹٦	۱	۲۰	
	کنترل صدا	۰/٦۳۵	۳	۲۷	
	کنترل لرزش	۰/٦٤۱	۲	۲٦	

سوالات پرسشنامه	RII	رتبه در متغیر	رتبه کلی	متوسط RII در گروه
استفاده از سوخت های پایدار	۰/۵۸٦	٦	۳۱	
استفاده از روان کننده های غیرمخرب	۰/۵٦۷	۷	۳۲	

٤-۳ تحلیل عاملی و تفسیر نتایج

تحلیل عاملی اکتشافی، یکی از تکنیک‌های تقلیل داده‌ها است که تعداد زیادی متغیر را به مجموعه کوچکتری از عامل‌های مهم تبدیل می‌کند. زمانی‌که محقق بخواهد ساختار مجموعه‌ای از متغیرها را خلاصه کند، تحلیل عاملی به‌عنوان یک تکنیک اکتشافی به‌کار می‌رود.

در این تحقیق از نرم افزار SPSS و از روش مولفه‌های اصلی (PC[5]) برای شناسایی عوامل استفاده شده است. برای تعیین تعداد عامل‌هایی که باید استخراج شوند از معیار مقادیر ویژه استفاده شده است که در آن فقط عامل‌هایی با مقادیر ویژه یک یا بزرگتر از یک برای معناداری بررسی می‌شوند، و تمامی عامل‌ها با مقادیر ویژه کوچکتر از یک نادیده گرفته می‌شوند. همچنین برای جلوگیری از آنکه متغیرهایی که روی یک عامل در نظر گرفته شده‌اند، روی عامل دیگر بکار نرود از دوران متعامد واریماکس[٦] استفاده شده است.

برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی مبنی بر این که ماتریس همبستگی‌هایی که پایه تحلیل عاملی قرار می‌گیرد در جامعه برابر با صفر نیست، باید از آزمون کرویت بارتلت[۷] استفاده کرد. آزمون کرویت بارتلت آزمونی است که از آن جهت بررسی کفایت نمونه ها در تحلیل عاملی اکتشافی استفاده می‌شود. آزمون بارتلت این فرضیه را که ماتریس همبستگی‌های مشاهده شده، متعلق به جامعه‌ای با متغیرهای ناهمبسته است، می‌آزماید. برای آن که مدل عاملی، مفید و دارای معنا باشد، لازم است متغیرها همبسته باشند، در غیر این صورت دلیلی برای تبیین مدل عاملی وجود ندارد. اگر این فرضیه که متغیرها با هم رابطه ندارند رد نشود، کاربرد تحلیل عاملی زیر سؤال خواهد رفت و باید در آن تجدید نظر کرد. خروجی این آزمون، آماره خی‌دو، درجه آزادی و سطح معنی‌داری را مشخص می‌کند که در صورت معناداری به منزله این است که بین متغیرهای مربوط به یک عامل همبستگی وجود دارد.

همچنین در انتخاب متغیرهایی که در تحلیل عاملی وارد می‌شود باید فرض بر این باشد که همبستگی بین متغیرها غیر علّی است. در واقع همبستگی بین متغیرها باید محصول عامل دیگری، یعنی عامل مشترک سومی باشد. آزمون KMO[8] نشان دهنده آن است که آیا واریانس متغیرهای تحقیق تحت تأثیر واریانس مشترک برخی عامل‌های پنهانی و اساسی هست یا خیر؟ ضریب آزمون KMOهمواره بین ۰ و ۱ در نوسان است. در صورتی که مقدار آن کمتر از ۰/۵۰ باشد داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نخواهند بود.

بطور کلی اگر هدف آن باشد که به فرآیند تحلیل عاملی ادامه داده شود نتایج آزمون KMO و کرویت بارتلت بایستی مطلوب باشند. یعنی از یک طرف متغیرها با هم همبستگی داشته و از طرف دیگر از میان این همبستگی، بتوان عامل‌های پنهان را کشف نمود.

جدول (۵) بررسی نتایج کفایت امکان استفاده از تحلیل عاملی را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود چون متغیر KMO بیشتر از ۰/٦، و p-مقدار برای آزمون بارتلت کمتر از ۰/۰۵ است پس کیفیت مدل تایید می‌شود و داده‌های مربوط به معیارهای اقتصادی، معیارهای مهندسی، معیارهای زیست‌محیطی و معیارهای اجتماعی برای تحلیل عاملی مناسب هستند.

جدول ۵. بررسی کفایت مدل و آزمون KMO

نام متغیر	تعداد گویه‌ها	معناداری آزمون بارتلت	متغیر KMO
معیارهای اقتصادی	۵	۰/۰۰۰	۰/٦٥٤
معیارهای مهندسی	۱۱	۰/۰۰۰	۰/۸٥٦
معیارهای اجتماعی	٦	۰/۰۰۰	۰/۸٥۹
معیارهای زیست محیطی	٦	۰/۰۰۰	۰/۸۰۰

برای متغیرهای پژوهش در ٤ گروه معیارهای اقتصادی، معیارهای مهندسی، معیارهای زیست‌محیطی و معیارهای اجتماعی تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی برای تقسیم‌بندی این متغیرها به گروه‌های کوچکتر انجام شده است.

جدول (٦) نتایج تحلیل عاملی برای شناخت مولفه‌های اصلی در معیارهای اقتصادی را نشان می‌دهد. با توجه نتایج، معیارهای اقتصادی در دو عامل با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ (۱/۸۷۵ و ۱/٦۲) می‌تواند تقسیم شود. با این ۲ عامل استخراج شده در مجموع ۷۰ درصد از تغییرات کل بیان می‌شود. دسته‌بندی یافت شده در معیارهای اقتصادی نشان می‌دهد که هزینه اپراتور، هزینه حمل و نقل به سایت و هزینه تعمیر و نگهداری در یک عامل می‌تواند خلاصه شود که با توجه به جنس این معیارها میتوان عامل اول را بطور کل "هزینه‌های بهره‌برداری" نامگذاری کرد. معیارهای هزینه مالکیت و سرمایه‌گذاری تجهیزات نیز در یک عامل می‌تواند خلاصه شود که بطور کل می‌توان این عامل را "تملک و سرمایه‌گذاری" نامید. دو عامل اصلی شناسایی شده نشان می‌دهد در دیدگاه دست‌اندرکاران عوامل اقتصادی می‌تواند در دو عامل که یکی منتج از دیدگاه خرید و هدف سرمایه گذاری و دیگری هزینه‌های بهره‌برداری ماشین‌آلات و تجهیزات است خلاصه شود.

جدول ٦. نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی – معیارهای اقتصادی

معیارهای اقتصادی	عامل ۱ (هزینه‌های بهره‌برداری)	عامل ۲ (تملک و سرمایه‌گذاری)
هزینه اپراتور	۰/۸٦۳	
هزینه حمل و نقل به سایت	۰/۸۲۳	
هزینه تعمیر و نگهداری	۰/٦٤٤	
هزینه مالکیت		۰/۸٤۲
سرمایه گذاری تجهیزات		۰/۸
Eigenvalue	۱/۸۷٥	۱/٦۲
% of variance	۳۷/٤۹٦	۳۲/٤۰٤
% Cumulative	۳۷/٤۹٦	٦۹/۹

جدول (۷) نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی معیارهای مهندسی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، معیارهای مهندسی در دو عامل با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ (۳/۷۱۹ و ۳/٦٥) می‌تواند تقسیم‌بندی شود. معیارهای قابلیت اطمینان تجهیزات، ظرفیت تجهیزات، ایمنی دستگاه، استاندارد بودن تجهیزات، بهره‌وری و بازدهی تجهیزات و سن تجهیزات در یک عامل می‌تواند خلاصه شود که با توجه به ماهیت این عوامل می‌توان نام "قابلیت اطمینان و عملکرد" را بر آن گذاشت. معیارهای راحتی عملیاتی، مدت زمان از کارافتادگی دستگاه، در دسترس بودن قطعات در صورت خرابی، پیاده سازی سیستم، استهلاک دستگاه و تعمیر و نگهداری آسان نیز در عامل ۲ قرار می‌گیرند که این معیارها نیز در مجموع راحتی کار با ماشین‌آلات را نشان می‌دهد و می‌توان نام "راحتی و دسترس‌پذیری" را بر آن نهاد. با این دو عامل استخراج شده در مجموع ٦۱ درصد از تغییرات کل بیان می‌شود.

جدول ۷. نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی- معیارهای مهندسی

معیارهای مهندسی	عامل ۱ (قابلیت اطمینان و عملکرد)	عامل ۲ (راحتی و دسترس‌پذیری)
قابلیت اطمینان تجهیزات	۰/۸۲۸	
ظرفیت تجهیزات	۰/۷۹۹	
ایمنی دستگاه	۰/۷۸	
استاندارد بودن تجهیزات	۰/۷۵۵	
بهره وری و بازدهی تجهیزات	۰/٦۹۵	
سن تجهیزات	۰/٤۹٤	
راحتی عملیاتی		۰/۷۸٤
مدت زمان از کار افتادگی دستگاه		۰/۷۵۷
در دسترس بودن قطعات		۰/۷٤
پیاده سازی سیستم		۰/۷۳٤
استهلاک دستگاه		۰/۷۲۳
تعمیر و نگهداری آسان		۰/٦۳۸
Eigenvalue	۳/۷۱۹	۳/٦۵
% of variance	۳۰/۹۹	۳۰/٤۱۸
% Cumulative	۳۰/۹۹	٦۱/٤۰۸

جدول (۸) و (۹) نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی معیارهای زیست‌محیطی و معیارهای اجتماعی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج همه معیارهای اجتماعی در یک عامل با مقدار ویژه بزرگ‌تر از ۱ (٤/۳۵۱) قرار می‌گیرند و لذا این عامل بطور کلی همان معیارهای اجتماعی است. همچنین همه معیارهای برشمرده شده زیست محیطی در یک عامل با مقدار ویژه بزرگ تر از ۱ (٤/۱۹۸) قرار می‌گیرند و بنابراین در دیدگاه دست-اندرکاران صنعت ساخت و ساز همه عوامل در یک عامل زیست محیطی می‌تواند خلاصه شود.

جدول ۸. نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی- معیارهای اجتماعی

معیارهای اجتماعی	عامل ۱
سلامت اپراتور	۰/۸۲۹
امنیت شغلی اپراتور ماشین آلات	۰/۸۰۷
در دسترس بودن اپراتور ماهر محلی	۰/۷۸۱
ایجاد شغل و کار آفرینی	۰/۷٦۵
راحتی اپراتور در استفاده از دستگاه	۰/۷۳۲
مهارت اپراتور	۰/٦۹۱
نیازهای آموزشی برای اپراتور	۰/٦۸۸
ارتباط با فروشنده / تامین کننده	۰/۵۷٦
Eigenvalue	٤/۳۵۱
% of variance	۵٤/۳۸۹
% Cumulative	۵٤/۳۸۹

جدول ۹. نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی- معیارهای زیست‌محیطی

معیارهای زیست محیطی	عامل ۱
صرفه جویی در انرژی	۰/۸۳٤
استفاده از سوخت های پایدار	۰/۸۱۸
استفاده از روان کننده های غیرمخرب	۰/۷۷۸
مصرف سوخت فسیلی	۰/۷٦۲
کنترل صدا	۰/۷٤۷
انتشار گازهای گلخانه ای	۰/۷٤٤
کنترل لرزش	۰/۷۳۲
Eigenvalue	٤/۱۹۸
% of variance	۵۹/۹۷۸
% Cumulative	۵۹/۹۷۸

۵. نتیجه‌گیری

ماشین‌آلات و تجهیزات عمرانی نقش مهمی در اجرای پروژه‌ها از لحاظ هزینه و زمان دارند و از سویی دیگر نقش مهمی نیز در روابط و بهره‌وری نیروهای انسانی و شرایط زیست محیطی دارند. در این تحقیق تلاش شده است تا ضوابط انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات ساخت و ساز بر مبنای توسعه پایدار شناسایی گردد. با بررسی تحقیقات گذشته و مصاحبه با متخصصین ۳۲ معیار در چهار گروه معیارهای اقتصادی، معیار های فنی و مهندسی، معیارهای اجتماعی و معیارهای محیط زیستی به عنوان معیارهای انتخاب ماشین‌آلات بر مبنای توسعه پایدار شناسایی شد.

نظر به اینکه شناخت دیدگاه موجود دست اندرکاران پروژه‌های عمرانی می‌تواند موجب تغییر نگرش به سمت صحیح در برنامه-ریزی و مدیریت پروژه‌ها در راستای بهبود آینده و توسعه پایدار در زمینه های محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشد، یک مطالعه موردی میدانی با استفاده از پرسشنامه در بین مهندسان و افراد مربوط به ساخت و ساز انجام شد تا مشخص شود انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات بر پایه چه معیارهایی صورت می‌پذیرد و افراد مرتبط تا چه حد به معیارهای پایدار توجه دارند و آن‌ها را به کار می‌بندند.

بررسی نظرات پاسخ دهندگان با استفاده از شاخص اهمیت نسبی نشان می‌دهد که در بین ۳۲ معیار بررسی شده، هزینه مالکیت برای تهیه ماشین‌آلات و تجهیزات ساختمانی مهمترین عامل انتخاب از دیدگاه مهندسان و کارفرمایان و پیمانکاران است. احتمالا شرکت‌ها و افراد اگر با مشکلات مالی مواجه باشند طبیعتا بسیاری از عوامل و معیارهای دیگر را کنار خواهند گذاشت تا بتوانند با بودجه خود تجهیزات را تهیه کنند و به کار ببندند. بهره‌وری و بازدهی تجهیزات و ایمنی دستگاه معیار دوم و سوم پاسخ‌دهندگان بوده است. قوانین سخت‌گیرانه‌تر و تغییر دیدگاه افراد احتمالا موجب اهمیت دادن به مساله ایمنی دستگاه شده است.

از سوی دیگر سه معیار ایجاد شغل و کارآفرینی، استفاده از سوخت‌های پایدار و امکان استفاده از روان کننده‌های غیر مخرب، کم اهمیت‌ترین معیارها در بررسی دیدگاه پاسخ‌دهندگان بوده است. این معیارها در دسته‌های معیارهای اجتماعی و زیست محیطی قرار می‌گیرند. بالا بردن هزینه تمام شده پروژه و عدم وجود قوانین بازدارنده در زمینه‌های محیط زیستی دلایل احتمالی عدم توجه به معیارهای اجتماعی و زیست محیطی می‌باشد.

همچنین جهت تقلیل داده‌ها و بیان کلی معیارهای انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات عمرانی یک تحلیل عاملی به روش مولفه‌های اصلی در بین ۳۲ معیار شناسایی شده انجام شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داده است که معیارهای مد نظر دست اندرکاران در عوامل کلی با نامگذاری های تملک و سرمایه-گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری، قابلیت اطمینان و عملکرد، راحتی و دسترس پذیری، معیارهای اجتماعی و معیارهای زیست محیطی قابل دسته بندی است.

بطور کلی نتایج رتبه‌بندی معیارها نشان می‌دهد چالش‌های اجتماعی و زیست محیطی که بطور ویژه معیارهای مهمی در بحث توسعه پایدار می‌باشند از دیدگاه دست اندرکاران پروژه-های عمرانی به هنگام انتخاب ماشین آلات چندان اهمیت ندارد و لذا نیاز است که با راهکارهایی از جمله وضع قوانین و مقررات خاص به این معیارها ارزش بالاتری داده شود. راهکاریی از قبیل:

- ارتقای دستورالعمل ها و استانداردها مطابق با حفظ محیط زیست و توسعه پایدار در تولید ماشین آلات و تجهیزات
- منع واردات تجهیزات با آلایندگی بالاتر از مقدار معمول آن تجهیزات
- پرداخت یارانه به سوخت ها و روغن های مناسب تر و در مقابل اخذ مالیات آلایندگی در استفاده از سوخت و روغن های با آلایندگی بالا
- حذف عامل خرید تجهیزات به عنوان سرمایه گذاری مالی
- آموزش اپراتورها به منظور بالابردن کارایی دستگاه و کاهش مصرف انرژی

– اعمال قوانین سخت گیرانه تر ایمنی در استفاده از تجهیزات برای حفظ سلامت اپراتورها

– وضع و اعمال قوانین محدود کننده برای استفاده از دستگاه-های با تولید صدا و لرزش بالا خصوصا در مناطق مسکونی

با کاهش قیمت در گزینه سازگار با توسعه پایدار یا کاهش مطلوبیت در گزینه ناسازگار با آن، می تواند به انتخاب تجهیزات در راستای توسعه پایدار منجر شود. همچنین تبلیغات در جهت حفظ محیط زیست و توجه به مسائل اجتماعی و کرامت انسانی نیز می تواند سبب تغییر دیدگاه افراد شود. البته اثرات هر یک از این راهکارها می باید بطور جداگانه در تحقیقات آینده مورد تحلیل قرار گیرد.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Commission on Sustainable Development
2. Environmental Protection Agency
3. Cronbach’s Alpha
4. Relative Importance Index
5. Principal Component
6. Varimax
7. Bartlett's Test of Sphericity
8. Kaiser–Myer–Olkin

۷. مراجع

– اله کرمی، زینب، صیادی، احمدرضا و قدرتی، بهزاد، (١٤٠١)، "تحلیل قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل معدن: مطالعه مقایسه ای روش های نیمه پارامتری و پارامتری مخاطرات متناسب"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ١٤، شماره ٢، ص. ٢٣٧٩– ٢٣٦٥.

– دفتر نظام فنی اجرایی (١٣٨٨)، "نشریه شماره ٤٤٩، مدیریت بهره برداری ماشین آلات عمرانی"، معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهور.

– مومنی، منصور و فعال قیومی، علی، (١٣٩٦)، "تحلیل های آماری با استفاده ازSPSS "، چاپ یازدهم، نشر مولف.

- Akadiri, P.O., Olomolaiye, P.O., (2012), “Development of sustainable assessment criteria for building materials selection”, Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 19, No.6, pp. 666 - 687.

- Alkass, S., Aronian, A., Moselhi, O., (1993), “Computer-aided equipment selection for transportation and placing concrete”, Construction Engineering and Management, Vol. 119, No.3, pp. 445 - 465.

- Arslan, M.C., Catay, B., Budak, E., (2004), “A decision support system for machine tool selection”, Manufacturing Technology Management, Vol. 15, No. 1, pp.101 -109.

- Asadi S.S., Kowshik K., Asadi S.P., Asadi S.S., Alla S., (2021), “Strategical construction equipment management using henry garret method”, Materials Today: Proceedings, Vol. 43, Part 2, pp. 921-927.

- Azapagic, A., (2004), “Developing a framework for sustainable development indicators the mining and minerals industry”, Cleaner Production, Vol. 12, pp. 639-662.

- Azapagic A., Perdan S., (2000), “Indicators of sustainable development for industry: A general framework”, Process Safety and Environmental Protection, Vol. 78, No. 4, pp. 243-261.

- Bascetin, A., (2003), “A decision support system for optimal equipment selection in open pit mining: Analytical hierarchy process”, Istanbul Yerbilimleri Dergisi, Vol. 16, No. 2, pp.1-11.

- CSD, (2001), “Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies”,

- Keshavarz Ghorabaee M., Amiri M., Zavadskas E.K., Antucheviciene J., (2018), "A new hybrid fuzzy MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations", Archives of civil and mechanical engineering, Vol. 18, pp.32-49.

- Kim, B., Lee, H., Park, H., Kim, H., (2012), "Greenhouse gas emissions from onsite equipment usage in road construction", Construction Engineering and Management, Vol. 138, No. 8, No. 982-990.

- Kometa, S.T., Olomolaiye, P.O., Harris, F.C., (1994), "Attributes of UK construction clients influencing project consultants' performance", Construction Management and Economics, Vol. 12, No. 5, pp. 433- 443.

- Koo, D.H., Ariaratnam, S.T., (2008), "Application of a sustainability model for assessing water main replacement options", Construction Engineering and Management, Vol. 134, No. 8, pp. 563-574.

- Krajnc, D., Glavic, P., (2005), "A model for integrated assessment of sustainable development", Resource Conservation Recycling, Vol. 43, pp. 189-208.

- Labuschagnea, C., Brenta, A.C., Ron P.G., Van Ercka, P.G., (2005), "Assessing the sustain ability performances of industries", Cleaner Production, Vol. 13, pp. 373-385.

- Lewis, P., Rasdorf, W., Frey, H., Pang, S., Kim, K., (2009), "Requirements and incentives for reducing construction vehicle emissions and comparison of nonroad diesel engine emissions data sources", Construction Engineering and Management, Vol. 135, No. 5, pp. 341-351.

- Prasertrungruang, T., Hadikusumo, B.H.W., (2007), "Heavy equipment management practices and problems in Thai highway Commission on Sustainable Development, 3rd Edition, New York, USA.

- Eldin, N.N., Mayfield, J., (2005), "Determination of most economical scrapers fleet", Construction Engineering and Management, Vol.131, No.10, pp. 1109-1114.

- Foxon. T.J., Mcilkenny. G., Gilmour.D., (2002), "Sustainability Criteria for Decision Support in the UK Water Industry", Environmental Planning and Management, Vol. 45, No.2, pp. 285-301.

- Goldenberg, M., Shapira, A., (2007), "Systematic evaluation of construction equipment alternatives: Case study", Construction Engineering and Management, Vol. 133, No. 1, pp. 72-85.

- Gransberg, D.D., Popescu, C.M., Ryan, R.C., (2006), "Construction Equipment Management for Engineers, Estimators and Owners", Taylor & Francis, London.

- Hai T.H., Khoa H.N., Dung T.Q. (2017), "Sustainable Selection of Construction Equipment in the Specific Context of Vietnam", OSR Journal of Engineering, Vol.7, No.7, pp. 52-60.

- Hajji, A.M., (2013), "Estimating the emissions of nitrogen oxides (NOX) and particulate matter (PM) from diesel construction equipment by using the productivity model", World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, Vol. 10, No.3, pp. 212-228.

- Jun Y.S., Jo H.J., Kim Y.C., Kang H.Y., Hwang Y.W., Kim Y.W., (2020), "Analysis of Potential Economic and Environmental Effects through Remanufacturing of Construction Equipment in Korea", Procedia Manufacturing, Vol. 43, pp. 620–626.

contractors", Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 14, No. 3, pp. 228-241.

- Prasertrungruang, T., Hadikusumo, B.H.W., (2009), "Modeling the dynamics of heavy equipment management practices and downtime in large highway contractors", Construction Engineering and Management, Vol. 135, No.10, pp. 939-947.

- Peurifoy, R.L., Schexnayder,C.J., Shapira, A., (2006), "Construction Planning Equipment and Methods", 7th Ed. McGraw-Hill, New York.

- Rees, W.E., (1999), "The built environment and the ecosphere: a global perspective", Building Research & Information, Vol. 27, No. 5, pp. 206-220.

- Shapira, A., Goldenberg, M., (2005), "AHP-based equipment selection model for construction projects", Construction Engineering and Management, Vol. 131, No. 12, pp. 1263-1273.

- Sharrard, A.L., Matthews, H.S., Roth, M., (2007), "Environmental implications of construction site energy use and electricity generation", Construction Engineering and Management, Vol.133, No. 11, pp. 846-854.

- Tatari, O., Skibniewski, M., (2006), "Integrated agent-based construction equipment management: Conceptual design", Civil Engineering and Management, Vol.12, No. 3, pp. 231-236.

- Tatum, C.B., Vorster, M., Klingler, M.G., Paulson, B.C., (2006), "System analysis of technical advancement in earthmoving equipment", Construction Engineering and Management, Vol.132, No. 9, pp. 976-986.

- Tavakoli, A., Taye, E.D., Erktin, M., (1989), "Equipment policy of top 400 contractors: A survey", Construction Engineering and Management, Vol. 115, No. 2, pp. 317-329.

- Temiz I., Calis G., (2017), "Selection of Construction Equipment by Using Multi-criteria Decision Making Methods", Procedia Engineering, Vol. 196, pp. 286-293.

- USEPA, United States Environmental Protection Agency, (2007), "Tier4 emission standards and certification requirements", Washington. DC.

- Valli, P., Jeyasehar, C.A., (2012), "Genetic Algorithm based equipment selection method for construction project using MATHLAB tool", International Journal of Optimization in Civil Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 235-246.

- Waris. M., Liew. S., Khamidi. F., Idrus. A., (2014), "Criteria for the selection of sustainable onsite construction equipment", International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 3, pp. 96-110.

- Zaki, S.B.A., Mohamed, S.F., Yusof, Z.M., (1996), "Construction skilled labor shortage-The challenges in Malaysian construction sector", International Journal of Sustainable Development, Vol. 4, No. 5, pp. 99-108.

- Zhang F., Ju Y., Gonzalez E.D.R.S, Wang A., (2020), "SNA-based multi-criteria evaluation of multiple construction equipment: A case study of loaders selection", Advanced Engineering Informatics, Vol. 44, 101056.