

مروری بر تاور کرین ها و بررسی ایمنی آنها در عملیات ساخت و ساز

وحید مومنائی کرمانی^{۱*}، مهدیه تهامی^۲

۱- دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
vmkermani@gmail.com

۲- دانشکده صنعت ساختمان و محیط زیست، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
tahami_info@yahoo.com

چکیده

جرثقیل های ساختمانی و به ویژه جرثقیل های برجی در اجرای پروژه های ساختمانی مدرن نقشی حیاتی دارند و بلند کردن و جابه جایی مصالح سنگین را با دقت امکان پذیر می سازند. با این حال، عملکرد آنها دربردارنده خطرات قابل توجهی است که رعایت نکات ایمنی و پایبندی به استانداردها را اجتناب ناپذیر می کند. راه اندازی مناسب جرثقیل، بازرسی های منظم، اهمیت دادن به مدیریت ایمنی در سایت و در شرکت پیمانکار و استفاده از پرسنل و اپراتورهای کارآزموده برای جلوگیری از وقوع سوانح ضروری است. بارگذاری بیش از حد، زمین ناپایدار یا خرابی های مکانیکی می تواند منجر به وقوع سانحه شود و کارگران و عابرین را به خطر بیندازد. از این رو اجرای مقررات استاندارد ملی، یکپارچگی ساختاری و عملکرد ایمن را تضمین می کند. در این تحقیق پس از رده بندی جرثقیل های برجی، برخی موارد و تذکرات فنی که ممکن است در انتخاب آنها برای یک پروژه خاص موثر واقع گردند به طور اجمالی بررسی می شوند. به علاوه، فهرست نسبتاً جدیدی از عوامل مهم تاثیرگذار بر ایمنی سایت در هنگام کار با جرثقیل های برجی ارائه می گردد که در آن اهمیت (وزن) هر عامل به صورت کمی مورد توجه واقع شده است. از این ویژگی می توان به منظور اندازه گیری سطح کلی ایمنی در چنین سایت هایی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: جرثقیل برجی، جرثقیل متحرک، مشخصات فنی جرثقیل برجی، عوامل موثر بر ایمنی سایت

An Overview of the Tower Cranes and their Safety in Construction Operations

Vahid Momenaei Kermani^{1*}, Mahdiah Tahami²

1-Faculty of Construction Industry and Environment, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran
vmkermani@gmail.com

2-Faculty of Construction Industry and Environment, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran
tahami_info@yahoo.com

Abstract

Cranes in construction sites are vital for modern building projects, enabling the lift and move of heavy materials with precision. However, their operation involves significant risks, making safety and adherence to standards crucial.

Proper crane setup, regular inspections, safety management level of the site and/or the contractor company, and certified personnel and operators are essential to prevent accidents. Overloading, unstable ground or mechanical failures can lead to accidents and endanger workers and pedestrians. Therefore, implementing national standard regulations ensures structural integrity and safe operation. In this research, after a classification of the tower cranes, some technical notifications are presented. Moreover, we discuss a relatively novel categorization method for measuring the importance(weight) of each factor affecting safety in construction sites with tower cranes quantitatively. This can be used to measure the total safety level of such sites.

Key words: Tower crane, Mobile crane, Technical specifications of tower cranes, Factors affecting site safety

مقدمه

همراه با بالا رفتن ارتفاع سازه را تحت شرایطی دارا بود. در ۱۹۶۵ جرثقیل‌های مجهز به بوم تلسکوپی ارائه شدند که ضمن قابلیت جابه‌جایی، می‌توانستند حمل و بالابری بارهای بزرگتری را انجام دهند. برای شاتل‌های فضایی در دهه ۱۹۸۰ میلادی جرثقیل‌های خاصی با امکان کنترل از راه دور و قابلیت‌های فناوری سطح بالا طراحی گردید ([۱] و [۳]).

در پیشینه مربوط به تاورکری‌ها، شیوه‌های متفاوتی برای دسته‌بندی آنها وجود دارد که با دیدگاه‌های مختلف این کار را به انجام رسانده‌اند، از آن جمله می‌توان به استانداردهای ISO 4306 و ANSI/ ASME B30.3 (مراجع [۴] و [۵]) اشاره نمود که در بخش‌هایی از خودگونه‌ای از دسته‌بندی را ارائه داده‌اند. اما تقسیم‌بندی ارائه شده در ادامه این نوشتار با دیدگاه موجود در مراجع [۱]، [۳] و [۶] انجام شده که از برخی جهات ساده‌تر و مفید تر به نظر می‌رسد.

انواع اصلی جرثقیل‌های ساختمانی

جرثقیل‌های ساختمانی در دو خانواده اصلی طبقه بندی می‌شوند:

- (۱) جرثقیل‌های متحرک (Mobile Cranes)،
- (۲) جرثقیل‌های برجی (Tower Cranes) .

جرثقیل‌های متحرک ماشین‌های محبوب منطقه آمریکای شمالی هستند، زیرا پیمانکاران آن منطقه به طور سنتی آنها

در بین ماشین‌های ساخته شده توسط بشر، جرثقیل‌ها دارای قدمت و غنای بسیار بالایی هستند و در عین برخورداری از اجزایی ساده، نقش مهمی به ویژه در ایجاد سازه‌های بزرگ مانند ساختمان‌های بلند مرتبه، پل‌ها، سدها و... بازی کرده‌اند. انواع ساده‌تر و قدیمی‌تر آنها توسط مصری‌ها، یونانیان و رومیان به کار گرفته می‌شده‌اند. گونه‌هایی از جرثقیل‌ها در مصر باستان مربوط به ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح یافت شده که در آبیاری زمین‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند [۱]. هر چند در قرون وسطی طراحی جرثقیل‌ها توسط طراحانی چون لئوناردو داوینچی مورد بازبینی قرار گرفت، اما تحول بزرگ در این زمینه در اوایل سده بیستم میلادی و با ظهور موتورهای بخار به وقوع پیوست. در دهه ۱۹۲۰ جرثقیل‌های کامیونی ابداع گردیدند که با موتورهای بنزینی عمل می‌کردند. در دهه ۱۹۳۰ جرثقیل تله‌کابینی در ساخت سدها به کار گرفته شد. جرثقیل خزنده (جرثقیلی که قابلیت حرکت با بار در سرعت‌های پایین توسط زنجیر زیرین خود را داراست) با بازوهای بزرگ مشبک و وزنه‌های تعادلی در دهه ۱۹۴۰ وارد بازار شد. با معرفی فولادهای با استحکام بالا در دهه ۱۹۵۰، تنوعی شگفت در طراحی جرثقیل‌ها به وجود آمد [۲]. نخستین نمونه‌های جرثقیل برجی با چرخش از بالا در دهه ۱۹۶۰ ظاهر گردید که قابلیت افزایش ارتفاع دکل

(Rough-Terrain Cranes)

• جرثقیل‌های زمین‌های متنوع

(All-Terrain Cranes)

مهم‌ترین مزایای جرثقیل‌های متحرک عبارتند از قدرت مانور بالا در محل، توانایی حرکت با بار، زمانی که بار به قلاب متصل است، و قابلیت اتصال سریع بار به قلاب، ضمن آن که این عملیات به فضای کمتری نیاز دارد. جرثقیل‌های با بوم تلسکوپی قابلیت تنظیم طول بوم در هنگام بلند کردن اجسام را نیز دارا هستند و در نتیجه‌ی برخورداری از ابعادی فشرده، دشواری جابه‌جایی این نوع جرثقیل‌ها در سایت‌های کاری در مقایسه با جرثقیل‌های با بوم مشبک کمتر است.

از بین انواع یاد شده، جرثقیل‌های زمین‌های متنوع و جرثقیل‌های کامیونی با بوم تلسکوپی در ایران متداول‌تر بوده و در انواع پروژه‌های ساختمانی و غیر آن به کار می‌روند. انواع دیگری از جرثقیل‌های متحرک نیز موجود است، اما چون این نوشتار بر تاورک‌رین‌ها تمرکز دارد، به همین مختصر در مورد جرثقیل‌های متحرک بسنده می‌گردد.

تاورک‌رین (جرثقیل برجی) و انواع آن

بر اساس تعریف استاندارد اروپایی EN 14439 [۷]، یک جرثقیل برجی جرثقیلی است همراه با برجی که در موقع عملیات کاری تقریباً عمودی باقی می‌ماند، و یک بازوی دوار در بالای برج. این دستگاه برقی مجهز به وسیله‌ای برای بالا و پایین آوردن بارهای معلق و حرکت دادن چنین بارهایی با تغییر شعاع، چرخش و یا حرکت دستگاه به طور کامل است.

مزایای جرثقیل‌های برجی آن است که علاوه بر ارتفاع بالابری بالا و شعاع کاری مناسب، منطقه بسیار محدودی را اشغال می‌کنند، هرچند در مقایسه با جرثقیل‌های متحرک اغلب از ظرفیت بالابری کمتر و تحرک محدودتری برخوردارند.

را به تاورک‌رین‌ها ترجیح می‌دهند. جرثقیل‌های برجی معمولاً در آمریکای شمالی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که یا شرایط محل کار محدود کننده است (مثلاً حرکت جرثقیل متحرک را غیرممکن می‌کند، یا آن که محدودیت سروصدا وجود داشته باشد)، یا آن که قرار باشد ساخت و سازی بلندمرتبه یا با شعاع دسترسی بالا انجام گیرد. با این حال، از اوایل قرن جدید میلادی، تعداد تاورک‌رین‌های به کار گرفته شده در آمریکای شمالی به طور قابل توجهی افزایش یافته و آنها حتی در سایت‌های کاری با سطح گسترده و یا برای ساخت و سازهای متوسط هم مورد استفاده قرار می‌گیرند، چرا که صنعتی‌سازی روزافزون ساخت و ساز ساختمان، ماهیت چرخه کاری بتن‌ریزی و توالی مورد نیاز در ساخت یک سازه با اسکلت بتنی، همگی مزایایی را برای استفاده از جرثقیل‌های برجی در مقابل جرثقیل‌های متحرک در سایت‌های ساختمانی متوسط و بلند فراهم می‌کنند. در اروپا، تاورک‌رین‌ها در صحنه ساخت و ساز در مناطق شهری و روستایی، چه برای ساخت و ساز ساختمان و چه در کارهای سنگین عمرانی و زیرساختی ابزار غالب محسوب می‌شوند.

جرثقیل‌های متحرک و انواع آن

رایج‌ترین انواع جرثقیل متحرک عبارتند از:

• جرثقیل‌های خزنده با بوم مشبک

(Lattice-Boom Crawler Cranes)

• جرثقیل‌های کامیونی با بوم تلسکوپی

(Telescoping- Boom Truck Cranes)

• جرثقیل‌های خزنده با بوم تلسکوپی

(Telescoping- Boom Crawler Cranes)

• جرثقیل‌های کامیونی با بوم مشبک

(Lattice - Boom Truck Cranes)

• جرثقیل‌های زمین ناهموار

این نوع جرثقیل‌های برجی دارای یک صفحه گردان در زیر سکویی حلقوی شکل بوده و در نتیجه برج و بازو با هم نسبت به شاسی پایه می‌چرخند. برج اساساً یک دکل تلسکوپی است (یعنی همانند یک تلسکوپ بلند و کوتاه می‌شود) و از این رو بسیاری مواقع اصطلاح «تاور کرین تلسکوپی» برای این نوع جرثقیل‌ها به کار می‌رود. دکل معمولاً دارای طراحی مشبک باز (به ویژه برای جرثقیل‌های بزرگتر) است، اما در جرثقیل‌های کوچک (و حتی متوسط) از یک دکل لوله ای بسته (توخالی) شبیه به بوم تلسکوپی در جرثقیل‌های متحرک استفاده می‌شود. در مدل‌های کوچکتر، دکل لوله ای به جای تلسکوپی اغلب تاشو است. کل وزنه‌های تعادلی بر روی سکوی پایه گردان قرار می‌گیرند. شکل ۳ شمایی کلی از جرثقیل‌های برجی با چرخش از پایین با بازوی شیب‌دار را به تصویر کشیده است.

تفاوت‌های اصلی بین این دو دسته در روش‌های راه‌اندازی و برچیدن و در میزان بالابری اجسام منعکس می‌شود. تاور کرین‌های با چرخش از پایین جرثقیل‌های کوچکتری هستند و اکثر آنها را می‌توان در حالی که وزنه‌های تعادل در یک کامیون جداگانه حمل می‌شوند، بین محل‌های کار یدک کشید. مزیت دیگر آنها این است که اساساً می‌توانند به سادگی و با استفاده از موتورهای خود در مدت زمان نسبتاً کوتاهی (یک تا چند ساعت) نصب شوند. البته این برتری به قیمت کاسته شدن از ارتفاع عملیاتی برج تلسکوپی (دکل) به دست می‌آید، چرا که به دلیل پایه گردان نمی‌توان جرثقیل‌های برجی با چرخش از پایین را به یک ساختار دائمی (مثلاً سازه ساخته شده تا این مرحله) متصل کرد. از سوی دیگر حمل و نقل، راه‌اندازی و برچیدن تاورکرین‌های با چرخش از بالا به زمان بیشتری (یک روز تا یک هفته) نیاز دارد، و رویه‌های پیچیده‌تر و پرهزینه‌تری را شامل می‌شود. به علاوه، نصب یک تاورکرین با چرخش از بالا نیاز به کمک تجهیزات دیگر دارد،

جرثقیل‌های برجی معمولاً در یکی از دو دسته زیر قرار می‌گیرند:

۱. تاورکرین‌های با چرخش از بالا

(Top-slewing Tower Cranes)

این نوع جرثقیل‌های برجی دارای یک برج ثابت و یک حلقه‌ی گردان یا تاج هستند که در بالای برج نصب شده و فقط به بازوها (بازوی اصلی و بازوی فرعی یا مخالف)، بخش بالای برج و کابین اپراتور اجازه چرخش می‌دهند. برج توسط قطعات مشبک و جدا از هم مونتاژ می‌شود. بخشی از تعادل جرثقیل در پایه (با وزنه‌های تعادلی یا ابزاری برای تثبیت بر زمین) و بخش دیگر توسط وزنه‌های تعادلی روی بازوی مخالف تامین می‌شود. سه دسته اصلی این نوع تاورکرین‌ها عبارتند از: [۳]

- جرثقیل برجی سرچکشی (Hammerhead) که شکل ۱ شمایی کلی از آن را روی یک پایه قابل جابه‌جایی به تصویر می‌کشد.

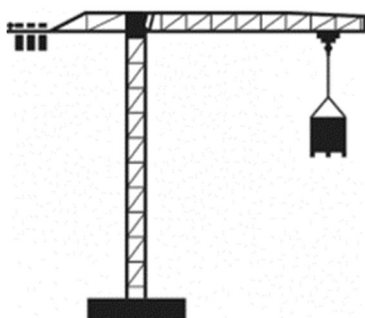
- جرثقیل برجی سرتخت (flat-top) که از لحاظ ساختار و عملکرد بسیار شبیه به جرثقیل‌های برجی سرچکشی است، به جز این که فاقد قسمت سرگره‌ای و آویزهای مربوطه می‌باشد (شکل ۲) و همین ویژگی قابلیت آن را در پروژه‌های بزرگ (که امکان همپوشانی محدوده عملکرد چند جرثقیل وجود دارد)، و نیز مکان‌هایی با محدودیت ارتفاع (مثلاً در حوالی فرودگاه‌ها و یا خطوط برق فشار قوی) افزایش می‌دهد.
- جرثقیل برجی با بازوی شیب‌دار (Luffing boom) که برای پروژه‌هایی که فضای محدودتری دارند مناسب‌تر است.

تاور کرین‌های با چرخش از بالا بیشترین تعداد تاورکرین‌های موجود در ایران را تشکیل می‌دهند.

۲. تاورکرین‌های با چرخش از پایین

(Bottom-slewing Tower Cranes)

- برپایی برج جرثقیل روی یک پایه قابل جابه‌جایی (پایه وزنه‌های تعادلی این نوع تاور کرین بر روی یک جفت ریل ثابت قرار می‌گیرد و بدین ترتیب جرثقیل قادر خواهد بود تا با بار در امتداد ریل‌ها حرکت کند)،

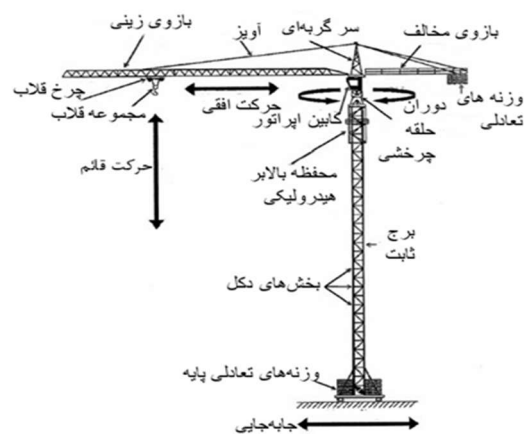


شکل ۲- جرثقیل برجی سرتخت

- نصب برج جرثقیل روی یک جرثقیل متحرک.
- مزایایی در روش برپایی برج روی پایه ثابت وجود دارد که به افزایش ظرفیت و کاربردهای متنوع تری منجر می‌گردد. از جمله
- در صورت وجود فضای کافی، گاهی اوقات می‌توان برج ثابت جرثقیل را با کابلهای مناسب به پایه‌هایی در زمین محکم کرد تا علاوه بر افزایش ایمنی، ظرفیت حمل بار نیز افزایش یابد.

- بسیاری جرثقیل‌های برجی از مکانیزم صعود Climbing Mechanism) برخوردارند، که امکان افزایش میزان بالابری در پروژه‌هایی که ارتفاعشان بیش از حداکثر ارتفاع ایستاده جرثقیل باشد را با اتصال و تحمیل وزن جرثقیل روی بخشی از سازه که قبلاً اجرای آن تکمیل شده، فراهم می‌آورد. به این نوع جرثقیل‌های برجی بالارونده (Climbing) گویند. شیوه استفاده از مکانیزم صعود می‌تواند بسته به شکل هندسی و طراحی سازه ساختمان به طرق مختلفی صورت پذیرد.

معمولاً یک جرثقیل متحرک بزرگ. اما این تاورکرین‌ها می‌توانند به ارتفاعات بیشتری برسند، ضمن آن که دسترسی افقی بیشتری دارند، چرا که بازوی مخالف آنها می‌تواند بازوی اصلی و بلند را متعادل کند، در حالی که جرثقیل با چرخش از پایین دارای بازوی مخالف نیست. در نتیجه، مدل‌های با چرخش از پایین عمدتاً برای خدمات کوتاه مدت در ساختمان‌های کم ارتفاع مناسب‌اند، در حالی که تاورکرین‌های با چرخش از بالا معمولاً در ساختمان‌های بلند در پروژه‌هایی که نیاز به جرثقیل برای مدت طولانی دارند، و همچنین ساختمان‌های با ارتفاع کم یا متوسط که در شعاع‌های بزرگ نیاز به بلند کردن بارهایی دارند، به کار گرفته می‌شوند.



شکل ۱- جرثقیل برجی سرچکشی

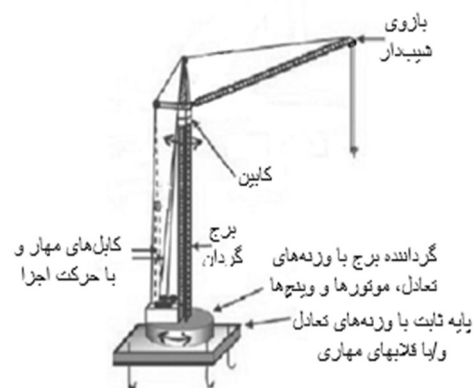
شیوه‌های مختلف برپایی تاورکرین‌ها روی پایه

روشهای مختلفی برای آماده سازی یک تاورکرین در عملیات ساخت وجود دارد، که از آن بین می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- برپایی برج جرثقیل روی یک پایه ثابت (که به ویژه در مورد تاورکرین‌های با چرخش از بالا استفاده می‌شود)،

انتخاب تاورکری

هنگام انتخاب جرثقیل برجی برای یک پروژه خاص، مهندس اجرایی باید اطمینان حاصل کند که وزن بارها در شعاع مورد نیاز توسط جرثقیل منتخب قابل تحمل است، چرا که تعویض نوع یا محل آن می‌تواند بسیار پرهزینه



شکل ۳- جرثقیل برجی با چرخش از پایین و بازوی شیب‌دار

باشد (هر چند این امر در مواردی اجتناب‌ناپذیر است). به طور خلاصه، انتخاب و استفاده از تاورکری‌ها بر اساس سنجش معیارهای زیر انجام می‌شود [۶]:

۱. وزن سنگین ترین بارها در شعاع های مختلف حرکت بالابر

۲. ابعاد بارها ، به ویژه در نزدیکی برج

۳. حداکثر ارتفاع ایستاده جرثقیل. منظور از ارتفاع ایستاده در جرثقیل‌های با پایه ثابت، حداکثر ارتفاع عمودی است که می‌توان تا آن مقدار جرثقیل را در ایمنی کامل برافراشت

۴. حداکثر ارتفاع قابل مهاربندی جرثقیل (در صورت نیاز به مهار جرثقیل توسط سازه و یا استفاده از مکانیزم صعود)

۵. محل قرارگیری و فاصله مهارهای مورد نیاز

۶. چیدمان و نحوه صعود جرثقیل

۷. لحاظ کردن بخشی از وزن جرثقیل که قرار است توسط سازه پشتیبانی شود (به ویژه در مورد جرثقیل های برجی صعود کننده)

۸. فضای سر موجود (منظور، فاصله عمودی بین بالاترین موقعیت قابل دستیابی توسط قلاب جرثقیل و بالاترین منطقه کاری سازه است)

۹. منطقه ای که باید با قلاب به آن دسترسی یافت

۱۰. سرعت بالابری

۱۱. ترتیبات برچیدن جرثقیل پس از اتمام کار

مشخصات فنی مورد نیاز در تعیین نوع جرثقیل مورد نیاز

برای انتخاب جرثقیل مورد نیاز جهت استفاده در یک پروژه، برخی ابعاد، ظرفیت‌ها، جداول و نمودارها که توسط سازنده ارائه شده باید مورد نظر قرار گیرند تا بتوان از آنها در محاسبات مورد نیاز استفاده کرد. مثلاً برای تاورکری‌های با چرخش از بالا این مشخصات تقریباً می‌توانند به صورت زیر باشند [۶]:

۱. طول بازو: ۳۰ الی ۸۰ متر (و تا ۱۰۰ متر برای بزرگترین ماشین آلات)

۲. طول هر بخش از دکل: ۳ تا ۶ متر

۳. ابعاد پایه: ۴ × ۴ متر الی ۸ × ۸ متر

۴. سطح مقطع برج تاورکری: ۱ × ۱ متر الی ۲/۵ × ۲/۵ متر

۵. حداکثر ظرفیت بالابری: ۴ الی ۴۰ تن (و تا ۱۷۰ تن برای بزرگترین ماشین ها)

۶. حداکثر ظرفیت بالابر در انتهای بازویی (بار دماغه بازویی):

۱ الی ۷ تن (و تا ۵۰ تن برای بزرگترین ماشین‌ها)

۷. اندازه حرکت (مومنوم) بلند کردن: ۴۰ تا ۳۶۰ تن‌متر (و

تا ۴۵۰۰ تن‌متر برای بزرگترین ماشین‌ها)

۸. حداکثر سرعت بالا و پایین شدن قلاب: ۴۵ تا ۱۵۰ متر در

دقیقه

۹. حداکثر سرعت حرکت افقی بلوک قلاب: ۳۰ تا ۱۰۰ متر

در دقیقه

۱۰. حداکثر سرعت چرخش بازویی: ۰/۶ تا ۱ دور در دقیقه

(۰/۸ دور در دقیقه برای اکثر مدل‌ها)

ذکر این نکته ضروری است که در حال حاضر نرم‌افزارهایی

توسعه یافته‌اند که قابلیت کمک به مهندسین و برنامه‌ریزان

عملیات سایت در انتخاب نوع و محل استقرار جرثقیل در

سایت و برنامه‌ریزی آن برای بلند کردن اجسام و مصالح را

دارا می‌باشند.

تجهیزات قابل جایگزینی در یک جرثقیل برجی

برخی قطعات و تجهیزات برای یک جرثقیل برجی توسط

سازندگان در ابعاد و ظرفیت‌های متفاوت ساخته می‌شوند تا

مشتری بتواند آنها را بر اساس نیاز خود در پروژه مورد نظر

انتخاب کرده و یا در صورت لزوم در طول پروژه جایگزین

نماید. از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱. انواع بازو، که به واسطه ابعاد مختلف‌شان امکان دسترسی

قلاب به (حداکثر) فواصل متفاوتی از برج را فراهم می‌سازند،

هر چند در فواصل دورتر ظرفیت حمل بار کاهش می‌یابد.

۲. انواع موتور بالابر، که به دلیل توان‌های متفاوت امکان

دستیابی به سرعت‌های عملیاتی مختلفی را به کمک

گیربکس برای حرکت قائم قلاب در بارهایی با اوزان مورد نظر

امکان‌پذیر می‌سازند.

۳. انواع پیکربندی خط بالابر، که به نحوه اتصال چرخ قلاب

به مجموعه قلاب مربوط می‌شود. معمولاً از دو روش

پیکربندی «خط دو بخشی» و «خط چهار بخشی» استفاده

می‌شود. در خط دو بخشی چرخ قلاب با دو کابل به مجموعه

قلاب وصل می‌شود، اما در خط چهار بخشی چرخ و قلاب با

چهار کابل به یکدیگر متصل می‌گردند. ظرفیت حمل بار در

پیکر بندی خط چهار بخشی حدوداً دو برابر خط دو بخشی

است، اما سرعت حرکت عمودی آن تقریباً نصف خط دو

بخشی می‌باشد. روشهای دیگری نیز برای اتصال چرخ به قلاب

وجود دارد که در هر مورد باید به کاتالوگ تاورکرین مربوطه

مراجعه نمود[۶].

سیستم‌های حفاظتی

سیستم های کنترل تاورکرین از سنسورها و پردازنده‌های

مختلفی تشکیل شده‌اند که علاوه بر جلوگیری از اضافه بار،

شتاب حرکات را مهار کرده و بر محدودیت‌های جابه‌جایی

همانند کشش خط و مومنوم بار نظارت می‌کنند. یکی از

نمایشگرها در مورد اضافه بار معلق هشدار داده و سیستم

کنترل برای جلوگیری از بروز این وضعیت مداخله می‌کند.

هنگامی که نقصی رخ می‌دهد، سیستم کنترل جرثقیل را به

حالت پایدار یا استاتیک برمی‌گرداند. تمام تاورکرین‌ها مجهز

به «کنترل مرد مرده» هستند که با برداشته شدن دست از

روی اهرم یا دکمه، جرثقیل را به حالت پایدار بازگردانده و

حرکت آن را متوقف می‌کند. علاوه بر این، مدارها به گونه ای

طراحی شده‌اند که در هنگام از دست دادن فشار یا قدرت

سیال، ترمزها برای توقف حرکات بالابر، چرخ قلاب و بازویی

جرثقیل وارد عمل می‌شوند. اگرچه هیچ جایگزینی برای رفتار

مسئولانه پرسنل تاورکرین وجود ندارد، اما این دستگاه و

اپراتور آن در صورت عملکرد صحیح توسط سیستم کنترل محافظت می شوند [۸].

حوادث و سوانح جرثقیل

یکی از دلایل اصلی مرگ و میر در حین ساخت و ساز استفاده از جرثقیل برای عملیات بالابری است. جرثقیل‌ها بارهای مختلفی را در نزدیکی و بالای سر افراد جابه‌جا می‌کنند، آن هم در شرایط پر ازدحام و گاهی اوقات در مناطق کاری مشترک با یکدیگر. برآوردها نشان می‌دهد که جرثقیل‌ها در تقریباً یک‌سوم از تمامی مرگ و میرهای ساخت و یا تعمیر و نگهداری ساختمان‌ها دخیل هستند [۲]. هر چند جرثقیل‌های متحرک به دلیل پیکربندی و مفهوم عملیاتی که دارند بالقوه خطرناک‌تر از تاورکرین‌ها می‌باشند، اما استفاده از تاورکرین‌ها نیز مسائل ایمنی خاص خود را به همراه دارد. این ماشین‌ها دارای پوشش کاری وسیعی می‌باشند و بسیاری مواقع بازوی جرثقیل برجی از مرزهای سایت خارج می‌شود. این گونه عوامل بر ایمنی کلی محل کار تأثیر می‌گذارند. افزایش ایمنی جرثقیل در محل، قبل از هر چیز مستلزم آن است که همه طرف‌های درگیر (مدیر پروژه، سرپرست کل، اپراتور جرثقیل و غیره) به خوبی از خطرات بالقوه - عواملی که احتمال تصادف را افزایش می‌دهند - در آن پروژه آگاه باشند. لذا شرکت‌های ساختمانی باید سیستمی جهت ارزیابی میزان خطر در هر یک از کارگاه‌های ساختمانی خود در رابطه با پتانسیل سوانح مرتبط با جرثقیل داشته باشند.

به طور کلی حوادث جرثقیل‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: سوانح در حین انجام عملیات بالابری، و سوانح خارج از زمان عملیات. در ادامه باختصار این موارد بررسی خواهند شد [۶].

سوانح خارج از زمان عملیات باربری

ایمنی نه تنها در هنگام کار جرثقیل، بلکه در تمام مراحل حضور آن در محل پروژه باید یک نگرانی اصلی باشد. این امر به ویژه در مورد جرثقیل‌های برجی در هنگام نصب و برچیدن، عملیات صعود و ساعات بعد از شیفت کاری صادق است. در ساعات بعد از کار، زمانی که هیچ باری برداشته نمی‌شود، تعادل نیروها جابجا می‌شود؛ در حالی که هیچ اپراتوری در کابین نیست. وزش باد، خرابی موضعی در سازه، یا بی‌توجهی در استفاده نکردن از ترمزها در زمان عدم حضور اپراتور در کابین ممکن است به یک سانحه منجر شود. اما خطرناک‌ترین موارد در بین سوانح خارج از زمان کاری سایت شامل بر عملیات نصب، صعود و برچیدن تاور کرین‌ها است. تعداد قابل توجهی از حوادث تاورکرین‌ها در هنگام این عملیات رخ داده است. باید توجه داشت که این نوع عملیات با وضعیت کاری معمول متفاوت است، چرا که ساختار جرثقیل و سیستم‌های مختلف عملیاتی و کنترل آن هنوز به طور کامل پیکربندی نشده‌اند. بنابراین جرثقیل در یک توازن نیروی ناپایدار و در حال تغییر است. به علاوه، این گونه عملیات تجهیزات و پرسنل دیگری را نیز در مجاورت خود درگیر می‌سازد. چنین کارهایی اغلب با قراردادهای فرعی انجام می‌شوند و مجریان آن خارج از کنترل مستقیم شرکت ساختمانی هستند. فرآیند تعیین صلاحیت کاری و انتخاب برای چنین پیمانکاران فرعی باید با نهایت دقت و احتیاط انجام شود (به عنوان مثال، بررسی کامل تجربه و سوابق حوادث).

سوانح در حین انجام عملیات بالابری

مطالعات زیادی طی دهه‌های اخیر در مورد ایمنی و بروز سوانح در حین انجام عملیات بالابری در سایت‌های کاری که از تاورکرین‌ها استفاده می‌کنند انجام شده است ([۲]، [۹]، [۱۰]، و [۱۱]). اما از آن بین سلسله مقالاتی که توسط شاپیرا

و همکاران ([۱۲] و [۱۳]) به رشته تحریر درآمده به دلیل طبقه‌بندی مناسب و ارزیابی کمی خطرات بالقوه در حین کار بسیار مورد توجه واقع شده‌اند. در این مقالات با استفاده از دانش خبرگان و بررسی مستندات موجود، ابتدا مهمترین عوامل خطرآفرین با استفاده از روش دلفی (DELPHI) شناسایی و بر اساس نوعی سیستم امتیازدهی، رتبه‌بندی شده و مهمترین آنها انتخاب گردیده‌اند. سپس با انجام مقایسات زوجی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، اثربخشی و اهمیت این عوامل در مقایسه با یکدیگر به طور کمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. طبق نتایج حاصله تعداد ۲۱ عامل خطرآفرین بالقوه که با ارزیابی آنها (ترجیحاً قبل از شروع ساخت و ساز واقعی) سطح ایمنی مورد انتظار در یک سایت تعیین می‌گردد؛ از بین ۴۰ عامل پیشنهادی ابتدایی شناسایی و انتخاب شدند، هر چند اهمیت برخی عوامل حذف شده را نمی‌توان نادیده انگاشت. فهرست نهایی شامل بر ۲۱ عامل اصلی موثر، در جدول ۱-۱ خلاصه شده است این عوامل در چهار دسته اصلی قرار گرفته‌اند:

۱. عوامل انسانی: عمدتاً در تجربه و شایستگی اپراتور و همچنین فرد اتصال دهنده بار به جرثقیل، علامت دهنده و مدیر بالابری منعکس می‌شود. سایر جنبه‌های عوامل انسانی عبارتند از نحوه استخدام اپراتور (به عنوان مثال، این که آیا از یکی از اپراتورهای شرکت استفاده شود یا از طریق منبع تامین نیروی انسانی استخدام جدید انجام گیرد)، و شخصیت کلیه پرسنل درگیر در کار جرثقیل در محل و به ویژه سرپرست سایت.

۲. شرایط پروژه: شامل بر وجود خطوط برق، ازدحام در سایت، همپوشانی مناطق کاری جرثقیل‌ها، حرکت بیش از حد بازوی جرثقیل در خارج از مرزهای سایت، طول شیفت‌های کاری در روز و شیفت‌های شبانه، شرایط کار در داخل کابین

اپراتور و میزان استفاده از سیستم‌های حفاظتی اختیاری و پیشرفته توسط اپراتور، فواصل دید زیاد و مناطق کاری پنهان (که منجر به «بالابری کور» می‌شود)، و بارهای خطرناک و محدودیت‌های بالابری.

۳. عوامل محیطی: که معمولاً عبارتند از باد، دماهای نامتعارف (داغ، سرد)، و عوامل ایجادکننده مشکلاتی در دید (مثل باران، مه، برف).

۴. عوامل مدیریت ایمنی: عمدتاً شامل بر جو ایمنی حاکم و نحوه اجرای آن در سطح سایت، سیاست شرکت در جهت مدیریت ایمنی، و مدیریت تعمیر و نگهداری جرثقیل‌ها و لوازم جانبی بالابر می‌باشد.

پس از شناسایی عوامل تاثیرگذار، با هدف اتخاذ یک رویکرد کمی غیرآماري برای ارزیابی ایمنی و با استفاده از یک ابزار تصمیم‌گیری چند شاخصه، یعنی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ارزیابی کارشناسان از اهمیت نسبی عوامل ایمنی مزبور به عمل آمد تا در نهایت وزن (اهمیت نسبی) هر یک از آنها در مقایسه با سایر عوامل به صورت درصد مشخص گردد. این نتایج در جدول ۱ به طور خلاصه درج شده‌اند، و از آنها به دو طریق می‌توان استفاده کرد:

۱. می‌توان آنها را در ارتباط با الزامات ایمنی و تمرکز بر منابع محدود موجود برای بهبود ایمنی سایت به کار گرفت، و

۲. وزن‌های نسبی به دست آمده برای عوامل ایمنی را می‌توان به عنوان یک بخش اساسی در توسعه یک مدل جامع در نظر گرفت که امکان محاسبه شاخص‌های ایمنی در هر سایت

ساختمانی که از تاور کرین استفاده می کند را فراهم می سازد [۱۴].

به عنوان مثال، درصدهای اهمیت در جدول ۱ نشان می دهند که از دیدگاه کارشناسان، امکان بروز سانحه در صورت عدم تسلط کافی اپراتور بیش از ۴ برابر بیشتر از خطر استفاده از جرثقیل هایی در سایت است که با یکدیگر همپوشانی عملیاتی دارند.

طی یک تحقیق مشابه که در چین [۱۰] به انجام رسیده، با ترکیب تفکر سیستمی و تحلیل موردی، علل اصلی حوادث جرثقیل های برجی شناسایی شده اند. نتایج حاصل از این مطالعه شباهت زیادی با نتایج مطالعات شاپیرا و همکاران دارد.

جدول ۱. وزن عوامل موثر بر ایمنی سایت در چهار گروه اصلی

دسته بندی	عامل خطر آفرین	درصد اهمیت	دسته بندی	عامل خطر آفرین	درصد اهمیت
عوامل انسانی	مهارت اپراتور	۱۲/۹۰	عوامل مدیریتی	موانع انجام کار و سایت پرازدحام	۱/۱۷
	شخصیت اپراتور	۶/۲۷		خطوط انتقال انرژی	۱/۷۶
	چگونگی استخدام اپراتور	۴/۵۲		ابزار کمک کننده به اپراتور (به جز ابزار استاندارد)	۱/۹۶
	شخصیت سرپرست	۹/۱۶		همپوشانی دو یا چند جرثقیل	۳/۱۷
	تجربه افراد علامت دهنده و اتصال دهنده بار به قلاب	۵/۹۸		فاصله و زاویه دید اپراتور در زمان بارگیری و یا بارگذاری	۲/۱۳
	مدیریت ایمنی در سطح سایت	۱۴/۱۸		زبان متفاوت پرسنل جرثقیل	۰/۵۷
عوامل محیطی	خط مشی و مدیریت ایمنی در سطح شرکت	۷/۴۱		نحوه طراحی و ارگونومی کابین برای راحتی کار اپراتور	۱/۱۰
	مدیریت تعمیرات و نگهداری جرثقیل ها و سایر تجهیزات	۸/۸۸		مدت زمان شیفت کاری و به ویژه کار یا اضافه کاری در شب	۲/۳۱
	شدت وزش باد	۵/۷۲		نوع بار، و نحوه اتصال آن	۴/۴۱
عوامل محیطی	شرایط آب و هوایی و مینیم و ماکزیمم دما	۱/۰۲	عوامل محیطی	وجود نقاط کور دید اپراتور در زمان بلند کردن یا پایین آوردن بار	۲/۷۰
	میزان دید اپراتور و سایر عوامل اجرایی	۲/۷۶			

برنامه‌های ایمنی

باید یک برنامه ایمنی عمومی جرثقیل در سطح شرکت و یک طرح ایمنی جرثقیل برای هر پروژه خاص وجود داشته باشد [۶].

برنامه ایمنی عمومی جرثقیل

برنامه ایمنی عمومی جرثقیل شرکت باید به موارد زیر بپردازد [۶]:

۱. نحوه بازرسی تجهیزات

۲. تحلیل بروز خطر با توجه به افراد، خطوط برق و غیره

۳. محل جرثقیل

۴. حرکات جرثقیل

۵. شناسایی بالابری‌ها به طور کلی و نحوه انجام آنها، بررسی ویژه وضعیت‌های خطرآفرین

۶. نحوه تقسیم‌بندی مناطق مسئولیت و خطوط کنترل و گزارش‌دهی

۷. چگونگی انجام فرآیندهای تحقیق و تهیه گزارش پس از بروز سانحه

پلان ایمنی جرثقیل

پلان ایمنی جرثقیل در هر سایت یا پروژه، همان موارد برنامه ایمنی عمومی را با لحاظ کردن ویژگیهای خاص آن سایت یا پروژه در بر دارد. در این پلان روش‌ها و استانداردهای بازرسی تجهیزات با ذکر جزئیات بیان می‌شوند [۶]، از جمله

• ابزار کمک به اپراتور (مانند نشانگرهای بار) باید روزانه قبل از کار جرثقیل بازرسی شوند.

• در تحلیل وضعیت‌های بحرانی باید عوامل خطرآفرین از پیش تعریف شده در اسناد قرارداد و نیز خطرات مرتبط با مکان و دسترسی به کار لحاظ شده باشند، عواملی مانند خطوط برق، شرایط زمین، آب و هوا، باد و سرما.

• قرار دادن جرثقیل در نزدیکی مسیر پرواز مستلزم هماهنگی نزدیک با سازمان‌های هواپیمایی و مقامات فرودگاه است. قوانین هوانوردی در هر کشور نیاز به اخذ مجوزهایی قبل از شروع عملیات ساختمانی برای به کارگیری جرثقیل‌های برجی با ارتفاع بیش از میزان مشخص و یا در فواصلی کمتر از میزان مشخص شده تا فرودگاه را لازم می‌دارند.

• هنگام انتخاب محل جرثقیل، محل برپایی آن باید با لحاظ کردن مشکلات احتمالی در پشتیبانی یا تداخل‌های غیرمعمول بررسی شود، حرکات جرثقیل باید توسط فرآیندهای از پیش تعریف شده تحت کنترل قرار گیرد، و برای هریک از حرکات بالابری خطرناک باید یک طرح بالابری کتبی جداگانه تهیه شود که در آن تجهیزات مورد نیاز، ویژگی‌های بار، پرسنل، مکان و مسیر بار مشخص شده باشند. هدف از برنامه‌ریزی بالابری آن است که تا حد امکان عدم قطعیت‌ها از عملیات بلندکردن و جابه‌جایی حذف گردند. هر چند نیازی به برنامه جداگانه برای حرکات بالابری معمولی وجود ندارد، اما در عین حال باید با در نظر گرفتن پارامترهای خاص هر سایت، روشی کلی برای هر یک از انواع این گونه حرکات در پلان ایمنی جرثقیل ذکر شود.

قدردانی و تشکر

این نوشتار برگرفته از نتایج قرارداد طرح پژوهشی برون دانشگاهی به شماره ۲۴۰۳۸ مابین دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان و شرکت کرمان عمران پویا می‌باشد. مولفین مایلند

مراتب تشکر خود را نسبت به حمایت بی دریغ هر دو موسسه
طی مراحل اجرای طرح ابراز دارند.

مراجع

- [1] Bernold, L. E., (2013). Construction Equipment and Methods: Planning, Innovation, Safety, John Wiley & Sons, Inc., Reprint by Wiley India Pvt. Ltd., New Dehli.
- [2] Neitzel, R. L., Seixas, N. S., and Ren, K. K. A Review of Crane Safety in the Construction Industry, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 2001, 16(12): 1106–1117
- [3] Shapira, A., Lucko, G., and Schexnayder, C.J., Cranes for Building Construction Projects, Journal of Construction Engineering and Management, 2007, 133:690-700
- [۴] ISO 4306, (2020). Cranes, the International Organization for Standardization (ISO).
- [۵] ASME B30.3–2004, (2005). Construction Tower Cranes, The American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [۶] Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J., and Shapira, A. (2006). Construction planning, equipment, and methods, 7th Ed., McGraw-Hill, Boston.
- [۷] BS EN 14439:2006, (2007). Cranes, Safety, Tower cranes, European Committee For Standardization(CEN), BSI, London.
- [۸] Shapiro, H. I., Shapiro, J. P., and Shapiro, L. K. (2011). Cranes and Derricks, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- [9] Raj, A., and Teizer, J., State of the Art Review of Technological Advancements for Safe Tower Crane Operation, Published in: Proceedings of the 41st International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2024), pp. 364-373
- [10] Xiao Z., Wei Z., Ling J., and Tingsheng Z,. Identification of Critical Causes of Tower-Crane Accidents through System Thinking and Case Analysis, Journal of Construction Engineering and Management, 2020, 146(7): 04020071
- [11] Tam, V.W.Y., and Fung, I.W.H., Tower crane safety in the construction industry: A Hong Kong study, Safety Science, 2011, 49(2), 208–215
- [12] Shapira, A., and Lyachin, B., Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes, Journal of Construction Engineering and Management, 2009, 135(1), 24–33.

[13] Shapira, A., Simcha, M., AHP-based weighting of factors affecting safety on construction sites with tower cranes, *Journal of Construction Engineering and Management*, 2009, 135(4), 307–318.

[14] Shapira, A., Simcha, M., and Goldenberg, M., Integrative Model for Quantitative Evaluation of Safety on Construction Sites with Tower Cranes, *Journal of Construction Engineering and Management*, 2012, 138(11), 1281-1293.