



مدلسازی اثر شاخص BMI و زوایای قرارگیری پا در حین کلاچ‌گیری تراکتور بر عضله گاستروکنیمیوس با الگوریتم ژنتیک

حسین فلاحی^۱، محمدحسین عباسپور فرد^۲، امین اظهري^۳، مهدی خجسته پور^۴، امین نیکخواه^۵، عباس روحانی^۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۳

تاریخ ویرایش: ۹۴/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به تسریع در گسترش مکانیزاسیون عملیات مختلف کشاورزی و کاربرد تراکتور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ماشین‌های کشاورزی ضرورت توجه به وضعیت سلامت و ایمنی کاری و ارگونومی کاربران این وسیله وجود دارد.

روش بررسی: در این تحقیق اثر شاخص BMI و زوایای قرارگیری پای کاربران تراکتور بر کاهش آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس آن‌ها هنگام کلاچ‌گیری با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها بر روی دو تراکتور MF285 و MF399 به‌عنوان تراکتورهای متداول در ایران و با استفاده از ۳۰ نفر به‌عنوان راننده انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که در تراکتور MF285، افراد با شاخص BMI بیش‌تر (در محدوده طبیعی)، زاویه قرارگیری زانو و ران پای کم‌تر، از میزان کاهش آستانه درد کم‌تری در حین کلاچ‌گیری برخوردارند. در نتیجه این افراد با فشارهای نامتعارف کم‌تری در هنگام کلاچ‌گیری تراکتور MF285 بر روی عضله گاستروکنیمیوس روبه‌رو بودند. در تراکتور MF399 شاخص BMI بیش‌ترین ضرایب رگرسیونی را در تمام فواصل زمانی در حین و پس از کلاچ‌گیری داشت و تأثیر این متغیر در تمامی فواصل زمانی بر روی کاهش آستانه درد رانندگان، بیش‌ترین مقدار بود. به‌طوری‌که با افزایش یک واحد در شاخص BMI میانگین کاهش آستانه درد در ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و پس از ۶۰ ثانیه استراحت به ترتیب ۱، ۸۹/۰ و ۶۹/۰ نیوتن کاهش می‌یابد. نتایج کاربرد الگوریتم ژنتیک نشان داد که شاخص BMI، زاویه‌های زانو، ران و مچ پا به ترتیب ۲۴/۷۵ کیلوگرم بر مترمربع، ۱۰۱، ۷۶ و ۱۰۰ درجه، میزان کاهش آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس کاربران تراکتورهای MF285 را به ۰/۱۶ نیوتن کاهش می‌دهد. برای کاربران تراکتور MF399 نیز که شاخص BMI، زاویه‌های زانو، ران و مچ پا به ترتیب ۲۴/۸۶ کیلوگرم بر مترمربع، ۱۳۰، ۱۱۵ و ۹۵ درجه، کاهش آستانه درد در حدود ۰/۳۱۶ نیوتن می‌باشد.

نتیجه‌گیری: در اکثر فواصل زمانی در حین و پس از کلاچ‌گیری در هر دو تراکتور، شاخص BMI تأثیر منفی بر کاهش آستانه درد داشت. عضله گاستروکنیمیوس کاربرانی که شاخص BMI (در محدوده طبیعی) بیش‌تری داشتند، در هنگام کلاچ‌گیری تحت تنش کم‌تری قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: ارگونومی، تراکتور، راننده، زاویه، عضله و گاستروکنیمیوس.

مقدمه

می‌گیرند. وضعیت بهداشت کاری و سلامت کاربران تراکتورهای کشاورزی توسط بسیاری از محققین در سراسر دنیا مورد توجه قرار گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه کومار و همکاران بر روی وضعیت ارگونومیک ابزارهای کنترلی تراکتور اشاره کرد. آن‌ها معتقدند که تنها از طریق تغییر فاصله افقی و عمودی صندلی راننده استفاده از ابزارهای کنترلی به شکل ارگونومیک قابل حصول نمی‌باشد [۳]. پژوهشی

کاربران ماشین‌های کشاورزی علاوه بر انجام کار در شرایط نسبتاً نامناسب از ابزارهای کنترلی برای هدایت ماشین استفاده می‌نمایند. در حال حاضر تراکتورهای MF285 و MF399 جز پرکاربردترین ماشین‌های کشاورزی ایران به شمار می‌روند [۱]. این تراکتورها در داخل کشور مونتاژ می‌شوند [۲] و در طیف وسیعی از فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. abaspour@fum.ac.ir

۳- استادیار، گروه طب فیزیکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۵- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۶- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

آنتروپومتریک بر روی رانندگان تراکتور در منطقه مرودشت به روش پرسشنامه‌ای نشان داد که ناراحتی گردن و شانه با متغیرهای ارتفاع نوک دست در حالت کشیده، قد، ارتفاع شانه، ارتفاع آرنج و ارتفاع زانو رابطه مستقیم و با سن و شاخص جرمی بدن (BMI) رابطه معکوس دارند [۱۰].

در مطالعه قبلی وضعیت ارگونومیک کلاچ تراکتورهای MF285 و MF399 مورد بررسی قرار گرفت. در آن مطالعه سه عضله گاستروکینیوس، تراپیوس و کوادراتوس لومباروم مدنظر قرار گرفت و گزارش شد که در تمامی عضلات کاربران تراکتورهای MF285 تحت تنش بیش‌تری نسبت به تراکتور MF399 قرار گرفتند [۱۱]. با توجه به این که در مطالعه قبلی اثرات مربوط به شاخص‌های آنتروپومتریک و همچنین زوایای قرارگیری ران، زانو و مچ پای کاربران بر آستانه درد کاربران تراکتورهای MF285 و MF399 مورد بررسی قرار نگرفته بود، هدف از این مطالعه مدل‌سازی اثر شاخص BMI، زوایای قرارگیری زانو، ران و مچ پای کاربران بر آستانه درد کاربران تراکتورهای MF285 و MF399 با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

روش بررسی

روش آزمایش: این مطالعه در نیمه اول سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. این تحقیق به روش تحلیلی توصیفی انجام گرفت. تعداد افراد نمونه ۳۰ نفر بود. افراد مورد مطالعه از شاخص BMI طبیعی (۱۸/۵ تا ۲۴/۹) برخوردار بودند. این شاخص که سنجشی برای مقایسه وزن و قد یک فرد است از طریق فرمول (۱) محاسبه شد [۱۲]. اطلاعات اولیه از مطالعه قبلی اخذ شد [۱۱].

$$BMI = \frac{W}{L^2} \quad (1)$$

که در این رابطه W: وزن به کیلوگرم، L: قد به متر می‌باشد. در ابتدا از کاربر خواسته شد به‌طور طبیعی

به‌منظور تعیین فرکانس‌های غالب بدن راننده تراکتور در راستاهای مختلف طولی، جانبی و عمودی روی سه گروه از رانندگان با متوسط وزن ۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم و چهار شتاب تحریک ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر مجذور ثانیه انجام گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده، مقادیر فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن راننده در سه راستا با استفاده از رگرسیون چند متغیره با عامل‌های جرم راننده و فرکانس تحریک، برازش شد. این روش محاسبه فرکانس‌های طبیعی اندام‌های بدن راننده، بیش‌ترین تطابق را با نتایج حاصل از آزمایش‌های ایستگاهی داشت [۴]. در مطالعه‌ای کم‌دردی رانندگان تراکتورهای کشاورزی به دلیل قرار گرفتن در معرض لرزش کلی بدن و وضعیت پرفشار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد میزان شیوع کم‌درد در بین رانندگان بیش‌تر از گروه دیگری که این فعالیت را انجام نمی‌دادند، بود [۵]. در بررسی دیگری روی رانندگان تراکتور در شهرستان نیشابور، شایع‌ترین اختلالات اسکلتی عضلانی به ترتیب در ناحیه تحتانی پشت، زانو، مچ پا، آرنج، ران و شانه گزارش شد و اعلام گردید که اغلب راننده‌های تراکتور در معرض خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی عضلانی هستند [۶]. در مطالعه بر روی تولید برخی محصولات کشاورزی در آمریکا، عملیاتی که با ماشین‌های کشاورزی انجام می‌شدند، به‌عنوان پراسیب‌ترین فعالیت کشاورزان گزارش شده و آسیب‌های ناشی از این فعالیت‌ها را در کل بدن به خصوص کمر و خستگی عمومی و بصری اعلام نمودند [۷]. در مطالعه‌ای تأثیر ارتعاش یک تراکتور دو چرخ بر دست و بازو کاربران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که بیش‌ترین میزان مواجهه با ارتعاش در حالت شخم زدن با تراکتور دو چرخ بود [۸]. در مطالعه‌ای بر روی ارتعاشات تراکتوری تک دیفرانسیل با توانی در حدود ۳۵ اسب بخار در هند گزارش شد که رانندگی تراکتور در طی عملیات شخم نباید از ۲/۵ ساعت تجاوز کند، رانندگی بیش‌تر از این مقدار موجب بروز درد و آسیب‌های شدید می‌شود [۹]. در یک مطالعه ارتباط اختلالات اسکلتی عضلانی با شاخص‌های



شکل ۱- استفاده از دستگاه الگومتر در ناحیه عضله گاستروکنیمیوس برای تعیین آستانه درد

درد کاربر در این مرحله نیز ثبت شد. کاهش آستانه درد عبارت است از: آستانه درد قبل از کلاچ‌گیری منهای آستانه درد کاربر بعد از کلاچ‌گیری. کاهش هر چه بیش‌تر آستانه درد نشان می‌دهد که عضله در فرآیند کلاچ‌گیری تحت تنش بیش‌تری قرار گرفته است. تمامی اندازه‌گیری‌ها با رعایت فواصل زمانی مناسب بین آزمایش‌های مختلف صورت گرفت. با توجه به این‌که کلاچ تراکتور MF285 دو مرحله‌ای است، برای جلوگیری از خطای احتمالی، با قرار دادن مانع فلزی زیر پدال از اعمال نیروی مازاد و رفتن به مرحله دوم کلاچ‌گیری جلوگیری شد. در تحلیل رگرسیونی مورد استفاده، تأثیر متغیرهای مستقل شامل: شاخص BMI، زاویه زانو، زاویه مچ و ران پا (به ترتیب X_1 ، X_2 ، X_3 و X_4) بر کاهش آستانه درد به‌عنوان متغیر وابسته (Y) بررسی شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP4 تجزیه و تحلیل شدند.

الگوریتم ژنتیک: در این مطالعه برای بهینه‌سازی (کاهش آستانه درد) کاربران در حین کلاچ‌گیری تراکتورهای متداول در ایران از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. به این ترتیب که معادلات رگرسیونی تخمین زده شده در محیط الگوریتم ژنتیک قرار داده شدند و مقادیر بهینه BMI و زوایای قرارگیری زانو، ران و مچ پای کاربران برای کمینه‌سازی آستانه درد محاسبه گردید. الگوریتم ژنتیک با الهام از اصول بیولوژیکی توسعه یافته است [۱۶]. الگوریتم‌های ژنتیک برای یافتن نقاط

روی صندلی تراکتور بنشینند، سپس فاصله عمودی صندلی راننده بر اساس وزن و با استفاده از راهنمای درج‌شده در پشت صندلی راننده و فاصله افقی بر اساس ابعاد آن‌تروپومتریک افراد تنظیم شد. در این وضعیت زاویه‌های زانو، ران و مچ پای رانندگان در هنگام کلاچ‌گیری با استفاده از خط‌کش نقاله‌دار اندازه‌گیری شد برای تعیین آستانه درد از دستگاه الگومتر با نام لوترن مدل FG-5005 با دقت 0.01 نیوتن و سطح مقطع پروب $44/15$ میلی‌متر مربع استفاده شد. این اندازه‌گیری‌ها در عضله گاستروکنیمیوس^۱ (در ناحیه ساق پا) مطابق شکل ۱ انجام شد. گاستروکنیمیوس عضله سطحی ساق بوده که دو سر آن به آسانی در خلف ساق قابل لمس است و انتخاب این عضله به این دلیل است که این عضله نقش کلیدی در فلکشن پلانتر مچ پا (جزء اصلی درگیر در حین کلاچ‌گیری) دارد [۱۳-۱۵]. آزمایش‌ها برای هر نفر بر روی عضله مورد نظر با دستگاه الگومتر قبل از کلاچ‌گیری، ۳۰ ثانیه بعد از کلاچ‌گیری، ۶۰ ثانیه بعد از کلاچ‌گیری و بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری انجام گرفت. آزمایش‌ها به این صورت انجام گرفت که دستگاه الگومتر بر روی عضله گاستروکنیمیوس کاربر قرار داده شد و فشار وارده به تدریج افزایش یافت تا جایی که کاربر آستانه درد خود را اعلام کند (شکل ۱)، پس از کلاچ‌گیری نیز آزمایش انجام گرفت و آستانه

¹. Gastrocnemius muscle

کمینه و یا بیشینه عمومی و یا نزدیک به آن‌ها در فضای جستجوی چند بعدی در انواع مسائل خطی و یا غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۷]. در گام اول، الگوریتم ژنتیک جمعیت تصادفی راه حل‌های اولیه را از طریق رابطه (۲) ایجاد می‌کند [۱۷]:

$$Pop = Rand(N_{pop}, 4) \quad (2)$$

که در این رابطه N_{pop} تعداد افراد جامعه و تعداد متغیرهای مستقل (شاخص BMI و زوایای قرارگیری زانو، ران و مچ پای کاربران) چهار می‌باشد. هر فرد از جمعیت با تابع شایستگی طراحی شده در بخش قبل (مدل رگرسیونی تخمینی) ارزیابی می‌شوند. در این الگوریتم عموماً افراد شایسته قادر به تولید مثل و باقی ماندن در نسل بعدی هستند.

عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک، "انتخاب"، "تقاطع" و "جهش" می‌باشند. بدین ترتیب که تولید نسل بعدی توسط عملگر تقاطع انجام می‌گیرد. در این فرآیند، فرزندهای جدید از والدها تولید می‌شوند. عملگر جهش برای برخی از اعضای نسل جدید اعمال می‌گردد. از دلایل ایجاد جهش، جلوگیری از گیرافتادن در کمینه محلی می‌باشد، زیرا در الگوریتم ژنتیک به دنبال رسیدن به کمینه اصلی مدل می‌باشد. به‌طور کلی الگوریتم ژنتیک زمانی همگرا می‌شود که مقدار تابع شایستگی در طی چندین نسل تغییر نکند و یا اینکه تعداد نسل‌ها بیش‌تر از تعداد در نظر گرفته شود. در این پژوهش، کد کامپیوتری الگوریتم ژنتیک در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار متلب (Matlab2014b) تهیه

شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و زوایای قرارگیری پای کاربران: میانگین وزن، قد و شاخص BMI افراد در این مطالعه به ترتیب $62/23\text{kg}$ ، $177/43\text{cm}$ ، $21/91\text{kg m}^{-2}$ به دست آمد. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به مقایسه زاویه قرارگیری زانو، ران و مچ پا در دو تراکتور MF285 و MF399 آورده شده است. میانگین زاویه قرارگیری زانو در این تراکتورها به ترتیب $127/83$ و $148/83$ درجه محاسبه شد. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است تفاوت زاویه قرارگیری زانو در دو تراکتور در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. زاویه قرارگیری زانو و مچ پا در تراکتور MF285 بیش‌تر از زاویه زانو و مچ پا در تراکتور MF399 به دست آمد.

تحلیل رگرسیونی نیروهای وارد بر عضله گاستروکینیموس راننده در استفاده از کلاچ تراکتور MF285: تحلیل‌های رگرسیونی صورت گرفته بر روی کاهش آستانه درد در عضله گاستروکینیموس روی تراکتور MF285 بعد از ۳۰ ثانیه، ۶۰ ثانیه کلاچ گیری و پس از ۶۰ ثانیه استراحت در جدول ۲ آورده شده است. شاخص BMI در تراکتور MF285 پس از ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری بیش‌ترین ضرایب را به ترتیب با $(-1/01)$ ، $(-0/47)$ داشت. تأثیر این متغیر بر روی کاهش آستانه درد در تمام فواصل، در حین و پس از کلاچ‌گیری برای رانندگانی که BMI آن‌ها در محدوده طبیعی بود، منفی بود. این موضوع بیانگر آن است که افرادی با شاخص BMI بیش‌تر، تنش کم‌تری را در ناحیه عضله گاستروکینیموس در حین کلاچ‌گیری

جدول ۱- مقایسه میانگین‌های جفت شده زاویه قرارگیری زانو، ران و مچ پا در تراکتورهای MF285 و MF399 [۱۱]

اماره t	میانگین MF285	میانگین MF399	p
	بر حسب درجه (انحراف معیار)	بر حسب درجه (انحراف معیار)	
زاویه زانو	$127/83 (10/78)$	$148/83 (8/36)$	$0/0001$
زاویه ران	$94/70 (13/14)$	$93/70 (10/88)$	$0/759$
زاویه مچ پا	$108/77 (12/40)$	$112/57 (8/62)$	$0/136$

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد



جدول ۲- کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و ۶۰ ثانیه استراحت پس از آن در عضله گاستراکینیوموس روی تراکتور MF285

بنا استاندارد	P-value	آماره t	ضرایب	
Model A: $Y = -16.23 - 1.01X_1 + 0.05X_2 + 0.11X_3 - 0.06X_4$				بعد از ۳۰ ثانیه
-۰/۵۶	۰/۰۰۷	-۲/۹۹	-۱/۰۱	BMI
۰/۱۷	۰/۱۷	۱/۴۱	۰/۰۵	زاویه مفصل زانو
۰/۴۵	۰/۰۲	۲/۴۷	-۰/۱۱	زاویه ران پا
-۰/۲۳	۰/۰۵	-۱/۹۹	-۰/۰۶	زاویه مچ پا
			۰/۷۵	R ²
			-۰/۷۰	R ² adj
Model B: $Y = -7.31 - 0.47X_1 + 0.07X_2 - 0.14X_3 + 0.01X_4$				بعد از ۶۰ ثانیه
-۰/۲۵	۰/۳۰	-۱/۰۶	-۰/۴۷	BMI
۰/۲۴	۰/۱۴	۱/۵۲	-۰/۰۷	زاویه مفصل زانو
۰/۵۹	۰/۰۲	۲/۵۵	-۰/۱۴	زاویه ران پا
۰/۰۶	۰/۷۱	۰/۳۸	-۰/۰۱	زاویه مچ پا
			-۰/۵۹	R ²
			-۰/۵۱	R ² adj
Model C: $Y = -14.67 + 0.04X_1 + 0.08X_2 + 0.11X_3 - 0.02X_4$				بعد از ۶۰ ثانیه استراحت
۰/۰۳	۰/۹۲	۰/۱۰	-۰/۰۴	BMI
۰/۳۶	۰/۰۹	۱/۷۶	-۰/۰۸	زاویه مفصل زانو
۰/۵۹	۰/۰۶	۱/۹۶	-۰/۱۱	زاویه ران پا
-۰/۰۹	۰/۶۴	-۰/۴۷	-۰/۰۲	زاویه مچ پا
			۱/۳۰	R ²
			-۰/۱۶	R ² adj

دارند. همان‌گونه که در ابتدای نتایج ذکر شد، اختلاف قرارگیری زاویه زانو پا در این دو تراکتور در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

تأثیر زاویه ران در تمام فواصل زمانی بر روی کاهش آستانه درد مثبت بود و تأثیر آن در ۳۰ و ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری بر روی کاهش آستانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و در ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در سطح ده درصد معنی‌دار بود. تأثیر زاویه قرارگیری مچ پا بر روی کاهش آستانه درد در ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری و ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری بر روی کاهش آستانه درد منفی بود ولی در ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری تأثیر این متغیر مثبت بود.

در ۳۰ ثانیه پس از کلاچ‌گیری شاخص BMI با بتا استاندارد (۰/۵۶) بیش‌ترین تأثیر را بر روی کاهش آستانه درد داشت. در ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری شاخص

متحمل می‌شوند، به نحوی که با یک واحد افزایش در شاخص BMI میزان کاهش آستانه درد ۰/۴۷ واحد کاهش می‌یابد. زاویه ران پا در ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری بیش‌ترین ضریب رگرسیونی را در بین سایر متغیرها داشت و تأثیر این متغیر بر روی کاهش آستانه درد مثبت بود.

تأثیر زاویه زانوی پا بعد از ۳۰ ثانیه کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 و همین‌طور بعد از ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری در سطح ده درصد معنی‌دار نشد، ولی بعد از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری در سطح ده درصد معنی‌دار شد. نکته قابل توجه این است که با گذشت زمان، زاویه قرارگیری زانوی پای راننده تراکتور تأثیر خود را بر کاهش آستانه درد می‌گذارد به نحوی که افرادی با زاویه قرارگیری زانوی پای بزرگ‌تر در هنگام کلاچ‌گیری، مقدار کاهش آستانه درد بیش‌تری



جدول ۳- کاهش آستانه درد بعد از ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ گیری و ۶۰ ثانیه استراحت پس از آن در عضله گاستروکینیموس روی تراکتور MF399

بتا استاندارد	P-value	t	ضرایب	آماره
Model D: $y = 16.97 - 1.00X1 + 0.04X2 + 0.009X3 + 0.01X4$				
				بعد از ۳۰ ثانیه
-۰/۶۴	۰/۰۰۴	-۳/۲۷	-۱/۰۰	BMI
۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۰۴	زاویه مفصل زانو
۰/۰۴	۰/۸۳	۰/۲۲	-۰/۰۰۹	زاویه ران پا
۰/۰۴	۰/۸۲	۰/۲۳	۰/۰۱	زاویه مچ پا
			۰/۴۶	R ²
			۰/۳۵	R ² adj
Model E: $y = 11.92 - 0.89X1 + 0.03X2 - 0.02X3 + 0.04X4$				
				بعد از ۶۰ ثانیه
-۰/۶۵	۰/۰۰۴	-۳/۲۴	-۰/۸۹	BMI
۰/۱۱	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۰۳	زاویه مفصل زانو
۰/۰۹	۰/۶۰	۰/۵۳	۰/۰۲	زاویه ران پا
۰/۱۶	۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۰۴	زاویه مچ پا
			۰/۴۵	R ²
			۰/۳۳	R ² adj
Model F: $y = 15.07 - 0.69X1 - 0.006X2 - 0.006X3 + 0.03X4$				
				بعد از ۶۰ ثانیه استراحت
-۰/۶۷	۰/۰۰۳	-۳/۳۱	-۰/۶۹	BMI
-۰/۰۰۳	۰/۹۹	-۰/۰۱	-۰/۰۰۶	زاویه مفصل زانو
-۰/۰۴	۰/۸۴	-۰/۲۰	-۰/۰۰۶	زاویه ران پا
۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۹۲	۰/۰۳	زاویه مچ پا
			۰/۴۴	R ²
			۰/۳۲	R ² adj

متغیر در تمامی فواصل زمانی بر روی کاهش آستانه درد رانندگان بیشترین مقدار بود، به طوری که با افزایش یک واحد در شاخص BMI میانگین کاهش آستانه درد در ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ گیری و پس از ۶۰ ثانیه استراحت به ترتیب ۱، ۰/۸۹ و ۰/۶۹ کاهش می‌یابد. تأثیر زاویه مفصل زانو و ران پا بر روی کاهش آستانه درد راننده‌های تراکتور MF399 در ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ گیری مثبت بود، ولی در ۶۰ ثانیه پس از کلاچ گیری با افزایش زاویه قرارگیری زانو، میانگین کاهش آستانه درد کاهش یافت. تأثیر زاویه مچ پا بر روی کاهش آستانه درد راننده‌های تراکتور مثبت بود. افراد با شاخص BMI بیش‌تر و زاویه قرارگیری زانوی پای کم‌تر در هنگام کلاچ گیری تراکتور در ناحیه عضله گاستروکینیموس تحت تنش کم‌تری قرار دارند.

نتایج الگوریتم ژنتیک: نتایج کمینه‌سازی آستانه درد عضله گاستروکینیموس کاربران تراکتورهای MF285

BMI دومین متغیر تأثیرگذار بر روی کاهش آستانه درد بود ولی این شاخص پس از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ گیری کم‌ترین تأثیر را در بین سایر متغیرها بر روی کاهش آستانه درد داشت. تأثیر زاویه قرارگیری ران پای راننده‌های تراکتور MF285 نیز در مقایسه با زاویه زانو و مچ پا تراکتور در تمام فواصل در حین و پس از کلاچ گیری بیش‌تر بود.

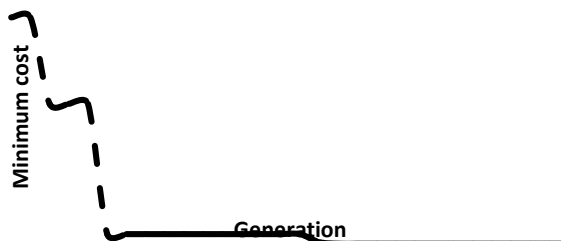
تحلیل رگرسیونی نیروهای وارد بر عضله گاستروکینیموس راننده در استفاده از کلاچ تراکتور MF399 تحلیل‌های رگرسیونی صورت گرفته بعد از ۳۰ ثانیه، ۶۰ ثانیه کلاچ گیری و پس از ۶۰ ثانیه استراحت بر روی کاهش آستانه درد در عضله گاستروکینیموس روی تراکتور MF399 در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شاخص BMI بیش‌ترین ضرایب رگرسیونی را در تمام فواصل زمانی در حین و پس از کلاچ گیری داشت و تأثیر این



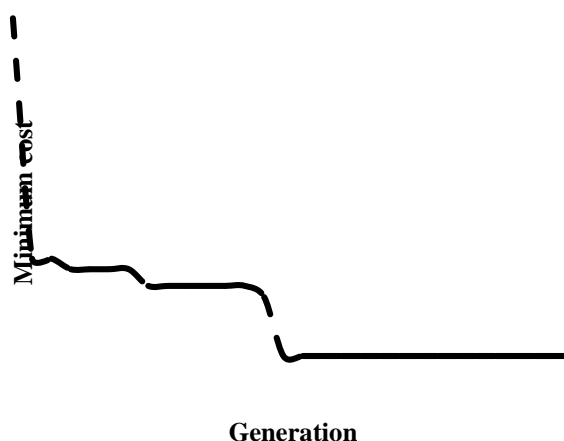
جدول ۴- نتایج کمینه‌سازی آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس کاربران با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مقدار کمینه کاهش آستانه درد*	شاخص BMI	زاویه زانو	زاویه ران	زاویه مچ پا
۰/۰۱۶	۲۴/۷۵	۱۰۱	۷۶	۱۰۰
۰/۳۱۶	۲۴/۸۶	۱۳۰	۱۱۵	۹۵

*کاهش آستانه درد، برابر آستانه درد قبل از کلاچ‌گیری منهای آستانه درد کاربر بعد از کلاچ‌گیری است. کاهش هر چه بیش‌تر آستانه درد نشان می‌دهد که عضله در فرآیند کلاچ‌گیری تحت تنش بیش‌تری قرار گرفته است.



شکل ۲- نمودار همگرایی کمینه تابع شایستگی برای تراکتور MF285



شکل ۳- نمودار همگرایی کمینه تابع شایستگی برای تراکتور MF399

کاهش آستانه درد در حدود ۰/۳۱۶ نیوتن می‌باشد. نمودار همگرایی کمینه تابع شایستگی برای تراکتورهای MF285 و MF399 به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

در جدول ۵، هشت نتیجه برتر در بهترین نسل الگوریتم ژنتیک برای تراکتور MF285 آورده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، بهترین ترکیب داده‌ها به ترتیب در این نسل ذخیره شده است. ردیف

و MF399 در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص BMI، زاویه‌های زانو، ران و مچ پا به ترتیب ۲۴/۷۵ کیلوگرم بر مترمربع، ۱۰۱، ۷۶ و ۱۰۰ درجه میزان کاهش آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس کاربران تراکتورهای MF285 را به ۰/۰۱۶ نیوتن می‌رساند. همچنین، برای کاربران تراکتور MF399 که شاخص BMI، زاویه‌های زانو، ران و مچ پا به ترتیب ۲۴/۸۶ کیلوگرم بر مترمربع، ۱۳۰، ۱۱۵ و ۹۵ درجه،



جدول ۵- هشت نتیجه برتر در بهترین نسل الگوریتم ژنتیک برای تراکتور MF285

زاویه مج	زاویه ران	زاویه زاو	BMI	کاهش آستانه درد	
۱۰۰/۴۳	۷۵/۶۵	۱۰۱/۱۸	۲۴/۷۵	۰/۰۱۶	۱
۱۲۳/۶۲	۷۵/۴۸	۱۰۲/۸۱	۲۴/۳۷	۰/۱۹۶	۲
۱۰۸/۴۹	۸۱/۸۱	۱۰۲/۰۵	۲۴/۶۲	۰/۹۲۷	۳
۱۰۰/۴۷	۸۴/۹۸	۱۰۲/۱۸	۲۴/۸۵	۱/۲۶۳	۴
۱۲۱/۱۰	۸۱/۴۹	۱۱۰/۰۴	۲۴/۷۵	۱/۲۹۴	۵
۱۰۳/۰۰	۷۸/۴۸	۱۰۶/۸۲	۲۳/۷۵	۱/۴۵۹	۶
۱۲۵/۸۵	۸۲/۷۰	۱۰۰/۵۱	۲۳/۴۲	۱/۶۰۷	۷
۱۱۴/۰۳	۸۲/۳۱	۱۱۲/۹۶	۲۴/۹۰	۱/۶۵۹	۸

جدول ۶- هشت نتیجه برتر در بهترین نسل الگوریتم ژنتیک برای تراکتور MF399

زاویه مج	زاویه ران	زاویه زانو	BMI	کاهش آستانه درد	
۹۵	۱۱۵	۱۳۰	۲۴/۸۶	۰/۳۱۶	۱
۹۵	۹۲	۱۳۱	۲۴/۵۴	۰/۶۰۵	۲
۹۹	۱۲۰	۱۳۰	۲۴/۵۰	۰/۶۳۴	۳
۱۰۱	۱۰۹	۱۳۳	۲۴/۸۶	۰/۷۲۸	۴
۱۰۷	۹۵	۱۳۳	۲۴/۴۸	۱/۱۲۱	۵
۱۲۳	۱۱۱	۱۳۱	۲۴/۶۴	۱/۲۱۷	۶
۱۱۰	۸۳	۱۳۰	۲۳/۸۶	۱/۳۴۷	۷
۹۹	۱۱۵	۱۳۷	۲۴/۳۴	۱/۳۷۳	۸

می‌رسد، افرادی که شاخص BMI بیش‌تری در محدوده طبیعی داشتند در هنگام کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 با استفاده از توده وزنی بیش‌تر، تنش کم‌تری را در عضله گاستروکنیمیوس متحمل می‌شوند. به‌طور کلی، افراد با شاخص BMI بیش‌تر (ولی در محدوده طبیعی)، زاویه قرارگیری زانو و ران پا کم‌تر از میزان کاهش آستانه درد کم‌تری در حین کلاچ‌گیری در تراکتور MF285 برخوردارند و در نتیجه این قبیل افراد با فشارهای نامتعارف کم‌تری در هنگام کلاچ‌گیری تراکتور MF285 بر روی عضله گاستروکنیمیوس روبه‌رو بودند.

در حین کلاچ‌گیری تراکتور MF399 شاخص BMI کاربران بیش‌ترین تأثیر را در بین متغیرهای مورد بررسی روی آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس داشت. رحمانی‌نیا و دانشمندی نیز بر ارتباط معنی‌دار اندیس توده بدن و تأثیراتش بر روی اندام تحتانی صحنه گذاشته‌اند [۱۸].

اول ترکیب داده‌ها، پاسخ مدنظر الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در جدول ۶ نیز هشت نتیجه برتر در بهترین نسل الگوریتم ژنتیک برای تراکتور MF399 ارائه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه به بررسی اثر شاخص BMI و زوایای قرارگیری پای کاربران تراکتورهای متداول در ایران بر کاهش آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس در هنگام کلاچ‌گیری پرداخت. نتایج نشان داد که در ۳۰ ثانیه پس از کلاچ‌گیری شاخص BMI بیش‌ترین تأثیر را بر روی کاهش آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس کاربران تراکتور MF285 داشت. در ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری شاخص BMI دومین متغیر تأثیرگذار بر روی کاهش آستانه درد بود ولی این شاخص پس از ۶۰ ثانیه استراحت پس از کلاچ‌گیری کم‌ترین تأثیر را در بین سایر متغیرها بر روی کاهش آستانه درد داشت. به نظر



تنظیم صندلی راننده در حین کار با ابزارهای مختلف تراکتور در دفترچه راهنمای بهره گرفته شود.

این مطالعه به مدل‌سازی اثر شاخص BMI و زوایای قرارگیری پای کاربران تراکتور در حین کلاچ‌گیری بر عضله گاستروکنیمیوس با الگوریتم ژنتیک پرداخت. اعم نتایج این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

• در هر دو تراکتور مورد بررسی (MF285 و MF399) افراد با شاخص BMI بیش‌تر (در محدوده طبیعی) تحت تنش کم‌تری در حین کلاچ‌گیری قرار گرفتند.

• در تراکتور MF285 افراد با زاویه قرارگیری زانو و ران پای کم‌تر تحت تنش کم‌تری در حین کلاچ‌گیری قرار گرفتند.

• در تراکتور MF399 افراد با زاویه قرارگیری مچ پای بیش‌تر تحت تنش کم‌تری در حین کلاچ‌گیری قرار داشتند.

نقدیر و تشکر

از دانشگاه فردوسی مشهد برای حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Agriculture Jihad Mechanization Development Center (AJMDC). (2012), Available on <http://www.ajmdc.ir> (Persian).
2. Anonymous, Iran Tractor Manufacturing Company, (2012), Available from <http://www.itm.co.ir/>
3. Kumar A. Bhaskar G, Singh JK. Assessment of controls layout of Indian tractors. *Applied Ergonomics* 2009;40:91-102.
4. Malaki A, Mohtasebi SS. Most frequency analysis of body organs tractor driver. Paper presented at the 8th national congress on agri. machinery eng. and mechanization of Iran 2010 (In Persian).
5. Bovenzi M, Betta A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. *Applied Ergonomics*. 1994;25(4):231-41.
6. Safiyari H, Salmanizadeh F, Kasrayi M, Sondromi A. Assessment of musculoskeletal

در تراکتور MF399 شاخص BMI بیش‌ترین ضرایب رگرسیونی را در تمام فواصل در حین و پس از کلاچ‌گیری داشت و تأثیر این متغیر در تمامی فواصل زمانی بر روی کاهش آستانه درد رانندگان بیش‌ترین مقدار بود. به نحوی که با افزایش یک واحد در شاخص BMI میانگین کاهش آستانه درد در ۳۰ ثانیه و ۶۰ ثانیه کلاچ‌گیری و پس از ۶۰ ثانیه استراحت به ترتیب ۱، ۸۹/۰ و ۶۹/۰ کاهش می‌یابد. به‌طور کلی در هر دو تراکتور مورد بررسی در اکثر فواصل زمانی در حین و پس از کلاچ‌گیری، شاخص BMI تأثیر منفی بر کاهش آستانه درد داشت و عضله گاستروکنیمیوس کاربرانی که شاخص BMI (در محدوده طبیعی) بیش‌تری داشتند، در هنگام کلاچ‌گیری تحت تنش کم‌تری قرار گرفت. در مطالعه‌ای پدال‌های ترمز و گاز تراکتورهای MF285 و MF399 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عضله گاستروکنیمیوس به‌طور قابل توجهی در حین فشردن این پدال‌ها تحت تنش قرار می‌گیرد [۱۹].

نتایج کاربرد الگوریتم ژنتیک برای کمینه‌سازی کاهش آستانه درد نشان داد که شاخص BMI، زاویه‌های زانو، ران و مچ پا به ترتیب ۲۴/۷۵ کیلوگرم بر مترمربع، ۱۰۱، ۷۶ و ۱۰۰ درجه میزان کاهش آستانه درد عضله گاستروکنیمیوس کاربران تراکتورهای MF285 را به ۰/۱۶ نیوتن کاهش می‌دهد. برای کاربران تراکتور MF399 نیز که شاخص BMI، زاویه‌های زانو، ران و مچ پا به ترتیب ۲۴/۸۶ کیلوگرم بر مترمربع، ۱۳۰، ۱۱۵ و ۹۵ درجه، کاهش آستانه درد در حدود ۰/۳۱۶ نیوتن می‌باشد. براین اساس، به کاربران تراکتورهای MF285 و MF399 پیشنهاد می‌گردد، ضمن تنظیم صندلی راننده تراکتور، زوایای پای خود را مطابق نتایج ارائه شده در این مطالعه تنظیم نمایند. این امر موجب می‌گردد که آن‌ها در حین کار با کلاچ تراکتور متحمل درد کم‌تری در ناحیه عضله گاستروکنیمیوس شوند. همچنین، به کارخانه سازنده پیشنهاد می‌گردد، از روش الگومتر به همراه تحلیل رگرسیونی و الگوریتم ژنتیک برای ارائه نحوه صحیح



19. Nikkhah A, Emadi B, Khojastehpour M, Attarzadeh-Hosseini SR. Ergonomic assessment of brake and accelerator mechanisms of MF285 and MF399 tractors using electromyography method, *Agricultural Machinery*. 2016;6(1):25-34.
- disorders of tractor drivers in Korbali region, Iran. 7th national conference of agricultural machinery engineering and mechanization. Shiraz, Iran. 2012.
7. Fathallah FA. Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. *Applied Ergonomics* 2010;41(6):738-743.
8. Nassiri P, Ali Mohammadi, A, Beheshti MH, Azam K. Hand-Arm vibration assessment among tiller operator, *Journal of Health and Safety at Work*. 2013;3(1):35-47.
9. Mehta CR, Tiwari PS, Rokade S, Pandey MM, Pharde SC, Gite LP, et al. Leg strength of Indian operators in the operation of tractor pedals. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2007;37(4):283-289.
10. Sondromi A, Solmanizadeh F, Safiyari H, Kasrayi M, Biabadi M. Investigating the relationship between anthropometric indices with musculoskeletal disorders on some tractor drivers in Karbali region, Marvdasht. Iran. 7th national conference of agricultural machinery engineering and mechanization. Shiraz, Iran. 2012
11. Fallahi H, Abbaspour-Farda MH, Azhari A, Khojastehpoura M, Nikkhah A. Ergonomic assessment of drivers in MF285 and MF399 tractors during clutching using algometer, *Information Processing in Agriculture*. 2016;3(1):54-60.
12. Jaworowska A, Bazylak G. An outbreak of body weight dissatisfaction associated with self-perceived BMI and dieting among female pharmacy students. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2009; 63:679-692.
13. Kendall FP, McCreary EK, Provance PG. *Muscle testing & function*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1993.
14. Simons DG, Travell G, Simons LS. *Travell & Simons myofascial pain & dysfunction: the trigger point manual*, Vol 1, 2nd ed. Baltimore, Williams & Wilkins. 1999.
15. Oatis A. *Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement* (Second edition). Lippincott Williams & Wilkins; Second, North American Edition. 2008.
16. Haupt SE, Haupt RL. *Practical genetic algorithms*. John Wiley & Sons. 2004.
17. Jafari M, Rohani A. Stress distribution parameters optimization of orthotropic plates with quasi-square cut out using genetic algorithm, *Journal of Solid and Fluid Mechanics*. 2015;4(4): 87-99.
18. Rahmani-Nia F, Daneshmandi H. Relationship between the girl student BMI index with lower limb deformities, *Motion*. 2007;33:31-45.

Modeling of BMI index and leg angles during tractors' clutching on gastrocnemius muscle using genetic algorithm

Hossein Fallahi¹, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard², Amin Azhari³, Mehdi Khojastehpour⁴
Amin Nikkhah⁵, Abbas Rohani⁶

Received: 2015/08/05

Revised: 2016/01/02

Accepted: 2016/06/02

Abstract

Background and aims: Due to the rapid development of agricultural mechanization and the use of tractor as one of the most important agricultural machinery, principal focus should be on the health, ergonomic and safety working conditions of the tractor operators.

Methods: In this research the impact of BMI index and the leg angles of Iranian common tractors drivers on pain threshold reduction of gastrocnemius muscle during clutching were investigated. Experiments were performed on two tractors including MF285 and MF399 models as two Iranian common tractors. The experiments were conducted by employing 30 drivers.

Results: The results of data analysis showed that in MF285 tractor, the drivers with higher BMI index (within the normal range) and lower leg and thigh angles had small decrease of pain threshold. Consequently, these tractor drivers feel low level of stress in their gastrocnemius muscle. The BMI index had the highest regression coefficient for all time intervals during and after clutching of MF399 tractors. The impact of this variable for all time intervals on the reduction of pain threshold was the highest. So that one unit increase in BMI index would decrease the pain threshold reduction by 1, 0.89 and 0.69 N, respectively. The results of genetic algorithm showed that when the BMI index, knee, thigh and ankle angles are 24.75 kgm², 101, 76 and 100 degrees, the decrease of pain threshold in Gastrocnemius muscle is reached to 0.016 Newton. For the MF399 tractor, when the BMI index, knee, thigh and ankle angles are 24.86, 130, 115 and 95 degrees, the decrease of pain threshold is reached to 0.316 Newton.

Conclusion: The effect of BMI index was negative on the decrease of pain threshold for all time intervals, during and after clutching for both of tractors. The Gastrocnemius muscle of the drivers with higher BMI index is under less stress during clutching.

Keywords: Ergonomic, Tractor, Operator, Muscle, Gastrocnemius.

1. MA, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. (**Corresponding author**) Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. abaspour@fum.ac.ir

3. Assistant Professor, Orthopedic Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

4. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

5. PhD student, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

6. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.