ارزیابی ارگونومیکی علل کمردردهای شغلی با استفاده از مدل سازی دیجیتالی انسان(DHM) در یکی از صنایع خودروساز

عادل مظلومی[1]- علی اکبر کیخامقدم[2*]- سید فرهاد طباطبایی[3]- حمیدرضا مختاری نیا[3]

[1] استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
[2] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران
[3] استادیار، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران

چکیده

مقدمه: روش‌های متعددی برای ارزیابی ارگونومیکی عوامل خطرکمردرد در محیط کار وجود دارد که شامل روش‌های بیومکانیکی، فیزیولوژیکی و فیزیکی-روانی می‌باشند. مدل سازی دیجیتالی انسان(DHM) نیز ابزاری مبتنی بر کامپیوتر جهت ارزیابی ارگونومیکی بوده که دارای مزایایی هم‌چون صرفه جویی در وقت و زمان در ارزیابی ها و نیز ارزیابی فعالانه راهکارهای ارگونومی در محیط دیجیتالی می باشد. این مطالعه با هدف ارزیابی علل کمردرد های شغلی با استفاده از مدل سازی دیجیتالی انسان و ارایه راهکارهای مناسب انجام گرفت.

روش کار: مطالعه حاضر به‌صورت موردی نیمه تجربی در بخش مونتاژ موتور یکی از صنایع خودروسازی اجرا گردید. ابتدا با بررسی شیوع کمردرد ، ویژگی های شغلی و عوامل خطر کمردرد در جمعیت مورد مطالعه و در ایستگاه‌های کاری مورد بررسی قرار گرفت، سپس ایستگاه‌های پر خطر تعیین شد و در نهایت یک ایستگاه کاری جهت شبیه سازی و ارزیابی در نرم افزارهای مدل سازی دیجیتالی انسان شامل 3DSSPP و Catia انتخاب گردید. ۲۲ پوسچر از لحظه برداشتن و گذاشتن بار از سه وظیفه موجود ایستگاه جهت شبیه سازی مطالعه شدند. پس از ارزیابی در محیط دیجیتالی، نقاط خطر شناسایی و راهکارهای مورد نظر ارایه گردید.

یافته ها: با افزایش ابعاد آنتروپومتریکی، فاصله افقی بار تا بدن و کاهش ارتفاع محل گذاشتن بار، نیروی فشاری و برشی وارد بر دیسکS1/L5 افزایش یافته و درصد افراد قادر به انجام وظیفه در هر مفصل با افزایش ابعاد آنتروپومتریکی کاهش یافت. برآورد آسیب به لیگامنت نیز در پوسچرهای دارای خمش شدید کمر افزایش بیش‌تری داشت. امتیازRULA نیز با وضعیت نامناسب کمر و دست‌ها افزایش یافت. نتایج نشان داد که نقاط خطر در وظایف مورد بررسی، بیش‌تر مربوط به ارتفاع پایین پالت ها در محل برداشتن و گذاشتن بار و هم‌چنین فاصله افقی زیاد بار از بدن بود.

نتیجه گیری: در این مطالعه عوامل بیومکانیکی مؤثر بر افزایش احتمال بروز کمردرد شامل ویژگی های آنتروپومتریکی(قد و وزن)، فاصله افقی بار تا بدن، ارتفاع محل برداشتن و گذاشتن بار و خمش و پیچش تنه بودند.این مطالعه نشان داد که DHM، ابزاری مؤثردر ارزیابی وظایف شغلی و طراحی محیط کار بوده که می‌توان نقاط خطر در هر وظیفه را شناسایی کرده و به نقاط ایده‌آل در طراحی دست یافت. با استفاده از DHM می‌توان راهکارهای مداخله‌ای مورد نظر را در محیط مجازی اجرا کرده و با ارزیابی مجدد، از اثربخش بودن راهکارها در محیط واقعی اطمینان حاصل نمود.

کلمات کلیدی: *کمردرد، مدل سازی دیجیتالی انسان، Catia ،3DSSPP، دیسکL5/S1، نیروی فشاری، نیروی برشی*

مقدمه

کمردرد شغلی، یکی از علل مهم بیماریزایی و هزینه‌های غرامت کارگران در دنیاست. هزینه های مزبور در سال ۱۹۹۷ در ایالات متحده آمریکا در حدود ۴۹/۲ میلیارد دلار تخمین زده شده است(Sadeghi, *et al.*, 2006).

یکی از الزامات مهم در پیشگیری از اختلالات اسکلتی-عضلانی اینست که بدانیم دقیقا چه اعمال نیروی شدیدی در کار وجود دارد. این کار نیاز به ابزار توسعه یافته‌ی آنالیز شغل دارد که بتواند با دقت، تنش‌های بالقوه و مضر سیستم اسکلتی-عضلانی را پیش بینی نماید.

*نویسنده مسوول: پست الکترونیکی: ali.keikhamoghaddam@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

در این زمینه توسعه مدل‌های بیومکانیکی کامپیوتری از سیستم اسکلتی - عضلانی در ارگونومی اهمیت دارد(Violante, *et al.*, 2000). ارزیابی ارگونومیکی از مواجهه فیزیکی با خطرات اختلالات اسکلتی-عضلانی را می توان از طریق استفاده از تجهیزات و نرم افزارهای کامپیوتری تسهیل نمود (Wilson, 2006). مدل سازی دیجیتالی انسان(DHM) یک ابزار مبتنی بر کامپیوتر بوده که عبارتست از یک انسان مجازی در فضای سه بعدی که می‌تواند حرکت و دستکاری شده تا حرکات واقعی و دقیق افراد شبیه سازی شود(Hamameh, 2010). مدل سازی دیجیتالی انسان یکی از ابزارهای ارزیابی ارگونومی بوده که با استفاده از آن می توان زمان طراحی را کوتاه‌تر کرده و در وقت و هزینه‌ی طراحی و ارزیابی آن صرفه جویی نموده و فعالیت‌های طراحی را به‌صورت فعالانه در محیط دیجیتالی ارزیابی کرد، یعنی می‌توان راهکارهای ارگونومیکی پیشنهاد شده را در محیط دیجیتالی پیاده کرده و ارزیابی مجدد انجام داد و پس از اطمینان از معتبر بودن یک راهکار، آن را در محیط واقعی اجرا نمود(Naumann and Roetting, 2007).

این مطالعه با هدف تعیین عوامل بیومکانیکی و فیزیکی کمردرد با استفاده از مدل سازی دیجیتالی انسان در یکی از ایستگاه‌های خط مونتاژ موتور در یک شرکت خودروسازی انجام شده تا نقاط خطر موجود در ایستگاه مورد نظر شناسایی گشته و در نهایت راهکار مداخله ای مورد نظر جهت حذف یا کاهش عوامل خطر کمردرد در محیط دیجیتالی اجرا و مورد ارزیابی قرار گیرد تا اثر بخشی راهکار مورد نظر تعیین گردد.

روش کار

مطالعه حاضر از نوع مقطعی و نیمه تجربی است. در این تحقیق که در خط مونتاژ موتور یک شرکت خودروسازی انجام شد یک بررسی اولیه و ثبت ویژگی‌های شغلی در ۴۰ ایستگاه کاری انجام گرفت و در نهایت یک ایستگاه کاری جهت شبیه سازی و ارزیابی ارگونومیکی با نرم افزارهای مدل سازی دیجیتالی انسان انتخاب شد. نرم افزار مورد استفاده در این مطالعه 3DSSPP بود. در ابتدا با ثبت ویژگی‌های هر شغل و عوامل خطر آن در هر ایستگاه، هم‌چون دارا بودن حمل دستی بار، وزن بار، نوع فعالیت حمل دستی (برداشتن/گذاشتن، کشیدن/هل دادن و نگه داشتن)، تکرار، پوسچر بدنی نامناسب به‌ویژه در کمر، ایستگاه‌های کاری پر خطر انتخاب شد و در نهایت ایستگاه شستشوی میل لنگ به‌دلیل حمل دستی بسیار زیاد و پوسچرهای نامناسب به‌خصوص در تنه و کمر جهت شبیه سازی در نرم افزارهای 3DSSPP و Catia انتخاب گردید. پوسچرهای کاری مورد نظر جهت شبیه سازی، از لحظه برداشتن و لحظه گذاشتن بار انتخاب گردید که در این ایستگاه کار از سه وظیفه موجود ۲۲ پوسچر کاری نمونه برداری شد. وظیفه۱ شامل برداشتن قطعه از داخل پالت و گذاشتن در سبد بود که کد پوسچرهای آن B1، B2، B3، B4، B5، B6، B7، B8 و BG بود. در وظیفه دوم نیز فرد قطعات را از چهار فاصله متفاوت از روی سبد برداشته و به محل زدن خار و متعلقات به میل لنگ منتقل می کند که کد پوسچرهای آن Z1، Z2، Z3، Z4 و ZG بود. در وظیفه۳ که فرد قطعات را در داخل پالت قرار می داد، هفت ردیف قطعات از پایین ترین ردیف تا بالاترین ردیف چنین بود: R۱=۳۴(پایین ترین ردیف)، R۲=۴۵، R۳=۵۷، R۴=۷۰، R۵=۸۵، R۶=۹۶ و R۷=۱۰۶ (بالاترین ردیف). اطلاعات لازم جهت شبیه سازی هر پوسچر که شامل ارتفاع سطوح محل برداشتن و گذاشتن بار، فواصل افقی بارتا بدن، موقعیت دست‌ها و وزن بار بودد، جمع آوری گردید. در این تحقیق به‌دلیل در دسترس نبودن داده‌های آنتروپومتریکی کشور ایران، از اطلاعات آنتروپومتریکی مردان کره‌ای (صدک‌های۵، ۵۰ و ۹۵) در نرم افزار Catia استفاده شد و در کنار آن اطلاعات آنتروپومتریکی دو اپراتور ایستگاه کار(فرد۱و فرد۲) نیز جمع آوری گردید.

اطلاعات به‌دست آمده از نرم افزار 3DSSPP شامل نیروی فشاری و برشی وارده بر دیسکL5/S1، درصد افراد قادر به انجام وظیفه و برآورد آسیب به لیگامنت بود.

Archive of SID
www.SID.ir

استاندارد مقایسه نیروی فشاری ۳۴۰۰ نیوتن و نیروی برشی ۵۰۰ نیوتن بود. پس از شبیه سازی و ارزیابی توسط نرم افزار مدل سازی دیجیتالی انسان، نقاط خطر وظایف مورد نظر بر اساس نیروی فشاری و برشی تعیین شد و با همپوشانی، نیروی فشاری و برشی نقاطی را که در هر دو نیرو در حد مجاز بود، مشخص کرده و توسط این نقاط محدوده طراحی مناسب و نقاط ایده آل در ارتفاع و فاصله افقی برای هر وظیفه ارایه گردید.

یافته ها

نتایج حاصل از نرم افزارهای 3DSSPP و Catia برای صدک ۹۵ جمعیت که بدترین وضعیت را داشت، ارایه گردید. در هر وظیفه شغلی نیز به بررسی بدترین وضعیت در پوسچرهای کاری پرداخته شد.

وظیفه شماره۱: در این وظیفه شغلی فرد اپراتور میل لنگ را از داخل پالت برداشته به‌طوری‌که تخلیه پالت به سه شکل کلی انجام می‌گیرد.

۱-حالت اول مربوط به برداشتن میل لنگ‌های افقی از ردیف بالایی بوده (پوسچرهای B1، B2 و B3) و طبق جدول(۱) با مشاهده کامل نتایج، می‌بینیم که بدترین وضعیت بدنی در لحظه برداشتن میل لنگ از ردیف دوم که انتهای پالت قرار دارد رخ داده است(شکل۱). با توجه به جدول(۱) مشاهده می‌شود که نیروی فشاری و برشی، لیگامنت استرین و امتیاز تنه RULA در این پوسچر نسبت به دو پوسچر مشابهش(B1 و B3) بیش‌تر و درصد افراد قادر به انجام آن نیز کم‌تر از دو پوسچر دیگر بوده که علت اصلی این امر فاصله افقی زیاد بار از بدن(۷۵ سانتیمتر) می باشد.

مشاهده می‌شود که نیروی فشاری در این پوسچر، کم‌تر از ۳۴۰۰ نیوتن و لیگامنت استرین آن نیز ۱۴٪ بوده که نشان دهنده خطر نسبی برای فرد در این وضعیت می باشد. فاصله افقی بار از بدن بیش از حد مجاز بوده(RWL=۰) و امتیاز تنه ۵ و وضعیت قرمز را دارد که علت این امر در خمش کمر به همراه پیچش زیاد می باشد. امتیاز کل RULA نیز۷ بوده و سطح اقدام اصلاحی ۴ برای این پوسچر به‌دست آمده است که نیاز به بررسی بیش‌تر داشته و مداخله ارگونومی باید فوراً انجام شود.

۲-حالت دوم در تخلیه پالت، مربوط به برداشتن میل لنگ‌های عمودی در جلوی پالت می‌باشد که با توجه به وجود ۸ ردیف میل لنگ عمودی در عرض پالت، فرد اپراتور برای برداشتن قطعات تا ردیف

جدول ۱: داده‌های اصلی نرم افزارهای 3DSSPP و Catia برای پوسچرهای سه وظیفه

پوسچر	نیروی فشاری (N)*	نیروی برشی (N)*	درصد افراد قادر به انجام وظیفه *				لیگامنت*	H^a (cm)	V^b (cm)	RWL (kg)	LI	نتایج RULA		
			شانه	تنه	لگن	زانو	استرین(٪)					امتیاز تنه	امتیاز کل	سطح اقدام اصلاحی
B1	۲۹۱۴	۴۱۲	۹۹	۸۶	۸۵	۷۹	۱۲	۶۰	۹۳	۸	۱/۳۸	۴	۷	۴
B2	۳۲۴۶	۴۳۵	۹۴	۷۹	۸۲	۷۱	۱۴	۷۵	۹۳	۰	∞	۵	۷	۴
B3	۱۹۷۷	۳۶۱	۹۹	۹۶	۹۴	۹۶	۷	۳۵	۹۳	۱۴/۴	۰/۷۶	۳	۶	۳
B4	۱۴۶۴	۳۳۸	۹۹	۹۸	۹۷	۹۹	۱	۳۵	۱۰۸	۱۲/۹	۰/۸۵	۲	۵	۳
B5	۲۶۱۱	۳۸۴	۹۹	۹۰	۸۸	۸۶	۱۰	۴۵	۹۵	۱۱/۶	۰/۹۵	۳	۶	۳
B6	۳۶۹۷	۴۸۵	۹۹	۸۱	۳۷	۴۶	۱۹	۷۰	۳۶	–	–	۵	۷	۴
B7	۳۲۹۰	۴۹۹	۹۹	۸۴	۶۶	۱۱	۱۷	۸۳	۳۶	–	–	۵	۷	۴
B8	۴۲۷۷	۵۲۱	۹۴	۶۶	۲۷	۱۸	۲۰	۹۰	۳۶	–	–	۵	۷	۴
BG	۲۲۴۴	۳۷۲	۹۶	۴۲	۷۷	۶۱	۸	۳۵	۱۰۰	۱۰/۳	۱/۰۷	۴	۷	۴
Z1	۲۰۶۱	۳۵۰	۹۹	۹۴	۷۷	۸۱	۵	۳۶	۱۰۱	۱۱/۶	۰/۹۵	۲	۴	۲
Z2	۲۳۳۱	۳۵۲	۹۸	۸۹	۷۲	۷۴	۵	۴۸	۱۰۱	۸/۷	۱/۲۶	۳	۵	۳
Z3	۲۸۳۵	۳۷۰	۹۶	۸۴	۷۰	۶۷	۹	۶۰	۱۰۱	۷	۱/۵۸	۳	۶	۳
Z4	۳۲۳۳	۳۸۹	۹۶	۶۹	۶۵	۲۹	۱۰	۷۲	۱۰۱	۰	∞	۳	۶	۳
ZG	۲۱۵۳	۳۵۲	۹۹	۹۵	۹۵	۹۷	۵	۵۲	۱۰۰	۸/۱	۱/۴	۳	۶	۳
R1	۳۸۴۸	۵۰۸	۹۹	۷۳	۳۶	۳۲	۱۹	۶۸	۳۴	–	–	۴	۷	۴
R2	۳۶۴۵	۴۹۳	۹۹	۷۷	۳۶	۲۸	۱۸	۶۶	۴۵	–	–	۴	۷	۴
R3	۳۶۲۶	۴۷۰	۹۸	۷۲	۳۶	۲۴	۱۷	۶۷	۵۷	–	–	۳	۶	۳
R4	۳۴۴۲	۴۲۸	۹۵	۸۰	۳۵	۳۳	۱۶	۶۶	۷۰	–	–	۳	۶	۳
R5	۳۲۸۲	۳۹۷	۸۰	۷۹	۴۷	۴۵	۱۲	۷۰	۸۵	–	–	۳	۶	۳
R6	۲۷۸۶	۳۷۲	۷۸	۸۴	۵۴	۷۹	۱۰	۶۸	۹۶	–	–	۳	۶	۳
R7	۱۶۵۰	۳۵۵	۴۸	۹۶	۸۹	۹۸	۵	۵۰	۱۰۶	–	–	۳	۶	۳
RB	۲۵۸۴	۳۶۶	۹۸	۸۷	۷۰	۷۲	۸	۵۰	۱۰۰	۷/۹	۱/۴	۴	۷	۴

a : فاصله افقی بار از بدن b: ارتفاع محل برداشتن بار * داده‌ها مربوط به صدک ۹۵ جمعیت می‌باشد

Archive of SID
www.SID.ir

نیروی فشاری	۳۲۴۶ نیوتن
نیروی برشی	۴۳۵ نیوتن
لیگامنت استرین	٪۱۴
درصد افراد قادر به انجام شانه	٪۹۴
درصد افراد قادر به انجام تنه	٪۷۹
درصد افراد قادر به انجام لگن	٪۸۲
درصد افراد قادر به انجام زانو	٪۷۱
RWL	۰
LI	∞
امتیاز تنه	۵
امتیاز کل RULA	۷
سطح اقدام اصلاحی	۴

شکل ۱: نتایج اصلی 3DSSPP و Catia برای پوسچر B2 از وظیفه شماره ۱

چهارم باید میل لنگ را به بیرون بکشد(شکل۲). مشاهده می‌شود که این پوسچر به لحاظ بیومکانیکی وضعیت مناسبی داشته و تنها امتیازکل در ارزیابی پوسچر RULA در وضعیت نامناسب بوده که بیش‌تر به دلیل وضعیت قرارگیری دست‌ها بوده است. سطح اقدام اصلاحی برای این وضعیت نیز ۳ بوده که نشان دهنده‌ی بررسی بیش‌تر و اجرای مداخله ارگونومی در آینده‌ای نزدیک می‌باشد.

۳-حالت سوم در تخلیه پالت، برداشتن میل لنگ‌های افقی از کف پالت است که به‌دلیل خالی شدن نیمه‌ی جلویی پالت، میل لنگ های انتهای پالت به‌دلیل فاصله دسترسی بسیار زیاد، به کف پالت انداخته می شود تا به حد دسترسی کارگر نزدیک شود و فرد اپراتور نیز مجبور است با خمش شدید کمر و در فاصله افقی زیاد بار از بدن، بار را به‌صورت یک دستی از کف پالت بردارد. بدترین وضعیت بدنی در این حالت، مربوط به پوسچر B8 می باشد (شکل۳) که مشاهده می‌شود نیروی فشاری و برشی بیش از حد استاندارد NIOSH و لیگامنت استرین ۲۰٪ بوده که به نوبه‌ی خود نشان دهنده احتمال آسیب به بافت کمر می‌باشد.

درصد افراد قادر به انجام این وظیفه نیز برای زانو ۱۸٪ ودر وضعیت قرمز می‌باشد که علت اصلی آن خم شدن کارگر به داخل پالت جهت دسترسی به قطعه مورد نظر است. درصد توانایی تنه و لگن نیز در وضعیت زرد قرار داشته و تنها در مفصل شانه بیش از ۹۰٪ افراد قادر به انجام این وضعیت کاری می‌باشند.امتیازات تنه و امتیاز کل RULA نیز وضعیت قرمز را برای این پوسچر کاری نشان داده و سطح اقدام اصلاحی آن نیز

نیروی فشاری	۱۴۶۴ نیوتن
نیروی برشی	۳۳۸ نیوتن
لیگامنت استرین	٪۱
درصد افراد قادر به انجام شانه	٪۹۹
درصد افراد قادر به انجام تنه	٪۹۸
درصد افراد قادر به انجام لگن	٪۹۷
درصد افراد قادر به انجام زانو	٪۹۹
RWL	۱۲/۹
LI	۰/۸۵
امتیاز تنه	۲
امتیاز کل RULA	۵
سطح اقدام اصلاحی	۳

شکل ۲: نتایج اصلی 3DSSPP و Catia برای پوسچر B4 از وظیفه شماره ۱

Archive of SID
www.SID.ir

نیروی فشاری	۴۲۷۷ نیوتن
نیروی برشی	۵۲۱ نیوتن
لیگامنت استرین	٪۲۰
درصد افراد قادر به انجام شانه	٪۹۴
درصد افراد قادر به انجام تنه	٪۶۶
درصد افراد قادر به انجام لگن	٪۲۷
درصد افراد قادر به انجام زانو	٪۱۸
RWL	–
LI	-
امتیاز تنه	۵
امتیاز کل RULA	۷
سطح اقدام اصلاحی	۴

شکل ۳: نتایج اصلی 3DSSPP و Catia برای پوسچر B8 از وظیفه شماره ۱

۴ بوده که انجام مداخله فوری باید انجام گیرد.

وظیفه شماره۲: در این وظیفه فعالیتی که انجام می‌گیرد شامل برداشتن میل لنگ از سبد و گذاشتن در محل زدن خار و متعلقات می‌باشد(شکل۴). در این وظیفه نیز با توجه به جدول(۱) مشخص می شود که پوسچر Z4 بدترین وضعیت را در بین سایر پوسچرهای وظیفه ۲ دارا می‌باشد.

با مشاهده نتایج در کنار یک‌دیگر اولین نکته ای که به چشم می‌خورد وضعیت نامناسب مقادیر RWL و LI بوده که به دلیل فاصله بیش از حد مجاز بار از بدن تعریف نشده هستند. نیروی فشاری نیز در این پوسچر، نسبت به سایر پوسچرهای این وظیفه بیش‌تر بوده که با توجه به مقدار ۳۲۳۳ نیوتن برای صدک ۹۵ جمعیت، در حد مجاز می باشد. از طرفی لیگامنت استرین ۱۰٪ وجود احتمال تغییر شکل بافت دیسک و در نتیجه آسیب به بافت دیسک را نشان می‌دهد. هم‌چنین با توجه به ارزیابی پوسچر RULA، سطح اقدام اصلاحی برای این وضعیت ۳ بوده که نیاز به بررسی و مداخله ارگونومی در آینده ای نزدیک را دارد.

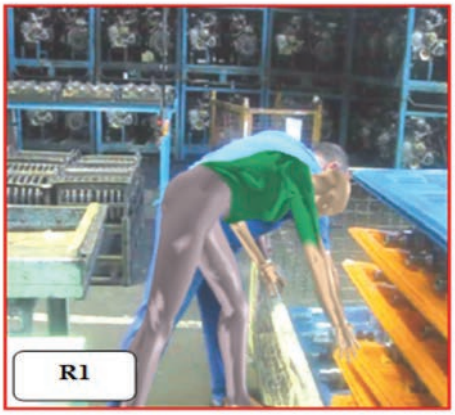
وظیفه شماره۳:

در این وظیفه شغلی، فرد قطعات را از محل زدن خار به میل لنگ برداشته و در داخل پالت قرار می دهد (شکل۵) به‌طوری‌که ۷ ردیف میل لنگ بر روی هم قرار گیرند. با توجه به جدول (۱) مشخص شد که مشکل عمده در انجام این وظیفه ارتفاع بسیار پایین محل گذاشتن میل لنگ‌ها بوده، به‌طوری‌که ردیف اول (R1) که در کف پالت قرار دارد سبب خمش شدید کمر در لحظه گذاشتن

نیروی فشاری	۳۲۳۳ نیوتن
نیروی برشی	۳۸۹ نیوتن
لیگامنت استرین	٪۱۰
درصد افراد قادر به انجام شانه	٪۹۶
درصد افراد قادر به انجام تنه	٪۶۹
درصد افراد قادر به انجام لگن	٪۴۵
درصد افراد قادر به انجام زانو	٪۲۹
RWL	۰
LI	∞
امتیاز تنه	۳
امتیاز کل RULA	۶
سطح اقدام اصلاحی	۳

شکل ۴: نتایج اصلی 3DSSPP و Catia برای پوسچر Z4 از وظیفه شماره ۲

Archive of SID
www.SID.ir



نیروی فشاری	۳۸۴۸ نیوتن
نیروی برشی	۵۰۸ نیوتن
لیگامنت استرین	٪۱۹
درصد افراد قادر به انجام شانه	٪۹۹
درصد افراد قادر به انجام تنه	٪۷۳
درصد افراد قادر به انجام لگن	٪۳۶
درصد افراد قادر به انجام زانو	٪۳۲
RWL	–
LI	–
امتیاز تنه	۴
امتیاز کل RULA	۷
سطح اقدام اصلاحی	۴

شکل ۵: نتایج اصلی 3DSSPP و Catia برای پوسچر R4 از وظیفه شماره ۳

جدول ۲: مقادیر نیروی فشاری با در نظر گرفتن ارتفاع‌های مختلف کف پالت در وظیفه۳

صدک و اپراتورها / ارتفاع کف پالت	صدک۵	صدک۵۰	صدک ۹۵	فرد۱	فرد۲
V=۴	**۲۱۵۱**	**۲۵۸۲**	۲۹۶۵	**۲۳۳۶**	۲۸۴۴
V=۹	**۲۳۱۳**	**۲۷۵۱**	۳۲۰۹	**۲۵۳۱**	۳۱۵۴
V=۱۴	**۲۴۷۱**	**۲۹۸۷**	۳۴۶۷	**۲۷۷۱**	۳۳۸۶
V=۱۹	**۲۶۲۸**	**۳۱۷۲**	۳۶۶۸	**۲۹۷۴**	۳۶۱۷
V=۲۴	**۲۶۸۷**	**۳۲۰۷**	۳۷۴۳	**۳۰۱۱**	۳۶۸۸
V=۲۹	**۲۶۹۰**	**۳۱۹۹**	۳۷۲۱	**۲۹۹۸**	۳۶۵۹
V=۳۴ (ارتفاع واقعی کف پالت)	**۲۶۹۴**	**۳۲۶۲**	۳۸۴۸	**۲۹۸۳**	۳۶۹۶
V=۳۹	**۲۶۵۷**	**۳۱۲۷**	۳۶۱۱	**۲۹۴۴**	۳۵۷۹
V=۴۴	**۲۶۱۸**	**۳۰۹۰**	۳۵۷۳	**۲۹۰۱**	۳۵۰۷
V=۴۹	**۲۵۷۹**	**۳۰۳۵**	۳۵۱۲	**۲۸۳۵**	۳۴۲۲
V=۵۴	**۲۵۴۲**	**۲۹۵۶**	**۳۳۹۵**	**۲۸۱۶**	**۳۳۹۰**
V=۵۹	**۲۴۲۹**	**۲۸۷۹**	**۳۳۱۲**	**۲۷۰۷**	**۳۲۲۶**
V=۶۴	**۲۳۹۰**	**۲۷۶۴**	**۳۱۸۱**	**۲۵۹۲**	**۳۱۰۰**

اعداد Bold در جدول، نقاطی هستندکه هر دو نیروی فشاری و برشی در حد مجاز می‌باشند.

بار می‌شود. نیروی فشاری اعمال شده بر دیسک L5/S1 در افراد با صدک ۹۵، تا ردیف سوم و تا حدودی ردیف چهارم نیز بیش از حد مجاز می‌باشد. طبق جدول(۱) مشاهده شد که با افزایش ارتفاع محل گذاشتن بار مقدار لیگامنت استرین نیز کاهش یافته است. از لحاظ ارزیابی پوسچر RULA، دو ردیف پایین در اولویت اجرای مداخله ارگونومی می‌باشند چنان‌که ملاحظه می‌شود برای این دو ردیف امتیاز تنه ۴، امتیاز کل RULA برابر ۷ و سطح اقدام اصلاحی نیز ۴ می‌باشد. از سویی در این جدول مشخص است که با افزایش ارتفاع محل گذاشتن بار، میزان درصد افراد قادر به انجام وظیفه افزایش یافته است.

با توجه به نتایج فوق مشخص شد که وظیفه ۱و۳ به‌دلیل ارتفاع پایین کف پالت و ایجاد خمش شدید در کمر دارای بیش‌ترین احتمال آسیب به کمر بودند. در نتیجه

www.SID.ir

جدول ۲: مقادیر نیروی فشاری با توجه به نقاط افقی و عمودی پالت در وظیفه ۱

ارتفاع / فاصله افقی		H=۳۰	H=۳۵	H=۴۵	H=۵۲	H=۵۹	H=۶۶	H=۷۳	H=۸۰	H=۸۷	H=۹۴
V=۳۶ برداشتن ازکف پالت	صدک۵	-	-	۲۲۹۳	۲۴۲۰	۲۵۵۹	۲۷۳۰	۲۸۴۸	۲۹۸۴	۳۱۴۰	۳۱۷۰
	صدک۵۰	-	-	۲۷۹۸	۲۸۷۷	۳۰۲۲	۳۱۵۷	۳۳۰۵	۳۴۷۵	۳۶۴۶	۳۷۹۸
	صدک۹۵	-	-	۳۲۹۴	۳۴۳۶	۳۵۸۱	۳۷۳۰	۳۸۸۴	۴۰۵۰	۴۲۲۶	۴۳۱۷
	فرد۱	-	-	۲۵۷۲	۲۷۱۵	۲۸۳۰	۳۰۳۸	۳۱۲۱	۳۲۸۷	۳۴۷۳	۳۵۳۱
	فرد۲	-	-	۳۲۰۸	۳۳۱۸	۳۴۵۷	۳۶۰۴	۳۷۸۰	۳۹۵۳	۴۱۵۲	۴۳۰۰
V=۸۰ برداشتن میل لنگ های عمودی	صدک۵	۱۲۱۲	-	۱۵۹۰	-	۲۰۷۰	-	-	-	-	-
	صدک۵۰	۱۳۸۱	-	۱۹۰۹	-	۲۳۸۲	-	-	-	-	-
	صدک۹۵	۱۷۵۶	-	۲۲۷۱	-	۲۶۲۱	-	-	-	-	-
	فرد۱	۱۲۹۰	-	۱۷۲۰	-	۲۱۵۵	-	-	-	-	-
	فرد۲	۱۶۱۵	-	۲۱۷۳	-	۲۵۸۶	-	-	-	-	-
V=۹۴ برداشتن میل لنگ‌های افقی	صدک۵	-	۱۳۲۹	-	-	۲۲۰۱	-	۲۶۳۰	-	-	-
	صدک۵۰	-	۱۵۱۴	-	-	۲۵۰۷	-	۲۹۷۶	-	-	-
	صدک۹۵	-	۱۹۷۷	-	-	۲۹۱۴	-	۳۲۴۶	-	-	-
	فرد۱	-	۱۴۵۳	-	-	۲۳۸۸	-	۲۸۴۰	-	-	-
	فرد۲	-	۱۷۳۸	-	-	۲۷۷۱	-	۳۱۵۷	-	-	-

تعیین دقیق تر نقاط خطر برای این دو وظیفه انجام گرفت.

تعیین دقیق نقاط خطر در وظایف ۱و۳ (تخلیه و بارگذاری پالت):

با توجه به قابلیت‌های ابزار مدل سازی دیجیتالی انسان مبنی بر ایجاد تغییر مستقیم در طراحی محیط کار بدون صرف وقت و هزینه، می‌توان نقاط بسیاری هم‌چون فواصل افقی و عمودی را در محیط دیجیتالی بررسی کرده تا محدوده ایده‌آل برای طراحی را به‌دست آوریم (جدول۲و۳).

بحث

در این مطالعه با بررسی پرسشنامه نوردیک مشخص شد که ۷۹/۶٪ افراد جمعیت مورد مطالعه دچارکمردرد هستند. ایستگاه های با خطر بالای کمردرد در این مطالعه شامل ایستگاه شستشوی میل لنگ، شستشوی دنده فلایویل ۱(بارگذاری)، مونتاژ سرسیلندر، شستشوی دنده فلایویل۲(بارگذاری) و شستشوی دنده فلایویل ۲(تخلیه) بودند که ایستگاه شستشوی میل لنگ به عنوان ایستگاه مورد نظر جهت شبیه سازی و ارزیابی ارگونومی انتخاب گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی و ارزیابی وظایف نشان داد که نیروی فشاری و برشی با افزایش فاصله افقی بار از بدن، کاهش ارتفاع محل گذاشتن و برداشتن بار و افزایش صدک آنتروپومتریکی افراد افزایش یافت. مقدار لیگامنت استرین در پوسچرهای دارای خمش شدید بیش‌تر بود که احتمال آسیب بیشتر به بافت‌های کمر را نشان می‌داد. با توجه به جدول ۲و۳ مشخص شد که نقاط خطر در وظایف ۱و۳ عمدتاً در نواحی پایین پالت و فاصله افقی زیاد بار از بدن بوده و محدوده ایده آل برای ارتفاع کف پالت در وظیفه ۳ ، افزایش حداقل ۱۵ سانتی‌متری ارتفاع کف پالت بود. در وظیفه۱ نیز برای ارتفاع کف پالت، افزایش ۲۰ سانتی‌متری به فاصله ۵ سانتی‌متر را انجام داده و مشخص شد که ارتفاع ۲۰-۱۰ سانتی‌متری کف پالت محدوده مناسب بوده و فاصله افقی بار از بدن نیز نباید از ۵۹ سانتیمتر تجاوز نماید. علل احتمال بروز کمردرد در این مطالعه، ابعاد بدنی بزرگ‌تر، فاصله افقی بار از بدن، ارتفاع پایین محل برداشتن و گذاشتن بار، خمش و پیچش شدید کمر و تکرار بالا بود. راهکار افزایش پالت که در این مطالعه باعث کاهش استرس های کمر شد، با نتایج چانگ و همکاران(Chang and Wang, 2007)، ژاکوویاک (Jaszkowiak, 2003)، ژانگ و همکاران (Zhang, *et al.*, 2007) همخوانی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی علل کمردردهای شغلی با استفاده از مدل سازی دیجیتالی انسان در وظایف حمل دستی بار انجام گرفت. این پژوهش نشان داد که DHM، ابزاری مؤثر در ارزیابی وظایف شغلی و طراحی محیط کار بوده، به‌طوری‌که در این مطالعه با به‌دست آوردن نیروهای فشاری و برشی در ارتفاع‌های مختلف کف پالت، نقاط خطر وظیفه شناسایی شد و سپس با همپوشانی نقاط امن در هر دو نیروی فشاری و برشی، به محدوده طراحی ایمن رسید و با استفاده از آن‌ها به نقاط ایده‌آل در طراحی دست یافته شد. هم‌چنین مدل سازی دیجیتالی انسان یک روش مؤثر جهت ارزیابی علل بیومکانیکی کمردردهای شغلی بود که احتمال بروزکمردرد در یک وظیفه را به‌طور سریع و بدون صرف هزینه و زمان خاصی به ما نشان داد بنابراین می‌توان راهکار مداخله ای مورد نظر جهت حذف یا کاهش اثر یک عامل خطر را در محیط دیجیتالی اجرا کرد و با ارزیابی راهکار مورد نظر به وضعیت امن و مناسب در طراحی رسید که پس از اطمینان از اثربخش بودن راهکار، می‌توان آن را در محیط واقعی اجرا نمود.

منابع

1. Chang, SW.; Wang, MJ., (2007). Digital Human Modeling And Workplace Evaluation: Using An Automobile Assembly Task As An Example, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing., 17(5), 445-455
2. Hamameh, R.; (2010). Digital Human Models Of People With Disabilities[MSc Thesis], Detroit. Michigan, Wayne State University.
3. Jaszkowiak, MN., (2003). A Preliminary Study Of The Effectiveness Of A Safety And Health Ergonomic Intervention For Manual Scrap Metal Sorting [MSc Thesis], University Of Cincinnati.
4. Naumann, A.; Roetting, M., (2007). Digital Human Modeling For Design And Evaluation Of Human-Machine Systems, MMI-Interaktiv, 12, 27-35
5. Sadeghi, Sh.; Nourgostar, S.; Alibeigi, N.; Bidari, A., (2006). Demographic Differences among Workers with and without Chronic Occupational Low Back Pain in a Steel Plant, IJOS, 2(14), 143-148.(in Persian)
6. Violante, F.; Armstrong, T.; Kilbom, Å., (2000). Occupational Ergonomics: Work Related Musculoskeletal Disorders Of The Upper Limb And Back, 1rd. Ed. London: Taylor & Francis.
7. Wilson, R M.; (2006). An Innovative Approach For Assessing The Ergonomic Risks Of Lifting Tasks Using A Video Motion Capture System[MSc Thesis], California. Naval Postgraduate School.
8. Zhang, B.; Casado, E Á.; Sandoval, S T.; Mondelo, P., (2007). Using ergonomic digital human modeling in evaluation of workplace design and prevention of occupational hazards onboard fishing vessel, Online available: upcommons. upc.edu/e-prints/bitstream/2117/8419/1/1417_posture_vessels .pdf

Archive of SID
www.SID.ir