



اندازه‌گیری گشتاور لازم برای باز کردن درب شیشه‌های دهان پهن و ارتباط آن با ویژگی‌های آنتروپومتریک و فیزیولوژیک مؤثر

مهرداد اشرفی^۱، حمیده رضوی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: حمیده رضوی، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ایمیل: h-razavi@um.ac.ir

DOI: 10.21859/joe-05011

چکیده

مقدمه: ۹٪ از کل بسته‌بندی‌های محفظه‌ای موجود را بسته‌بندی شیشه‌های دهان پهن تشکیل می‌دهد. حال آن که برخی مصرف‌کنندگان برای باز کردن درب شیشه‌ها، با مشکل مواجه می‌شوند. هدف تحقیق حاضر بررسی نیروهای وارده بر درب بسته‌بندی دهان پهن از طرف مصرف‌کننده و همچنین یافتن ارتباط بین گشتاور اعمالی با ویژگی‌های آنتروپومتریک و فیزیولوژیک افراد می‌باشد. بنابراین، طراحی و بسته‌بندی شیشه‌های دهان پهن می‌تواند بر اساس حداقل گشتاور قابل اعمال توسط گروه مصرف‌کنندگان انجام شود.

روش کار: در مقاله حاضر ابتدا با ساخت یک دستگاه اندازه‌گیری نیرو، متشکل از حسگرهای FSR به بررسی توزیع نیرو در کف و انگشتان دست پرداخته شد. دستگاه شامل ۱۹ حسگر می‌باشد، ۱۴ عدد از آن‌ها روی انگشتان و ۵ عدد بر کف دست نصب می‌شوند. هر حسگر از طریق ۲ سیم به درایور و سپس از طریق رابط USB به رایانه متصل می‌شود. از یک شیشه پر به وزن ۱۱۰۰ گرم و با قطر خارجی ۸۵ mm استفاده و مقادیر نیروی اعمالی برای ۰۱ پسر و ۰۱ دختر دانشجو ثبت گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Minitab ۱۷ یک رابطه ریاضی بین گشتاور اعمالی به درپوش و ویژگی‌های آنتروپومتریک و فیزیولوژیک افراد به دست آمد.

یافته‌ها: با مقایسه نتایج بدست آمده، مشخص گردید که تمرکز نیروها هنگام باز کردن درب بسته‌بندی دهان پهن بر روی انگشت اشاره می‌باشد. محاسبه گشتاور از طریق روابط ریاضی با استفاده از مقادیر نیروی اندازه‌گیری شده نشان داد که بیشینه گشتاور اعمالی مردان ۱۰/۶۳ Nm و برای زنان ۷/۶۶ Nm است. مطابق آزمون آماری F برای گشتاور (متغیر پاسخ) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، مقدار p-value برای گروه مردان و زنان به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۰۰۸ به دست آمد، که می‌توان نتیجه گرفت مشاهدات صورت گرفته از لحاظ آماری، معنادار بوده است.

نتیجه‌گیری: بررسی‌های آماری مشخص کرد که ابعاد دست و نیروی عضلانی بیشترین سهم را در اعمال نیرو دارا هستند. به علاوه نتایج مشخص کرد که برای شیشه مورد نظر، شرایط بسته‌بندی باید طوری تنظیم شود که برای مصرف‌کنندگان با کمترین توان فیزیکی (در این تحقیق گشتاوری معادل ۵/۱۱ Nm) قابل باز شدن باشد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۰۲

واژگان کلیدی:

گشتاور باز کردن

شیشه‌های دهان پهن

آنتروپومتري دست

فیزیولوژی دست

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

مقدمه

انواع بسته‌بندی‌ها چه از غذایی و چه دارویی و سایر محصولات اخیراً با سختی‌هایی جهت باز شدن توسط افراد سالخورده مواجه شده‌اند [۱]. در یک تحقیق در مجله یورز (Yours) در سال ۲۰۰۴، مشخص شد که ۹۱٪ از افراد بالای ۵۰ سال با باز کردن بسته‌بندی‌ها مشکل دارند و حدود ۷۱٪ از آن‌ها به هنگام باز کردن، به خود صدمه وارد می‌کنند [۲]. مساله قابلیت باز شدن بسته‌بندی‌ها یک موضوع مهم برای افراد مسن و همچنین آن‌هایی که دارای ناتوانی جسمی و حرکتی هستند، می‌باشد [۳]. البته این مساله محدود

به سالمندان نبوده و به دلایل مختلف از جمله تنظیمات نادرست بسته بندی، برای سایر گروه‌های سنی نیز می‌تواند مشکل و یا حتی مخاطره آمیز باشد. مسئله بررسی ارگونومیک بسته‌بندی‌های شیشه‌های دهان پهن از دیرباز مورد توجه محققان مختلف قرار داشته است که هرکدام به دنبال بررسی نیرو و گشتاور اعمالی توسط مصرف‌کنندگان مختلف روی بسته‌بندی مورد نظر بودند تا بتوانند توانایی مصرف‌کننده در مواجهه با این بسته‌بندی‌ها را بسنجند. در این قسمت به بررسی تحقیقات گذشته می‌پردازیم که هر

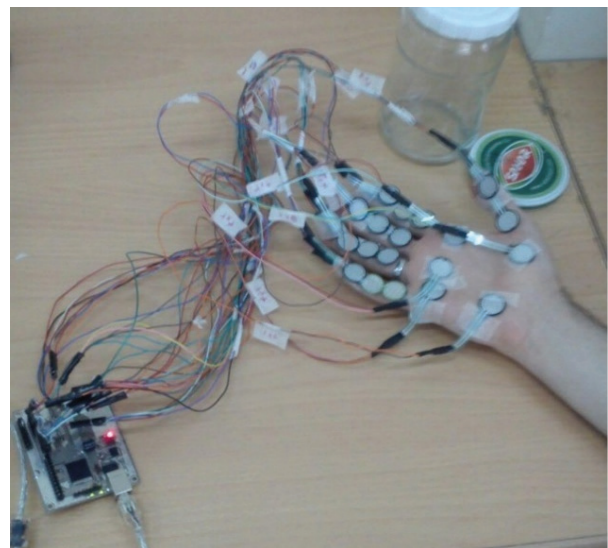
و همکاران (۲۰۱۰)، ۲۱ نفر را با یک وسیله مخصوص مورد آزمایش قرار دادند. قطر درب ۷۳ و قطر بدنه ۸۰ میلی‌متر بود. میانگین سن، قد، وزن و ابعاد دست اندازه‌گیری شد. افراد می‌توانستند به دلخواه خود بایستند یا بنشینند و وسیله طوری طراحی شده بود که یک مجموعه محدود کننده گشتاور به اندازه ۳ Nm داشته باشد. سرعت چرخاندن بوسیله نشان‌گرهای ضبط حرکت که متصل به وسیله بودند، اندازه‌گیری شده و میانگین نیرو اندازه‌گیری شده برای افراد جوان $95/4 \text{ N}$ و برای افراد مسن $86/N1$ بود. نتایج نشان داد که افراد مسن نسبت بالاتری از حداکثر توان خود را اعمال می‌کنند [۱۱]. راوسون و یوکسال (۲۰۱۱)، با استفاده از تجهیزات مشابه وربیج، گشتاور تولید شده توسط ۳۴ نفر بر روی سه قطر مختلف درب (۵۵ و ۷۵ و ۱۱۰ میلی‌متر) با ۷ نوع مختلف چنگش را اندازه‌گیری کردند [۱۲]. این محققان فقط اندازه‌های دست را اندازه‌گیری کردند و داده‌های گشتاور هم فقط در مورد درب با قطر بزرگ ارائه شد که در نتیجه مردان $9/5 \text{ Nm}$ و زنان $7/31 \text{ Nm}$ گشتاور وارد کردند [۱۲]. تحقیقات جدیدتری نیز در زمینه اصطکاک انگشتان دست در هنگام باز کردن و نیروهای چنگشی انجام شده است که با تاکید بر فیزیولوژی دست بوده و بر باز کردن درپوش ظروف تاکید ندارند [۱۳]. در جدول ۱ خلاصه‌ای از تحقیقات قبلی و محدودیت‌های هر یک ارائه شده است.

تفاوت مطالعه حاضر با تحقیقات انجام گرفته در گذشته در بررسی نیروهای وارده به کف دست مصرف کننده به صورت مجزا می‌باشد در حالی که در مطالعات گذشته با یک دستگاه مخصوص گشتاور کلی وارده توسط مصرف کننده را می‌سنجیدند. همچنین از نقاط ضعف کارهای پیشین، عدم اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتروپومتریک به صورت مجموعه نظیر ابعاد دست، قد، وزن و نیروی عضله می‌باشد که البته بعضی از مطالعات این مقادیر را به صورت موردی اندازه‌گیری کرده‌اند ولی استفاده‌ای از آن‌ها در نتایج نکردند. در این تحقیق قد، وزن و ابعاد دست افراد اندازه‌گیری شد تا بتوان رابطه‌ای بین این ویژگی‌ها و گشتاور اعمالی از طرف مصرف کننده را جستجو کرد. در این مقاله ما ابتدا با ساخت یک دستگاه مخصوص به بررسی نیروهای وارده بر درست هنگام باز کردن درب شیشه بسته‌بندی دهان پهن می‌پردازیم و در ادامه با استفاده از یک رابطه ریاضی گشتاور اعمالی به درب را محاسبه می‌کنیم. سپس با اندازه‌گیری ابعاد آنتروپومتریک و فیزیولوژیک و انجام آزمون PLS، ارتباط بین این ویژگی‌ها و گشتاور وارده را می‌سنجیم. با تعیین گشتاور قابل اعمال و ایمن مصرف کنندگان، معیار مفیدی برای تنظیمات بسته بندی توسط تولید کننده به دست خواهد آمد.

یک رویکرد مختلفی برای سنجش قابلیت باز شدن این نوع از بسته‌بندی‌ها داشته‌اند. اولین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه توسط توماس برنز (۱۹۸۱) صورت گرفت [۴]. این مطالعه به منظور بررسی عینی نیروهای وارده توسط مصرف کننده هنگام باز کردن محصول انجام شد. بنابراین یک ابزار اندازه‌گیری به طور مشخص طراحی شد تا نیروی فشاری و همچنین گشتاور اعمال شده توسط مصرف کننده را قرائت کند. در این مطالعه چهار بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. در انتها با رسم نمودارهایی داده‌های به دست آمده از نمونه‌های مختلف را با هم مقایسه شدند. در سال ۱۹۸۸ ایمران و همکاران با استفاده از گشتاورسنج مخصوص که بسته‌بندی را به صورت عمودی نگه می‌داشت، گشتاور وارده بر شیشه دهان پهن را ارزیابی کرد. برای قطر درب ۷۴ میلی‌متر، میانگین گشتاور اعمالی $4/26 \text{ Nm}$ بود، در حالی که اطلاعات آن‌ها به صورت مجزا برای آقایان و خانم‌ها آورده نشده بود [۵]. تحقیقی توسط ووربیج و استینبرگز (۲۰۰۲) انجام شد که با استفاده از یک وسیله شبیه شیشه دهان گشاد توانستند میزان گشتاور اعمالی توسط اعضای نمونه را به دست آورند. قطر درب ۶۶ میلی‌متر و حداکثر گشتاور ثبت شده برای مردان $8/6 \text{ Nm}$ و برای خانم‌ها $5/6 \text{ Nm}$ بود [۶]. در یک مطالعه در کشور انگلستان توسط لنگلی و همکاران (۲۰۰۵)، وسیله‌ای با قطر درب ۷۵ میلی‌متر با اجزای واقعی؛ یعنی درب آهنی و بدنه شیشه‌ای ساخته شد. در این مطالعه افراد آزاد بودند که بایستند یا بنشینند و شیشه را هر گونه که می‌خواهند، بگیرند. نتایج به صورت گرافیکی برای گشتاور به ازای سن ارائه شد. میانگین پیک گشتاور برای مردان 7 Nm و برای زنان 4 Nm بود. در یک آزمون دیگر شیشه ثابت بوده و با یک دست آن را باز کردند. در این حالت مردان به طور متوسط $6/23 \text{ Nm}$ و زنان $3/7 \text{ Nm}$ گشتاور وارد کردند [۷]. سو و همکاران (۲۰۰۹) با ساختن یک وسیله جدید مجهز به نیروسنج و گشتاورسنج، مبادرت به آنالیز همزمان گشتاور و نیرو کردند. پیک گشتاور برای بار ۵ کیلوگرم برابر 5 Nm و $1/907$ بود [۸]. کو و همکاران (۲۰۰۹)، پس از اندازه‌گیری قد، وزن و ابعاد دست ۲۰ نفر از آن‌ها خواستند تا در حالت نشسته ابتدا یک چنگش دقیق و سپس چنگش قدرتی اعمال کنند. سپس با دانستن شعاع ۳۳ میلی‌متر و با استفاده از تعدادی معادلات، یک دامنه گشتاور $2/13 - 7/95 \text{ Nm}$ برای چنگش دقیق و $2 - 7/45 \text{ Nm}$ برای چنگش قدرتی بدست آمد [۹]. یوکسال و همکاران (۲۰۱۰)، اندازه‌گیری‌هایی روی قطرهای مختلف درب‌ها که شامل اندازه‌گیری‌های تکرارشونده روی قطر ۷۵ میلی‌متر بودند، انجام دادند. پیک گشتاور برای مردان و زنان به ترتیب $5/8 \text{ Nm}$ و $4/2 \text{ Nm}$ بود [۱۰]. کارس

جدول ۱: تحقیقات گذشته و نقاط قوت و ضعف آن			
نام محقق	سال انتشار	نقاط قوت پژوهش	نقاط ضعف پژوهش
Berns [4]	۱۹۸۱	استفاده از بسته‌بندی‌های مختلف، استفاده از نمونه آماری بزرگ	عدم توضیح در مورد نحوه خروجی دستگاه و گزارش صحیح به صورت عددی و واضح عدم بیان ویژگی‌های آنترپومتری
Imrahn [5]	۱۹۸۸	استفاده از نمونه آماری با اندازه مناسب و معرفی دستگاه مورد استفاده	استفاده از سالمندان در پژوهش و عدم ارائه اطلاعات مجزا برای خانم‌ها و مردان
DTI [2]	۲۰۰۰	سه نوع وسیله اندازه‌گیری ساخته شده، اندازه‌گیری ویژگی‌های آنترپومتری	اطلاعات فقط در مورد یک وسیله آورده شد
Voorbij [6]	۲۰۰۱	استفاده از نمونه آماری بزرگ با سنین مختلف، نشان دادن شکل دستگاه مورد استفاده	عدم اندازه‌گیری ابعاد دست
Langley [7]	۲۰۰۵	استفاده از نمونه آماری بزرگ با سنین مختلف	عدم اندازه‌گیری ابعاد دست، وزن و قد
Su [8]	۲۰۰۹	ساخت دستگاه به منظور آنالیز همزمان نیرو و گشتاور	مشخص نبودن نمونه آماری
Kuo [9]	۲۰۰۹	استفاده از یک دستگاه مخصوص محاسبه نیروی اعمالی توسط اعضای نمونه، اندازه‌گیری ابعاد دست و قد و وزن	نمونه آماری کم و عدم ارائه اطلاعات در مورد گشتاور
Yoxall [10]	۲۰۰۹	انجام آزمایشات زیاد با تعداد افراد بالا، گروه‌های سنی متنوع	استفاده از دستگاه پژوهش‌های پیشین، عدم اندازه‌گیری ابعاد دست، قد و وزن
Carse [11]	۲۰۱۰	ساخت یک وسیله جدید برای مشخص کردن نیرو، اندازه‌گیری ابعاد دست و قد و وزن ضبط سرعت چرخاندن	نمونه آماری کم، داشتن یک مجموعه محدود کننده گشتاور
Rowson [12]	۲۰۱۱	معرفی ۷ نوع مختلف از نحوه چنگش بسته‌بندی، اندازه‌گیری گشتاور روی سه نوع قطر مختلف	استفاده از تجهیزات محققان گذشته، نمونه آماری کم و ارائه اطلاعات فقط در مورد یک قطر
Huang [14]	۲۰۱۴	ساخت دستگاه جدید برای اندازه‌گیری نیرو انگشتان و گشتاور بررسی دو حالت مختلف از نوع چنگش بسته‌بندی	نمونه آماری با تعداد کم و تنها محدود به جنس مؤنث

این تحقیق، دستگاه مخصوصی طراحی و ساخته شد که در تصویر ۱ ملاحظه می‌شود. این دستگاه شامل ۱۹ حسگر مقاومت حساس در برابر نیرو (Force-Sensing Resistor) است که مطابق تصویر ۲ در محل هر یک عضلات کف دست و هر بند انگشتان، چسبانده می‌شوند. دلیل این‌که حسگرها بر روی دستکش مخصوص نصب نشدند، تفاوت اندازه‌های کف دست اعضای نمونه می‌باشد؛ به همین دلیل حسگرها با چسب به نقاط مورد نظر روی کف دست چسبانده می‌شوند. FSR مقاومت حساس به نیروست که با افزایش نیروی وارد بر سطح فعالش، مقاومت آن کاهش می‌یابد. تکنولوژی حسگرهای نیرو کاربردهای بسیاری دارد. به عنوان مثال در علوم توان‌بخشی و شاخه‌های تحقیقات آن مانند بیومکانیک و ارگونومی، سال‌هاست که FSR به عنوان ابزار اندازه‌گیری و تست محصول استفاده شده است. این حسگرها قادرند نیرو را در دامنه ۱۰۰-۱/۱ N اندازه‌گیری کنند. همچنین مقادیر نیرو با فرکانس ۱۰ Hz به رایانه انتقال می‌یابد. به منظور کالیبراسیون حسگرها، سه مرحله طی شده است: ۱- ابتدا تمام اعداد به جز صفر در خروجی نرم‌افزار در حالتی که دستگاه در حالت بدون بار



تصویر ۱: دستگاه پیشنهادی متشکل از سنسورهای FSR

روش کار

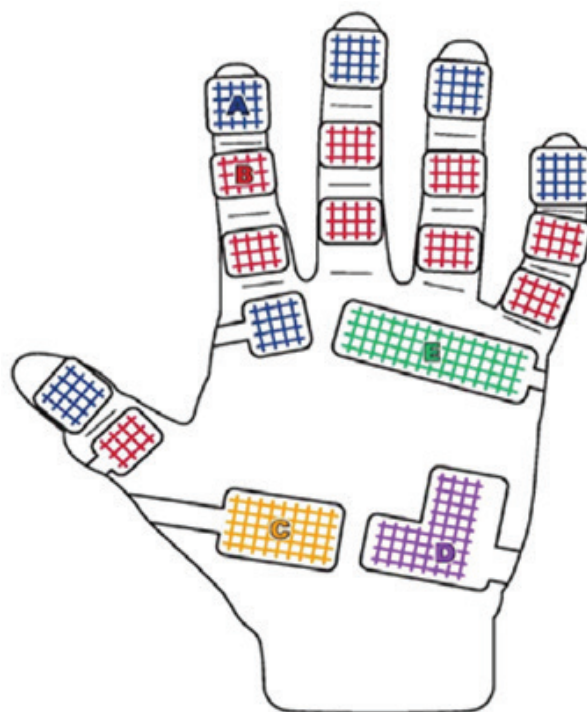
طراحی دستگاه آزمون

به‌منظور محاسبه نیروهای وارد بر انگشتان و همچنین کف دست هنگام اعمال نیرو به درب شیشه‌های دهان‌پهن در



تصویر ۳: بسته‌بندی مورد استفاده

(No Load) می‌باشد را صفر می‌کنیم. ۲- وزنه یک کیلوگرمی روی هر حسگر قرار می‌دهیم. ۳- ضریب کالیبراسیون را تعدیل نموده و دورافت (Offset) را تعیین می‌کنیم.



تصویر ۲: چگونگی قرار گرفتن حسگرها در کف دست

جدول ۲: نوع بسته‌بندی مورد استفاده	
مشخصات	ابعاد/جنس
جنس بدنه	شیشه
جنس درب	فلزی
قطر خارجی درب	۸۵ میلی‌متر
قطر داخلی درب	۷۵ میلی‌متر
ضخامت بدنه	۲۷۰ میلی‌متر
ارتفاع بدنه	۱۴۰ میلی‌متر
تعداد رزوه	۲ عدد
وزن	۱۱۰۰ گرم

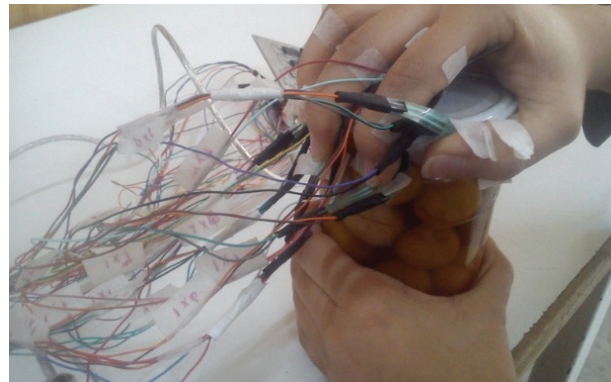
طریقه آزمایش

طریقه انجام آزمایش به این شکل است که هر شرکت‌کننده در آزمون همان‌طور که در حالت عادی شیشه دهان پهن را باز می‌کنند، این آزمایش را انجام می‌دهد. افراد شرکت‌کننده در این آزمایش به دلیل محدودیت در جابجایی و تنظیم دستگاه، از بین دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد انتخاب شدند. بسته‌بندی مورد استفاده در این آزمایش در تصویر ۳ مشاهده می‌شود. به منظور هرچه واقعی‌تر شدن شرایط از یک بسته‌بندی دارای محتویات استفاده شد و میزان گشتاور بسته‌بندی در تمام آزمون‌ها یکسان است. مشخصات بسته‌بندی مورد استفاده در جدول ۲ آمده است. در هنگام اعمال نیرو توسط هر شرکت‌کننده، اطلاعات نیروها از طریق درایور مخصوص به نرم‌افزار کامپیوتری دستگاه منتقل می‌شود.

یافته‌ها

بر روی ۲۰ نفر از دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد (۱۰ مرد و ۱۰ زن) که همگی سالم و راست دست بودند و میانگین سنی آن‌ها برای مردان و زنان به ترتیب ۲۵/۲ و ۲۵/۴ سال بود آزمایشات انجام شد. تعداد نمونه بر اساس جدول مورگان (Morgan) انتخاب شده [۱۵] و همه شرکت‌کنندگان به طور داوطلبانه در آزمون شرکت نموده‌اند. برای تحلیل نتایج بعدی مقادیر وزن، قد، ابعاد دست و همچنین نیروی عضله آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد و به منظور حفظ اطلاعات شخصی به صورت ناشناس ثبت گردید. با مشاهده نتایج آزمایش مشخص شد که نیروها از طرف نوک انگشتان و همچنین قسمتی از کف دست

به درب وارد می‌شود. تمامی افراد شرکت‌کننده بسته‌بندی را در حالت کروی، مطابق تصویر ۴ در دست گرفتند.



تصویر ۴: چنگش کروی

همان‌طور که نشان داده شد، حسگرها در نوک انگشتان قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری نیروها نشان می‌دهد که نیروها به نوک انگشتان و همچنین قسمتی از کف دست وارد می‌شود. جدول ۳ ماکزیمم نیروی وارده از طرف انگشتان و کف دست را در حالتی که افراد اقدام به بازکردن درب بسته‌بندی می‌کنند نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد انگشت اشاره هم در گروه مردان و هم گروه زنان بیشترین نیرو را به درب بسته‌بندی اعمال می‌کند. با توجه به این که بسته‌بندی مورد آزمون از قبل به نحوی طراحی شده که به سادگی قابل باز شدن نباشد، هیچ‌یک از شرکت‌کنندگان قادر به بازکردن بسته‌بندی نبوده و بنابراین حداکثر نیروی اعمال شده پس از چند بار اندازه‌گیری ثبت می‌شود.

جدول ۳: بیشینه نیروی وارده بر درب بسته‌بندی

بیشینه نیروی وارده مردان (N)						
اعضای نمونه	انگشت کوچک	انگشت حلقه	انگشت میانی	انگشت اشاره	انگشت شست	کف دست
۱	۱۵	۱۸	۴۶	۶۷	۶۳	۳۵
۲	۱۴	۱۷	۴۴	۶۷	۶۳	۳۴
۳	۱۴	۱۷	۴۴	۶۷	۶۱	۳۴
۴	۱۶	۱۹	۴۶	۶۹	۶۵	۳۴
۵	۱۲	۱۴	۴۷	۶۵	۶۴	۳۲
۶	۱۴	۲۱	۴۵	۶۶	۶۲	۳۴
۷	۱۴	۱۷	۴۵	۶۱	۶۲	۳۴
۸	۱۵	۱۸	۴۶	۶۸	۶۳	۳۵
۹	۱۷	۲۰	۴۸	۷۰	۶۶	۳۷
۱۰	۱۵	۱۸	۴۵	۶۶	۶۳	۳۴
میانگین کل	۱۴/۶	۱۷/۹	۴۵/۶	۶۶/۶	۶۳/۲	۳۴/۳
بیشینه نیروی وارده زنان (N)						
اعضای نمونه	انگشت کوچک	انگشت حلقه	انگشت میانی	انگشت اشاره	انگشت شست	کف دست
۱	۱۱	۱۲	۳۳	۵۵	۴۰	۲۵
۲	۶	۷	۲۲	۴۶	۲۹	۱۴
۳	۹	۱۰	۳۱	۵۵	۳۷	۲۳
۴	۶	۷	۲۸	۵۰	۳۵	۲۱
۵	۹	۹	۳۱	۵۱	۳۸	۲۳
۶	۱۳	۱۴	۳۵	۵۴	۴۲	۲۸
۷	۱۰	۱۱	۳۲	۵۶	۳۸	۲۵
۸	۶	۷	۲۸	۴۹	۳۴	۲۱
۹	۶	۷	۲۸	۵۲	۳۷	۲۰
۱۰	۶	۷	۲۷	۵۱	۳۵	۲۱
میانگین کل	۸/۲	۹/۱	۲۹/۵	۵۱/۹	۳۶/۵	۲۲/۱

گشتاور

از آنجا که بردار نیروهای وارده از طرف انگشتان و کف دست در یک راستا نیستند، نمی‌توان آن‌ها را با هم جمع عددی کرد. از این رو ابتدا برای هر انگشت گشتاور وارده بر درب را با استفاده از رابطه ۱ اندازه گرفته و سپس با فرض این‌که بردار گشتاور انگشتان و کف دست در یک راستا هستند، مقادیر را با هم جمع می‌کنیم تا گشتاور وارده از طرف درب به دست آید. جدول ۴ مقادیر گشتاور وارده از طرف افراد نمونه را نشان می‌دهد.

که در آن:

$$\vec{T}_H = (\mu \cdot \vec{N}_H) \times \vec{r}_C \quad (1)$$

N_H نیروی عملی دست

μ ضریب اصطکاک بین دست و درپوش

r_C شعاع درب شیشه دهان پهن

می‌باشد. همچنین ضریب اصطکاک بین پوست و درب فلزی، ۰/۹۷ می‌باشد [۱۶].



تصویر ۵: نحوه اندازه‌گیری نیروی عضلانی

به منظور مشخص کردن سهم ویژگی‌های آنترپومتریکی و فیزیولوژیک افراد در گشتاور عملی به درب شیشه دهان پهن بعد از بی‌مقیاس کردن داده‌های مربوطه، آن‌ها را به منظور انجام آزمون (PLS: Partial Least Squares) در نرم‌افزار مربوطه وارد کردیم [۱۷]. روش حداقل مربعات جزئی (PLS) می‌تواند تاثیرات متغیرهای مستقل را بر متغیر وابسته بصورت یک مدل رگرسیونی یا مدل ساختاری برآزش کند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی که باعث شد از تکنیک PLS در این پژوهش استفاده شود، حجم نمونه کم می‌باشد. در این پژوهش برای انجام محاسبات مربوط به رگرسیون PLS جهت تعیین رابطه مشخصات آنترپومتریکی و نیروی عضلانی با گشتاور عملی از طرف مصرف‌کننده به درپوش شیشه دهان پهن، از Minitab ۱۷ استفاده شده است. مقادیر مربوط به گشتاور را در به‌عنوان متغیر پاسخ و مقادیر مربوط به

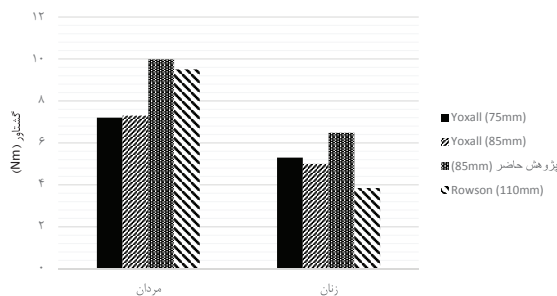
جدول ۴: بیشینه گشتاور عملی			
افراد	ضریب اصطکاک	شعاع درب (m)	گشتاور عملی از دست (Nm)
مردان			
۱	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۱۰/۰۶
۲	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۹/۸۵
۳	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۹/۷۷
۴	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۱۰/۲۶
۵	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۹/۶۵
۶	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۹/۹۸
۷	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۹/۶۰
۸	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۱۰/۱
۹	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۱۰/۶۳
۱۰	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۹/۹۳
میانگین کل			
زنان			
۱	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۷/۲۵
۲	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۵/۱۱
۳	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۶/۸۰
۴	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۶/۰۶
۵	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۶/۶۴
۶	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۷/۶۶
۷	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۷/۰۹
۸	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۵/۹۷
۹	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۶/۱۸
۱۰	۰/۹۷	۰/۰۴۲۵	۶/۰۶
میانگین کل			
			۶/۴۸

قد، وزن، ابعاد دست و نیروی عضلانی را به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفتیم. جدول ۵، ضرایب وزنی به دست آمده از انجام آزمون PLS را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که برای مردان و زنان ابعاد دست و نیروی عضلانی در گشتاور وارده به درب شیشه‌های دهان پهن مؤثر هستند. نکته قابل توجه این است که برای مردان، رابطه وزن با گشتاور اعمالی به صورت معکوس بود؛ به این معنی که داشتن وزن زیاد لزوماً به معنای قوی‌تر بودن عضلات دست نیست. اگر نیرو، قد، وزن و ابعاد دست را به ترتیب تا و همچنین گشتاور (متغیر پاسخ) را در نظر بگیریم، در نتیجه رابطه‌های ۲ و ۳ را به ترتیب برای مردان و زنان خواهیم داشت.

استفاده از رابطه ۱ گشتاور اعمالی از طرف افراد نمونه به درب بسته‌بندی محاسبه شد. میانگین بیشینه گشتاور اعمالی به درب بسته‌بندی برای مردان و زنان به ترتیب $9/98 \text{ Nm}$ و $6/48 \text{ Nm}$ بود. با اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتروپومتریک و فیزیولوژیک افراد آزمون‌شونده، میزان تأثیر این عوامل در گشتاور اعمالی و بازشدن درب شیشه‌های دهان پهن به درب شیشه دهان پهن مورد ارزیابی قرار گرفت. این نتایج که در جدول ۵ آورده شده است، بیان‌گر این نکته است که برای مردان و زنان ابعاد دست و سپس نیروی عضلانی بیشترین سهم را در گشتاور اعمالی به درب شیشه دهان پهن دارا هستند. تصویر ۶ نمودار مقایسه نتایج پژوهش حاضر با دو مطالعه قبلی [۱۰، ۱۲] در این زمینه است. پژوهش‌های انتخاب شده دارای درپوش ۷۵، ۸۵ و ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشند. همان‌طور که از تصویر ۶ مشخص است با مقایسه نتایج پژوهش حاضر با پژوهش Yoxall [۱۰] مشاهده می‌شود که هم در مورد زنان و هم مردان، گشتاور اعمال شده بیشتر از سایر نتایج است. این مساله به دلیل طراحی خاص آزمون در این تحقیق می‌باشد که برای به دست آوردن بیشینه گشتاور اعمالی شرکت‌کنندگان، گشتاور اولیه را کمی بیشتر از میزان معمول در نظر گرفته‌است.

$$y = 0.137x_1 - 0.23x_2 - 0.048x_3 + 0.275x_4 + 0.274 \quad (2)$$

$$y = 0.349x_1 + 0.126x_2 + 0.094x_3 + 0.653x_4 - 0.071 \quad (3)$$



تصویر ۶: مقایسه نتایج گشتاور سه پژوهش

نتیجه‌گیری

یکی از مسائل مهم در مورد بسته‌بندی‌های مختلف آسان باز شدن آن توسط مشتری می‌باشد. طبق تحقیقات صورت گرفته بسته‌بندی‌های شیشه‌ای دهان‌پهن یکی از پر مصرف‌ترین و در عین حال سخت‌ترین بسته‌بندی‌ها جهت بازکردن برای افراد مختلف می‌باشد. در این مقاله با طراحی و ساخت یک دستگاه آزمون و محاسبه نیرو و گشتاور وارد بر درب بسته‌بندی هنگام باز کردن آن توسط افراد شرکت‌کننده، سعی در مشخص کردن بیشینه توانایی شرکت‌کنندگان داشتیم. نتایج این تحقیق می‌تواند تولیدکنندگان را در بسته‌بندی مناسب شیشه‌های دهان‌گشاد راهنمایی کند. این اهداف با ساخت

وزن/مقدار	ضریب همبستگی (R ²)
مردان	
عدد ثابت	۰/۲۷۴
نیروی عضلانی	۰/۱۳۷
قد	-۰/۲۳
وزن	-۰/۰۴۸
ابعاد دست	۰/۲۷۵
زنان	
عدد ثابت	-۰/۰۷۱
نیروی عضلانی	۰/۳۴۹
قد	۰/۱۲۶
وزن	۰/۰۹۴
ابعاد دست	۰/۶۵۳

جهت پی بردن به این موضوع که نتایج به دست آمده معنادار است یا خیر از آزمون F (فیشر) استفاده شد. با توجه به این که مقدار P-value برای گروه مردان معادل ۰/۰۱۱ و برای گروه زنان ۰/۰۰۸ و در نتیجه برای هر دو گروه مردان و زنان کمتر از ۰/۰۵ شده است، می‌توان نتیجه گرفت که مشاهدات صورت گرفته از لحاظ آماری، معنادار بوده است.

بحث

در جدول ۲ بیشینه نیروی اعمالی توسط افراد نمونه به درب بسته‌بندی آورده شده است. نتایج نشان داد که برای مردان و زنان تمرکز نیرو بر روی انگشت اشاره می‌باشد. سپس با

نمی‌باشد؛ لذا به طور مجزا برای هر انگشت، گشتاور وارده را محاسبه و از آن‌جا که بردار گشتاور برای تمامی انگشتان در یک راستا می‌باشد، آن‌ها را با هم جمع کردیم. میانگین ماکزیمم گشتاور وارده از طرف مردان هنگام باز کردن درب شیشه دهان پهن $9/Nm$ با انحراف معیار $0/Nm$ و گشتاور وارده از طرف زنان $6/Nm$ با انحراف معیار $0/Nm$ بود. این مقادیر بایستی برای تنظیمات مربوط به گشتاور بستن درب شیشه‌های دهان گشاد توسط تولید کنندگان مورد توجه قرار گیرد. در مطالعات بعدی می‌توان ارتباط بین گشتاور اعمالی و مشخصات دقیق فرآیند را بررسی نمود. همچنین مشخصات مکانیکی درب و محتویات شیشه را سنجیده و بسته‌بندی‌های شیشه‌ای با ابعاد و مشخصات متفاوت را با هم مقایسه کرد.

یک دستگاه مخصوص برای انجام این تحقیق با استفاده از حسگرهای FSR و همچنین استفاده از دو دستگاه دینامومتر و گشتاورسنج مخصوص دنبال شد. افراد شرکت‌کننده در این پژوهش دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد به تعداد بیست نفر (ده مرد و ده زن) بودند. بسته‌بندی مورد استفاده در این پژوهش یک شیشه دهان پهن با قطر $mm85$ هواگیری شده بود، تا افراد بتوانند بدون بازشدن درب، بیشینه نیروی خود را وارد کنند. با انجام آزمون PLS با استفاده از نرم‌افزار Minitab^{۱۷} نشان دادیم که هم برای مردان و هم برای زنان نیروی عضله و ابعاد دست بیشترین نقش را در گشتاور اعمالی به درب شیشه دهان پهن ایفا می‌کنند. به دلیل عدم یکسان بودن بردارهای نیروهای وارده، امکان جمع عددی نیروها میسر

REFERENCES

1. Yoxall A, Luxmoore J, Austin M, Canty L, Margrave KJ, Richardson CJ, et al. Getting to grips with packaging: using ethnography and computer simulation to understand hand-pack interaction. *Packaging Technol Sci.* 2007;20(3):217-29. DOI: 10.1002/pts.755
2. (DTI) DoTaI. Consumer Safety Research. In Domestic Accidents Related to Packaging. London: DTI; 2004.
3. Steenbekkers L, Logman HW. Opening and closing. *J Home Econ.* 1987;8(5):142-9.
4. Berns T. The handling of consumer packaging. *Appl Ergon.* 1981;12(3):153-61. PMID: 15676409
5. Imrhan SN, Loo CH. Modelling wrist-twisting strength of the elderly. *Ergonomics.* 1988;31(12):1807-19. DOI: 10.1080/00140138808966829 PMID: 3234392
6. Voorbij AI, Steenbekkers LP. The twisting force of aged consumers when opening a jar. *Appl Ergon.* 2002;33(1):105-9. PMID: 11831209
7. Langley J, Janson R, Wearn J, Yoxall A. 'Inclusive' design for containers: improving openability. *Packaging Technol Sci.* 2005;18(6):285-93. DOI: 10.1002/pts.699
8. Su FC, Chiu HY, Chang JH, Lin CF, Hong RF, Kuo LC. Jar-opening challenges. Part 1: an apparatus for assessing hand and finger torques and forces in a jar-opening activity. *Proc Inst Mech Eng H.* 2009;223(1):121-9. DOI: 10.1243/09544119JHEM422 PMID: 19239073
9. Kuo LC, Chang JH, Lin CF, Hsu HY, Ho KY, Su FC. Jar-opening challenges. Part 2: estimating the force-generating capacity of thumb muscles in healthy young adults during jar-opening tasks. *Proc Inst Mech Eng H.* 2009;223(5):777-88. DOI: 10.1243/09544119JHEM504 PMID: 19623911
10. Yoxall A, Langley J, Janson R, Lewis R, Wearn J, Hayes S, et al. How wide do you want the Jar?: The effect on diameter for ease of opening for wide-mouth closures. *Packaging Technol Sci.* 2010;23(1):11-8.
11. Carse B, Thomson A, Stansfield B. A novel device for evaluating forces during the dynamic jar opening action--do older and younger adults do things differently? *Med Eng Phys.* 2011;33(4):521-5. DOI: 10.1016/j.medengphy.2010.11.017 PMID: 21212013
12. Rowson J, Yoxall A. Hold, grasp, clutch or grab: consumer grip choices during food container opening. *Appl Ergon.* 2011;42(5):627-33. DOI: 10.1016/j.apergo.2010.12.001 PMID: 21211788
13. Kargov A, Pylatiuk C, Martin J, Schulz S, Doderlein L. A comparison of the grip force distribution in natural hands and in prosthetic hands. *Disabil Rehabil.* 2004;26(12):705-11. DOI: 10.1080/09638280410001704278 PMID: 15204492
14. Huang CY, Kuo LC, Tseng HY, Su FC. The Effect of Jar Holding Posture on Finger Force and Torque during a Jar-Opening Task for Young Females. *Packaging Technol Sci.* 2014;27(4):265-76. DOI: 10.1002/pts.2031
15. Krejcie RV, Morgan DW. Determining Sample Size for Research Activities. *Educ Psychol Meas.* 1970;30(3):607-10. DOI: 10.1177/001316447003000308
16. Tomlinson SE, Lewis R, Carré MJ, Franklin SE. Human finger friction in contacts with ridged surfaces. *Wear.* 2013;301(1-2):330-7. DOI: 10.1016/j.wear.2012.12.039
17. Vinzi E, Chin V, Henseler WW, Wang J. *Handbook of Partial Least Squares, Concepts, Methods and Applications.* Germany: Springer-Verlag; 2010.

Measurement of the Torque Demand for Jar Opening and its Relationship with Anthropometric and Physiological Factors

Mehrdad Ashrafi ¹, Hamideh Razavi ^{2,*}

¹ MSc, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding author: Hamideh Razavi, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: h-razavi@um.ac.ir

DOI: 10.21859/joe-05011

Received: 17.02.2016

Accepted: 22.04.2017

Keywords:

Opening Torque

Jars

Hand Anthropometry

Hand Physiology

How to Cite this Article:

Ashrafi M, Razavi H. Measurement of the Torque Demand for Jar Opening and its Relationship with Anthropometric and Physiological Factors. *J Ergo* 2016;5(1):1-9. DOI: 10.21859/joe-05011

© 2017 Hamedan University of Medical Sciences.

Abstract

Introduction: Nine percent of all available packaging are jars with steel lids. However, some consumers have trouble with jar opening. The aim of the current research was to analyze the exerting force on jar lids regarding the torque input to the anthropometric and physiological characteristics of the consumers.

Methods: In this study, the force distributed on the fingers and the palm was examined using a special tester consisting of Force Sensing Resistors (FSR). This tester included 19 sensors, 14 of which were installed on the fingers and 5 on the palm. Each sensor was connected to a driver via 2 wires and then to a computer by a USB port. A full jar with 1100 g weight and 85 mm lid outer diameter was used and the forces exerted by 20 participants, including 10 male and 10 female students, was recorded. Next, the Minitab 17 software was used and the mathematical relationship between the torque and anthropometric and physiological characteristics was investigated.

Results: It was found that the force is mainly exerted by the index finger. The calculation of the torque based on the force measurements showed that the maximum torque applied by males was 10.63 Nm and by females was 7.66 Nm. Statistical F test for the torque (response variable) at a significance level of 0.05 resulted in P values equal to 0.011 and 0.008 for male and female participants, respectively. Therefore, it can be concluded that the measured values are statistically significant.

Conclusions: Statistical analysis revealed that hand dimensions and grip strength play major roles in applying torque. Additionally, the results indicated that packaging conditions for the particular jar in this study must be adjusted such that the consumers with the lowest physical ability (5.11 Nm torque) could open them.