ارزیابی ارگونومیکی کابین تراکتور ITM399

مهدی کسرایی[1]، عقیل مؤذنی کلات[2]

[1]عضو هیأت علمی ، دانشگاه شیراز؛ kassraei@shirazu.ac.ir
[2]دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه شیراز؛ Aghil.moazen@gmail.com

چکیده

تراکتور یکی از پرکاربردترین ماشین های کشاورزی است. استفاده مکرر راننده از اهرم های کنترلی، پدال ها و فرمان تراکتور و همچنین شرایط نامناسب کاری سبب می شود راننده در وضعیت نامناسب اسکلتی عضلانی قرار گیرد. چون در ایران، تراکتور ITM399 زیاد تولید و استفاده می‌شود؛ هدف این پژوهش، ارزیابی ارگونومیکی پوسچر راننده و تعیین شرایط لازم برای حذف و یا کاهش مشکلات اسکلتی عضلانی و نیز بهبود کنترل این نوع تراکتور بوده است. ابتدا با استفاده از حسگر کینکت مایکروسافت، تراکتور به صورت سه بعدی اسکن و به محیط نرم افزار کتیا منتقل و مدل سه بعدی مجازی تراکتور ITM399 تولید شد؛ سپس مدل مجازی راننده مطابق با ابعاد آنتروپومتری ایرانیان در نرم افزار کتیا تولید و با قرار دادن مانکن در محل راننده به ارزیابی ارگونومیکی بدن راننده به روش رولا پرداخته شد. نتایج نشان داد که راننده در هنگام اتصال، تنظیم و کنترل کیفیت کار ابزار عقب‌سوار و نیز کنترل اهرم دنده، فرمان و پدال‌ها با ریسک مواجه است. برای هر مورد درجه‌ی ریسک پذیری مشخص و پیشنهاد لازم برای کاهش آن داده شد. به منظور بهبود وضعیت ارگونومیکی راننده، حذف سکوی عقب کابین، نصب دوربین به منظور کنترل کیفیت کار ابزار عقب‌سوار، افزایش زاویه فرمان نسبت به افق و افزایش ارتفاع اهرم های دنده توصیه گردید.

کلمات کلیدی: تراکتور، ارگونومی، اسکن سه‌بعدی، انسان مجازی (مانکن)، نرم‌افزار کتیا، حسگر کینکت

Ergonomically Evaluation of ITM 399 Tractor's

M. Kasraei, A. Moazeni Kalat
M. Kasraei, kassraei@shirazu.ac

ABSTRACT

Tractor is one of the most used agricultural machines. Repeated use of control levers, pedals and steering wheel of the tractor and also bad working conditions, cause the driver be in an inappropriate musculoskeletal condition. Since ITM399 tractor has high production and use in Iran, the purpose of this study was the ergonomic evaluation of driver's posture and detection the conditions for removal or reduction of musculoskeletal problems and also improving control conditions for this tractor. First, the tractor was scanned three-dimensionally by using the Microsoft Kinect sensor and then transferred to the CATIA software environment to create a three dimensional virtual model for the tractor; The human virtual model was developed based on Iranian's anthropometric data in CATIA software and after placing it in the driver's cabin, an ergonomic evaluation of driver's posture was carried out by RULA method. The results showed that the driver's posture in adjusting and controlling the rear-attachment tools and also during controlling the gear lever, steering wheel, and pedals is in risky position. For each case, the degree of risk was determined and the recommendation for reducing the risk was given. The recommended items for improving the ergonomic condition of the driver were, removing the rear platform in the cabin, mounting a camera -for controlling the

۱- مهدی کسرایی – بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ۰۷۱۳۶۱۳۸۳۶۳

quality of rear tool's performance-, increasing the steering angle from the horizon and increasing the height of gear levers.

Keywords: tractor, ergonomics, three dimensional scan, virtual human, CATIA software, Kinect sensor

۱- مقدمه

ناراحتی‌های اسکلتی عضلانی در بین رانندگان وسایل نقلیه عمومی بسیار شایع است. طراحی خودروهای غیر سواری امری پیچیده است. به‌خصوص زمانی که رانندگی با کار دیگری مانند کنترل شخم زدن ترکیب شود. چنین شرایط کاری پیچیده، می‌تواند سبب خطای انسان و ایجاد حادثه شود. از مهم‌ترین عواملی که در این زمینه می‌توان اشاره نمود بررسی میدان دید، تطابق ابعادی و جنبه‌های بیومکانیکی فضای کار راننده است (Byran et al., 2013). بررسی تاریخچه منابع آنتروپومتریک برای استانداردهای طراحی تراکتورهای کشاورزی نشان می‌دهد که اغلب این ابعاد از پایگاه اطلاعاتی جامعه نظامی در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ استخراج شده‌اند. تغییرات بسیاری در ابعاد انسان در دهه‌های اخیر و تفاوت در ابعاد بدن افراد نظامی و غیرنظامی وجود دارد؛ بنابراین برای بهبود طراحی تراکتورها در نظر گرفتن ابعاد آنتروپومتریک مطابق با کارگران مزرعه امری لازم است (Hsiao et al., 2005). تنها از طریق تغییر فاصله افقی و عمودی صندلی راننده، استفاده از ابزارهای کنترلی به شکل ارگونومیک قابل حصول نیست (Kumar et al., 2009).

با توجه به سختی شرایط کار، و نیز آنکه رانندگان تراکتور اغلب در وضعیت نسبتا نامناسب سلامتی قرار دارند و اثرات بد شغلی افراد تحت تاثیر موقعیت جغرافیایی،اقلیمی، ویژگی‌های فردی و نوع ماشین است، ضروری است که با نگاهی ریز بینانه شرایط کاری رانندگان تراکتور در مناطق مختلف کشور به طورجدی مورد بررسی قرار گیرد. کوچک بودن مزارع سبب می‌شود که هدایت تراکتور و انجام فعالیت‌های کشاورزی با تراکتور در داخل زمین مستلزم استفاده بیش از حد از کلاچ، ترمز و فرمان باشد. شکی نیست که در چنین شرایطی، مشکلات بدنی و خستگی ناشی از کار بیشتر می شود. بررسی های ارگونومیکی انجام شده بر روی تراکتور های داخل ایران نشان میدهد اغلب راننده‌های تراکتور در معرض خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی عضلانی هستند (Biabadi et al., 2012; Rostami et al., 2014).

با توجه به کاربرد فراوان تراکتور ITM 399 درایران و با توجه به آنکه ابعاد آنتروپومتریک انسان در چگونگی تطبیق‌پذیری تراکتور و راننده تأثیری کامل دارد (Hsiao et al., 2005) ، در این پژوهش به ارزیابی ارگونومیکی تراکتور ITM 399 با توجه به ابعاد تن سنجی ایرانیان پرداخته شد. تولید نمونه مجازی فرایندی جدایی‌ناپذیر از طراحی محصول، ارزیابی و اعتبار سنجی آن است. بررسی ارگونومیکی مهم‌ترین مرحله برای اعتباربخشی به محصول است و انسان مجازی کلید ارزیابی ارگونومیکی به کمک رایانه است (Honglun et al., 2007).

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- تولید مدل مجازی سه‌بعدی تراکتور

به منظور مدل‌سازی تراکتور ITM399 از حسگر کینکت مایکروسافت به عنوان یک اسکنر سه‌بعدی استفاده شد. بسته نرم‌افزاری Skanect به‌عنوان برنامه راه‌انداز حسگر کینکت استفاده شد تا فرایند اسکن سه‌بعدی انجام شود و ابر نقاط به دست آید. شکل ۱ نمونه‌ای از ابر نقاط حاصل از اسکن صندلی تراکتور ITM399 توسط این برنامه را نشان می‌دهد.

شکل ۱- ابر نقاط حاصله از اسکن صندلی در نرم‌افزار Skanect

Figure 1. Cloud points resulting from a seat scan in the Skanect.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

با توجه به ابعاد بزرگ تراکتور و همچنین جزییات کوچک آن، امکان اسکن یکپارچه تراکتور وجود نداشت، زیرا حجم فایل اسکن بسیار بزرگ می‌شد و توان محاسباتی بالایی نیاز داشت. همچنین گردش حسگرکینکت به دور تراکتور موجب لرزش دوربین و ایجاد خطا در فرایند اسکن می‌شد. از طرفی برای اسکن یکپارچه تراکتور می‌بایست ابعاد محیط، بزرگ در نظر گرفته می‌شد که در نتیجه آن دقت اسکن در جزئیاتی مثل اهرم‌های کنترل و فرمان پایین می‌آمد. با توجه به موارد فوق، اسکن تراکتور به صورت بخش بخش صورت گرفت. اسکن به صورتی انجام شد که در بین اسکن‌های مختلف، بخش‌هایی مشترک باشند تا بعد بتوان این قسمت‌ها را به هم متصل کرد.

فایل ابر نقاط مربوط به بخش های مختلف تراکتور به محیط DSE[1] در نرم افزار CATIA V5.R21 وارد و پس از اتصال بخش‌های مختلف، قسمت‌های اضافی ابر نقاط حذف و منحنی‌ها و سطح‌های مورد نظر استخراج شد. با توجه به پیچیدگی هندسی اجزای تراکتور و به منظور مدل‌سازی، از چند محیط نرم‌افزار کتیا به صورت هم‌زمان استفاده شد. بدین منظور اجزا با استفاده از محیط‌های Sketcher، Part Design، Sketch Tracer، Generative Shape Design مدل‌سازی و در نهایت در محیط Assembly Design مونتاژ شدند تا امکان حرکت قطعات و تنظیم آن‌ها در شرایط مختلف کاری، مهیا شود.

۲-۲- ایجاد انسان مجازی (مانکن) با توجه به جامعه آماری مورد نظر

از آنجا که هدف این تحقیق ارزیابی ارگونومیکی رانندگان ایرانی بود، از ابعاد آنتروپومتری ایرانیان استفاده شد. به این منظور از نتایج تحقیق جنیدی و صادقی (۱۳۸۷) که بر روی کارگران شش قومیت مختلف ایرانی انجام دادند و ابعاد آنتروپومتریک کارگران ایرانی را ارائه کردند، استفاده شد. در محیط Human Builder از نرم افزار کتیا، یک مانکن بر اساس پیش‌فرض‌های نرم‌افزار تولید و در محیط Human Measurements Editor به تعریف دقیق ابعاد آنتروپومتریک مانکن بر اساس نتایج تحقیق جنیدی و صادقی[2](۲۰۰۸) پرداخته شد. در این تحقیق از صدک ۵۰ برای شبیه‌سازی استفاده شد.

۲-۳- جانمایی مانکن در محل راننده با پوسچرهای مورد نظر

پس از مدل‌سازی تراکتور و ایجاد مانکن، مانکن در پست کار راننده قرار داده شد. به منظور بررسی ارگونومیکی، پوسچرهای زیر مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- پوسچرهای بررسی شده در این تحقیق.

Table 2. Postures evaluated in this research.

شماره پوسچر	نام پوسچر	توضیح
۱	پوسچر اتصال و تنظیم ابزار سوار شونده	برای اتصال ابزار سوار شونده، راننده باید هم به اهرم کنترل عمق دسترسی و هم اینکه دید مناسبی نسبت به اتصال سه‌نقطه داشته باشد تا بتواند اتصال‌ها را در موقعیتی مناسب قرار دهد
۲	پوسچر تعویض دنده	به منظور تغییر دنده، دست راست راننده بر روی اهرم دهنده و دست چپ راننده بر روی فرمان قرار داده شد. همچنین پای راست راننده پدال کلاچ را فشرده است
۳	پوسچر کنترل پدال‌های گاز و کلاچ	در هنگام آغاز حرکت روبه‌جلو، پای راست راننده بر روی اهرم گاز و پای چپ بر روی اهرم کلاچ قرار می‌گیرد. این پوسچر در حین رانندگی نیز اتفاق می‌افتد
۴	پوسچر رانندگی در مسیر مستقیم	در حالت رانندگی در مسیر مستقیم (در حالت جاده‌ای) هر دوست راننده بر روی فرمان و پای راست بر روی پدال گاز قرار می‌گیرد.
۵	پوسچر کنترل کیفیت ابزار	در هنگام انجام عملیات مزرعه‌ای مانند شخم زدن، نیاز است تا راننده عقب تراکتور را ببیند . بدین منظور مانکن از ناحیه کمر و گردن به سمت راست چرخانیده شد. همچنین جهت افزایش پایداری و تعادل پوسچر، دست راست مانکن بر روی کناره شاسی به عنوان تکیه گاه قرار گرفت. دست چپ بر روی فرمان قرار داده شد. از آنجایی که در عملیات مزرعه‌ای، سرعت توسط گاز دستی تنظیم می‌شود، هر دو پای راننده بر روی کف شاسی قرار گرفت.

[1]Digitized Shape Editor
[2]Joneidi and Sadeghi

۴-۲- استخراج و ارزیابی پوسچر

پس از قرارگیری مانکن در محل کار راننده، پوسچر راننده استخراج شد و به کمک روش رولا و استاندارد ملی ایران ۸۶۱۴ ارزیابی شد.

۳- نتایج و بحث

بر اساس روش‌های ارائه‌شده ، مدل تراکتور ITM 399 در نرم‌افزار کتیا طراحی (شکل ۲) و مانکن در موقعیت هر یک از ۵ وظیفه قرار داده شد (شکل ۳) و پوسچر مربوطه استخراج گردید (شکل ۴).

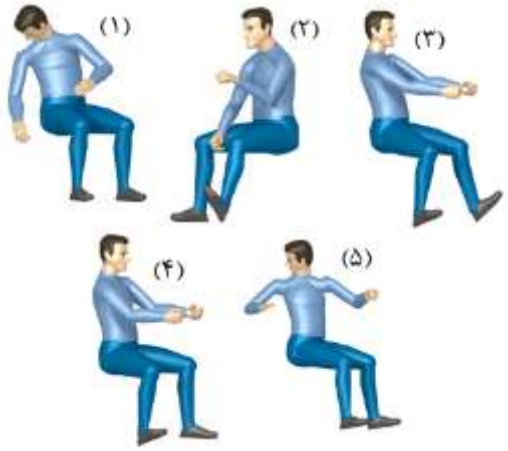
شکل ۲. مدل تراکتور ITM399 طراحی شده در نرم‌افزار کتیا.

Figure2. ITM 399 tractor designed in CATIA.

شکل ۳. قرارگیری مانکن در پوسچرهای مختلف.

Figure 3. Mannequin placement in different postures.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شکل ۴. پوسچرهای استخراج شده.

Figure 4. Extracted postures.

۳-۱- استخراج و ارزیابی پوسچر

پوسچرهای استخراج شده در شکل ۴ و نتیجه ارزیابی به روش رولا در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- امتیاز نهایی به روش رولا.

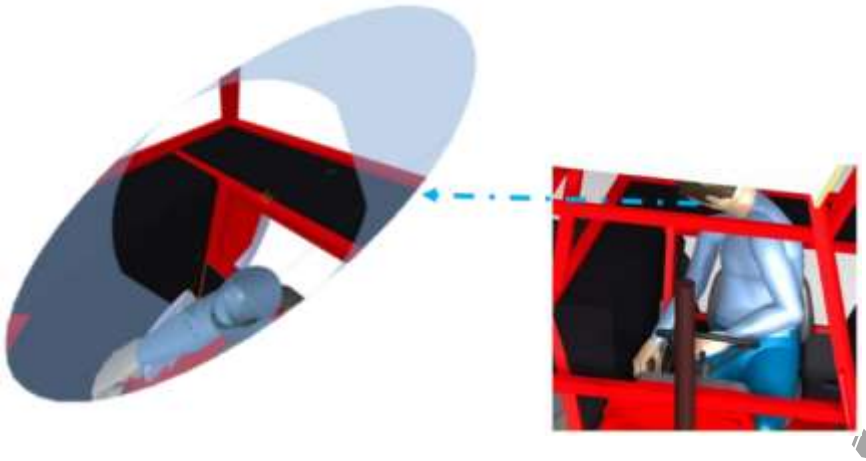
Table 4. Rula's Final Score.

		امتیاز A	امتیاز B	فعالیت ماهیچه	امتیاز نهایی
۱	چپ	۳	۸	۰	۵
	راست	۳	۸	۰	۶
۲	چپ	۳	۵	۰	۴
	راست	۴	۵	۰	۵
۳	چپ	۳	۱	۰	۳
	راست	۳	۱	۰	۳
۴	چپ	۳	۱	۰	۳
	راست	۳	۱	۰	۳
۵	چپ	۳	۵	۱	۶
	راست	۲	۵	۱	۵

۳-۲- اتصال و تنظیم ابزار سوار شونده (پوسچر۱)

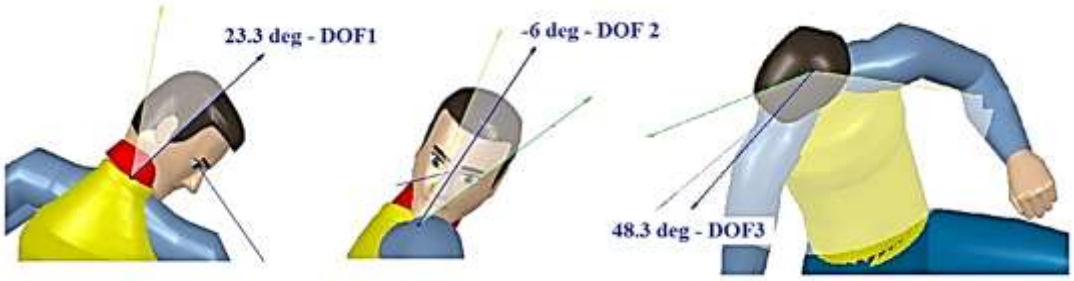
در این پوسچر برای سمت چپ بدن امتیاز نهایی و ۵ برای سمت راست بدن امتیاز نهایی ۶ به دست آمد (جدول۲). هر دو امتیاز در سطح سوم اقدام قرار دارند که نشان‌دهنده‌ی فوریت و لزوم تغییرات ارگونومیکی است. بررسی‌ها نشان داد که حالت نامناسب گردن باعث افزایش سطح ریسک شده است. به علت وجود سکو (صندلی عقب) در پشت راننده، دید راننده نسبت به موقعیت اتصال سه‌نقطه محدود می‌شود (شکل ۵). راننده برای رفع این محدودیت در میدان دید، مجبور به چرخش و پیچش در ناحیه گردن و تنه می‌گردد (شکل ۶). به‌منظور اصلاح پوسچر مورد نظر توصیه می‌شود نیمکت پشتی حذف گردد و هم همچنین صندلی راننده قابلیت چرخش داشته باشد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران



شکل ۵- میدان دید (دوچشمی) راننده در هنگام اتصال ابزار سوار شونده

Figure 5. Deriver's vision in attaching mounted tools.

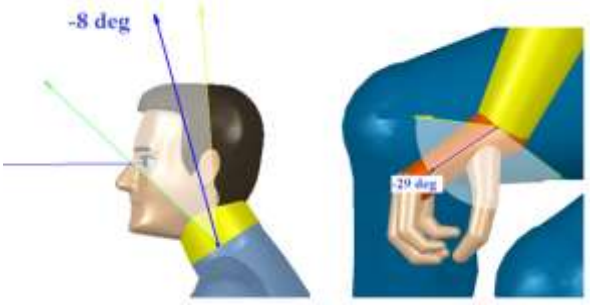


شکل ۶- موقعیت گردن راننده

Figure 6. Position of deriver's neck

۳-۳- تعویض دنده (پوسچر ۲)

در پوسچر تعویض دنده برای سمت راست بدن امتیاز نهایی ۵ به دست آمد که نشان دهنده سطح سوم اقدام و امتیاز نهایی ۵ برای سمت راست بدن به دست آمد (جدول۴) که نشان دهنده سطح سوم اقدام و فوریت و لزوم تغییرات ارگونومیکی است. بررسی نشان داد که ریسک در قسمت بازو و ساعد سمت راست و همچنین در ناحیه تنه و گردن بالا است. دلیل آن پایین بودن بیش از حد موقعیت اهرم دنده است. راننده باید برای دسترسی به اهرم دنده، بالاتنه را به سمت جلو خم و در عین حال به منظور دید ایجاد دید مناسب، گردن را به سمت بالا و عقب خم نماید که باعث ایجاد زاویه ۸ درجه به سمت عقب در گردن می‌شود. همچنین برای ایجاد چنگش مناسب، مچ دست باید خم گردد و در زاویه ۲۹ درجه به سمت عقب قرار گیرد (شکل ۷). این عوامل اصلی‌ترین عوامل افزایش ریسک در حالت تعویض دنده است. برای سمت چپ راننده نیز عدد ۴ به دست آمد که نشان‌دهنده سطح ریسک دوم و نیاز به تغییرات ارگونومیک است. به منظور اصلاح پوسچر مورد نظر افزایش ارتفاع اهرم‌های دنده توصیه می‌شود.

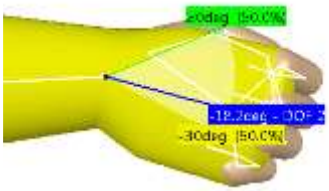


شکل ۷. زاویه مچ و گردن در پوسچر تغییر دنده.

Figure 7. Wrist and neck angles in gear replacement posture

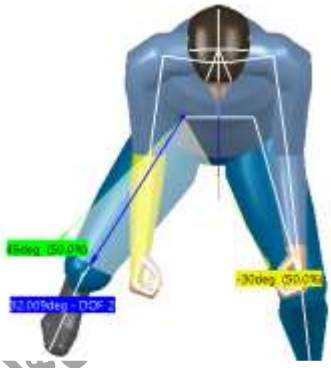
۳-۴- کنترل پدال‌های کلاچ و گاز (پوسچر۳)

در پوسچر کنترل همزمان پدال های گاز و کلاچ، برای هر دو سمت بدن راننده امتیاز نهایی ۳ به دست آمد (جدول ۴) که نشان دهنده سطح دوم اقدام و نیازمند مداخله ارگونومیک است. راننده به منظور ایجاد چنگش در فرمان مجبور به شکستن مچ است (شکل ۸). توصیه می‌گردد با تغییر زاویه فرمان نسبت به افق و قرارگیری آن با شیب بیش‌تر (عمودی‌تر) و کاهش قطر چرخ فرمان چنگش مناسب‌تری برای راننده فراهم شود. شکل ۹ موقعیت قرارگیری ران پای راست راننده در هنگام کنترل پدال گاز را نشان می‌دهد. بر این اساس، ران راننده دارای انحراف ۳۲ درجه به سمت بیرون است که حداکثر مقدار مجاز برای زاویه مذکور بر اساس استاندارد ملی ایران-۸۶۱۴ برابر ۳۰ درجه ذکر شده است؛ بنابراین برای قرارگیری زاویه ران در بازه مجاز، پیشنهاد می‌گردد پدال گاز به خط طولی مرکزی تراکتور نزدیک‌تر شود.



شکل ۸. انحراف جانبی مچ دست در موقعیت چنگش چرخ فرمان.

Figure 8. Wrist side deflection in gripping steering wheel position



شکل ۹. زاویه قرارگیری ران پای راست در موقعیت کنترل پدال گاز.

Figure 9. Thigh angle of right foot in controlling throttle pedal position.

۳-۵- رانندگی در مسیر مستقیم (پوسچر ۴)

در پوسچر رانندگی در مسیر مستقیم با توجه به جدول ۴ امتیاز نهایی برای بدن راننده عدد ۳ به دست آمد که نشان‌دهنده سطح سوم اقدام و فوریت و لزوم تغییرات ارگونومیکی است. پوسچر رانندگی در مسیر مستقیم از نقطه نظر بالاتنه مشابه با پوسچر استفاده همزمان از گاز و کلاچ بود، هرچند فعالیت ماهیچه باعث افزایش ریسک در پوسچر رانندگی در مسیر مستقیم می‌شد، اما این مقدار افزایش، تغییری در امتیاز نهایی نسبت به پوسچر استفاده همزمان از گاز و کلاچ نکرد. اقدام‌های اصلاحی بیان‌شده برای اصلاح پوسچر استفاده همزمان گاز و کلاچ، سبب اصلاح این پوسچر نیز خواهد شد.

۳-۵- کنترل کیفیت کار ابزار (پوسچر ۵)

در پوسچر کنترل کیفیت کار ابزار با توجه به جدول ۵ امتیاز نهایی، برای سمت چپ عدد ۶ و برای سمت راست عدد ۵ به دست آمد که نشان‌دهنده سطح اقدام سوم و فوریت و لزوم تغییرات ارگونومیکی است. افزایش سطح ریسک در این پوسچر مربوط به چرخش، پیچش و خمش در ناحیه تنه و گردن است. به منظور اصلاح این پوسچر، پیشنهاد استفاده از دوربین در عقب تراکتور و یک نمایشگر در داخل کابین پیشنهاد می‌شود تا راننده، بدون چرخش به عقب، بتواند کیفیت کار ابزار را پایش نماید.

۴- نتیجه‌گیری

مدل‌سازی تراکتور با حسگر کینکت مایکروسافت نشان داد از این وسیله می‌توان به عنوان یک حسگر ارزان‌قیمت با دقت مناسب در اسکن سه‌بعدی وسایل نقلیه بهره گرفت.

ارزیابی ارگونومیکی تراکتور ۳۹۹ نشان داد که راننده در هنگام استفاده از این تراکتور در وضعیت بدنی نامطلوبی قرار دارد و این تراکتور نیاز به اصلاحات ارگونومی دارد که عبارت‌اند از:

۱. حذف سکوی انتهای اتاقک
۲. افزایش ارتفاع اهرم دنده
۳. انتقال اهرم‌های هیدرولیکی در راستای طولی به سمت جلو
۴. افزایش زاویه غربیلک فرمان برای دسترسی به چنگش راحت‌تر
۵. تعبیه دوربین در عقب تراکتور و نمایشگر در داخل اتاقک کار راننده
۶. کاهش فاصله عرضی پدال گاز نسبت به خط مرکزی تراکتور

۵- مراجع

Biabadi, M., Kasraei, M., Safiyari, H., and SalmanZade,F. (2012). Ergonomocally view of tractor driver in deriving position with RULA an OWAS method. *The 7th national conference on agricultural machinery & mechanization*. Shiraz. Shiraz university.

Anonymous. (1986) . *Earth-moving machinery -- Zones of comfort and reach for controls*. ISO 6682.

Rostami, M. A., Gavadi, A., Heidari Soltanabadi,M., Mehdinia, A., Shaker,.M. (2014). Ergonomic assessment of some commonly used tractors in Iran. *Journal of Agricultural Machinery*. 5(2): 456-467

Joneidi A, Sadeghi F. (2008). A survey on static anthropometric dimensions in 20-60 year workers of six Iranian nations. *Journal of health administration*. 11 (32) :11-24

Byran, E., Gilad, I., & Oxman, R. (2013). Ergonomic design: Experimental studies of multi-task vehicle. Agriculture, *Forestry and Fisheries*, 2(1), 23-32.

Honglun, H., Shouqian, S., & Yunhe, P. (2007). Research on virtual human in ergonomic simulation. *Computers & Industrial Engineering*, 53(2), 350-356.

Hsiao, H., Whitestone J., Bradtmiller, B., Whisler, R., Zwiener, J., Lafferty C., Kau, T. Y., & Gross, M. (2005). Anthropometric criteria for the design of tractor cabs and protection frames. *Ergonomics*, 48(4), 323-353.

Kumar, A., Bhaskar, G., Singh, J.K., (2009). Assessment of controls layout of Indian tractors. *Applied Ergonomics*, 40, 91-102.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران