



تأثیر طراحی خطوط مونتاژ بر اساس تکنیک‌های مهندسی بر بهره‌وری و فاکتورهای ارگونومی

سیده فاطمه موسوی^۱، مهناز صارمی^۲، احمد علی بابایی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۳۰

تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: در صنایع مونتاژی دستی، مطالعه‌ی علمی، شناخت صحیح و دقیق فعالیت‌ها و زمان انجام آن‌ها با عنایت بر سلامت، ایمنی و رفاه انسان می‌تواند بهره‌وری را افزایش دهد. هرچند تأثیر مثبت مداخلات مهندسی بر بهره‌وری تولید مشهود است لیکن اثرگذاری آن بر بهره‌وری نیروی انسانی ناشناخته می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر طراحی خطوط مونتاژ دستی بر اساس تکنیک‌های مهندسی بر روی بهره‌وری و برخی فاکتورهای ارگونومیکی نظیر ناراحتی‌های اسکلتی - عضلانی، پوسچر کاری و میزان خستگی اپراتورهای خط مونتاژ است.

روش بررسی: این پژوهش در خط مونتاژ اجاق گاز توکار که سی مونتاژکار مرد در آن مشغول به کار بودند انجام شد. در این تحقیق، روش‌های مطالعه‌ی کار (مطالعه روش: دیگرام جریان و نمودار فرایند جریان؛ مطالعه حرکت-زمان: تکنیک MTM-1) به‌عنوان تکنیک‌های مهندسی و پرسشنامه Body Map، روش ارزیابی پوسچر REBA و پرسشنامه چندبعدی خستگی MFI به‌عنوان ارزیابی‌های ارگونومیکی استفاده گردید. سپس بر اساس نتایج حاصل و صرفاً با تمرکز بر تکنیک‌های مهندسی (مطالعه روش و زمان)، اصلاحاتی در جهت بهبود فرایند و عملیات مونتاژ پیاده‌سازی شد و مجدداً متغیرهای کار و زمان و فاکتورهای ارگونومیکی بعد از ۱۲ هفته مورد ارزیابی قرار گرفتند تا اثربخشی طراحی مجدد بر بهره‌وری و فاکتورهای ارگونومیکی مشخص گردد.

یافته‌ها: طراحی مجدد فرایند مونتاژ، منجر به کاهش ۸/۸ دقیقه‌ای زمان فعالیت‌ها و افزایش ۲۱٪ بهره‌وری گردید لیکن شیوع و شدت ناراحتی‌های اسکلتی - عضلانی در اکثر اندام‌های بدن پس از طراحی مجدد فرایند افزایش یافت. هیچ تغییری در میزان خستگی کل و پوسچرهای کاری اپراتورها مشاهده نشد. **نتیجه‌گیری:** اگرچه افزایش بهره‌وری از طریق کاربرد تکنیک‌های مهندسی طراحی خطوط مونتاژ امکان‌پذیر است لیکن اجرای چنین مداخلاتی ممکن است اپراتورها را در معرض ناراحتی‌های اسکلتی - عضلانی بیشتری قرار دهد. توصیه می‌شود هنگام طراحی خطوط مونتاژ، علاوه بر تکنیک‌های مهندسی معمول، اصول طراحی ارگونومیکی نیز مدنظر قرار داده شود.

کلیدواژه‌ها: طراحی مجدد، مهندسی مونتاژ، بهره‌وری، ارگونومی.

مقدمه

طراحی سیستم‌های مونتاژ به انجام رساندند. تمامی این مطالعات بر روی بالانس و توالی فرایندها متمرکز بوده و راه‌حل‌های دقیق و یا ابتکاری مرتبط با پیکربندی‌های مختلف خط مونتاژ را ارائه داده‌اند [۴]. مطالعات دیگری با تکیه بر سیستم‌های زمان‌سنجی نشان دادند که حذف فعالیت‌های غیر بهره‌ور، زمان انجام فعالیت را کاهش و بهره‌وری تولید را افزایش می‌دهد [۵و۶].

هرچند بسیاری از تحلیل‌های ارگونومی در مورد فعالیت‌های انسانی ریشه در ارزیابی کار و زمان دارد [۷] و پایه و اساس مهندسی تولید را تشکیل می‌دهند، اما این روش‌ها تنها چند فاکتور محدود ارگونومیکی همچون شناسایی فعالیت‌های غیر بهره‌ور، فاصله‌ی دسترسی در

امروزه خطوط مونتاژ از مهم‌ترین اجزاء بسیاری از سیستم‌های ساخت و تولید هستند. موضوع بهره‌وری خطوط مونتاژ در صنایع مختلف از مباحثی است که در تمام جهان و در کشور ما با جدیت دنبال می‌شود به طوری که افزایش بهره‌وری در تمامی سازمان‌های صنعتی، از جمله اهداف اساسی تلقی می‌گردد. در مطالعات پیشین، غالباً سیستم‌های صنعتی از طریق تکنیک‌های مهندسی برنامه‌ریزی و طرح‌ریزی می‌شوند تا به واسطه کاهش زمان مونتاژ و افزایش میزان تولید، زمینه بهبود بهره‌وری فراهم گردد [۱-۳]. بکر و اسچول (۲۰۰۶) مرور مفصلی بر ادبیات منتشر شده پیرامون

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ارگونومی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) استادیار گروه ارگونومی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. m.saremi@sbmu.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

بهره‌وری نیروی انسانی ناشناخته است. مرور مطالعات پیشین پاسخی برای تأثیر طراحی خطوط مونتاژ دستی بر اساس اصول مهندسی تولید بر فاکتورهای انسانی از قبیل خستگی، میزان درد و ناراحتی، میزان استرس فیزیکی-روانی، پوسچر کاری و ... ارائه نمی‌دهد. با توجه به مطالب فوق‌الذکر این سؤال مطرح می‌شود که آیا اصلاحات برگرفته از تکنیک‌های مهندسی خطوط مونتاژ دستی که با هدف افزایش بهره‌وری تولید انجام می‌شوند، بهره‌وری نیروی انسانی را نیز بهبود می‌بخشند؟ به بیان دقیق‌تر، با انجام اصلاحاتی نظیر حذف فعالیت‌های غیر بهره‌ور و کاهش زمان تولید، شرایط اپراتور انسانی دستخوش چه تغییراتی می‌گردد؟ در کشور ما، روند تولید در بسیاری از صنایع هنوز بر پایه روش‌های سنتی و دستی استوار است و افزایش تولید یکی از مهم‌ترین راهکارهای بهبود وضعیت اقتصادی محسوب می‌شود. لیکن متأسفانه فقدان مطالعاتی که به بررسی پیامدهای ناشی از طراحی مجدد سیستم‌های مونتاژ بر روی نیروی انسانی پرداخته باشند کاملاً مشهود است؛ بنابراین در مطالعه‌ی حاضر که در یک صنعت تولید لوازم خانگی انجام شد، ابتدا فرایند مونتاژ با استفاده از تکنیک‌های مهندسی بازطراحی گردید تا اثربخشی اصلاحات به عمل آمده بر الف) بهره‌وری تولید و ب) فاکتورهای انسانی (پوسچر، دردهای اسکلتی - عضلانی و احساس خستگی) مورد بررسی قرار گیرد. یافته‌های حاصل از چنین مطالعاتی می‌تواند در طراحی بهتر خطوط مونتاژ و بهبود بهره‌وری آن‌ها کاربرد داشته باشد و پیشنهاد می‌شود صنایع مختلف رویکردی ترکیبی از مداخلات مهندسی و ارگونومی را به صورت همزمان پیاده‌سازی و اجرا نمایند.

روش بررسی

مطالعه حاضر در یک صنعت ساخت و مونتاژ اجاق گاز توکار انجام شد. کارخانه مورد نظر سالانه ۴۵۰۰۰ گاز رومیزی در مدل‌ها و اندازه‌های مختلف مونتاژ و تولید می‌کند. خط مونتاژ از سه مرحله تشکیل می‌گردد. مرحله اول خط پیش مونتاژ، مرحله‌ی دوم عملیات تست

ایستگاه کار و درصدی از زمان به‌عنوان فراخی‌های مجاز برای رفع خستگی، نیازهای شخصی و ... را در نظر می‌گیرند و سایر ریسک فاکتورهای ارگونومیکی از جمله وضعیت استاتیک طولانی‌مدت، پوسچر کاری در نواحی مختلف بدن، میزان استرس‌های فیزیکی-روانی وارد بر نیروی انسانی، نیروهای وارد بر اندام‌های بدن، دردهای اسکلتی - عضلانی و شرایط محیطی کار و ... را در بر نمی‌گیرند.

از نقطه‌نظر ارگونومی، در بسیاری از مشاغل مونتاژ کاری دستی، از یکسو اندام‌های فوقانی (دست، مچ، بازو) در معرض ریسک فاکتورهایی نظیر تکرار فعالیت، اعمال نیرو، ارتعاش، پوسچر بدنی نامناسب و فقدان زمان بازیابی قرار دارند و از سوی دیگر ستون فقرات، اندام تحتانی و بعضاً گردن برای مدت طولانی در وضعیت استاتیک قرار می‌گیرند [۸]. چنین شرایطی خطر ابتلا به بیماری‌های شغلی در این نوع صنایع را تشدید می‌کند. مطالعات متعدد شیوع ناراحتی‌های اسکلتی - عضلانی وابسته به کار را در مونتاژکاران به‌ویژه در نواحی گردن، کمر، شانه، بازو و مچ گزارش کرده‌اند [۹ و ۱۰].

عوامل تولیدی مؤثر بر بهره‌وری صنایع عبارت‌اند از مواد، ماشین‌آلات، سرمایه، انرژی، دانش فنی و نیروی انسانی. لیکن ارزش همه عوامل یکسان نیست؛ به‌نحوی که تقریباً همه صاحب‌نظران و سرشناسان صنایع جهان، منابع انسانی را اساسی‌ترین عامل تلقی کرده و بر این باورند که تهیه و توسعه‌ی سایر عوامل می‌تواند از افزایش بهره‌وری نیروی انسانی ناشی شود [۱۱].

در صناعی که نقش اساسی تولید بر عهده نیروی انسانی است و عموماً کار ماهیت تکراری دارد، تکنیک‌های مطالعه کار که تکیه‌گاه اصلی آن‌ها بر عملیات تولید دستی استوار است نتایج قابل قبولی را در زمینه افزایش کارایی به همراه داشته‌اند [۵ و ۶ و ۱۲]. لیکن به‌طور مسلم هرگونه مطالعه یا مداخله در عملیات تولیدی، مشارکت نیروی انسانی را می‌طلبد و قاعداً پیامدهایی را نیز در بردارد؛ به‌عبارت‌دیگر، هرچند با استناد به شواهد پیشین، تأثیر مثبت مداخلات مهندسی بر بهره‌وری تولید مشهود است، لیکن اثرگذاری آن بر

و تجزیه و تحلیل روش فعلی کار می‌باشد [۱۱]. متدولوژی‌های شناخته شده در زمان‌سنجی عبارت‌اند از MOST, MTM-1, MTM-2, MTM-3. در این پژوهش، از تکنیک زمان‌سنجی MTM-1 استفاده گردید به دلیل آنکه این تکنیک به‌عنوان گسترده‌ترین سیستم مورد استفاده برای ارزیابی زمان استاندارد فعالیت‌های دستی مطرح است. این سیستم در سال ۱۹۴۸ شورای مهندسی روش‌ها در پیتسبورگ توسط هارولد مینارد و همکارانش به وجود آمد. MTM عبارت است از "تکنیکی که کلیه حرکات دستی و روش کار را به حرکت‌های پایه تقسیم نموده و به هر حرکت، استاندارد زمانی از قبل تعیین شده‌ای را (بر اساس طبیعت و شرایط انجام حرکت) تخصیص می‌دهد" [۱۳ و ۱۴]. واحد زمانی این سیستم^۴ TMU است (ثانیه ۰/۰۳۶ = ۱ TMU). طبق روش MTM-1 ابتدا زمان نرمال با واحد TMU به دست می‌آید که با استفاده از رابطه‌ی فوق تبدیل به ثانیه می‌شود. با در نظر گرفتن زمان نرمال و زمان الونس^۵ کار و فرمول زیر می‌توان زمان استاندارد را محاسبه کرد.

(الونس - ۱) / (۱ × زمان نرمال (ثانیه)) = زمان استاندارد (ثانیه)

مطالعه و ارزیابی ارگونومیکی: به منظور تعیین میزان شیوع علائم اختلالات اسکلتی-عضلانی در اندام‌های گوناگون بدن کارگران از Body Map استفاده شد. به کمک این پرسشنامه می‌توان اندام‌های درگیر با ناراحتی‌های اسکلتی - عضلانی را شناسایی کرد [۱۵]. این پرسشنامه منضم به سؤالاتی در زمینه‌ی مشخصات فردی از قبیل سن، قد، وزن و سابقه کار بود. از افراد خواسته شد تا علاوه بر تعیین ناحیه درد بر روی تصویری از نمای کلی بدن، شدت آن را بر روی مقیاس لیکرت از صفر (بدون هیچ‌گونه ناراحتی) تا ۱۰ (بیشترین ناراحتی) علامت بزنند. پرسشنامه‌ها در دو مرحله میان همه‌ی کارگران (۳۰ نفر) توزیع شد. مرحله اول، در آغاز مطالعه و

محصول نیمه ساخته و در مرحله سوم محصول نیمه ساخته وارد خط مونتاژ نهایی و بسته‌بندی می‌گردد. در مجموع سه مرحله خط مونتاژ شامل ۲۴ ایستگاه کار و ۳۰ نفر نیروی انسانی می‌باشد. در این پژوهش، از روش‌های مطالعه‌ی کار (مطالعه روش: دیاگرام جریان و نمودار فرایند جریان؛ مطالعه زمان: تکنیک MTM^۱-1) به‌عنوان تکنیک‌های مهندسی و از پرسشنامه Body Map، روش ارزیابی پوسچر^۲ REBA و پرسشنامه چندبعدی خستگی MFI^۳ به‌عنوان ارزیابی‌های ارگونومیکی در خط مونتاژ اجاق‌گازهای توکار استفاده گردید. سپس بر اساس نتایج حاصل و صرفاً با تمرکز بر تکنیک‌های مهندسی (مطالعه روش و زمان)، اصلاحاتی در جهت بهبود فرایند و عملیات مونتاژ پیاده‌سازی شد و مجدداً متغیرهای کار و زمان، ناراحتی‌های اسکلتی - عضلانی، پوسچرکاری و خستگی مونتاژکاران مورد ارزیابی قرار گرفتند تا اثربخشی مداخلات اجرا شده بر بهره‌وری و فاکتورهای ارگونومیک مشخص گردد. روش گردآوری داده‌ها و مراحل انجام مطالعه به شرح زیر می‌باشد.

مطالعه و ارزیابی کار و زمان: در مطالعه‌ی حاضر، از دیاگرام جریان به منظور ارائه‌ی تصور چیدمان ساختمان و بخش‌های تولیدی، به‌طوری‌که محل فعالیت‌ها و پروسه تولید به‌صورت گام به گام مشخص شود استفاده شد. از طریق دیاگرام جریان می‌توان عملیات زائد همچون رفت‌وآمدهای بی‌مورد، بازرسی‌های تکراری، انبارش‌های بیش از حد و ... را کشف و با حذف آن‌ها کارایی عملیات را افزایش داد. همچنین از نمودار فرایند جریان به منظور مستندسازی وضعیت موجود و توالی فعالیت‌ها در ایستگاه‌های کار استفاده گردید. این نمودار، مجموعه‌ای از اطلاعات را به‌صورت گرافیکی خلاصه‌سازی نموده و تصویری از عملیات ایجاد می‌کند. کاربرد نمودار فرایند جریان در تشخیص روش تولید، ثبت زمان عملیات تولید، تعیین مسافت‌های پیموده شده و نوع وسیله حمل و نقل

^۱ Method-Time Measurement (MTM)

^۲ Rapid Entire Body Assessment

^۳ Multidimensional Fatigue Inventory

^۴ Time Measurement Unit

^۵ Allowance

مرحله دوم ۱۲ هفته بعد از طراحی مجدد فرایند بود. طراحی مجدد فرایند مونتاژ: دیاگرام جریان، نمودار فرایند جریان و تکنیک زمان‌سنجی MTM-1 به کار گرفته می‌شود تا عملیات زائد و غیر بهره‌ور موجود در فرایند شناسایی، ترتیب و توالی عملیات مشخص و زمان انجام فعالیت‌های ضروری و غیرضروری تعیین گردد. پس از ثبت اطلاعات با استفاده از تکنیک‌های مذکور، این امکان فراهم می‌شود تا راه‌حلی برای طراحی مجدد فرایند مونتاژ بیابیم و عملیات زائد را با عملیات بهره‌ور و دارای ارزش افزوده و توالی صحیح انجام عملیات را با ترتیب فعلی انجام کار جایگزین نماییم. همچنین عملیات ضروری و مفید را تا حد امکان ساده‌سازی کنیم و در نهایت به زمان بهینه‌ی تولید محصول دست یابیم. شرح کامل جزئیات مربوط به طراحی مجدد در بخش نتایج آمده است.

تعیین میزان بهره‌وری: در مطالعه حاضر، به منظور تعیین میزان کارایی و بهره‌وری از شاخص "درصد زمان صرفه‌جویی شده" استفاده کردیم [۱۱]. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

= شاخص درصد زمان صرفه‌جویی شده

$$\frac{(\text{زمان تولید محصول در روش جدید}) - (\text{زمان تولید محصول در روش قدیمی})}{(\text{زمان تولید محصول در روش قدیمی})} \times 100$$

روش‌های آماری: آنالیز نتایج با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و آزمون T-test به کمک نرم‌افزار Origin Pro 8 انجام شد.

یافته‌ها

ارزیابی کار و زمان قبل از طراحی مجدد: همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، فرایند مونتاژ دستی اجاق گاز توکار در کارخانه موردنظر شامل سه مرحله می‌باشد.

مرحله اول: مرحله پیش مونتاژ محصول است که در ۱۲ ایستگاه کاری انجام می‌گردد، بدین ترتیب که قطعات کوچک‌تر به صورت جداگانه در ایستگاه‌های ۲، ۱، ۴، ۳،

قبل از بهبود و مرحله دوم ۱۲ هفته بعد از بهبود فرایند بود.

در ادامه به منظور ارزیابی پوسچر و تعیین سطح خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی، روش REBA انجام شد. این روش از سویی عمومیت بالا و از سوی دیگر از حساسیت قابل قبولی برخوردار است و امکان ارزیابی سریع کل بدن را فراهم می‌کند. در سال ۲۰۰۰، روش REBA توسط هیگنت و مک آتمنی به منظور ارزیابی پوسچر در فعالیت‌های متنوع شغلی ابداع گردید. در این روش وضعیت پوسچر کاری تنه، گردن، پاها، بازوها، مچ دست‌ها، نیروی اعمال شده، وضعیت جفت شدن دست به بار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۱۶]. شناسایی و ارزیابی ریسک پوسچرهای نامطلوب با مشاهده مستقیم کارگران در حین انجام کار صورت گرفت. سپس امتیاز گذاری به کمک کاربرگ مربوطه انجام شد.

از طرفی، چون کار مونتاژ ماهیتی یکنواخت و تکراری همراه با سرعت زیاد و مدت زمان طولانی انجام کار دارد یکی دیگر از مسائل ارگونومیکی که بهتر است در خط مونتاژ مورد توجه قرار داده شود میزان خستگی اپراتور است. خستگی یک مفهوم پیچیده است، یک عارضه که به‌عنوان "افت کارایی و عدم تمایل برای هر نوع تلاش" تعریف می‌شود [۱۷]. در مطالعه‌ی حاضر از نسخه فارسی پرسشنامه‌ی سنجش چندبعدی خستگی (MFI) برای اندازه‌گیری و ارزیابی خستگی نیروی کار استفاده شد. این پرسشنامه توسط اسمتس در سال ۱۹۹۶ ارائه شد. این پرسشنامه شامل پنج بعد خستگی عمومی، خستگی جسمانی، کاهش فعالیت، کاهش انگیزه و خستگی ذهنی است [۱۸]. پایایی و روایی نسخه فارسی پرسشنامه در مطالعات پیشین تأیید شده است [۱۹]. پرسشنامه شامل ۲۰ گویه است که بر اساس مقیاس ۵ امتیازی لیکرت (از ۱= بلی کاملاً درست است تا ۵= خیر کاملاً غلط است) امتیازدهی می‌شود و در نهایت جمع امتیازات بالاتر، حاکی از خستگی بیشتر فرد می‌باشد. پرسشنامه MFI نیز در دو مرحله میان همه‌ی کارگران (۳۰ نفر) توزیع شد. مرحله اول، در آغاز مطالعه و قبل از طراحی مجدد و



جدول ۱- خلاصه نمودار فرایند جریان در کل فرایند مونتاژ قبل از طراحی مجدد

نوع وسیله جابه‌جایی	زمان (ثانیه)	جابه‌جایی	عملیات				فعالیت و نماد آن	
			انبارش	بازرسی	تأخیر	جابه‌جایی		
چرخ‌دستی، جک‌پالت، جابه‌جایی دستی	۹۲۶/۹	۲۰	۵	۵	۱	۶	۲۱	مرحله مونتاژ ۱- پیش مونتاژ
جابه‌جایی دستی	۲۰۱	۸	۳	۱	۱	۰	۱	۲- تست
جک پالت، نوار نقاله، جابه‌جایی دستی	۱۳۲۲/۴۵	۱۳۲	۱۲	۵	۳	۵	۱۳	۳- مونتاژ نهایی و بسته‌بندی
-	۲۴۵۰/۳۵	۱۶۰	۲۰	۱۱	۵	۱۱	۳۵	مجموع

فرایند جریان قبل از طراحی مجدد برای هر سه مرحله مونتاژ در جدول ۱ آورده شده است.

طراحی مجدد: طرح‌های مؤثر در بهبود فرایند مونتاژ با هدف کاهش عملیات زائد از جمله انبارش، تأخیر و جابه‌جایی بررسی و طراحی مجدد سیستم مونتاژ به شرح ذیل اجرا گردید:

۱- مرحله پیش مونتاژ: میز پیش مونتاژ را جابه‌جا و ۹۰ درجه چرخانیدیم. ایستگاه‌های کار را با توجه به ترتیب و توالی عملیات روی میز پیش مونتاژ مستقر کردیم تا ایستگاه‌های کاری مرتبط نزدیک یکدیگر قرار بگیرد و مسافت جابه‌جایی بین این ایستگاه‌ها به حداقل برسد. از سوی دیگر، به منظور کاهش موجودی انباشته در ایستگاه‌ها و حذف تأخیر ناشی از آن در ایستگاه‌های کاری ۱ تا ۵ سیستم تولید تک-قطعه‌ای^۷ را جایگزین سیستم تولید دسته‌ای نمودیم.

۲- مرحله تست: از آنجایی که بین ایستگاه تست و میز پیش مونتاژ فاصله بود، ایستگاه‌های تست به امتداد میز پیش مونتاژ، درست بین مرحله پیش مونتاژ و مرحله مونتاژ نهایی، انتقال یافت تا کلیه عملیات زائد مانند مسافت جابه‌جایی، انبارش و تأخیر که در این مرحله وجود داشت حذف گردد.

۳- مرحله مونتاژ نهایی و بسته‌بندی: جهت حرکت نوار نقاله را تغییر دادیم به صورت محصول نیمه ساخته مستقیماً از ایستگاه تست روی نوار نقاله قرار داده شود و مونتاژ قطعات نهایی انجام گردد. این در حالی است که محصول فقط در یک طرف نوار نقاله حرکت می‌کند و

روی هم سوار شده، سپس همراه سایر قطعات داخلی اجاق گاز در ایستگاه‌های ۵ تا ۱۲ درون سینی پایه اجاق مونتاژ می‌شوند. از ایستگاه اول تا پنجم مونتاژ به صورت دسته‌ای^۶ انجام می‌شد.

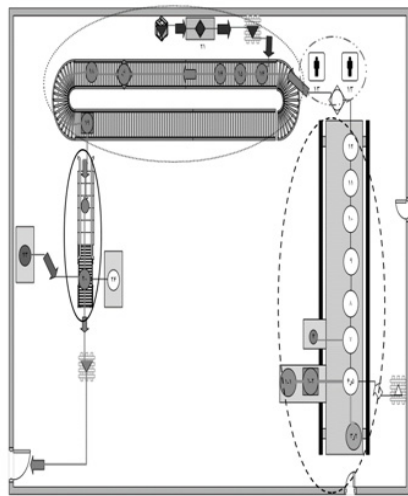
مرحله دوم: مرحله‌ی تست محصول پیش مونتاژ شده است (ایستگاه کاری ۱۳) و دو ایستگاه تست موازی را در بردارد. انشعابات داخلی اجاق، فن‌دک، ترموکوپل و میکروسوییچ تست می‌شود تا هیچ‌گونه نشستی گاز یا قطعه معیوب وجود نداشته باشد. ایستگاه‌های تست در فاصله‌ی ۸ متری از خط پیش مونتاژ قرار گرفته‌اند.

مرحله سوم: مرحله مونتاژ نهایی و بسته‌بندی است که ایستگاه‌های اصلی (۱۹-۱۴) و فرعی (۲۴-۲۱) را شامل می‌شود. مونتاژ در ایستگاه‌های اصلی روی نوار نقاله انجام می‌شود، محصول نیمه ساخته روی نقاله حرکت و قطعات بیرونی اجاق گاز مانند رویه، ولوم، آبگیر و ... روی آن مونتاژ می‌گردد. سپس در دستگاه شیرینگ (وکیوم اجاق گاز با روکش نایلونی) وکیوم شده و همراه با بسته محتوی دفترچه راهنما و برگ گارانتی و ... (ایستگاه کار ۲۲) و بسته سرشعله و کلاهک (ایستگاه کار ۲۳) در ایستگاه ۲۰ بسته‌بندی می‌گردد. شکل ۱، دیاگرام جریان را برای فرایند مونتاژ قبل از طراحی مجدد نشان می‌دهد.

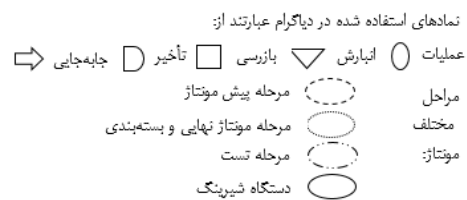
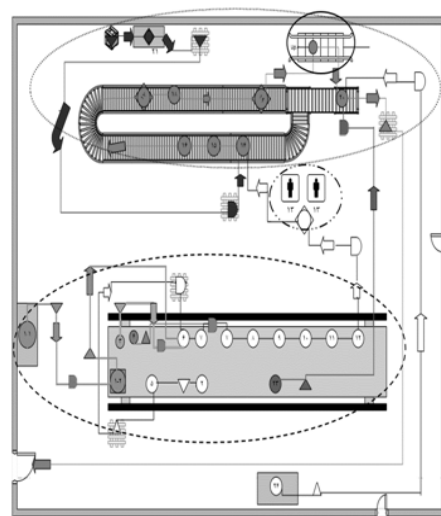
پس از ترسیم دیاگرام، نمودار فرایند جریان برای تمام فرایندها در هر سه مرحله مونتاژ و در ۲۴ ایستگاه کار به منظور مشخص نمودن روش تولید و ترتیب و توالی فعالیت‌ها، ثبت زمان عملیات، تعیین مسافت‌های پیموده شده و نوع وسیله حمل و نقل رسم شد. خلاصه‌ی نمودار

⁷. One-piece flow production

⁶. Batch



شکل ۲- دیاگرام جریان بعد از طراحی مجدد



شکل ۱- دیاگرام جریان قبل از طراحی مجدد

پیش مونتاژ (مونتاژ شیر و لوله اصلی گاز)، قبل و بعد از طراحی مجدد در جدول ۲ ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود، در این ایستگاه، تولید هر قطعه از محصول با یک مرحله انبارش و یک مرتبه تأخیر همراه بود که این فعالیت‌های زائد پس از طراحی مجدد حذف گردیدند. همچنین کاهش قابل توجهی در میزان مسافت جابه‌جایی اپراتور ایجاد گردید به طوری که مسافت جابه‌جایی از ۸ متر به صفر رسید. علاوه بر این، زمان عملیات نیز در این ایستگاه پس از اجرای طراحی مجدد به میزان ۲۵/۵ ثانیه کاهش یافت. چنین نموداری برای تمام ایستگاه‌های کاری در هر سه مرحله مونتاژ ترسیم و خلاصه نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود در فرآیند مونتاژ یک اجاق گاز، تعداد عملیات و بازرسی که به ترتیب ۳۵ و ۵ بود پس از اصلاح فرایند ثابت مانده، سایر فعالیت‌های زائد همچون انبارش (از ۱۱ به ۲)، تأخیر (از ۱۱ به ۱)، جابه‌جایی (از ۲۰ به ۱۰) و مسافت جابه‌جایی (از ۱۶۰ متر به ۳۰ متر)

مسیر طولانی جابه‌جایی روی نوار به نصف کاهش می‌یابد. دستگاه شیرینگ و نقاله‌ی بسته‌بندی را با یک زاویه ۹۰ درجه نسبت به نوار نقاله به نزدیک درب خروجی کارگاه منتقل کردیم تا مسافت ۵۳ متری که برای جابه‌جایی محصول به خارج کارگاه پیموده می‌شد کوتاه و به ۱۰ متر کاهش یابد. ایستگاه‌های فرعی نیز در نزدیک‌ترین موقعیت نسبت به نوار نقاله و ایستگاه بسته‌بندی قرار گرفتند. همه تغییرات و طراحی مجدد فرایند مونتاژ در دیاگرام جریان شکل ۲ نشان داده شده است.

بررسی تأثیر طراحی مجدد بر بهره‌وری: همان‌طور که پیش‌تر بیان شد شکل ۱، دیاگرام جریان فرایند مونتاژ قبل از طراحی مجدد و شکل ۲ دیاگرام جریان پس از آن را نشان می‌دهند. مطابق با شکل ۲ ملاحظه می‌شود تغییرات منجر به چیدمان بهتر محیط کار، تسهیل و بهبود جریان مونتاژ شد.

نمودار فرایند جریان در اولین ایستگاه کاری مرحله



جدول ۲- نمودار فرایند جریان اولین ایستگاه کاری مرحله پیش مونتاژ (مونتاژ شیر و لوله اصلی گاز) قبل و بعد از طراحی مجدد

شرح عنصر کار	قبل از طراحی مجدد				بعد از طراحی مجدد				توضیحات
	مسافت (متر)	نوع حمل و نقل	ریسک لاکتور / ارگونومیکی	زمان	نماد				
					عملیات	جابه‌جایی	انبارش	بازرسی	
مونتاژ سرشلگی و واشر روی لوله	۶۸	۱۶۶		۶۴	۱۵۶۲				
سوهان کاری	۱۸۳	۴۱۶۶		۱۸۳	۴۱۶۶				
بستن سرشلگی	۱۰/۶	۲۷۵۲		۹	۲۲۱۷				
حمل لوله	۳	چرخ دستی	کشی/نقل دادن	۵	۱۲۸/۹				حمل با کشیدن یاغل دادن چرخ دستی همراه بوبنده از بهبود حذف شد
لوله ها روی چرخ دستی آماده مونتاژ شدن									
مونتاژ شیرها روی لوله	۴۶۸	۱۱۰۹۱		۳۳۶	۸۲۰۲				
نست	۳۶۶	۹۲۱		۳۶۶	۹۲۱				
انبارش لوله ها روی پالت کف زمین									انبارش روی پالت کف زمین باخم شدن همراه بود بعد از بهبود حذف شد
حمل لوله به ایستگاه بعد	۵	چک پالت		۷	۱۱۶۴				حمل با کشیدن یاغل دادن چرخ دستی همراه بوبنده از بهبود حذف شد
مجموع	۸			۱۳۲/۴	۱۰۶/۹				

جدول ۳- مقایسه فعالیت‌های نمودار فرایند جریان قبل و بعد طراحی مجدد در کل فرایند مونتاژ

فعالیت	نماد	قبل از طراحی	بعد از طراحی	تفاوت
عملیات		۳۶	۳۶	۰
انبارش		۱۰	۱	۹
بازرسی		۵	۵	۰
تأخیر		۱۰	۱	۹
جابه جایی	تعداد	۱۷۷	۸	۱۵۵/۵
زمان (ثانیه)	تعداد	۲۶۴۹/۷۶	۱۷۹۵/۶۶	۲۱۴۶/۱۲

کاهش یافت.

جدول ۴ زمان انجام فعالیت‌ها در ایستگاه‌های کاری برای قبل و بعد از طراحی با استفاده از تکنیک MTM-1 بر اساس TMU و زمان استاندارد نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود زمان تولید محصول ۲۴۵۰/۳۵ ثانیه بوده است که پس از اعمال تغییرات و بهبود جریان کار به ۱۹۲۱/۲۵ ثانیه کاهش یافت و موجب ۵۲۹/۱ ثانیه (۸/۸ دقیقه) صرفه‌جویی زمانی در تولید هر محصول گردید در نهایت، محاسبه مقدار زمان صرفه‌جویی شده از رابطه ذکر شده در بخش ۲-۴ نشان داد که میزان کارایی و بهره‌وری بعد از طراحی مجدد فرایند مونتاژ، ۲۱٪ افزایش داشته است.

=شاخص درصد زمان صرفه‌جویی شده

$$21\% = \frac{[2450/35] - [1921/25]}{[2450/35]} \times 100$$

بررسی تأثیر طراحی مجدد بر فاکتورهای ارگونومی

ویژگی‌های دموگرافیک: جدول ۵ ویژگی‌های دموگرافیک مونتاژکاران را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود جامعه مورد مطالعه با میانگین سن ۲۸ سال جامعه‌ای جوان و به‌طور متوسط با دو سال سابقه کار هستند.

مقایسه میزان شیوع و شدت ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی قبل و بعد از طراحی مجدد: درصد شیوع



جدول ۴- مقایسه زمان انجام فعالیتها در ایستگاههای کار با استفاده از تکنیک MTM-1 قبل و بعد از طراحی مجدد

مرحله مونتاژ	ایستگاه کار	فعالیت‌های انجام شده در ایستگاه کار		قبل از طراحی مجدد		بعد از طراحی مجدد	
		زمان (ثانیه)	زمان استاندارد (TMU)	زمان (ثانیه)	زمان استاندارد (TMU)	زمان (ثانیه)	زمان استاندارد (TMU)
پیش مونتاژ	۱	مونتاژ شیر و لوله اصلی	۳۲۱۴/۲	۱۳۲/۴	۲۵۴۶/۲	۱۰۶/۹	۱۰۶/۹
	۲	مونتاژ کابل، ترمینال و براکت	۱۲۰۶/۲	۵۱/۲	۱۲۰۶/۲	۵۱/۲	۵۱/۲
	۳	مونتاژ الکتروود، ترموکوپل، براکت و کاسه ۱۲۰	۹۸۹/۱	۴۰/۴	۹۸۹/۱	۴۰/۴	۴۰/۴
	۴	مونتاژ براکت روی کاسه ۵۰،۷۰،۱۰۰	۱۳۲۷	۵۴/۸	۱۳۲۷	۵۴/۸	۵۴/۸
	۵	مونتاژ مجموعه براکت و ترمینال روی سینی	۱۱۰۹/۵	۴۰/۳	۵۱۱/۷	۲۰/۷	۲۰/۷
	۶	مونتاژ لوله اصلی روی سینی	۳۹۲/۵	۱۵/۸	۳۳۳/۴	۱۳/۴	۱۳/۴
	۷	مونتاژ کاسه ۱۲۰ روی سینی	۷۹۸/۶	۳۲	۳۰۴	۱۲/۳	۱۲/۳
	۸	مونتاژ ترانس، پین و نواردرزگیر روی سینی	۲۳۳۹/۹	۱۰۰	۲۳۳۹/۹	۱۰۰	۱۰۰
	۹	مونتاژ الکتروود و ترموکوپل روی کاسه های ۵۰،۷۰،۱۰۰	۱۹۶۴/۴	۹۰	۱۹۶۴/۴	۹۰	۹۰
تست	۱۰	مونتاژ لوله های آلومینیومی	۲۲۳۰/۷	۱۰۰	۲۲۳۰/۷	۱۰۰	۱۰۰
	۱۱	آچارکشی لوله های آلومینیومی	۲۰۱۸/۸	۹۰	۱۴۶۰	۶۰	۶۰
	۱۲	مونتاژ میکروسوئیچ	۱۴۷۲	۷۲	۱۴۷۲	۷۲	۷۲
	۱۳	تست (۲ ایستگاه کاری)	۴۵۷۶/۳	۲۰۱	۳۷۵۵/۸	۱۵۳	۱۵۳
	۱۴	مونتاژ رویه (شیشه یا استیل) و مونتاژ واشر ولوم	۸۸۲/۱	۴۰	۵۴۳/۱	۲۲	۲۲
	۱۵	مونتاژ آبیگر	۷۶۳/۳	۳۴/۵	۷۰۳/۳	۲۸	۲۸
	۱۶	مونتاژ پیچ و ولوم	۱۳۴۲/۸	۶۳/۲۵	۱۳۴۲/۸	۶۳/۲۵	۶۳/۲۵
	۱۷	تست نهایی	۱۷۳۵۸	۶۴۰	۸۴۶۹	۳۱۰	۳۱۰
	۱۸	تمیز کردن	۴۵۳/۳	۱۸/۷	۴۵۳/۳	۱۸/۷	۱۸/۷
	۱۹	مونتاژ شبکه‌های چدن و شیرینگ	۹۵۴/۶	۳۹	۹۵۴/۶	۳۹	۳۹
	۲۰	بسته بندی محصول	۱۴۵۹	۶۳	۱۲۱۸/۹	۵۰/۶	۵۰/۶
مونتاژ نهایی و بسته بندی	۲۱	آماده سازی شیشه	۲۸۰۵/۴	۱۳۹	۲۱۲۵/۴	۱۰۳	۱۰۳
	۲۲	مونتاژ پک دفترچه	۲۸۷/۷	۱۵	۲۸۷/۷	۱۵	۱۵
	۲۳	مونتاژ پک سر شعله	۱۱۰۲/۳	۵۰	۱۱۰۲/۳	۱۳۹	۱۳۹
	۴۲	آماده سازی جعبه بسته بندی	۱۵۰۰	۶۰	۱۵۰۰	۶۰	۶۰
		مجموع زمان‌ها	۲۴۵۰/۳۵		۱۹۲۱/۲۵		

عضلانی مونتاژکاران نیز پس از اجرای مداخله طراحی در اکثر اندام‌های بدن (پشت، کمر، زانو، ساق و کف پای راست، آرنج، ساعد و مچ دست‌ها) نسبت به شرایط قبل افزایش معنی‌داری یافته است ($p < 0.05$). بیشترین میزان شیوع و شدت ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی مربوط به کمر و اندام‌های تحتانی می‌باشد. مقایسه پوسچرکاری مونتاژکاران قبل و بعد از طراحی

ناراحتی اسکلتی-عضلانی کارگران در جدول ۶ ارائه شده است. مقایسه میزان شیوع ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی قبل و بعد از طراحی مجدد نشان داد که شیوع علائم مذکور به جز مچ و کف پا در سایر اندام‌های بدن افزایش یافته است. همچنین مقایسه میزان شدت ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی در نمودار ۱ قبل و بعد از طراحی مجدد نشان داد که شدت ناراحتی‌های اسکلتی-



جدول ۵- برخی ویژگی‌های دموگرافیک جامعه مورد مطالعه (n=۳۰)

ویژگی دموگرافیک	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل
سن (سال)	۲۸	۳/۹	۳۷	۲۱
قد (سانتی متر)	۱۷۷	۷/۱	۱۹۲	۱۶۰
وزن (کیلوگرم)	۷۸/۴	۱۶	۱۲۷	۵۵
سابقه کار	۲	۱/۰۹	۴	۱
ساعت کار در روز	۹	-	۱۰	۸

جدول ۶- مقایسه میزان شیوع علائم ناراحتی اسکلتی - عضلانی در مونتاژکاران مورد مطالعه قبل و بعد از طراحی مجدد

نواحی بدن	قبل از طراحی		بعد از طراحی	
	تعداد افراد	درصد	تعداد افراد	درصد
گردن	۱۷	۵۶/۶۶	۲۲	۷۳/۲۶
شانه و بازو راست	۱۵	۵۰	۲۲	۷۳/۲۶
شانه و بازو چپ	۱۴	۴۶/۶۶	۲۲	۷۳/۲۶
آرنج و ساعد راست	۱۵	۵۰	۲۲	۷۳/۲۶
آرنج و ساعد چپ	۱۴	۴۶/۶۶	۲۰	۶۶/۶
دست و مچ راست	۱۸	۶۰	۲۲	۷۳/۲۶
دست و مچ چپ	۱۷	۵۶/۶۶	۲۰	۶۶/۶
پشت	۱۵	۵۰	۲۰	۶۶/۶
کمر	۲۲	۷۳/۲۶	۲۴	۸۰
ران و زانو راست	۲۱	۷۰	۲۶	۸۶/۵۸
ران و زانو چپ	۲۱	۷۰	۲۵	۸۳/۲۵
ساق پا راست	۲۴	۸۰	۲۷	۸۹/۹
ساق پا چپ	۲۴	۸۰	۲۷	۸۹/۹
مچ و کف پا راست	۲۳	۷۶/۶۶	۲۳	۷۶/۶۶
مچ و کف پا چپ	۲۳	۷۶/۶۶	۲۳	۷۶/۶۶

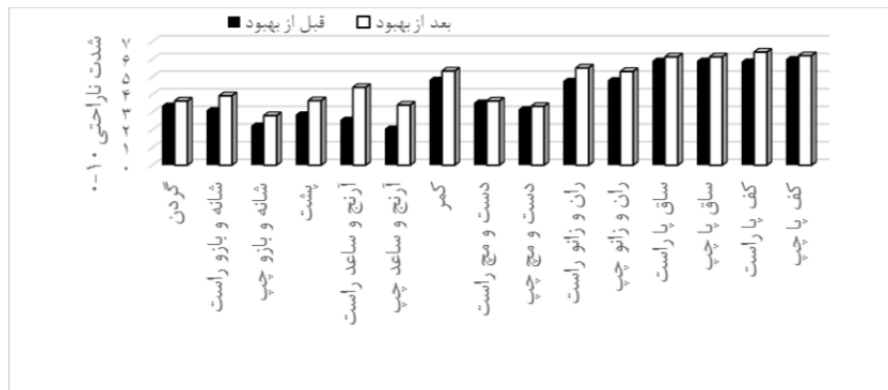
مجدد: جدول ۷ امتیاز نهایی و سطح خطر ارزیابی پوسچر به روش REBA را برای فعالیت‌های مختلف مونتاژ قبل و بعد از طراحی مجدد نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آنالیز پوسچر REBA، ۶/۶٪ فعالیت‌های انجام شده در ایستگاه‌های کار در سطح خطر قابل چشم‌پوشی، ۱۶/۱٪ در سطح خطر پایین، ۵۸٪ سطح خطر متوسط و ۱۹/۳٪ در سطح خطر بالا قرار داشتند که پس از اجرای طراحی مجدد هیچ‌گونه تغییری در آن‌ها مشاهده نشد.

چندبعدی خستگی (MFI) به تفکیک ابعاد خستگی برای قبل و بعد از طراحی در نمودار ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج آزمون T-test برای ابعاد خستگی عمومی، کاهش انگیزه و خستگی ذهنی پس از طراحی تغییر معناداری نشان نداد ($p > 0/05$). در مقابل، مشاهده گردید در ابعاد کاهش فعالیت و خستگی جسمانی کاهش معناداری وجود دارد ($p < 0/05$).

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه‌ی حاضر بررسی تأثیر طراحی مجدد و بهبود فرایند مونتاژ بر بهره‌وری و فاکتورهای ارگونومی است. یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که طراحی مجدد فرایند مونتاژ بر اساس تکنیک‌های مهندسی تولید

مقایسه میزان خستگی قبل و بعد از طراحی مجدد: خستگی کل قبل از طراحی مجدد ۵۸/۳٪ بود که پس از مداخله و طراحی این میزان به ۵۶/۵٪ رسید اما با توجه به نتایج آنالیز آماری کاهش معناداری در میزان خستگی کل مشاهده نشد ($p > 0/05$). نتایج حاصل از پرسشنامه



نمودار ۱-مقایسه شدت ناراحتی اسکلتی - عضلانی در نواحی مختلف بدن مونتاژکاران قبل و بعد از طراحی مجدد نماد (*) نشان دهنده وجود اختلاف معنادار در متغیر مورد نظر می‌باشد.

از پیاده‌سازی طراحی مجدد ۲۴۵۰/۳۵ ثانیه (۴۰/۸ دقیقه) بود. با تغییر چیدمان و اصلاح فرایند، فعالیت‌های غیر بهره‌ور و زائد به حداقل رسید و مسافت جابه‌جایی در کل پروسه از ۱۶۰ متر به ۳۰ متر کاهش یافت. همچنین زمان مونتاژ هر اجاق گاز به ۱۹۲۱/۲۵ ثانیه (۳۲ دقیقه) کاهش پیدا کرد. صرفه‌جویی تقریباً ۹ دقیقه‌ای برای تولید هر محصول بهره‌وری تولید را حدود ۲۱٪ افزایش داد. بلاکر و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای را با استفاده از تکنیک زمان‌سنجی MOST به منظور کاهش فعالیت‌های غیر بهره‌ور کارگران دستی انجام دادند. پس از حذف فعالیت‌های غیر بهره‌ور، کاهش ۵/۷۸ دقیقه‌ای زمان انجام فعالیت و افزایش ۱۸/۱ درصدی بهره‌وری تولید گزارش شد که با نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر همخوانی دارد [۵].

مطالعه‌ی حاضر نشان داد که ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی در بین مونتاژکاران شایع است. پیش‌تر، دهقان و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله خود اظهار داشتند که اختلالات اسکلتی-عضلانی در میان مونتاژکاران جوان با میانگین ساعات کار بیش از ۸ ساعت در روز شایع می‌باشد [۱۰]. در مطالعه‌ی حاضر، میانگین سنی افراد ۲۸ سال و متوسط ساعات کار در روز ۹ ساعت بود که کاملاً با شرایط مطالعه دهقان و همکاران (۲۰۱۳) قابل مقایسه است.

چنانچه ملاحظه شد شایع‌ترین ناراحتی در ناحیه کمر، پاها و دست راست بود که ناشی از وضعیت استاتیک

منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش زمان تولید محصول، کاهش یا حذف فعالیت‌های غیر بهره‌ور و کاهش خستگی جسمانی و میزان کاهش فعالیت می‌شود اما بر روی پوسچرهای کاری، ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی و سایر ابعاد خستگی تأثیری ندارد؛ به عبارت دیگر، یافته‌های حاصل از تحقیق نشان داد که هرچند طراحی پیاده شده کاهش زمان انجام کار، کاهش موجودی انباشته در ایستگاه‌ها، چیدمان بهتر محیط کار، بهتر شدن زنجیره تأمین مواد و قطعات و افزایش بهره‌وری تولید را آشکار می‌کند، اما ۳ ماه پس از طراحی مجدد، نه تنها بهبود بر میزان خستگی کل و پوسچرهای کاری کارگران ایجاد نکرد، بلکه به دلیل کاهش زمان انجام کار و در نتیجه سرعت بیشتر تولید زمینه تشدید ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی را نیز فراهم آورد. سایر مطالعات مشابه همچون مطالعات روزکرانس و همکاران (۲۰۰۵) و وینک و همکاران (۲۰۰۸) نیز با یافته‌های این مطالعه هم راستا بوده و همگی مؤید آن است که طراحی خطوط مونتاژ تنها بر اساس تکنیک‌های مهندسی، فاکتورهای ارگونومی را بهبود نمی‌بخشد [۲۰ و ۲۱].

نتایج تحقیق نشان داد که چیدمان نامناسب مراحل مونتاژ و استقرار ایستگاه‌های کاری بدون توجه به ترتیب و توالی انجام کار در خط مونتاژ بسیاری از فعالیت‌های زائد و بدون ارزش افزوده مانند تأخیر، انباشت قطعات در ایستگاه‌ها و حمل و نقل‌های اضافی را به محتوی کار می‌افزود. به طوری که زمان مونتاژ هر اجاق گاز توکار قبل

جدول ۷- ارزیابی پوسچر کاری به وسیله تکنیک REBA در ایستگاه‌های کاری خط مونتاژ قبل و بعد از طراحی مجدد

مرحله مونتاژ	ایستگاه کار	فعالیت‌های انجام شده در ایستگاه کار				اولویت اقدام
		قبل از طراحی مجدد	بعد از طراحی مجدد	سطح خطر	امتیاز نهایی	
پیش مونتاژ	۱	مونتاژ شیر و لوله اصلی	۵	۲	۵	ضروری
	۲	مونتاژ کابل، ترمینال و براکت	۴	۲	۴	ضروری
	۳	مونتاژ الکتروود، ترموکوپل، براکت و کاسه ۱۲۰	۳	۱	۳	شاید ضروری
	۴	مونتاژ براکت روی کاسه ۵۰،۷۰،۱۰۰،۱۰۰	۳	۱	۳	شاید ضروری
	۵	مونتاژ مجموعه براکت و ترمینال روی سینی	۵	۲	۵	ضروری
	۶	مونتاژ لوله اصلی و کاسه ۱۲۰ روی سینی	۶	۲	۶	ضروری
	۷	مونتاژ کاسه ۵۰،۷۰،۱۰۰،۱۰۰ روی سینی	۸	۳	۸	ضروری (هرچه زودتر)
	۸	مونتاژ ترانس، پین و نواردرزگیر روی سینی	۶	۲	۶	ضروری
	۹	مونتاژ الکتروود و ترموکوپل روی کاسه‌های ۷۰، ۷۰، ۵۰، ۱۰	۶	۲	۶	ضروری
	۱۰	مونتاژ لوله های آلومینیومی	۶	۲	۶	ضروری
تست	۱۱	آچارکشی لوله های آلومینیومی	۶	۲	۶	ضروری
	۱۲	مونتاژ میکروسوییچ	۳	۱	۳	شاید ضروری
	۱۳	تست (۲ ایستگاه کاری)	۶	۲	۶	ضروری
	۱۴	مونتاژ رویه (شیشه یا استیل)	۱۰	۳	۱۰	ضروری (هرچه زودتر)
	۱۵	مونتاژ واشر ولوم	۶	۲	۶	ضروری
	۱۶	مونتاژ آبیگر	۶	۲	۶	ضروری
	۱۷	مونتاژ پیچ و ولوم	۶	۲	۶	ضروری
	۱۸	تست نهایی	۸	۳	۸	ضروری (هرچه زودتر)
	۱۹	تمیز کردن و مونتاژ برچسب	۶	۲	۶	ضروری
	۲۰	مونتاژ شبکه‌های چدن	۸	۳	۸	ضروری (هرچه زودتر)
مونتاژ نهایی و بسته بندی	۲۱	بسته بندی محصول	۸	۳	۸	ضروری (هرچه زودتر)
	۲۲	آماده سازی شیشه	۱۰	۳	۱۰	ضروری (هرچه زودتر)
	۲۳	مونتاژ پک دفترچه	۱	۰	۱	قابل چشم پوشی
	۲۴	مونتاژ پک سر شعله	۱	۰	۱	قابل چشم پوشی
	۲۵	آماده سازی جعبه بسته بندی	۲	۱	۲	شاید ضروری
	۲۶	قابل چشم پوشی	۰	۰	۰	قابل چشم پوشی

ایستاده در تمام ساعات کار، استفاده از پیچ‌گوشتی و ابزار پنوماتیک بدون آویز نگهدارنده یا بالانس، اعمال نیرو و ... می‌باشد. درصد شیوع ناراحتی‌های اسکلتی-عضلانی مونتاژکاران در مطالعات پیشین مکرراً گزارش شده است [۲۴-۲۲، ۱۰]. انجمن ایمنی و سلامت شغلی کانادا (۲۰۰۸) نیز مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز ناراحتی را وضعیت نامطلوب بدن، به‌کارگیری نیروی زیاد، حرکات تکراری، مدت زمان طولانی کار و ایستادن طولانی مدت بیان کرده است [۲۵]. نتایج ارزیابی شدت ناراحتی در نواحی مختلف بدن قبل

ایستاده در تمام ساعات کار، استفاده از پیچ‌گوشتی و ابزار



نمودار ۲- مقایسه میانگین خستگی در ابعاد پنج گانه قبل و بعد از طراحی مجدد. نماد (*) نشان دهنده وجود اختلاف معنادار در متغیر مورد نظر می‌باشد.

معناداری نیافتند. لیکن بهبود جریان مونتاژ باعث کاهش خستگی جسمانی و کاهش فعالیت شد؛ به عبارت دیگر بهبودهای مبتنی بر تکنیک‌های مهندسی مونتاژ می‌تواند خستگی جسمانی را هرچند اندک کاهش دهد. هرناندز ابعاد خستگی را در صنایع کشور مکزیک مورد ارزیابی قرار داده و نشان داد که بالاترین میزان خستگی مربوط به ابعاد خستگی عمومی و فقدان انرژی بودند [۳۰]. یافته‌های پژوهش حاضر، این احتمال را تقویت می‌کند که توجه به اصول طراحی انسان-محور در کنار تکنیک‌های مهندسی، بهره‌وری بیشتری را به ارمغان خواهد آورد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود مداخلاتی که به منظور افزایش بهره‌وری در صنایع مونتاژ صورت می‌گیرند شامل ترکیبی از مداخلات ارگونومیک محور و تکنیک‌های طراحی فرایند مونتاژ باشند تا علاوه بر بهره‌وری تولید امکان تأمین و بهبود رفاه، سلامت و ایمنی کارکنان نیز فراهم گردد. بدیهی است به منظور بررسی این ادعا لازم است مطالعات بیشتری انجام شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارگونومی می‌باشد. نویسندگان مقاله از همکاری صمیمانه مدیریت کارخانه لوازم خانگی و کارکنان شرکت‌کننده در این مطالعه که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Battini D, Faccio M, Ferrari E, Persona A, Sgarbossa F. Design configuration for a mixed-model assembly system in case of low product demand. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2007; 34: 188-200.
2. Battini D, Faccio M., Persona A, Sgarbossa F. Balancing-sequencing procedure for a mixed model assembly system in case of finite buffer capacity. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2009; 44: 345-359.
3. Makssoud F, Battaia O, Alexandre D, Mpofu K, Olabanji O, Faccio M. Re-balancing problem for assembly lines: new mathematical model and exact solution method. *Assembly Automation*. 2015; 35

و بعد از بهبود حاکی از آن بود که مونتاژکاران مورد مطالعه بیشترین ناراحتی را در کمر و پاها گزارش کردند که دلیل عمده آن ایستادن در مدت زمان طولانی ساعات کار می‌باشد. یافته‌ی فوق با نتایج حاصل از مطالعه‌ی جزئی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد [۲۶]. همچنین مطالعه‌ی بالاسوبرامانیان و همکاران (۲۰۰۹) نشان می‌دهد که پوسچرهای ایستاده و استاتیک در وظایف مونتاژ ناراحتی اسکلتی-عضلانی بیشتری در عضلات کمر و پاها ایجاد می‌کند [۲۷]. چنانچه نتایج تحقیق نشان می‌دهد مداخلات فرایند مونتاژ نه تنها تأثیر قابل توجهی در کاهش شدت ناراحتی در اندام مذکور نداشته است بلکه در بیشتر اندام‌های بدن سبب تشدید ناراحتی نیز گردیده است. این در حالی است که اگر مداخلات ارگونومی هم در ایستگاه‌های کار انجام می‌شد امکان بهبود یافتن شدت ناراحتی اسکلتی-عضلانی وجود داشت. دهقان و همکاران در صنایع الکترونیک [۱۰] و معتمدزاده و همکاران (۲۰۱۰) در صنعت مونتاژ تلویزیون [۲۸] با انجام مداخلات اصلاحی ارگونومیک کاهش قابل توجهی را در ناراحتی اندام‌های بدن به‌ویژه اندام فوقانی نشان دادند.

از آنجایی که هیچ‌گونه اصلاح و بهبودی در ایستگاه‌های کاری از نظر ارتفاع میز کار، حدود دسترسی به قطعات، نصب بالانس و نگهدارنده ابزار و ... صورت نگرفت پوسچرهای کاری به‌هیچ‌وجه تغییری نکردند و در واقع هرچند فرایند بهبود یافته است، ایستگاه‌های کاری برای مونتاژکاران بهبودی نداشته است. این موضوع نشان‌دهنده‌ی آن است که ارزیابی کار و زمان و حتی مداخلاتی در جهت بهبود روش کار و کاهش زمان هیچ تأثیری بر بهبود ایستگاه‌های کار و استرس‌های فیزیکی وارد بر اپراتور و پوسچر کاری ندارد. ون ریجن و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ی نشان دادند که تنظیم ارتفاع کار در ایستگاه‌های مونتاژ می‌تواند بهره‌وری را تا ۱۰٪ افزایش دهد [۲۹].

یافته‌های تحقیق نشان داد که بعد از طراحی مجدد فرایند مونتاژ احساس خستگی کل و برخی ابعاد آن (خستگی عمومی، کاهش انگیزه و خستگی ذهنی) تغییر

- Journal of Industrial Medicine. 1979; 36(3): 175-186.
18. Smets E, Garssen B, Cull A, De Haes J. Application of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) in cancer patients receiving radiotherapy. *British journal of cancer*. 1996; 73(2): 241.
 19. Hafezi S, Zare H, Mehri SN, Mahmoodi H. The Multidimensional Fatigue Inventory validation and fatigue assessment in Iranian distance education students, *Distance Learning and Education (ICDLE)*. 2010.
 20. Rosecrance J, Dpuphrate D, Cross S. Integration of participatory ergonomics and lean manufacturing: a model and case study. *Human Factors in Organizational Design and Management*. 2005; 437-442.
 21. Vink P, Imada A, Zink K. Defining stakeholder involvement in participatory design processes. *Applied Ergonomics*. 2008; 39(4): 519-526.
 22. Anderson P, Bernard V, Burt BP, Cole SE, Fairfield Estill LL, Fine C. Musculoskeletal disorders and workplace factors. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1997.
 23. Kumar S. Cumulative load as a risk factor for back pain. *Spine*. 1990; 15(12): 1311-1316.
 24. Alipour A, Ghaffari M, Shariati B, Jensen I, Vingard E. Occupational neck and shoulder pain among automobile manufacturing workers in Iran. *American journal of industrial medicine*. 2008; 51(5), 372-379.
 25. Occupational Health and Safety Council of Ontario. Musculoskeletal Disorders Prevention Series, Part 1: MSD Prevention Guidelizne for Ontario. 2008.
 26. Khani Jazani R, Saremi M, Rasuli Kahaki Z, Sanjary MA, Kavooosi A. Effect of flooring and foot rest on discomfort in prolonged standing activities. *Journal of Iran Occupational Health*. 2014; 11(3): 10-21. [Persian].
 27. Balasubramanian V, Adalarasu K, Regulapati R. Comparing dynamic and stationary standing postures in an assembly task. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2009; 39(5): 649-654.
 28. Motamedzade M, Mohseni M, Golmohammadi R, Mahjoob H. Ergonomics intervention in an Iranian television manufacturing industry. *Work*. 2010; 38. 257-263.
 29. Van Rhijn J, de Looze M, Van der Grinten M, Schoenmaker N, Bosch T. Finding the optimal rhythm in short cycle time assebmly. *Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge*. (1): 16 – 21.
 4. Scholl A, Becker C. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*. 2006; 168(3): 666-693.
 5. Belokar R, Dhull Y, Nain S. Optimization of Time by Elimination of Unproductive Activities through 'MOST'. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2012; 1(1): 77-80.
 6. Yadav TK. Measurement Time Method for Engine Assembly Line with Help of Maynard Operating Sequencing Technique (MOST). *International Journal Of Innovations In Engineering And Technology (IJJET)*. 2013; 2(2).
 7. Gilbreth FB, Gilbreth LM. *Applied Motion Study*. Newyork. 1917.
 8. Roman-Liu D, Tokarski T, Wojcik K. Quantitative assessment of upper limb muscle fatigue depending on the conditions of repetitive task load. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2004; 14(6): 671-682.
 9. Engstrom T, Hanse JJ, Kadefors R. Musculoskeletal symptoms due to technical preconditions in long cycle time work in an automobile assembly plant: a study of prevalence and relation to psychosocial factors and physical exposure. *Applied Ergonomics*. 1999; 30 (5): 443-453.
 10. Dehghan N, Choobineh AR, Hasanzadeh J. Interventional ergonomic study to correct and improve working postures and decrease discomfort in assembly workers of an electronic industry. *Journal of Iran Occupational Health*. 2013; 9 (4): 71-79. [Persian].
 11. Ahmadi A. work and time study: Work engineering and time management. Iran University of Science and Technology Tehran. 2001. [Persian].
 12. Sun XF, Cheng G, Li W. Study on Work Improvement in a Packaging Machine Manufacturing Company. *IEEE*. 2009; 9 (4): 71-79.
 13. Maynard HB, Stegemerten GJ, Schwab JL. *Methods-time measurement*. 1948.
 14. Marashi N. *Time study systems*. Basir, Tehran, ed 2th. 2013. [Persian].
 15. Cameron J. Assessing work-related body-part discomfort: current strategies and a behaviorally oriented assessment tool. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1996; 18: 389-398.
 16. Hignett S, McAtamney L. Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*. 2000; 31(2): 201-205.
 17. Grandjean E. *Fatigue in industry*. British



2003; 22-24.

30. Hernandez Arrellano JL, Garcia Alcaraz JL, Ibarra Mejia G, Maldonado Macias AA. Assessment of human fatigue: a comparison between machining and assembly tasks. IN: Garcia Alcaraz, J-L. Maldonado, Aide. Cortes, Guillermo. Lean Manufacturing in the Developing World: Methodology, Case Studies and Trends from Latin American. Springer Science & Business Media. 2014; 371-385.

The effect of assembly line redesign based on engineering techniques on productivity and ergonomics factors

Seyedeh Fatemeh Musavi¹, Mahnaz Saremi², Ahmad Ali Alibabaei³

Received: 2015/05/15

Revised: 2015/09/21

Accepted: 2015/10/14

Abstract

Background and aims: In manual assembly industries, productivity could increase by scientific study, correct and accurate identification of activities and the time required for implementing each activity - with respect to the health, safety and human wellbeing. Although the positive effect of engineering interventions on the efficiency of production is evident, but its impact on the productivity of labor is unknown. The aim of this study is to evaluate the influence of assembly lines redesign based on the engineering techniques on the productivity and ergonomic factors such as musculoskeletal disorders, working posture and fatigue.

Methods: This study was carried out in hob gas assembly plant with 30 men worker. Work-study (Method study: Flow Diagrams and Flow Process Chart; Motion & Time study: MTM-1) as engineering techniques and Body Map questionnaire, REBA analysis and MFI questionnaire as ergonomics analysis were applied. According to the engineering techniques (Work Study), interventions implemented in order to improve assembly process. After 12 weeks, work-study and ergonomics analysis carried out again to determine the effectiveness of the redesign on productivity and ergonomic factors.

Results: Redesign led to reduce activities time to 8.8 minute and productivity increased 21%. After redesign, prevalence and severity of musculoskeletal disorders increased in the most parts of the body. Nevertheless, no improvements found in working postures and total fatigue.

Conclusion: Although productivity increased by engineering techniques, but these interventions could result in more exposure of operators to musculoskeletal disorders. In designing assembly lines, routine engineering methods are better to applied together with ergonomic design principles.

Keywords: Redesign, Assembly engineering, Productivity, Ergonomics.

1. MSc Student of Ergonomics, Faculty of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.

2. (Corresponding author) Assistant Professor, PhD of Ergonomics, Ergonomics Department, Faculty of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran. m.saremi@sbmu.ac.ir

3. Assistant Professor, PhD of Industrial Engineering, Industrial Engineering Department, Faculty of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.