

بررسی ریسک آسیب اسکلتی - عضلانی کارگران حین فعالیت نصب صندلی خودرو پژو پارس و ارائه راهکار مهندسی به منظور کاهش ریسک

سروش رفیعی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

مهران عشوری سنجانی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

نوید ارجمند* (دانشیار)

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی مکانیک شریف، (پاییز ۱۴۰۰)
دوری ۳-۳۷، شماره ۲، ص. ۲۹-۳۵، (پژوهشی)

کمر درد یکی از بیماری‌های رایج است که کارگران حداقل یک بار در طول عمر خود، دچار آن می‌شوند. این امر باعث تحمیل هزینه‌های بالایی بر شرکت‌های بیمه می‌شود. بنابراین بررسی ریسک آسیب و ارائه راهکار برای کاهش ریسک مهم است. در این پژوهش به بررسی ریسک آسیب فعالیت حمل و نصب صندلی خودرو پژو پارس در گروه صنعتی ایران خودرو پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی‌های کیفی نشان داد که این فعالیت دارای ریسک آسیب بالا مخصوصاً در لحظه جایگذاری صندلی است. همچنین نتایج کمی مدل‌های بیومکانیکی نشان داد مقدار نیروی فشاری وارد بر ستون فقرات از حد مجاز 3400 نیوتن بیشتر شده و در نتیجه طبق استاندارد نایاش نیاز به مداخله برای اصلاح شغل است. بنابراین با ارائه یک راهکار ساده مهندسی و بررسی مجدد فعالیت، ریسک آسیب از منطقه پرخطر به کم‌خطر کاهش یافت و مقدار نیروی فشاری وارده نیز به کمتر از 3400 نیوتن رسید.

واژگان کلیدی: کمردرد، خطر آسیب، تحلیل کیفی/کمی، مدل‌سازی بیومکانیکی، ایران خودرو.

rafiei.soroush@mech.sharif.edu
ashouri.mehran@mech.sharif.edu
arjmand@sharif.edu

۱. مقدمه

سن ۱۵ تا ۱۷ سال $3/3$ برابر بیشتر از افراد بین ۱۰ تا ۱۴ سال است.^[۱۵] در سال ۱۹۸۸ در کشور انگلستان علت اصلی غیبت کارگران در محیط کار کمردرد گزارش شده است. همچنین در سال ۱۹۶۱ در کشور سوئد حدود 15% از غیبت‌های شغلی به دلیل بیماری‌های کمر بوده و در مجموع $14/8$ میلیون روز کاری بر اثر غیبت‌های ناشی از کمردرد گزارش شده است.^[۱۶] به دلیل شیوع بالای این بیماری، هزینه‌های مستقیم (درمان) و غیرمستقیم (بیمه‌ی بیکاری و جایگزین کارگر جدید) تحمیل شده به دولت‌ها و شرکت‌های بیمه‌ها، ناشی از کمردرد نیز بسیار چشم‌گیر و در حدود $100 - 200$ میلیارد دلار در سال 2006 بوده است.^[۱۶] همچنین کاهش بهره‌وری بر اثر کمردرد در طول ۶ ماه 4315 یورو برای هر بیمار تخمین زده شده است.^[۱۷] طبق آنچه گفته شد، بررسی ریسک آسیب در محیط‌های شغلی ضروری به نظر می‌رسد و بسیاری از پژوهش‌گران تلاش‌های بسیاری برای توسعه مدل‌های بیومکانیکی و نرم‌افزارهای تجاری برای بررسی و تخمین خطر آسیب مخصوصاً در ناحیه‌ی ستون فقرات انجام داده‌اند.^[۱۸-۲۱] به طور کلی سه عامل باعث ایجاد و تشدید کمردرد در کارگران می‌شود که عبارت‌اند از: عوامل بیومکانیکی (بارهای وارد بر ستون فقرات حین فعالیت شغلی)، عوامل شخصی (مانند چاقی و استعمال دخانیات) و عوامل روانی - اجتماعی (مانند

کمر درد شایع‌ترین بیماری اسکلتی عضلانی در سطح جهان بوده^[۲-۱] و علت اصلی محدودیت فعالیت فیزیکی و غیبت کاری است.^[۵-۷] و منجر به یک بار پزشکی سنگین و هزینه اقتصادی^[۳،۸] می‌شود. در نتیجه این موضوع یکی از مهمترین مشکلات بهداشت جهانی است.^[۹-۱۱] طبق آمار 85 درصد افراد حداقل یک بار در طول عمر خود دچار کمردرد می‌شوند. بیماری‌های مرتبط با کمر مهم‌ترین عامل از کارافتادگی و کاهش توانایی فعالیت در کشور ایالات متحده است و حدود 2% از کارگران در این کشور هر ساله تحت عمل جراحی در ناحیه‌ی کمر قرار می‌گیرند.^[۱۲] همچنین طبق آمار گرفته شده از 13 میلیون نفر در آمریکا، بیش از 6000 نفر عمل جراحی کمر و طبق مطالعه‌ی دیگر از هر 1000 نفر، 43 نفر عمل جراحی کمر داشته‌اند.^[۱۳] شیوع کمردرد در ایران نیز در حدود 50% گزارش شده است. به عبارت دیگر حدود نیمی از جمعیت ایران حداقل برای یک بار در طول زندگی خود دچار کمر درد می‌شوند.^[۱۴] بر اساس یک پژوهش دیگر میزان شیوع کمردرد در تمام طول عمر $65/1\%$ و در طول یک سال 47% گزارش شد. همچنین این ارقام برای افراد با

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۸/۱۸، اصلاحیه ۱۳۹۹/۱۱/۱۲، پذیرش ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

DOI:10.24200/J40.2021.56992.1566

مقایسه شد. مقایسه‌ی نتایج این روش‌های کمی با یکدیگر و روش‌های کیفی با یکدیگر از نوآوری‌های مطالعه‌ی حاضر است. به‌علاوه پس از اصلاح مهندسی محیط و ارائه‌ی راهکاری کاملاً عملی مجدداً خطر آسیب با استفاده از ابزارهای کیفی و کمی به دست آمد. طبق دانش نویسندگان تاکنون پژوهشی بدین صورت جامع و کاربردی در خصوص این نوع باربرداری انجام نشده است. همچنین به دلیل تفاوت بسیار زیاد شکل ظاهری صندلی با سایر اجسام (مانند جعبه‌های مکعبی، کیسه‌ی برنج و ...) و در نتیجه تفاوت در نوع باربرداری، این پژوهش را از سایر پژوهش‌های انجام شده مجزا می‌کند. به‌طور خلاصه نه تنها مقاله‌ی خطر آسیب این نوع فعالیت را بررسی نکرده است، بلکه تحلیل و بررسی خطر آسیب با استفاده از چندین ابزار کیفی و کمی، پیش و پس از اصلاح شرایط کاری تاکنون انجام نشده است که این موارد نوآوری‌های این پژوهش هستند.

۲. روش پژوهش

در این پژوهش، برای بررسی ریسک آسیب فعالیت شغلی مورد نظر، ابتدا یک بازدید میدانی از محل انجام فعالیت در سالن مونتاژ شماره سه ایران‌خودرو صورت گرفت. اولین قدم در ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری پاسچر بدن کارگر در حین انجام فعالیت شغلی است. در این فعالیت کارگر ابتدا صندلی را از روی سکو برمی‌دارد و سپس آن را داخل خودرو قرار می‌دهد (شکل‌های ۱ و ۲). جدول ۱ شامل اطلاعاتی در خصوص میزان بار، چرخه‌ی کاری، قد و وزن کارگر است که در تحلیل‌ها مهم



شکل ۱. طرز قرارگیری بدن کارگر در لحظه‌ی باربرداری صندلی از روی سکو و استخراج زوایا و موقعیت مفاصل با استفاده از نرم‌افزار دیجی‌مایزر.



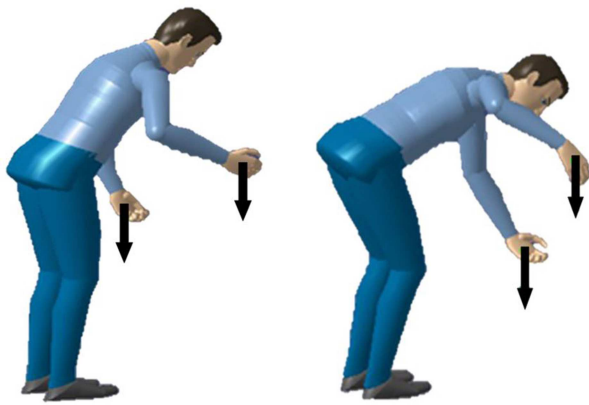
شکل ۲. طرز قرارگیری بدن در لحظه‌ی بارگذاری (جایگذاری صندلی) و استخراج زوایا و موقعیت مفاصل با استفاده از نرم‌افزار دیجی‌مایزر.

نارضایتی شغلی و استرس‌های روحی - روانی). از عوامل بیومکانیکی که مطالعه‌ی حاضر بر آن متمرکز است می‌توان به انجام باربرداری‌های سنگین، فعالیت‌های پرتکرار، شرایط بدنی (پاسچر) نامناسب در حین انجام کار، انجام فعالیت با سرعت بالا و ارتفاعات وارد بر بدن اشاره کرد. در فعالیت‌های شغلی سنگین، عوامل بیومکانیکی بیشترین تأثیر را بر ریسک آسیب دارند. به عبارت دیگر باربرداری دستی - شامل فعالیت‌هایی مانند حمل، بلند کردن و پایین آوردن جسم، کشیدن و حول دادن اجسام و فعالیت‌های تکراری - باعث بروز آسیب‌های اسکلتی - عضلانی بسیاری می‌شود و پژوهش‌گرانی به آن پرداخته‌اند.

سیاستین و همکارانش^[۲۲] با استفاده از نرم‌افزار انی‌بادی^۱ به بررسی خطر آسیب باربرداری در فعالیت‌های مختلف سوپرمارکتی پرداختند. در نهایت پیشنهاد شد که مقدار وزن جعبه‌های سنگین (مانند جعبه‌های شیر و موز) باید کاهش یابد تا خطر آسیب کاهش یابد. در این پژوهش تنها از نرم‌افزار انی‌بادی برای ارزیابی استفاده شد و از ابزارهای کیفی و مقایسه‌ی نتایج استفاده نشد. در سال ۲۰۱۷ پژوهش‌گران با استفاده از سه ابزار کیفی به بررسی خطر آسیب در فعالیت‌های مختلف کارخانه‌های مربوط به صنعت متالورژی پرداختند.^[۲۳] در این پژوهش تحلیل و بررسی ریسک تنها توسط پرسشنامه، معادله‌ی نایاش^۲ و ابزار ربا^۳ انجام شد، اما هیچگونه راهکار مهندسی برای بهبود و کاهش خطر ارائه نشده است. در همان سال گروه دیگری با استفاده از ابزار کیفی ربا و ابزار کمی دوبعدی بسیار ساده مقدار خطر آسیب فعالیت باربرداری کیسه‌های برنج را ارزیابی کردند؛^[۲۴] پس از پیشنهاد دستگاهی برای باربرداری، مجدداً خطر آسیب با استفاده از دو ابزار ذکر شده به دست آمد اما در این پژوهش از ابزارهای کمی معتبر نظیر انی‌بادی و برنامه پیش‌بینی قدرت ایستایی سه‌بعدی (۳DSSPP)^۴ استفاده نشد و همچنین تنها از یک ابزار کیفی برای بررسی خطر استفاده شد.

در صنعت خودروسازی ایران باربرداری توسط کارگر امری اجتناب‌ناپذیر است و در بسیاری از بخش‌ها مستقیماً باربرداری توسط کارگر صورت می‌گیرد. در این مقاله، هدف بررسی ریسک آسیب در فعالیت نصب صندلی راننده‌ی خودرو پژو پارس در گروه صنعتی ایران‌خودرو با استفاده از ابزارهای کیفی (استانداردها) و کمی (مدل‌های بیومکانیکی) متنوع است. پس از شناسایی عوامل ریسک آسیب، مداخله‌های مهندسی برای کاهش ریسک آسیب پیشنهاد می‌شود. تمرکز اصلی این پژوهش، بر عوامل بیومکانیکی در بروز ریسک آسیب کم است. بررسی ریسک آسیب این نوع فعالیت و ارائه‌ی راهکارهای کاربردی در این مورد، نوآوری این مقاله و بر اساس درخواست گروه صنعتی ایران‌خودرو و شکایت کارگران از سنگینی وظیفه‌ی محوله به ایشان است.

به‌طور کلی برای بررسی و تخمین ریسک آسیب فعالیت‌های گوناگون، دو رویکرد مختلف وجود دارد. رویکرد اول بررسی ریسک آسیب با استفاده از ابزارهای کیفی یعنی استانداردهای تجربی - علمی است. با استفاده از این ابزارها، مقدار ریسک و در بعضی ابزارها (مانند مترا^۵) ناحیه‌ی دارای ریسک آسیب بیشتر مشخص می‌شود. در رویکرد دوم که با استفاده از ابزارهای کمی یعنی مدل‌های بیومکانیکی انجام می‌شود، مقادیر دقیق نیروهای فشاری و در بعضی ابزارها نیروی‌های برشی بر روی دیسک‌های بین مهره‌ی تخمین زده می‌شود. در این پژوهش از هر دو رویکرد استفاده شده است. طبق آنچه گفته شد، تاکنون پژوهشی که با استفاده از ابزارهای مختلف کیفی و کمی خطر آسیب را در فعالیت نصب صندلی در صنعت خودروسازی ارزیابی کرده و سپس پس از اصلاح محیط کار مجدداً ارزیابی انجام شود صورت نگرفته است. در این مقاله با استفاده از ابزارهای مختلف خطر آسیب پیش و پس از اصلاح محیط کار به کمک ابزارهای مختلف کیفی و کمی انجام و



شکل ۵. طرز قرارگیری بدن حین انجام فعالیت بارگذاری (راست) و باربرداری (چپ) برای استفاده در مدل‌سازی بیومکانیکی.

افزارهای ۳DSSPP، انی‌بادی، ابزار تک‌عضله‌بی پوتا و روش معادلات پیشین^[۲۵] انجام شد و میزان نیروی فشاری وارد بر دیسک L۴ - L۵ کمری و نیروی برشی وارد بر دیسک L۵ - S۱ با استفاده از این مدل‌های بیومکانیکی به دست آمد. علت انتخاب این دو دیسک به دلیل بحرانی بودن آنها در نیروهای ذکر شده است.^[۲۶-۳۰] نرم افزار انی‌بادی یکی از دقیق‌ترین و جامع‌ترین نرم‌افزارهای تحلیلی بیومکانیکی است و نتایج آن از صحت قابل قبولی برخوردار است. تحلیل سینتیکی انجام شده در این پژوهش با استفاده از مدل آماده مناسب موجود در کتابخانه نرم‌افزار و به صورت روش دینامیک معکوس و تحلیل استاتیکی انجام شد. مشخصات فیزیکی مانند قد و وزن بر اساس جدول ۱ و مقادیر مربوط به پاسچر بر اساس جدول ۲ روی مدل اعمال شد. این نرم‌افزار نیروی عضلات را بر اساس بهینه‌سازی (کمینه‌سازی مجموع توان سوم تنش در عضلات) محاسبه می‌کند. نرم‌افزار ۳DSSPP با در نظر گرفتن تعادل در یک سطح نیروی فشاری و برشی را بر روی دو دیسک L۴ - L۵ با استفاده از دو جفت عضله‌ی کمری و سه جفت عضله‌ی شکمی و S۱ - L۵ با استفاده از یک عضله‌ی معادل کمری و یک عضله‌ی معادل شکمی محاسبه می‌کند. ورودی‌های نرم‌افزار که شامل مقادیر نیروی در هر دست و زوایا بدن است، با استفاده از جدول ۲ و شکل ۳ اعمال شدند. این نرم‌افزار نیروی عضلات را بر اساس روش بهینه‌سازی (روش دوگانه‌ی خطی^۸) محاسبه می‌کند.

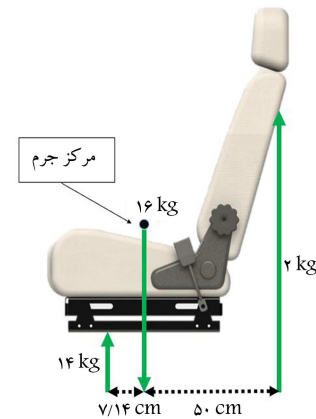
علاوه بر ابزارهای کمی، با استفاده از ابزارهای کیفی ناپاش،^۹ رولا و ربا،^{۱۰} منتر،^{۱۱} وی‌تری،^{۱۲} ویشا،^{۱۳} ۳۱۳۱۳،^{۱۴} آسپب^{۱۵} [۳۳]، ریسک آسپب به صورت کیفی تعیین شد و در ادامه برای کاهش ریسک آسپب، پیشنهاداتی برای تغییر در محیط کار ارائه شد و ریسک آسپب پس از اعمال این تغییرات، مجدداً با استفاده از نرم‌افزارهای مذکور در هر دو حالت قرارگیری بدن مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج قبل و بعد از این تغییرات با یکدیگر مقایسه شدند.

۳. نتایج

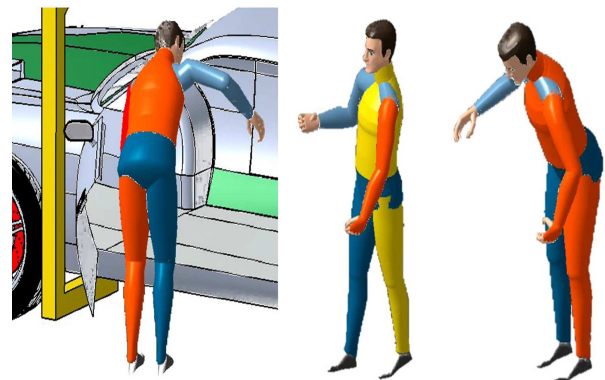
ابتدا با استفاده از داده‌های سینماتیکی که از دیجیمایزر به دست آمد، دو حالت قرارگیری بدن در هنگام باربرداری و بارگذاری مدل‌سازی شد که در شکل ۵ آمده است. سپس از ابزارهای کیفی و کمی مختلف برای بررسی خطر آسیب فعالیت مورد نظر استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات فعالیت شغلی و کارگر.

مقدار	مشخصه
۲۲ دستگاه در ساعت	سرعت حرکت خط
۸ ساعت	مدت زمان کار در روز
۱۸۰ سانتی‌متر	قد کارگر
۸۰ کیلوگرم	وزن کارگر



شکل ۳. محل مرکز ثقل صندلی، بار تقریبی حمل شده توسط هر دست (۲ و ۱۴ کیلوگرم) و فاصله هر دست تا مرکز ثقل صندلی.



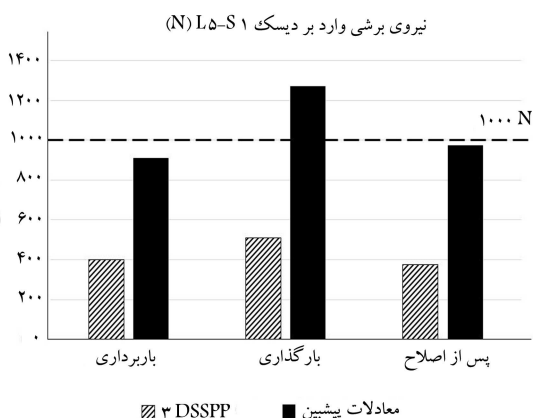
شکل ۴. تحلیل اولیه‌ی انجام شده با استفاده از روش رولا برای شناسایی بحرانی‌ترین نقاط فعالیت؛ به ترتیب از راست به چپ: باربرداری از روی سکو، حمل بار و قرار دادن بار (بارگذاری) در خودرو.

شمرده می‌شوند. در این مطالعه بررسی حرکت کارگر با استفاده از عکس برداری از زاویه‌ی جانبی در حین اجرای فعالیت انجام شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار دیجیمایزر^۶ و عکس‌های تهیه شده، موقعیت و زوایای مفاصل و محل اعمال بارهای خارجی بر کارگر تعیین شد (جدول ۲). در شکل ۳ نحوه‌ی محاسبه‌ی محل مرکز ثقل صندلی و فاصله‌ی آن تا دستان کارگر نشان داده شده است. طبق مشاهدات انجام شده و اظهارات کارگر، بخش عمده‌ی وزن صندلی (در حدود ۱۴ کیلوگرم) توسط دست چپ حمل شده و به دست راست به طور کلی نیروی کمتری وارد می‌شود. همچنین بر اساس اظهارات کارگر و بررسی اولیه‌ی مراحل انجام فعالیت با استفاده از ابزار رولا،^۷ دو لحظه‌ی باربرداری و بارگذاری (شکل‌های ۱ و ۲) این فعالیت، به عنوان موقعیت‌های دارای ریسک بالا، برای بررسی بیشتر انتخاب شدند (شکل ۴).

در این پژوهش تحلیل‌های کمی با استفاده از مدل‌های بیومکانیکی موجود در نرم

جدول ۲. داده‌های سینماتیکی مربوط به موقعیت بدن کارگر در دو لحظه‌ی باربرداری و بارگذاری.

باربرداری	بارگذاری	
۳۷ درجه	۷۰ درجه	زاویه‌ی کمر با خط عمودی در صفحه‌ی سهمی
۱۰° cm	۹۹ cm	فاصله‌ی دست راست تا زمین
۷۳ cm	۴۷ cm	فاصله‌ی دست چپ تا زمین
۵۱ cm	۵۷ cm	فاصله‌ی افقی دست راست تا صفحه‌ی پیشانی گذرنده از مرکز بدن
۳۴ cm	۶۴ cm	فاصله‌ی افقی دست چپ تا صفحه‌ی پیشانی گذرنده از مرکز بدن
۴۱ cm	۶۲ cm	فاصله‌ی افقی دست راست تا صفحه‌ی سهمی گذرنده از مرکز بدن
۱۷ cm	۴ cm	فاصله‌ی افقی دست چپ تا صفحه‌ی سهمی گذرنده از مرکز بدن



شکل ۶. مقدار نیروی برشی تخمین زده شده بر روی دیسک S۱ - L۵ با استفاده از ابزارهای معادلات پیشبین (Pe) و ۳DSSPP مطابق این تحلیل‌ها خطر آسیب از نظر مقدار نیروی برشی در لحظه‌ی باربرداری زیاد نیست، اما در زمان بارگذاری، پیش از اصلاح محیط کار خطر آسیب وجود دارد در حالی که پس از اصلاح محیط کار، خطر آسیب کاهش می‌یابد.

همچنین طبق مطالعات قبلی اگر نیروی برشی بیش از ۱۰۰۰ نیوتن باشد ریسک آسیب بالاست. طبق نتایج به دست آمده براساس معادلات پیشبین (PE) ۱۶ و ابزار ۳DSSPP در موقعیت باربرداری نیروی برشی کمتر از ۱۰۰۰ نیوتن است که نشان‌دهنده‌ی عدم وجود خطر آسیب از نظر نیروی برشی است. اما در موقعیت بارگذاری، در ابتدا براساس معادلات پیشبین خطر آسیب وجود دارد در حالی که پس از اصلاح محیط کار، مقدار نیروی برشی کمتر از ۱۰۰۰ نیوتن شده و خطر آسیب کاهش می‌یابد (شکل ۶). طبق نتایج به دست آمده در شکل ۷، ریسک آسیب در لحظه‌ی بارگذاری بیشتر از لحظه‌ی باربرداری بوده و تمامی ابزارها مقدار نیروی فشاری وارد بر دیسک را بیش از ۳۴۰۰ نیوتن گزارش کردند.

۴. بحث بر روی نتایج

در این پژوهش عمل بلند کردن و جای‌گذاری (نصب) صندلی راننده‌ی خودرو پژوپارس در سالن مونتاژ گروه صنعتی ایران خودرو مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از داده‌های سینماتیکی این فعالیت، آنالیزهای کیفی و کمی برای بررسی ریسک آسیب به دلیل باربرداری سنگین و آنالیزهای مربوط به تکرار باربرداری و رخ دادن خستگی انجام شد. در مقایسه‌ی صورت گرفته بین آنالیزهای کیفی مشخص شد که آنالیز نایاش بسیار محافظ کارانه است (جدول ۳) و آنالیز ویشا یک

جدول ۳. ارزیابی فعالیت شغلی با ابزارهای کیفی. تمامی ابزارها در موقعیت باربرداری در ناحیه‌ی کم‌خطر (زرد) قرار دارند. در موقعیت بارگذاری، ابزار ویشا در موقعیت کم‌خطر (زرد)، معادله‌ی نایاش در موقعیت خیلی خطرناک (بنفش) و سایر ابزارها در موقعیت خطرناک (قرمز) قرار دارند.

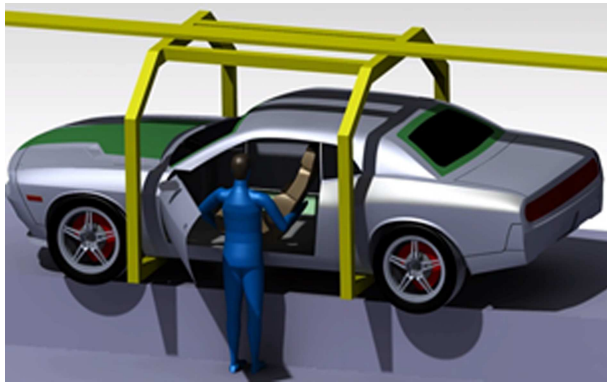
عنوان تحلیل	خطر آسیب (ابزارهای کیفی)	
	موقعیت باربرداری	موقعیت بارگذاری
رولا	۳	۷
ریا	۶	۸
معادله‌ی نایاش	۹٫۵ کیلوگرم	۰ کیلوگرم
ویشا	خطر متوسط	خطر متوسط
ماک	۱۰	۱۷
منترا	دست‌ها	دست‌ها و کمر
وی‌تری	خطر زیاد	خطر متوسط
آسیب جمع‌ی	٪۴۷	

۱.۳. ابزارهای کیفی

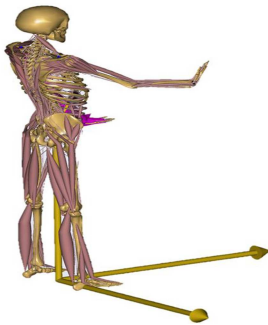
در این ابزارها ریسک آسیب به صورت کیفی بیان می‌شود که با در نظر گرفتن معیارهای مشخصی در هر ابزار، عددی به منظور ارزیابی فعالیت برای آن در نظر گرفته شده و به آن یکی از رنگ‌های سبز (بدون خطر)، زرد (کم‌خطر)، قرمز (خطرناک) یا بنفش (خیلی خطرناک) اختصاص داده می‌شود. نتایج بررسی ریسک آسیب فعالیت مد نظر با ابزارهای کیفی در جدول ۳ آمده است. در این جدول، در تحلیل رولا، عدد ۳ نشان‌دهنده‌ی خطر کم و اعداد بالای ۶ نشان‌دهنده‌ی خطر آسیب بسیار زیاد است. در تحلیل ربا عدد ۶ نشان‌دهنده‌ی خطر آسیب متوسط و عدد ۸ نشان‌دهنده‌ی خطر آسیب بالاست. همچنین اعداد ۱۰ و ۱۷ در تحلیل ماک به ترتیب نشان‌دهنده‌ی خطر آسیب متوسط و خطر آسیب بالا هستند. طبق تحلیل نایاش، بیشترین بار مجاز قابل برداشت در موقعیت باربرداری ۹٫۵ کیلوگرم بوده و در لحظه‌ی بارگذاری حمل بار کلاً مجاز نیست. بنابراین طبق معیار نایاش فعالیت در هر دو موقعیت دارای خطر آسیب است. در نهایت طبق معیار آسیب جمع‌ی، ۴۷٪ احتمال آسیب بر روی اپراتور ناشی از تکرار باربرداری (با به عبارتی خستگی) در انجام این فعالیت وجود دارد.

۲.۳. ابزارهای کمی

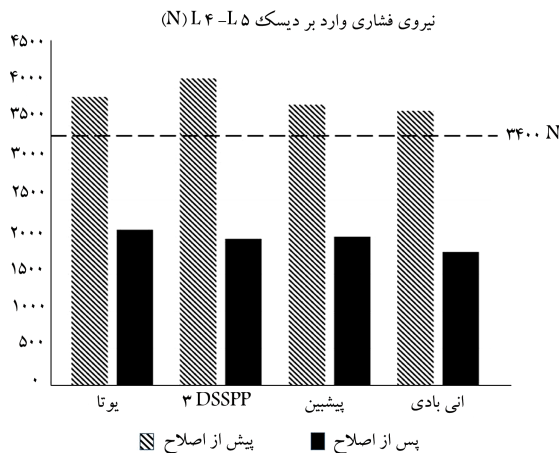
با استفاده از ابزارهای کمی موجود، مقدار نیروی فشاری و برشی وارد بر دیسک‌های مذکور به دست آمد. طبق معیار مؤسسه‌ی نایاش، اگر مقدار نیروی فشاری وارد بر دیسک از ۳۴۰۰ نیوتن بیشتر شود، فعالیت دارای ریسک آسیب خواهد بود.



شکل ۸. طرز قرارگیری بدن کارگر پس از اصلاح محیط کار.



شکل ۹. بررسی نیروهای وارد بر دیسک بین مهره‌ی L۴ - L۵ پس از اصلاح محیط کار در نرم‌افزار انی بادی. در این حالت نیروی فشاری وارد بر دیسک ۱۷۹۸ نیوتن است.

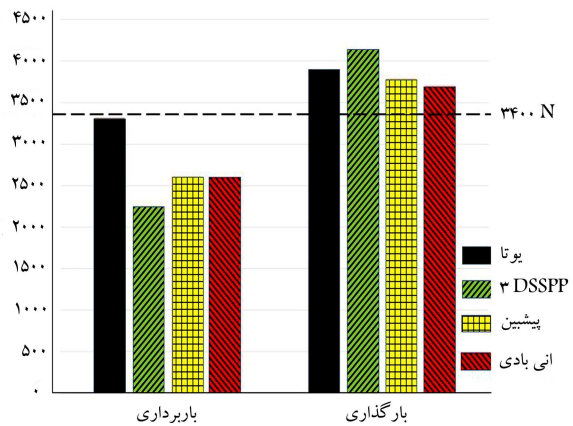


شکل ۱۰. مقایسه‌ی مقدار نیروی فشار روی دیسک L۴ - L۵ قبل و بعد از اصلاح محیط کار پس از اصلاح محیط کار. تمامی تحلیل‌های کمتی، فشار کمتر از ۳۴۰۰ نیوتن را نشان می‌دهند.

اصلاح محیط کار در نرم‌افزار انی بادی آمده است. طبق این شکل با انجام اصلاح صورت گرفته، مقدار نیروی فشاری وارد بر دیسک از ۳۷۰۶ نیوتن که طبق معیار نایاش ریسک آسیب وجود دارد، به ۱۷۹۸ نیوتن کاهش یافت. در جدول ۴ مقایسه‌ی ارزیابی‌های کیفی و در شکل ۱۰ مقایسه‌ی ارزیابی‌های کمتی قبل و پس از اصلاح محیط کار آورده شده است.

پس از اصلاح محیط کار، تمامی تحلیل‌های کمتی، نیروی فشار کمتر از ۳۴۰۰ نیوتن را نشان می‌دهند.

نیروی فشاری وارد بر دیسک L۴-L۵ (N)



شکل ۷. مقدار فشار تخمین زده شده بر روی دیسک L۴ - L۵ با استفاده از ابزارهای کمتی. روش پیشین نیروی فشاری دیسک L۴ - L۵ را با استفاده از معادلات پیشین در مرجع [۲۵] تعیین می‌کند. مطابق این تحلیل خطر آسیب در لحظه‌ی بارگذاری نسبت به باربرداری بیشتر است.

آنالیز ریسک پذیر است و دقت پایینی نسبت به سایر ابزارها دارد. بررسی ریسک با استفاده از ابزارهای کیفی نسبت به آنالیزهای کمتی ساده‌تر بوده ولی دقت پایین‌تری دارند و برای یک ارگونومیست استفاده از این ابزارها راحت‌تر و سریع‌تر است. در نهایت تمامی آنالیزهای کیفی وجود ریسک آسیب در این فعالیت را نشان دادند. در آنالیزهای کمتی با توجه به این که مدل یوتا از یک عضله و همچنین ۳DSSPP از ۱۰ عضله استفاده می‌کند، اعداد متفاوتی نسبت به معادلات پیشین (PE) و انی بادی (که هر یک ده‌ها عضله دارند) گزارش شده است (شکل ۷).

حال ریسک بالای آسیب در این کار به طور واضح مشخص است و برای مدیریت و کاهش ریسک آسیب در این فعالیت شغلی، یک راه حل ساده، کم هزینه و عملی ارائه شد. دلیل اصلی آسیب‌های موجود در این فعالیت خم شدن زیاد کارگر به سمت جلو (حین جای‌گذاری صندوق) به همراه وزن زیاد صندوق است چرا که با افزایش زاویه‌ی کمر، مقدار گشتاور وارد شده بر دیسک بیشتر و در نتیجه نیروی فشار بیشتری به دیسک‌ها وارد شده و باعث بالا رفتن ریسک آسیب می‌شود.

برای جلوگیری از این خم شدن می‌توان با تغییر ارتفاع کف و ایجاد چاله، ارتفاع کارگر نسبت به خط تولید را پایین آورد و از خم شدن کارگر جلوگیری کرد. طبق جداول و تخمین‌های آنترپومتریکی کارگران مرد بین ۲۰ تا ۶۰ ساله‌ی ایرانی قد صدک ۵، ۱۶۰ سانتی‌متر و صدک ۹۵، برابر ۱۸۴ سانتی‌متر است. در نتیجه با فرض کمترین قد ۱۶۰ و بیشترین قد ۱۹۰ سانتی‌متر برای اطمینان بیشتر، می‌توان پس از ایجاد چاله‌ی با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در محل فعالیت و قرار دادن سکوی با قابلیت تنظیم ارتفاع به مقدار ۳۰ سانتی‌متر شراطی را ایجاد کرد تا کارگران با قد‌های مختلف بدون نیاز به خم شدن بتوانند صندوق را نصب کنند. این پیشنهاد با توجه به شرایط کف سالن مجموعه و محدودیت‌هایی از قبیل کم بودن ارتفاع سقف سالن و وجود درب بر روی اتومبیل در هنگام نصب کاملاً امکان‌پذیر و کم هزینه است که مورد قبول کارفرما نیز واقع شد. در شکل ۸ این اصلاحات در محیط کار برای کاهش ریسک آسیب نشان داده شده است.

برای بررسی تأثیر این تغییر در محیط کار بر روی ریسک آسیب کمر، با استفاده از آنالیزهای کیفی و کمتی خطر آسیب پس از اصلاح نحوه‌ی انجام فعالیت شغلی مجدداً بررسی شد.

در شکل ۹ مقدار نیروی فشاری وارد بر دیسک بین مهره‌ی در حالت پس از

جدول ۴. مقایسه‌ی ارزیابی کیفی قبل و بعد از اصلاح محیط کار.

	قبل	بعد
ریا	پرخطر	کم خطر
ناپاش	خطرناک	کم خطر
ماک	پرخطر	کم خطر

مطابق جدول ۴ و شکل ۱۰، بعد از اصلاح کار خطر آسیب در تحلیل‌های کیفی از ناحیه‌ی قرمز (پر خطر) به زرد (کم خطر) تبدیل شد ولی همچنان به دلیل بار زیاد ۱۶ کیلوگرمی این خطر به صفر نرسید. بر اساس ابزار رولا، پیش از اصلاح محیط کار کم، گردن، دست و پای راست در ناحیه‌ی پرخطر قرار داشتند اما پس از اصلاح تنها دست راست دارای خطر آسیب است که علت این موضوع بار نسبتاً سنگین وارد شده بر دست راست است. همچنین طبق ابزار کیفی OWAS پس از اصلاح محیط کار هیچ خطر آسیبی وجود ندارد.

در تحلیل‌های کمتی در همه‌ی ابزارها، نیروی فشاری وارد بر دیسک L۴ - L۵ به کمتر از ۳۴۰۰ نیوتن (حد مرزی بار فشاری ناپاش) رسید و خطر آسیب به کمر کارگر به میزان زیادی کاهش یافته است.

۵. محدودیت‌های پژوهش

در این پژوهش استخراج زوایا و محل مفصل کارگر با استفاده از عکس برداری و نرم‌افزار دیجیتال انجام شد که این موضوع می‌تواند مقداری خطا در زوایا استخراج شده ایجاد کند. با توجه به قوانین کارخانه امکان وارد کردن تجهیزات آنالیز حرکت به داخل کارخانه امکان پذیر نبود. از طرفی شبیه‌سازی دقیق این فعالیت نیز در آزمایشگاه و با استفاده از مارکر و دوربین به دلیل عدم دسترسی به صندلی با شکل ظاهری صندلی نصب شده توسط کارگر، محل نصب صندلی در کارخانه و فاصله‌ی خوردو از سطح زمین وجود نداشت. به همین دلیل تحلیل زوایا با استفاده از عکس برداری در حین انجام فعالیت انجام شد.

همچنین با توجه به عدم دسترسی به صندلی مشابه صندلی نصب شده در کارخانه و عدم امکان استفاده از نیروسنج در محل انجام فعالیت، محل مرکز جرم و نیروی تحمل شده توسط هر دست به صورت تخمینی و بر اساس روابط تعادل به دست آمده است. از این روی ممکن است مقداری خطا در محل مرکز جرم و در نتیجه نیروی اعمال شده به هر دست وجود داشته باشد.

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش ریسک آسیب باربرداری در فعالیت نصب صندلی راننده‌ی خودرو در گروه صنعتی ایران‌خودرو بررسی شد و از ابزارهای کمتی و کیفی مختلفی برای بررسی ریسک آسیب استفاده شد. ابزارهای کیفی فعالیت را دارای ریسک آسیب معرفی کردند و ابزارهایی کمتی چون مدل تک‌عضله‌ی یوتا، ۳DSSPP، معادلات پیشین و انی‌بادی نیز نیروی فشاری روی دیسک L۴ - L۵، بیش از حد مجاز (۳۴۰۰ نیوتن) گزارش کردند. از آنجا که وارد شدن بار بیش از حد مجاز و اعمال مکرر باربرداری در این فعالیت ریسک آسیب نمایان است، نیاز به اصلاح فعالیت شغلی است. با پایین آوردن سطح ارتفاع کاری کارگر نسبت به خط تولید، زاویه‌ی فلکشن بالاته حذف شده و ارزیابی دوباره فعالیت اصلاح شده نشان داد که ریسک در ابزار کیفی از ناحیه‌ی پرخطر به ناحیه‌ی کم خطر منتقل می‌شود و نیروی فشاری وارد بر دیسک بین مهره‌ی نیز بر اساس مدل‌های بیومکانیکی همگی به زیر ۳۴۰۰ نیوتن کاهش می‌یابند.

تقدیر و تشکر

از مسئولین گروه صنعتی ایران‌خودرو به ویژه سرکار خانم کمالی و همچنین از آقای مهندس آزادی و خانم مهندس دهقان برای همکاری در این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

پانوشتها

1. Anybody
2. Niosh
3. Reba
4. 3D static strength prediction program
5. ManTRA
6. digimizer
7. rula
8. double-linear method
9. Niosh
10. Rula&Reba
11. Matra
12. V3
13. Visha
14. MAC
15. damage accumulation

16. predictive equations

منابع (References)

1. Hoy, D., Brooks, P., Blyth, F. and et al. "The epidemiology of low back pain", *Best Practice and Research: Clinical Rheumatology*, **24**(6), *Best Pract Res Clin Rheumatol*, pp. 769-781 (Dec 2010).
2. Maher, C., Underwood, M. and Buchbinder, R. "Non-specific low back pain", *The Lancet*, **389**(10070), *Lancet Publishing Group*, pp. 736-747 (18-Feb-2017).
3. Deyo, R.A., Cherkin, D., Conrad, D. and et al. "Cost, controversy, crisis: Low back pain and the health of the public", *Annual Review of Public Health*, **12**, *Annu Rev Public Health*, pp. 141-156 (1991).

4. Hoy, D. and et al. "A systematic review of the global prevalence of low back pain", *Arthritis and Rheumatism*, **64**(6), John Wiley & Sons, Ltd, pp. 2028-2037 (01-Jun-2012).
5. Driscoll, T. and et al. "The global burden of occupationally related low back pain: estimates from the global burden of disease 2010 study", *Ann. Rheum. Dis*, **73**(6), pp. 975-981 (2014).
6. James, S.L. and et al. "Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 Diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017", *Lancet*, **392**(10159), pp. 1789-1858 (Nov. 2018).
7. Lee, H. and et al. "How does pain lead to disability, a systematic review and meta-analysis of mediation studies in people with back and neck pain", *Pain*, **156**(6), Lippincott Williams and Wilkins, pp. 988-997 (2015).
8. Hartvigsen, J. and et al. "What low back pain is and why we need to pay attention", *The Lancet*, **391**(10137), Lancet Publishing Group, pp. 2356-2367 (01-Jun-2018).
9. Erdem, M.N., Erken, H.Y. and Aydogan, M. "The effectiveness of non-surgical treatments, re-discectomy and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in post-discectomy pain syndrome", *J. Spine Surg*, **4**(2), pp. 414-422 (Jun. 2018).
10. Hoy, D. and et al. "The global burden of low back pain: estimates from the global burden of Disease 2010 study", *Ann. Rheum. Dis*, **73**(6), pp. 968-974 (2014).
11. Buchbinder, R. and et al. "Low back pain: a call for action", *The Lancet*, **391**(10137), Lancet Publishing Group, pp. 2384-2388 (09-Jun-2018).
12. Gunnar, Bj, AnderssonMD, "Epidemiological features of chronic low-back pain", *The Lancet*, **354**(9178), pp. 581-585 (1999).
13. Andersson, G.B.J. "Epidemiological features of chronic low-back pain", (1981).
14. Azizpour, Y., Hemati, F. and Sayemiri, K. "Prevalence of low back pain during life in Iran: a systematic review and meta-analysis study", *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, (In Persian) (2013).
15. Minghelli, B. "Musculoskeletal spine pain in adolescents: epidemiology of non-specific neck and low back pain and risk factors", *J. Orthop. Sci*, **25**(5), pp. 776-780 (Sep 2020).
16. Katz, J.N. "Lumbar disc disorders and low-back pain: socioeconomic factors and consequences", *J. Bone Jt. Surg. - Ser. A*, **88**, pp. 21-24 (2006).
17. Dutmer, A.L. and et al. "Personal and societal impact of low back pain: the groningen spine cohort", *Spine (Phila. Pa. 1976)*, **44**(24), pp. E1443-E1451 (2019).
18. Arjmand, N. and Shirazi-Adl, A. "Model and in vivo studies on human trunk load partitioning and stability in isometric forward flexions", *J. Biomech*, **39**(3), pp. 510-521 (2006).
19. Fortin, C., Feldman, D.E., Cheriet, F. and et al. "Validity of a quantitative clinical measurement tool of trunk posture in idiopathic scoliosis", *Spine (Phila. Pa. 1976)*, **35** (19), pp. 988-994 (2010).
20. Guo, L.X. and Li, R. "Influence of vibration frequency variation on poroelastic response of intervertebral disc of lumbar spine", *J. Mech. Sci. Technol*, **33**(2), pp. 973-979 (2019).
21. Kim, Y.H., Khuyagbaatar, B. and Kim, K. "Recent advances in finite element modeling of the human cervical spine", *J. Mech. Sci. Technol*, **32**(1), pp. 1-10 (2018).
22. Louis, L., Skipper, M., Skals, S. and et al. "Manual material handling in the supermarket sector, part 2?: knee, spine and shoulder joint reaction forces", **92** (December 2020).
23. Daruis, D.D.I., Rosly, A.L., Abd Aziz, I. and et al. "Ergonomic risk assessment of manual material handling at an automotive manufacturing company", *Presacademia*, **5**(1), pp. 317-324 (2017).
24. Astuti, R.D., Susmartini, S. and Kinanthi, A.P. "Improving the work position of worker based on manual material handling in rice mill industry", *AIP Conf. Proc*, **1902** (2017).
25. Arjmand, N., Plamondon, A., Shirazi-Adl, A. and et al. "Predictive equations for lumbar spine loads in load-dependent asymmetric one-and two-handed lifting activities", *Clin. Biomech* (2012).
26. Dempsey, P.G. "A critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks", *Ergonomics*, **41**(1), pp. 73-88 (1998).
27. Asadi, F. and Arjmand, N. "Marker-less versus marker-based driven musculoskeletal models of the spine during static load-handling activities", *J. Biomech*, **112**, p. 110043 (Nov. 2020).
28. Ghezlbash, F., Shirazi-Adl, A., Plamondon, A. and et al. "Comparison of different lifting analysis tools in estimating lower spinal loads - Evaluation of NIOSH criterion", *J. Biomech*, **112**, p. 110024 (Nov. 2020).
29. Ghezlbash, F., Shirazi-Adl, A., El Ouaid, Z. and et al. "Subject-specific regression equations to estimate lower spinal loads during symmetric and asymmetric static lifting", *J. Biomech*, **102**, p. 109550, (Mar 2020).
30. Khoddam-Khorasani, P., Arjmand, N. and Shirazi-Adl, A. "Effect of changes in the lumbar posture in lifting on trunk muscle and spinal loads: a combined in vivo, musculoskeletal, and finite element model study", *J. Biomech*, **104**, p. 109728 (May 2020).
31. Waters, T.R., Putz-Anderson, V. and Garg, A. "Applications manual for the revised NIOSH lifting equation", (1994).
32. Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and et al. "Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks", *Ergonomics*, **36**(7), pp. 749-776 (1993).
33. Gallagher, S., Sesek, R.F., Schall, M.C. and et al. "Development and validation of an easy-to-use risk assessment tool for cumulative low back loading: the lifting fatigue failure tool (LiFFT)", *Appl. Ergon*, **63**, pp. 142-150 (Sep. 2017).