

ارائه و پیاده‌سازی الگوی تعیین نوع هواپیمای خلبانان مبتنی بر فاکتورهای آنتروپومتریک

مصطفی مرادی^۱، علیرضا رودباری^۲، حمیدرضا زرغامی^{۳*}، هادی لطفی^۴

۱- کارشناس ارشد مهندسی هوافضا (سوانح)، مدرس دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

۲- دانشیار مهندسی هوافضا دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

۳- استادیار مهندسی صنایع دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

۴- کارشناس ارشد مهندسی هوافضا، مدرس دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱)

چکیده

یکی از حوزه‌های مهم در بخش‌های صنعتی دنیا، انسان‌محوری در طراحی‌ها و تخصیص‌ها می‌باشد. یکی از زمینه‌های اصلی علمی در این مقوله، علم ارگونومی، آنتروپومتری و بیومکانیک شغلی بوده که توجه زیادی را در این عرصه به خود معطوف کرده است. به‌رغم سابقه بیش از ۲ قرن از ظهور این علوم در دنیا و پژوهش‌های متعدد انجام‌شده در این زمینه، تاکنون حتی پژوهشی عمومی برای کاربست ظرفیت‌های این علوم حیاتی در عرصه هوانوردی ایران انجام‌نشده و یا در صورت انجام به ثبت نرسیده است. از آنجاکه یکی از فاکتورهای مهم موفقیت و کاهش سوانح پروازی، در نظر گرفتن تناسب فیزیکی خلبانان با فضای داخلی کابین هواپیمای مربوطه است ولیکن از شاخص‌ها و فاکتورهای آنتروپومتریک در تعیین هواپیمای خلبانان در پژوهش‌های پیشین و محیط‌های عملیاتی، غفلت شده و اولویت تعیین هواپیما و محل خدمتی خلبانان، تنها بر اساس معدل علمی و حداکثر ترکیب معدل علمی و عملی صورت می‌پذیرد، لذا در این پژوهش تلاش شده است که با رویکردی ترکیبی از شاخص‌های یادشده و فاکتورهای آنتروپومتریک در یک مسئله واقعی، ضمن رفع شکاف پژوهشی یادشده به حل مسئله تعیین اولویت خلبانان برای یک هواپیمای منتخب پرداخته شود. برای رسیدن به این هدف، ابتدا تلاش می‌شود با مروری بر مبانی و پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه در دنیا، شاخص‌های مؤثر انتخاب‌شده و سپس با بررسی استانداردهای مرتبط با وضعیت حداقلی و حداکثری قابل پذیرش این شاخص‌ها برای تعدادی هواپیمای منتخب مشخص گردیده است. از آنجاکه مسئله اولویت‌بندی خلبانان برای هواپیمای منتخب (و سایر هواپیماها) یک مسئله چندمعیاره می‌باشد و حل مسائل این حوزه با کمک علم تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM^۱) انجام می‌شود، با استفاده از تکنیک‌های منتخب این حوزه (آنتروپی شانون و الکتراه) به اولویت‌بندی خلبانان در یک نمونه واقعی پرداخته شده است. نتایج پژوهش نشان دهنده تفاوت بسیار زیاد اولویت بندی خلبانان با دو مبنای مداخله / عدم مداخله شاخص‌های آنتروپومتریک می‌باشد. همچنین به‌کارگیری مدل و اولویت‌بندی خلبانان در مسئله پژوهش حاضر، نشان‌دهنده ظرفیت بالای علم آنتروپومتریک و MADM در این حوزه است و بر این مبنا با انجام پژوهش حاضر زمینه کاربست مدل پژوهش در تعیین نوع هواپیمای خلبانان مرکز مورد مطالعه و سایر مراکز آموزش هوانوردی فراهم شده است. در اولویت بندی در پایان پیشنهادهای پژوهشی و کاربردی برای استفاده در پژوهش‌های آتی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های آنتروپومتریک، ارگونومی، تعیین اولویت خلبانان، بیومکانیک، سوانح هوایی.

A framework for determining pilots' priorities using antropometric characteristics

Mostafa Moradi, Ali Reza Rudbari, Hamid Reza Zarghami, Hadi Lotfeei

Abstract

Anthropocentricism in designs and specialties is one of the most significant domains in the industrial sectors all over the world. Some of the main scientific fields in this category are ergonomics, anthropometry, and biomechanics. Despite the history of more than two centuries of the emergence of these sciences in the world and the numerous studies conducted in these fields, no general study has been carried out or recorded until now to apply capacities of these vital sciences to the subject of Iranian aviation. The priority of determining the aircraft and the place of service of the pilots is based only on the scientific Grade Point Average (GPA) and at most the combination of scientific and practical GPA. Thus, in this study, for the first time, an attempt has been made to solve the problem of determining the priority of pilots for a selected aircraft by taking a combination of the aforementioned indicators and anthropometric factors in a real issue while eliminating the mentioned research gap. To achieve this goal,

* نویسنده پاسخگو: حمیدرضا زرغامی، پست الکترونیک: Zarghami@iust.ac.ir

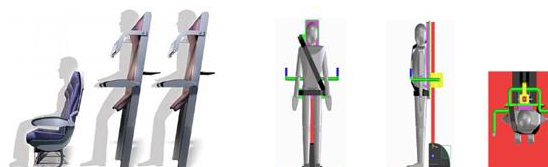
we first try to review the basics and background of research conducted in this area in the world, selected effective indicator, and then by examining the standards associated with the minimum and maximum acceptable status of these indicators have been recognized for a number of selected aircrafts. Since the issue of pilots' priorities for the selected aircraft (and other aircrafts) is a multi-criteria issue, solving problems in this area is done with the help of Multiple Attribute Decision Making (MADM) science using the selected techniques of this field (Electre & Shanon's entropy) in an attempt to deal with pilots' priorities in a real case. In the end, research and practical suggestions for use in aviation training centers are presented.

Key words: *Anthropometric indicators, Biomechanics, Determining pilots' priorities, Ergonomics, Flight incidents.*

۱- مقدمه

یکی از حوزه‌های مهم در بخش‌های صنعتی دنیا، انسان‌محوری در طراحی‌ها و تخصیص‌ها می‌باشد. یکی از زمینه‌های اصلی علمی در این مقوله، علم ارگونومی، آنتروپومتری و بیومکانیک شغلی بوده که توجه زیادی را در این عرصه به خود معطوف کرده است. با توجه به سابقه بیش از ۲ قرن از ظهور و بروز این علوم در دنیا و پژوهش‌های متعدد انجام‌شده در این زمینه، رشد شگفت‌انگیزی در بهره‌برداری از این علوم به چشم می‌خورد. با این وجود تاکنون پژوهشی برای کاربریت‌های این علوم حیاتی در حوزه خلبانی، طراحی هواپیما و کاهش سوانح پروازی در ایران انجام و یا به ثبت نرسیده است.

در حال حاضر، تنها عامل (معیار) تخصیص دانش‌آموختگان خلبانی معمولاً معیار معدل علمی و عملی پروازی و علاقه به نوع هواپیما و در پاره‌ای موارد، نیاز به استفاده از خلبانان روی نوع مشخصی از هواپیما (بسته به نیازمندی‌ها و شرایط زمانی) می‌باشد. و این سبب شده است که هیچ‌گونه توجهی به انطباق و تناسب شرایط اولیه فیزیک بدن (شاخص‌های آنتروپومتری) خلبان با هواپیمای مربوطه نشده است. این در حالی است که پژوهش‌های متعددی در دنیا در این خصوص انجام‌شده است، به‌عنوان نمونه، در پژوهش روملی و همکاران (۲۰۱۵) [۱] از ارگونومی برای طراحی صندلی عمودی کابین ایستاده در هواپیمای حمل‌ونقل تجاری استفاده شده است. شکل ۱ اهمیت ارگونومی در این نوع طراحی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ارگونومی در طراحی صندلی عمودی در کابین هواپیما [۱]

از علم ارگونومی برای آسایش و راحتی و ارتقای بهره‌وری و انطباق کاربران با محیط‌های شغلی وابسته استفاده می‌شود. روملی و امینیان (۲۰۱۸) [۲] و امینیان و روملی (۲۰۱۸) [۳] اشاره کردند که در این پژوهش‌ها، از ارگونومی استفاده شده است تا با طراحی دقیق صندلی کابین هواپیما محیط راحتی برای مسافران فراهم شود. هم‌چنین در سال ۲۰۱۱ از علم ارگونومی برای بهبود کنترل اجزای کابین هواپیما، از قبیل صندلی خلبان، شیشه‌های کابین، فرمان کنترلی خلبان استفاده شده است تا کنترل هواپیما بهبودیافته و خطرات ناشی از آن کمتر شود [۴].

فاکتورهای ذکرشده برای آسایش و راحتی خلبان، در هواپیماهای جنگنده بسیار حساس و مهم‌تر از سایر هواپیماها است. زیرا هواپیماهای جنگنده بنا به شرایط استفاده از آن‌ها، دقت و سرعت عمل بالایی را می‌طلبند و احتمال انواع آسیب عضلانی و جسمی در آن‌ها بیشتر است. هواپیماهای جنگنده دارای فناوری پیشرفته و سریع بوده و خلبانان بعد از یک دوره طولانی و سخت با اطلاعاتی دقیق آماده اجرای دستورات هستند. در نتیجه مناسب بودن محیط کاری در شرایط پرواز برای آنان بسیار مهم است. بنابراین در هواپیماهای جنگنده، استفاده از علم ارگونومی برای طراحی کنترلر هواپیما، شیشه‌ها و در کل صندلی و کابین خلبان اهمیت ویژه‌ای دارد. آلفردسان و اندرسون (۲۰۱۲) [۵] چگونگی استفاده از مهندسی عوامل انسانی (ارگونومی) برای توسعه هواپیماهای جنگنده را توضیح داده است.

پژوهش‌های متعددی در دنیا برای بهره‌برداری از علم بیومکانیک و آنتروپومتری در ارگونومی در حوزه‌های طراحی مرتبط با هوانوردی انجام‌شده است. با بررسی اولیه محققین در پژوهش‌های منتشرشده در این حوزه در دنیا مشخص می‌شود که استفاده از این مقوله در حوزه هوانوردی بسیار گسترده بوده است. به‌نحوی که با یک جستجوی عادی کلیدواژه‌های

فیزیولوژی کار

فیزیولوژی کار یکی از زیرشاخه‌های مهم ارگونومی است به طوری که فاکتورهایی مانند ارزیابی توانایی کاری، ضربان قلب، اکسیژن مصرفی و ویژگی‌های فیزیکی کاربر و ابزار، با استفاده از طراحی دقیق منجر به کارایی بهینه و کمتر شدن آسیب‌های وارده می‌شود [۶]. هم‌چنین اختلالات ناشی از عدم تطابق قابلیت‌های فردی و نیازمندی‌های شغلی را کاهش می‌دهد و باعث ممانعت از اختلالات عضلانی و اسکلتی می‌شود.

روان‌شناسی مهندسی

این زیرشاخه از ارگونومی تلاش دارد تا با طراحی دقیق، روابط انسان با وسایل مکانیکی و محیط کار را تطبیق دهد و ماشین‌هایی را طراحی کنند تا حین کار در بخش‌های مختلف، امنیت و راحتی آن‌ها تأمین‌شده و عملکرد سیستم بهبود یابد [۷]. این بخش بیشتر بر جنبه‌های بهداشت و سلامت روانی تأکید دارد و سعی دارد از اختلالات ناخواسته جلوگیری کند.

بیومکانیک

بیومکانیک (بیومکانیک)، علم مکانیک را در علوم پزشکی بررسی می‌کند. مهندسی بیومکانیک کاربرد ترکیبی از مهندسی مکانیک و علم پزشکی در زندگی انسان بوده و سعی در بهبود زندگی بشر دارد.

آنتروپومتری

آنتروپومتری یکی از مهم‌ترین حیطه‌های ارگونومی محسوب می‌شود که هدف آن اندازه‌گیری ویژگی‌هایی از انسان است که بر طراحی یک محصول خاص اثرگذار خواهد بود. فراهم‌سازی اطلاعات آنتروپومتری در یک جامعه می‌تواند به طراحی‌های موردنیاز آن جامعه کمک فراوانی نماید. بر این مبنا طراحان با در اختیار داشتن ابعاد آنتروپومتری قادر هستند کالاها و محصولات را طراحی نمایند که ضمن کسب رضایت کاربران، موفقیت اقتصادی و دستیابی به اهداف سیستم‌ها و سازمان‌ها را با سلامت و رفاه کاربران مهیا نماید. اقوام هر کشور و حتی منطقه‌ای به دلیل شرایط اقلیمی، نژادی و تغذیه‌ای از ابعاد بدنی متفاوتی برخوردار هستند و از نظر آنتروپومتری تفاوت‌هایی با اقوام دیگر کشورها دارند. از سویی دیگر ابعاد آنتروپومتری می‌تواند در بین افراد یک کشور نیز متفاوت باشد، به‌ویژه در کشورهای وسیع و با شرایط اقلیمی و نژادی مختلف مانند کشور عزیزمان ایران. لذا گردآوری اطلاعات آنتروپومتری

ترکیبی "Anthropometric + aviation" در تاریخ ۲۷ بهمن ۱۳۹۸ در پایگاه Google Scholar؛ تعداد بیش از ۷۱۰۰ منبع علمی قابل‌استخراج می‌باشد. با این وجود با جستجوی فارسی همین عبارت، هیچ منبع علمی مرتبطی به زبان فارسی یافت نمی‌شود. لذا ضروری است پژوهش‌هایی در این حوزه برای کاهش سوانح هوایی صورت پذیرد. یکی از عرصه‌های مهم در کاهش سوانح، هماهنگی ابعاد بدنی خلبان و شرایط داخلی کابین می‌باشد، از آنجاکه یکی از حوزه‌های اثرگذار در این هماهنگی، از بدو آموزش خلبانان روی هواپیمای مربوطه و مهم‌تر از آن، تخصیص خلبان به هواپیما توجه به شاخص‌های آنتروپومتری خلبان می‌باشد؛ در این پژوهش با عنایت به این ضرورت تلاش بر رفع شکاف پژوهشی یادشده و گشودن راه‌های برای پژوهش‌های آتی و تعمق نظری و عملی به این حوزه وجود دارد. لذا تلاش می‌شود با استخراج شاخص‌های تخصیص متناسب با آنتروپومتری برای انواع هواپیماها (نظامی - غیرنظامی) به شناسایی معیارهای تصمیم‌گیری و تخصیص مستخرج از شاخص‌های یادشده پرداخته‌شده است و در نهایت با ارائه و پیاده‌سازی مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه برای تعیین اولویت خلبانان برای یک مجموعه آموزشی دفاعی (خلبانان دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری)، زمینه کاربست علم ارگونومی، بیومکانیک و آنتروپومتری در این حوزه حیاتی و حساس و در نهایت کاهش سوانح و ارتقای ایمنی پروازها مهیا می‌گردد.

۲- تعاریف و پیشینه پژوهش

ارگونومی

کلمه ارگونومی از دو واژه یونانی ergo به معنی کار و nomies به معنی قانون است. در اصطلاح ارگونومی عبارت است از دانش به کار بردن اطلاعات علمی دریافت شده از بدن انسان برای طراحی محیط کار. به طوری که در این دانش از نظر فیزیولوژیکی و ساختار بدنی، تمام ظرفیت‌ها و توانمندی‌های انسان بررسی شده و اطلاعات به‌دست‌آمده در طراحی دقیق محیط کاری استفاده می‌شود.

ارگونومی در ۴ شاخه کلی خلاصه و تشریح می‌شود که این ۴ شاخه عبارت‌اند از «فیزیولوژی کار»، «روان‌شناسی مهندسی»، «بیومکانیک» و «آنتروپومتری». در ادامه به تشریح هر یک از این ۴ بعد پرداخته خواهد شد.

می تواند کمک شایانی به تولیدکنندگان محصولات و کالاهای
بنماید [۸].

آگاهی از ابعاد موردنیاز برای طراحی‌ها، پیش از گردآوری
اطلاعات آنتروپومتری؛ سبب هدفدار بودن اندازه‌گیری‌ها
می‌شود. چراکه برای طراحی هر ابزار یا ایستگاه کاری، ابعاد
آنتروپومتری ویژه‌ای موردنیاز است که دسترسی طراحی
به اندازه آن ابعاد، به تناسب بیشتر محصول تولیدی منجر خواهد
شد. در مطالعات آنتروپومتری، هدف عمده استفاده نتایج برای
طراحی محیط‌های، ابعاد متنوعی مانند ارتفاع، پهنا، عمق،
طول، محیط، انحنا، فاصله و ... جمع‌آوری می‌شوند. در ادامه به
مروری بر پژوهش‌های مرتبط داخلی و خارجی پرداخته
می‌شود.

پیشینه پژوهش‌های داخلی مرتبط:

با توجه به جذابیت موضوعات مرتبط با ارگونومی و
بیومکانیک و سایر ابعاد آن، طی سالیان گذشته و به‌ویژه در
سالهای اخیر پژوهش‌های متعددی در این حوزه در ایران انجام
و منتشر شده است ولیکن با این وجود پژوهش‌های اندکی در
حوزه علم هوانوردی و پرواز به انجام رسیده است ولیکن در
حوزه طراحی کابین و سایر ابعاد هواپیما به صورت خاص،
پژوهشی انجام و یا گزارش نشده است. بر این مینا و با توجه به
اینکه پژوهش‌های متعددی در حوزه صرفاً مباحث عمومی
مرتبط با ارگونومی انجام شده ولیکن پژوهش‌های کمی در حوزه
علم هوانوردی، در این قسمت به معرفی اندک پژوهش‌های
مرتبط با حوزه هوانوردی و پرواز پرداخته می‌شود.

مرتضوی و همکاران (۱۳۹۵) [۹] در پژوهشی با عنوان
«ایجاد یک شاخص عددی جهت اندازه‌گیری میزان بارکاری در
شبیه‌ساز وظایف خلبان» با تبیین اینکه بررسی عملکردی
خلبان در زمانی که چندین وظیفه مختلف بر عهده وی گذاشته
می‌شود، مستلزم رویه‌ای است که بر مبنای آن، بتوان
مشخصه‌های یک سناریو را با کمک شبیه‌ساز طی یک روند
سیستماتیک به دست آورد. سیمولاتور عملکرد چند وظیفه‌ای
خلبان یک شبیه‌ساز استاندارد از وظایف کلی خلبان است که
در سازمان ناسا توسعه یافته است. در پژوهش یادشده، با
بهره‌گیری از تئوری اطلاعات، نرخ تبادل داده تولیدشده در
زیرسیستم‌های مختلف شبیه‌ساز محاسبه شده و با برآیند گیری
از آن‌ها، یک ملاک عددی واحد جهت تخمین بارکاری کلی
ارائه گردیده است. پس از آن به منظور بررسی اعتبار شاخص

استخراج شده، سه تست طراحی شده که در آن‌ها سطوح مختلف
بارکاری شامل کم، متوسط و زیاد بر مبنای نرخ تبادل داده بکار
رفته در هر یک برچسب زده شده است. این تست‌ها توسط
سوزه‌های انسانی در جایگاه خلبان اجرا شده و در خلال آن‌ها،
نظر شخصی هر فرد پیرامون بارکاری ادراک شده توسط او
به وسیله پرسشنامه ناسا- تی ال ایکس ثبت شده است. نتایج
به دست آمده حکایت از آن داشته که میانگین نمره اختصاص
داده شده از سوی سوزه‌ها به بارکاری کلی، در سه سطح
تعریف شده با استفاده از تئوری اطلاعات، دارای اختلاف معنادار
آماري بوده است ($P < 0.001$)؛ به صورتی که این مقدار از
سطح کم به متوسط و از متوسط به زیاد، روند صعودی
قابل توجهی را از خود نشان می‌دهد. نتیجه این پژوهش نشان
داده است که شاخص کمی پیشنهاد شده، در تعیین میزان
بارکاری موجود در شبیه‌ساز ناسا از کارایی کافی برخوردار بوده
است.

مصطفایی و همکاران (۱۳۹۴) [۱۰] در پژوهشی با عنوان
«بررسی وضعیت آلودگی صدا در بخش ایمنی زمینی فرودگاه
مهرآباد و ارتباط آن با قدرت شنوایی کارکنان» با ذکر این
مقدمه که بر اساس پژوهش‌های انجام شده، کار کردن در
فرودگاه از مشاغل پر صدا در دنیا است و کارکنان فرودگاه در
معرض ابتلا به کاهش شنوایی می‌باشند. به ارزیابی تراز فشار
صوت در اپرون (پارکینگ هواپیما) های مجاور اداره ایمنی
زمینی در فرودگاه مهرآباد تهران و وضعیت شنوایی کارکنان
اداره ایمنی زمینی پرداخته‌اند. در این مطالعه، به منظور ارزیابی
میزان مواجهه شغلی کارکنان اداره ایمنی زمینی فرودگاه
مهرآباد با صدا، اندازه‌گیری صدا در اپرون‌های موردنظر به وسیله
دستگاه صداسنج و آنالیزور انجام پذیرفته است.

پیشینه پژوهش‌های خارجی مرتبط:

برخلاف پیشینه فارسی پژوهش، پژوهش‌های بسیار متنوع
و متعددی در حوزه هوانوردی و هواپیما و طراحی هواپیما و
سایر ابعاد مرتبط در پیشینه خارجی موجود است به طوری که
در تاریخ ۱۰ شهریور ۱۳۹۸ بالغ بر ۶۷۰۰۰ مقاله با سرچ دو
کلیدواژه Ergonomics + Aircraft در دیتابیس‌های علمی
گوگل اسکالر حاصل شد. اگر سایر ابعاد و جنبه‌های مختلف با
سرچ و کلیدواژه‌های دقیق‌تر را نیز در نظر بگیریم، به نظر
می‌رسد حجم بسیار انبوهی از مقالات و پژوهش‌ها حاصل
خواهند شد که فرصت بررسی نه تنها در این پژوهش و بلکه در

هیچ پژوهش واحدی را ممکن نمی‌نماید. لذا خلاصه نتایج شاخص‌های آنتروپومتریک که از جمع‌بندی نتایج پژوهش‌های معتبر مرور شده به‌دست آمده است، در جدول ۱ درج شده است.^۱

جدول ۱- ابعاد و شاخص‌های آنتروپومتریک مؤثر بر عملکرد خلبانان.

شماره	جنبه / بُعد	شاخص آنتروپومتریک مربوطه	نکات
۱	دید از کابین خلبان به خارج و به سمت پانل ابزار	ارتفاع چشم، نشسته	نکته: چندین جنبه دید از کابین خلبان می‌بایست اندازه‌گیری شود، برای دید خارجی، چشم‌انداز بیش از دماغه و همچنین پشت کابین و برای دید داخلی، دید به سمت پانل و قسمت‌های بدن از جمله زانو و قلم پا. در صورت لزوم بینایی را از پنجره‌های جانبی اندازه‌گیری شود.
		قد	
۲	دست‌انگشت (شست) به کنترل‌ها	طول دست	نکته ۱: دسترسی به ابزارها و دکمه‌ها به ۴ صورت می‌گیرد: (۱) آن‌هایی که به‌طور معمول با نوک اشاره عمل می‌کنند (۲) آن‌هایی که با انگشت شست و اشاره عمل می‌کنند (۳) آن‌هایی که با تمام دست گرفته شده‌اند (فرمان یا دستگیره کنترل) (۴) آن‌هایی که با انگشتان دست به‌عنوان قلاب عمل می‌کنند.
		ارتفاع شانه، نشسته	
	ارتفاع چشم، نشسته		
	عرض شانه		
	دسترسی دست‌ها (به صورت پهنای دست‌ها/به‌صورت باز) (Span)	عرض شانه	
		پهنای دست‌ها/به‌صورت باز (Span)	
۳	دسترسی به پدال سکان	طول پا	نکته ۱: دستیابی به فشار پدال سکان و ترمز به‌صورت هم‌زمان باید مدنظر قرار گیرد.
		طول باسن-زانو	
		ارتفاع زانو، نشسته	نکته ۲: طول پا به‌صورت ترکیب طول باسن-زانو و ارتفاع زانو، نشسته به نام یا (Combo leg) برای سنجش در نظر گرفته می‌شود.
۴	تداخل فرمان با ران	عرض ران	نکته: برای اندازه‌گیری عرض ران باید به این نکته توجه نمود که خلبان توانایی کارکرد با فرمان را به‌صورت کامل در هنگام باند شدن هواپیما، داشته باشد.
		طول باسن-زانو	
		ارتفاع زانو، نشسته	
۵	فضای پا	فضای ترخیص	نکته ۱: منظور از فضای ترخیص، فضای استاتیک بیرون کشیدن زانو، پا و تنه با ساختارهای کابین خلبان می‌باشد. نکته ۲: موضوعات مربوط به فضای ترخیص باید در نزدیکی دامنه بالای طول باسن-زانو، ارتفاع نشسته زانو، و عرض شانه (بیرون تا بیرون) باشد.
		فضای عملیاتی	نکته ۱: داده‌ها باید در طیف وسیعی از مقادیر برای ترکیبی از طول باسن-زانو و ارتفاع زانو (به‌صورت نشسته) طول ترکیبی "طول پا یا Combo Leg" جمع‌آوری شوند. نکته ۲: اضافه کردن فضای جلوی زانو و قلم پا برای به دست آوردن مقدار فضای آستانه لازم است. نکته ۳: در بدترین حالت پدال سکان، پدال خنثی یا راست یا چپ کامل گزارش شده است.
		عملیاتی با فرمان	نکته ۴: در بدترین حالت پدال سکان، پدال خنثی یا راست یا چپ کامل گزارش شده است.

^۱ علاقه‌مندان به مطالعه پیشینه وسیع‌تر این پژوهش می‌توانند به متن پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرادی (۱۳۹۸) [۱۲] دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری مراجعه فرمایند.

شماره	جنبه / بُعد	شاخص آنتروپومتریک مربوطه	نکات
۳	دسترسی به پدال سکان	طول پا	نکته ۱: دستیابی به فشار پدال سکان و ترمز به‌صورت هم‌زمان باید مدنظر قرار گیرد.
		ارتفاع زانو، نشسته	نکته ۲: طول پا به‌صورت ترکیب طول باسن-زانو و ارتفاع زانو، نشسته به نام یا (Combo leg) برای سنجش در نظر گرفته می‌شود.
۴	تداخل فرمان با ران	عرض ران	نکته: برای اندازه‌گیری عرض ران باید به این نکته توجه نمود که خلبان توانایی کارکرد با فرمان را به‌صورت کامل در هنگام باند شدن هواپیما، داشته باشد.
		طول باسن-زانو	
		ارتفاع زانو، نشسته	
۵	فضای پا	فضای ترخیص	نکته ۱: منظور از فضای ترخیص، فضای استاتیک بیرون کشیدن زانو، پا و تنه با ساختارهای کابین خلبان می‌باشد. نکته ۲: موضوعات مربوط به فضای ترخیص باید در نزدیکی دامنه بالای طول باسن-زانو، ارتفاع نشسته زانو، و عرض شانه (بیرون تا بیرون) باشد.
		فضای عملیاتی	نکته ۱: داده‌ها باید در طیف وسیعی از مقادیر برای ترکیبی از طول باسن-زانو و ارتفاع زانو (به‌صورت نشسته) طول ترکیبی "طول پا یا Combo Leg" جمع‌آوری شوند. نکته ۲: اضافه کردن فضای جلوی زانو و قلم پا برای به دست آوردن مقدار فضای آستانه لازم است. نکته ۳: در بدترین حالت پدال سکان، پدال خنثی یا راست یا چپ کامل گزارش شده است.
		عملیاتی با فرمان	نکته ۴: در بدترین حالت پدال سکان، پدال خنثی یا راست یا چپ کامل گزارش شده است.

در ادامه استاندارد شاخص‌های آنتروپومتریک برای هواپیماهای منتخب (T-37، T-6، T-1، T-38، F-16، F-15، F-10، A-10، F-117، F-22) بر اساس پژوهش یادشده ارائه شده است. ابعاد آنتروپومتریک مورد مطالعه عبارت‌اند از:

- ارتفاع چشم، نشسته
- طول پا
- طول باسن-زانو
- ارتفاع زانو، نشسته
- طول دست
- ارتفاع شانه
- عرض شانه (عرض آکرومیال‌ها)
- فضای قلم پا تا پنل ابزار(قلم تا لبه پایینی پنل اصلی)
- ارتفاع نشستن

شماره	جنبه / بُعد	شاخص آنتروپومتریک مربوطه		نکات
		نشسته	عرض ران	
۶	فضای بالای سر	ارتفاع نشستن	عرض ران	نکته ۱: باید مطمئن گردید که سر با قسمت زیر سایبان یا سربرار دیگر تماسی صورت نگیرد. نکته ۲: می‌توان سنجش را با سر برهنه انجام و میزان ضخامت کلاه ایمنی را به مقادیر به‌دست‌آمده اضافه نمود.
			دور ران	
			عمق شکم	

جدول شماره ۲ نشان‌دهنده اطلاعات ارتفاع نشسته چشم می‌باشد.

جدول ۲. اطلاعات ارتفاع نشسته چشم [۱۱]

نوع هواپیما	مینیمم ارتفاع چشم، نشسته(اینچ)	ارتفاع اضافی چشم (اینچ) لازم برای حرکت صندلی به پایین
T-37	27.5	.625 per notch*
T-6	25.0	1/1*
T-1	29.6	.80 per notch*
T-38	29.75	1/1
F-16	30.2	1/1
F-15	30.5	1/1
A-10	29.0	1/1
F-117	29.6	1/1
F-22	29.0	1/1

دریکی از مرتبط‌ترین و جامع‌ترین پژوهش‌های مرتبط با شاخص‌های آنتروپومتریک خلبانان نظامی در نیروی هوایی ایالات متحده، زهنر و هاندسون (۲۰۰۲) [۱۱] با بررسی ابعاد بدنی مورد نیاز برای انواع هواپیماهای نیروی هوایی آمریکا زمینه تدوین استانداردهای مورد نیاز (حداقل و حداکثر شاخص‌ها) را فراهم نموده‌اند. در پژوهش یادشده به هفت بعد توجه شده است که این ابعاد عبارت‌اند از:

۱. فضای پشت سر.
۲. حرکت و جابجایی Rudder pedal
۳. دید داخلی و خارجی.
- ۴- تناسب فضای استاتیک زانو، پا و تنه در کابین.
۵. فضای عملیاتی حرکت پی خلبان.
۶. فضای عملیاتی پا با دستگیره (Stick) کنترل حرکتی (توانایی خلبان در حرکت دستگیره از طریق طیف گسترده‌ای از ابزارهای مورد نیاز کابین).
۷. دستیابی دست به استیک (Stick).

فقط طول دست‌ها به‌طور باز برای پیش‌بینی توانایی دستیابی لازم است.

جدول ۴ - اطلاعات معادله رگرسیون

معادله رگرسیون (عرض شانه=acrht)	نوع هواپیما
$Stick = .38603 * acrht - .70890 * span + 34.4 (*)$	T-37
$Stick = Min Span 60.1" (*)$	T-6
$Throttle = .5468 * span - 31.6$	T-1
$Throttle = .3239 * span - 21.6$	T-38
$Throttle = .5328 * span - 32.5$	F-16
$Ebrake/Steer = .3318 * span - 22.6$	F-15
$Canopy Jettison = .39154 * span - 26.8$	A-10
$Drag Chute = .6256 * span - 39.7$	F-117
$Gear ovrd = 14.8 + .83939 * acrht - .515 * span$	F-22

جدول ۵ نشان‌دهنده اطلاعات حداکثر طول باسن-زانو برای انواع مختلف هواپیما می‌باشد.

جدول ۵. اطلاعات حداکثر طول باسن - زانو

حداکثر طول باسن-زانو(اینچ)	نوع هواپیما
27.3	T-37
27.9	T-6
27.4	T-1
30.8	T-38
27.1	F-16
27.2	F-15
26.7	A-10
28.2	F-117
27.9	F-22

۳- متدولوژی پژوهش:

بررسی‌های پژوهشگران در منابع علمی معتبر و انتخاب سازوکار بهره‌برداری از شاخص‌های آنترپومتریکی در تعیین اولویت خلبانان برای هواپیماها نشان داد که در این مسئله با توجه به ماهیت و ذات تصمیم مربوطه که در آن تعداد متعددی شاخص درگیر مسئله می‌شوند، با استفاده از روش‌های سنتی، امکان اولویت‌بندی خلبانان وجود ندارد. لذا لازم است که از تکنیک‌های توسعه‌یافته برای این منظور استفاده شود که در علم تصمیم‌گیری چندمعیاره و زیرشاخه تصمیم‌گیری چند شاخصه مطرح می‌باشند (مؤمنی و شریفی سلیم، ۱۳۹۴؛

ترکیب طول باسن-زانو و ارتفاع زانو، نشسته شاخصی جدید به نام کامبولگ^۱ را به وجود می‌آورد. برای مثال اگر اندازه ۴۲ اینچ نیاز باشد مهم نیست که طول باسن-زانوی خلبان ۲۳ اینچ و ارتفاع زانو ۱۹ اینچ یا طول باسن-زانو خلبان ۲۲ اینچ و ارتفاع زانو ۲۰ اینچ باشد. در جدول ۳ حداقل اندازه کامبولگ موردنیاز برای خلبان هواپیماهای مختلف مورد مطالعه درج شده است.

جدول ۳. اطلاعات مینیمم کامبولگ

نوع هواپیما	مینیمم کامبولگ(اینچ)
T-37	40.5
T-6	40.0
T-1	38.6
T-38	43.0
F-16	38.5
F-15	38.75
A-10	42.5
F-117	36.25
F-22	40.0

دسترسی دست به کنترل‌ها :

رسیدن به کنترل خاص تابعی از طول بازو، قد شانه و ارتفاع چشم است. ارتفاع نشسته چشم دوباره در تنظیم صندلی نقش زیادی ایفا می‌کند، زیرا خلبان باید حداقل دید کافی را حفظ کند. حرکت صندلی به بالا، خلبان را از بیشتر کنترل‌ها دورتر می‌کند زیرا ارتفاع شانه‌ها نسبت به کنترل مستقیماً روی توانایی دستیابی خلبان تأثیر می‌گذارد.

رسیدن بازو نیز تحت تأثیر عرض شانه‌ها است، در درجه اول به دلیل سیستم بازدارندگی. در مورد شانه‌های باریک، بند ممکن است باعث شود حرکت شانه به جلو حرکت نکند. با این حال، افراد با شانه پهن بهتر قادرند ضمن رسیدن، شانه‌های خود را به بیرون از بندها بکشند.

برای رفع نیاز به رگرسیون که نیاز به سه متغیر پیش‌بینی کننده دارد، متغیر طول دست‌ها به‌طور باز را برای رسیدن نوک انگشت شست و عرض شانه (عرض آکرومیالها) جایگزین شده است و با استفاده از طول دست‌ها به‌طور باز و ارتفاع شانه به‌طور نشسته رگرسیون دو متغیر را ایجاد نمودیم. برای برخی از کنترل‌ها، به‌ویژه آن‌هایی که بالای سر و یا روی قسمت عقبی کنسول‌های جانبی قرار دارند، ارتفاع شانه متغیر قابل توجهی در معادلات رگرسیون است. بنابراین، بیشتر اوقات،

¹ Combolog

اصغرپور، ۱۳۹۷) [۱۳ و ۱۴]. لذا چنانکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود پس از تعیین شاخص‌های آنترپومتریکی مبتنی بر پیشینه پژوهش حداقل و حداکثر شاخص‌ها مبتنی بر استانداردها و وجود حداقل معیارها برای خلبانان مورد بررسی (گزینه‌ها)، برای وزن دهی به معیارها از یکی از تکنیک‌های شاخص علم تصمیم‌گیری (آنترپوی شانون) استفاده شد و پس از تعیین وزن شاخص‌ها برای تعیین اولویت خلبانان نیز از یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با عنوان الکترو استفاده شد. لازم به ذکر است که برای وزن دهی به شاخص‌ها از روش‌های دیگری همچون روش مقایسات زوجی و روش تعیین دستی وزن معیارها نیز می‌توان استفاده کرد. به منظور تعیین روایی پژوهش، الگوی عنوان‌شده به تأیید ۳ نفر از خبرگان علم تصمیم‌گیری چند شاخصه و ۵ نفر از خبرگان طب هوایی و هوانوردی رسیده است و حسب مورد در پژوهش‌ها و فعالیت‌های کاربردی آتی قابل استفاده است. در ادامه این الگو در یک نمونه واقعی عملی پیاده‌سازی می‌شود. به منظور ارتقای پایایی الگوی ارائه‌شده، به مستندسازی و تشریح نتایج اجرای الگو به صورت دقیق پرداخته شد.

مطالعه موردی یک نمونه واقعی اولویت‌بندی خلبانان مبتنی بر شاخص‌های آنترپومتریکی

در این پژوهش به دلیل محدودیت تحلیل روی هواپیماهای داخلی به علت مشخص نبودن استانداردهای طراحی داخلی کابین و عدم دسترسی به استانداردهای مورد نیاز در خصوص این شاخص‌ها و رعایت حیطه‌بندی اطلاعاتی، به تحلیل اولویت تخصیص خلبانان برای هواپیمای T37 پرداخته شد. لازم به ذکر است که اطلاعات مرتبط با شاخص‌های آنترپومتریکی این هواپیما و تعداد قابل توجهی از هواپیماهای دیگر در بخش قبل و پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرادی (۱۳۹۸) [۱۲] ارائه شده است. از آنجاکه ایده محوری این پژوهش تشریح اهمیت و جایگاه شاخص‌های آنترپومتریکی و ارائه سازوکاری علمی و منطقی برای استفاده از این شاخص‌ها در تعیین اولویت تخصیص خلبانان به هواپیماها بر اساس یک نمونه واقعی بوده است.

از بین شاخص‌های تعیین‌شده با همکاری متخصصین حوزه طب هوایی و خبرگان هوانوردی تعداد ۹ شاخص مؤثر انتخاب شدند و در پرسشنامه پژوهش درج شدند و در نهایت در

ماتریس تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی خلبانان و هواپیمای مورد مطالعه درج شد، این معیارها عبارت‌اند از:

- ۱- معدل علمی (c1)
- ۲- معدل پروازی (c9)
- ۳- وزن (برحسب کیلوگرم) (c2)
- ۴- کامبولگ / که خود ترکیبی از طول باسن-زانو و ارتفاع زانو در حال نشسته است (برحسب سانتی‌متر) (c3)
- ۵- ارتفاع چشم نشسته (برحسب سانتی‌متر) (c4)
- ۶- عرض شانه (برحسب سانتی‌متر) (c5)
- ۷- طول دست (c6)
- ۸- ارتفاع شانه (c7)
- ۹- طول پا (c8)

بر این مبنا ماتریس تصمیم‌گیری مسئله پژوهش در جدول شماره ۴ درج شده است. ماتریسی ۹*۱۵ به عنوان ماتریس تصمیم برای اولویت‌بندی تعداد ۱۵ گزینه (خلبان) که اطلاعات آنترپومتریکی ایشان استخراج و حداقل‌های لازم برای هواپیمای منتخب را داشتند، در خصوص ۹ معیار پژوهش تشکیل شد. اطلاعات این خلبانان واقعی بوده و با کمک متخصصان طب هوایی بیمارستان بعثت نهجا گردآوری شد. چنانکه مشاهده می‌شود میانگین، انحراف معیار و میانه هر شاخص برای خلبانان مورد مطالعه در ستون مربوطه درج شده است.

میانگین	16.35	83.40	114.20	76.40	36.73	18.93	148.20	25.93	17.03
انحراف استاندارد	0.93	8.19	5.64	3.38	2.24	0.85	5.11	1.29	1.41
میانه	16.12	84	116	77	37	19	148	26	17.03

تعیین وزن معیارها

برای تعیین وزن معیارها دور رویکرد وزن دهی وجود دارد که رویکرد اول استفاده از شیوه وزن دهی مبتنی بر نظرات خبرگان است که با استفاده از روش‌هایی همچون ماتریس مقایسات زوجی و یا میانگین‌گیری از نظرات خبرگان استفاده می‌شود. رویکرد دوم استفاده از ماتریس تصمیم مسئله مورد بررسی مبتنی بر روش آنتروپی شانون است. در این پژوهش به دلیل دقت این شیوه از روش شانون استفاده شده است.

مفهوم آنتروپی شانون (شانون، ۱۹۴۸) [۱۵] نقش مهمی در نظریه اطلاعات دارد. این مفهوم در زمینه‌های مختلف علمی، از جمله فیزیک، علوم اجتماعی و غیره توسعه یافته است. در تئوری اطلاعات، آنتروپی اندازه‌گیری مقدار اطلاعات مورد نیاز برای توصیف متغیر تصادفی است.

گام اول: ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل می‌دهیم. برای تشکیل این ماتریس تصمیم کافی است اگر معیارها کیفی هستند از عبارات کلامی ارزیابی هر گزینه را نسبت به هر معیار به دست آوریم و اگر معیارها کمی هستند عدد واقعی آن ارزیابی را قرار دهیم. در شکل زیر که ماتریس تصمیم می‌باشد ستون‌ها معیار و سطرها گزینه‌ها هستند. به‌عنوان مثال درایه x_{12} امتیاز گزینه اول نسبت به معیار دوم است.

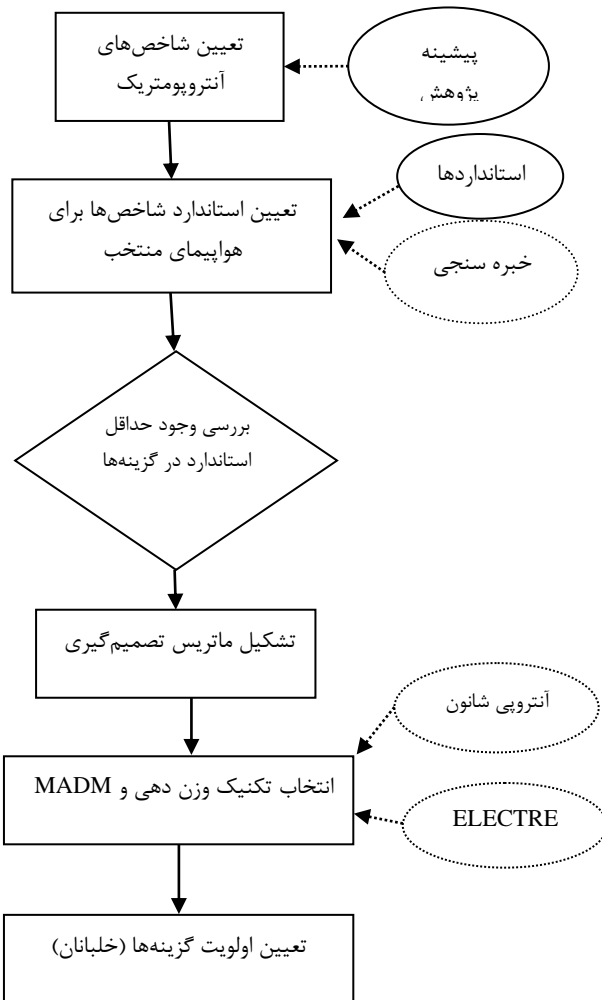
$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

گام دوم: ماتریس را نرمالیزه می‌کنیم و هر درایه نرمال شده را p_{ij} می‌نامیم. نرمالیزه کردن ماتریس به این صورت می‌باشد که درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می‌کنیم.

گام سوم: محاسبه آنتروپی هر شاخص: آنتروپی E_j به صورت زیر محاسبه می‌گردد و k به‌عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln p_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

که در آن $p(x)$ توزیع احتمال متغیر تصادفی X است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش فاکتور مربوطه می‌شود. گام چهارم: در ادامه مقدار d_j (درجه انحراف) محاسبه می‌شود.



شکل ۳. فرایند پژوهش

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری اولویت‌بندی خلبانان

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
گزینه ۱	15.76	80	119	81	42	18	147	26	17.36
گزینه ۲	16.12	77	111	77	36	18	146	26	16.79
گزینه ۳	16.81	78	118	80	34	20	151	27	19.02
گزینه ۴	17.05	84	117	71	37	19	148	28	18.75
گزینه ۵	14.75	69	108	76	34	19	142	25	15.73
گزینه ۶	16.83	95	116	73	34	18	149	26	18.03
گزینه ۷	17.84	85	104	77	39	19	143	25	19.02
گزینه ۸	15.62	71	104	73	37	18	142	23	14.63
گزینه ۹	16.07	84	114	81	38	20	151	26	15.55
گزینه ۱۰	17.33	74	108	73	35	18	140	25	17.95
گزینه ۱۱	14.85	90	122	77	37	20	153	25	17.03
گزینه ۱۲	15.43	85	117	82	40	18	145	25	16.78
گزینه ۱۳	17.62	90	118	74	36	20	155	27	15.93
گزینه ۱۴	16.02	94	121	78	37	20	158	28	14.83
گزینه ۱۵	17.13	95	116	73	35	19	153	27	18.09

جدول ۷ ماتریس نرمالیزه شده

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
A1	0.25	0.25	0.27	0.27	0.29	0.25	0.26	0.26	0.26
A2	0.25	0.24	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.26	0.25
A3	0.27	0.24	0.27	0.27	0.24	0.27	0.26	0.27	0.29
A4	0.27	0.26	0.26	0.24	0.26	0.26	0.26	0.28	0.28
A5	0.23	0.21	0.24	0.26	0.24	0.26	0.25	0.25	0.24
A6	0.27	0.29	0.26	0.25	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27
A7	0.28	0.26	0.23	0.26	0.27	0.26	0.25	0.25	0.29
A8	0.25	0.22	0.23	0.25	0.26	0.25	0.25	0.23	0.22
A9	0.25	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.23
A10	0.27	0.23	0.24	0.25	0.25	0.25	0.24	0.25	0.27
A11	0.23	0.28	0.28	0.26	0.26	0.27	0.27	0.25	0.26
A12	0.24	0.26	0.26	0.28	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25
A13	0.28	0.28	0.27	0.25	0.25	0.27	0.27	0.27	0.24
A14	0.25	0.29	0.27	0.26	0.26	0.27	0.28	0.28	0.22
A15	0.27	0.29	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.27	0.27

در مرحله چهارم روش الکترو به تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده پرداخته می شود. این ماتریس از ضرب ماتریس تصمیم بی مقیاس شده در برابر وزن معیارها به دست می آید.

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (7-3)$$

جدول ۸ نشان دهنده مقدار حاصل ضرب مقادیر ماتریس نرمالیزه شدن در وزن معیارها برای هر یک از گزینه ها می باشد.

جدول ۸. ماتریس تصمیم وزن دار

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
A1	0.024	0.071	0.020	0.016	0.032	0.015	0.009	0.019	0.054
A2	0.025	0.069	0.018	0.015	0.027	0.015	0.009	0.019	0.052
A3	0.026	0.069	0.020	0.016	0.026	0.016	0.009	0.020	0.059
A4	0.026	0.075	0.019	0.014	0.028	0.016	0.009	0.021	0.058
A5	0.023	0.061	0.018	0.015	0.026	0.016	0.009	0.018	0.049
A6	0.026	0.085	0.019	0.014	0.026	0.015	0.009	0.019	0.056
A7	0.027	0.076	0.017	0.015	0.030	0.016	0.009	0.018	0.059
A8	0.024	0.063	0.017	0.014	0.028	0.015	0.009	0.017	0.045
A9	0.025	0.075	0.019	0.016	0.029	0.016	0.009	0.019	0.048
A10	0.027	0.066	0.018	0.014	0.027	0.015	0.009	0.018	0.056
A11	0.023	0.080	0.020	0.015	0.028	0.016	0.009	0.018	0.053
A12	0.024	0.076	0.019	0.016	0.031	0.015	0.009	0.018	0.052
A13	0.027	0.080	0.020	0.015	0.027	0.016	0.010	0.020	0.049
A14	0.025	0.084	0.020	0.015	0.028	0.016	0.010	0.021	0.046
A15	0.026	0.085	0.019	0.014	0.027	0.016	0.009	0.020	0.056

در مرحله پنجم به تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف پرداخته می شود.

برای هر زوج گزینه k و e مجموعه معیارها به دو زیرمجموعه موافق و مخالف تقسیم می شوند. مجموعه موافق (S_{ke}) مجموعه ای از معیارهایی است که در آن گزینه k به گزینه e ترجیح دارد و مجموعه مکمل آن مجموعه مخالف (D_{ke}) می باشد مجموعه معیارهای موافق برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب به صورت زیر تعریف می شوند.

$$S_{ke} = \{j | v_{kj} \geq v_{ej}\} \quad (8)$$

$$S_{ke} = \{j | v_{kj} \geq v_{ej}\} \quad (9)$$

مجموعه معیارهای مخالف برای مثبت و منفی به ترتیب به صورت زیر تعریف می شود.

$$D_{ke} = \{j | v_{kj} < v_{ej}\} = J - S_{ke} \quad (10)$$

$$D_{ke} = \{j | v_{kj} > v_{ej}\} = J - S_{ke} \quad (11)$$

در مرحله بعد تشکیل ماتریس همبستگی انجام می شود. ماتریس توافق (همبستگی) یک ماتریس مربعی است که بعد آن

$$d_j = 1 - E_j \quad (3)$$

گام پنجم: سپس مقدار وزن W_j با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد. در واقع وزن معیار برابر با هر d_j تقسیم بر مجموع d_j ها می باشد.

$$w_j = d_j / \sum d_j \quad (4)$$

پس از طی مراحل عنوان شده برای تعیین وزن شاخص ها، در نهایت وزن هر یک از معیارهای این مسئله به شرح جدول ۶ محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این جدول ماهیت و جنس معیار (مثبت و منفی) نیز مشخص شده است. این ماهیت و جنس معیارها در مراحل بعدی و محاسبات روش Electre به کار می آید و معیار از جنس سود (هزینه) معیاری است که مطلوبیت آن با افزایش مقدار افزایش (کاهش) می یابد.

۴- نتایج پژوهش

در ادامه به تحلیل یافته های پژوهش به صورت گام به گام و مبتنی بر متدولوژی ارائه شده پرداخته می شود.

مراحل اولویت بندی مبتنی بر روش ELECTRE

در ادامه مراحل اولویت بندی گزینه ها (۱۵ خلبان مسئله مورد مطالعه) مبتنی بر روش الکترو تشریح می شود. در این روش در مرحله اول ماتریس تصمیم تشکیل می شود (این ماتریس در مرحله قبل تشکیل شد) و در مرحله دوم سعی می شود معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بدون بعد تبدیل شوند برای بی مقیاس (نرمالیزه) کردن از رابطه ۶ استفاده می شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (6)$$

جدول ۶. وزن و ماهیت شاخص ها

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9
نوع شاخص	مثبت	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت
وزن شاخص	۰.۰۸۰	۰.۰۸۷	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰

نتیجه محاسبات و ماتریس نرمالیزه شده این مسئله به صورت جدول ۷ می باشد.

شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید. جدول ۱۰ ماتریس ناهماهنگی را نشان می‌دهد.

$$d_{ke} = \frac{\max_{j \in D_{ke}} |v_{kj} - v_{ej}|}{\max_{j \in E_j} |v_{kj} - v_{ej}|} \quad (13)$$

جدول ۱۰. ماتریس ناهماهنگی

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
A1	-	0.58	0.84	1	-	0.16	1	0.95	0.29	-	0.19	0.04	0.32	0.13	0.17
A2	-	-	-	0.97	-	0.24	0.97	0.8	0.26	-	0.16	0.43	0.2	0.11	0.25
A3	-	0.22	-	0.43	0.79	0	0.61	0.46	0.28	-	0.21	0.66	0.14	0.16	0.05
A4	0.89	-	-	-	-	0.04	0.69	0.91	0.2	-	0.22	0.38	0.1	0.11	0.04
A5	0.62	0.46	-	-	0.7	-	0.72	0.67	0.23	-	0.22	0.32	0.24	0.1	0.32
A6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.69	0.23	-
A7	0.87	-	-	-	-	0.22	-	0.92	0.15	-	0.48	0.31	0.24	0.22	0.22
A8	-	-	-	-	-	0.49	-	-	0.25	-	0.44	0.53	0.24	0.18	0.5
A9	-	-	-	-	-	0.78	-	-	-	-	0.86	1	0.45	0.17	0.8
A10	-	0.22	0.93	0.28	0.65	0.07	0.34	0.26	0.26	-	0.16	0.39	0.12	0.12	0.08
A11	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	0.32	0.32	0.79
A12	-	-	-	-	-	0.44	-	-	0.43	-	0.37	-	0.76	0.28	0.46
A13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	0.22	-
A14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0.67	0.15	-

در مرحله بعد ماتریس تسلط موافق (بولینی هماهنگی) تشکیل می‌شود. در این مرحله یک مقدار معین برای شاخص توافق مشخص می‌شود که آن را آستانه موافقت می‌نامند و با C^- نشان داده می‌شود. آستانه موافقت از میانگین‌گیری شاخص‌های توافق (درایه‌های ماتریس توافق) به دست می‌آید. به زبان ریاضی مقدار آستانه موافقت از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{e=1}^m C_{ke}}{m(m-1)} \quad (14)$$

ماتریس تسلط موافق (F) با توجه به مقدار آستانه موافقت تشکیل می‌شود. اگر C_{ke} بزرگ‌تر از C^- باشد، برتری گزینه k بر گزینه e قابل قبول است در غیر این صورت گزینه k بر گزینه e برتری ندارد لذا درایه‌های ماتریس تسلط موافق از رابطه زیر تعیین می‌شود. این ماتریس در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

$$f_{ke} = \begin{cases} 1 & C_{ke} \geq \bar{c} \\ 0 & C_{ke} < \bar{c} \end{cases} \quad (15)$$

تعداد گزینه‌ها می‌باشد. هر یک از درایه‌های این ماتریس، شاخص توافق بین دو گزینه نامیده می‌شود. مقدار این شاخص از جمع وزن معیارهایی که در مجموعه موافق وجود دارند، به دست می‌آید. به عبارت دیگر برای محاسبه شاخص توافق (C_{ke}) باید گزینه k و گزینه e مقایسه شده و مقدار آن از جمع وزن معیارهایی که گزینه k نسبت به گزینه e ترجیح دارد، به دست می‌آید. به زبان ریاضی، شاخص توافق از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C_{ke} = \sum_{j \in S_{ke}} W_j \quad (12)$$

شاخص توافق، بیانگر میزان برتری گزینه k بر گزینه e بوده و مقدار آن از صفر تا یک تغییر می‌کند. ماتریس توافق برای این مسئله به صورت جدول ۹ حاصل شد.

جدول ۹. ماتریس هماهنگی (توافق)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
A1	-	0.52	0.61	0.24	0.65	0.66	0.64	0.71	0.81	0.41	0.83	0.94	0.73	0.66	0.53
A2	0.52	-	0.40	0.35	0.65	0.59	0.53	0.60	0.66	0.41	0.52	0.76	0.66	0.59	0.46
A3	0.76	0.60	-	0.72	0.71	0.90	0.79	0.60	0.83	0.51	0.78	0.83	0.76	0.71	0.76
A4	0.47	0.65	0.28	-	0.65	0.91	0.53	0.65	0.74	0.56	0.77	0.83	0.68	0.77	0.81
A5	0.35	0.35	0.40	0.41	-	0.52	0.50	0.79	0.49	0.59	0.36	0.42	0.35	0.49	0.41
A6	0.47	0.54	0.21	0.09	0.59	-	0.18	0.60	0.45	0.51	0.38	0.47	0.20	0.30	0.42
A7	0.36	0.53	0.41	0.53	0.64	0.82	-	0.71	0.41	0.64	0.83	0.72	0.76	0.70	0.82
A8	0.35	0.46	0.40	0.46	0.24	0.52	0.36	-	0.29	0.55	0.49	0.45	0.40	0.40	0.46
A9	0.33	0.41	0.26	0.55	0.51	0.62	0.59	0.71	-	0.41	0.69	0.56	0.52	0.82	0.52
A10	0.65	0.65	0.49	0.44	0.56	0.61	0.44	0.57	0.59	-	0.66	0.72	0.49	0.59	0.55
A11	0.17	0.54	0.28	0.34	0.71	0.62	0.30	0.61	0.37	0.41	-	0.45	0.79	0.74	0.62
A12	0.12	0.30	0.17	0.24	0.65	0.59	0.64	0.19	0.44	0.41	0.63	-	0.66	0.66	0.53
A13	0.27	0.45	0.45	0.32	0.65	0.80	0.24	0.60	0.54	0.51	0.56	0.34	-	0.65	0.80
A14	0.34	0.41	0.35	0.41	0.51	0.70	0.30	0.74	0.24	0.41	0.43	0.34	0.41	-	0.70
A15	0.47	0.54	0.32	0.25	0.65	1.00	0.24	0.60	0.48	0.61	0.41	0.47	0.28	0.30	-

در مرحله بعد ماتریس مخالف (ناهماهنگی) تعیین می‌شود. ماتریس مخالف یک ماتریس مربعی می‌باشد که بعد آن تعداد گزینه‌ها می‌باشد. هر یک از درایه‌های این ماتریس، شاخص عدم توافق (مخالفت) بین دو گزینه نامیده می‌شود. مقدار این

Solver، اولویت خلبانان برای تخصیص به هواپیمای منتخب مشخص و در بخش قبل ارائه شد. به دلیل رعایت مشخصات شخصی خلبانان مورد مطالعه به جای نام ایشان از عنوان گزینه X استفاده شده است. در جدول ۱۵ به مقایسه اولویت‌بندی بر اساس الگوی سنتی (اولویت بر اساس میانگین معدل علمی و عملی) با الگوی پژوهش حاضر که مبتنی بر شاخص‌های علمی- عملی و آنتروپومتریک (هم‌زمان) بوده پرداخته شده است. مشاهده می‌شود که تغییر بسیار زیادی در اولویت تعیین هواپیمای خلبانان با این دو رویکرد وجود دارد. بیشترین تغییر برای خلبانان گزینه ۱۰ است که در اولویت ۲ بر مبنای شاخص‌های آنتروپومتریک و معدل است و اگر صرفاً بر اساس معدل علمی و عملی دوران دانشجویی طبقه‌بندی شوند در اولویت ۹ قرار می‌گیرد و خلبان گزینه ۷ که بر اساس معدل در رتبه اول است در اولویت‌بندی مبتنی بر ترکیب معدل و این شاخص‌ها (الگوی پژوهش حاضر) در اولویت ۴ قرار می‌گیرد و چه بسا که به کارگیری خلبان بدون در نظر گرفتن شاخص‌های آنتروپومتریک سبب محرومیت از تمامی مزایای عنوان شده و تحمیل هزینه‌های ناشی از عدم تناسب ویژگی‌های بدنی با کابین می‌شود.

جدول ۱۵. مقایسه اولویت خلبانان بر اساس الگوی پژوهش حاضر و رویکرد سنتی

اولویت بر اساس الگوی پژوهش	گزینه	اولویت بر اساس معدل
اولویت ۱	گزینه ۳	اولویت ۲ (-۱)
اولویت ۲	گزینه ۱۰	اولویت ۹ (-۷)
اولویت ۳	گزینه ۱	اولویت ۸ (-۵)
اولویت ۴	گزینه ۷	اولویت ۱ (+۳)
اولویت ۵	گزینه ۴	اولویت ۳ (+۲)
اولویت ۶	گزینه ۲	اولویت ۹ (-۳)
اولویت ۷	گزینه ۱۲	اولویت ۱۰ (-۳)
اولویت ۸	گزینه ۱۱	اولویت ۱۱ (-۳)
اولویت ۹	گزینه ۵	اولویت ۱۴ (-۵)
اولویت ۹	گزینه ۹	اولویت ۱۲ (-۳)
اولویت ۹	گزینه ۱۳	اولویت ۷ (-۲)
اولویت ۹	گزینه ۱۵	اولویت ۵ (+۴)
اولویت ۱۳	گزینه ۶	اولویت ۶ (+۷)
اولویت ۱۳	گزینه ۸	اولویت ۱۵ (-۲)
اولویت ۱۳	گزینه ۱۴	اولویت ۱۳ (-)

در نهایت مطابق جدول ۱۴ با محاسبه تعداد چیرگی هر گزینه، اولویت هر یک از خلبانان مورد مطالعه برای هواپیمای مورد مطالعه مشخص می‌شود.

جدول ۱۴. تعداد چیرگی هر گزینه

اولویت	گزینه	تعداد چیرگی
اولویت ۱	گزینه ۳	11
اولویت ۲	گزینه ۱۰	9
اولویت ۳	گزینه ۱	7
اولویت ۴	گزینه ۷	6
اولویت ۵	گزینه ۴	7
اولویت ۶	گزینه ۲	5
اولویت ۷	گزینه ۱۲	3
اولویت ۸	گزینه ۱۱	2
اولویت ۹	گزینه ۵	1
اولویت ۹	گزینه ۹	1
اولویت ۹	گزینه ۱۳	1
اولویت ۹	گزینه ۱۵	1
اولویت ۱۳	گزینه ۶	0
اولویت ۱۳	گزینه ۸	0
اولویت ۱۳	گزینه ۱۴	0

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ضمن بررسی نهایی ملاک‌ها و معیارهای آنتروپومتریک مؤثر در تعیین اولویت خلبانان برای هواپیمای مبتنی بر پیشینه پژوهش، شاخص‌ها و معیارها تعیین و در یک هواپیمای مثالی (T37) به اولویت‌بندی خلبانان مورد مطالعه (در یک نمونه واقعی) پرداخته شد و نتایج اولویت‌بندی خلبانان مبتنی بر الگوی ارائه شده در شکل ۳ (الگوی تعیین اولویت خلبانان مبتنی بر شاخص‌های آنتروپومتریک) به صورت گام‌به‌گام ارائه شد. نقاط قوت این الگو عبارت است از:

- استفاده از شاخص‌های آنتروپومتریک در تعیین اولویت خلبانان برای اولین بار
- مطالعه جامع شاخص‌های یاد شده مبتنی بر پیشینه بین‌المللی موضوع
- پیاده‌سازی الگوی ارائه شده در یک نمونه موردی واقعی از خلبانان
- به کارگیری روش‌های علم تصمیم‌گیری چند شاخصه با تحلیل نتایج با استفاده از گام‌های تکنیک منتخب (ELECTRE) و نرم‌افزارهای Excel و Electre

• پیشنهاد می‌شود در سازمان‌های مرتبط با هوانوردی کارگروه‌هایی جهت استفاده از شاخص‌های آنتروپومتریکی در حوزه‌های مختلف تشکیل گردد.

• در اسرع وقت اقدامات مورد نیاز به منظور تخصیص خلبانان به هواپیماها با در نظر گرفتن شاخص‌های آنتروپومتریکی در سطوح مختلف اجرائی و پژوهشی برنامه‌ریزی شود.

پیشنهادات پژوهشی

با توجه به نتایج ارائه شده این پژوهش از سویی و محدودیت‌های آن از دیگر سو، پیشنهاد می‌شود که پژوهشگران آتی به مطالعات زیر بپردازند:

• تعیین استاندارد و شاخص‌های آنتروپومتریکی مؤثر در

فعالیت خلبانان برای انواع مختلف هواپیماهای داخلی

• استفاده عملی از الگوی ارائه شده در این پژوهش و

ارائه نتایج برای انواع مختلف هواپیماها

• استفاده از شاخص‌ها و علم ارگونومی و آنتروپومتریکی

در طراحی محیط‌های کاری مرتبط با خلبانی و تعمیر و نگهداری هواپیما و سایر حوزه‌های مرتبط با هوانوردی

• وزن دهی به شاخص‌ها و امکان‌سنجی استفاده از

سایر روش‌ها و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برحسب

مورد در مسئله تعیین اولویت خلبانان: از آنجاکه ممکن است

وزن معیارها برای یک مرکز خاص آموزش هوانوردی متفاوت

باشد و چنانکه پیش‌تر عنوان شد، در این پژوهش به دلیل

محدودیت‌ها و شرایط حاکم بر مسئله از روش آنتروپی‌شانون

برای وزن دهی استفاده شده است، لذا پژوهشگران آتی و

محیط‌های عملیاتی استفاده‌کننده از رویکرد و مدل این

پژوهش، می‌توانند با بهره‌گیری از سایر روش‌های وزن دهی

(مثلاً وزن دهی بر اساس نظرات تعدادی از خبرگان) به تعیین

وزن معیارها بپردازند.

• تعریف پروژه‌های جامع با همکاری متخصصان

دانشگاهی و پژوهشگران حوزه طب هوایی در نهاجا و ارائه

الگوی جامع برای استفاده در تعیین اولویت خلبانان آ برای انواع

مختلف هواپیماها

یکی از نقاط قوت و ارزش افزای استفاده از مدل‌ها و الگوهای با دقت و تعداد معیار بالا در تصمیم‌گیری، این است که به‌ندرت و تقریباً با احتمال نزدیک به صفر، امکان بروز اولویت یکسان بین دو یا چند گزینه رخ می‌دهد چراکه اولاً تعداد معیارها نسبت به حالت معمول بسیار زیاد است چون در حالت معمول فقط یک یا حداکثر دو معیار (معدل علمی و عملی) در اولویت‌بندی و تخصیص هواپیما به خلبانان ملاک ارزیابی است و ثانیاً دقت مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه بسیار بالاست که امکان بروز اولویت یکسان را به نزدیک به صفر می‌رساند. باین وجود فرض محال، محال نمی‌باشد و در صورت شرایط یکسان باید به این نکته دقت کرد که مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، ابزار کمکی تصمیم‌گیرنده و صاحب مسئله (در اصطلاح علم تصمیم‌گیری: DM^1) است و نظر و تصمیم نهایی در چنین شرایطی با صاحب مسئله است و بر این اساس اگر اولویت بین دو خلبان یکسان باشد، نظر نهایی درباره اولویت‌بندی دو خلبان بهتر است بر اساس نظر خبرگی و تفاوت در نمرات در معیارها در نظر گرفته شود. مثلاً از DM پرسیده شود که کدام معیار برای شما مهم‌ترین است و اگر در آن معیار میزان نمره متفاوت بود، اولویت به فرد دارای نمره مطلوب‌تر تخصیص داده می‌شود و اگر در این معیار (و معیارهای دارای اهمیت بعدی از نظر DM) نیز نمرات یکسان بود، تصمیم و اولویت بر اساس معیارهای بعدتر به لحاظ درجه اهمیت اتخاذ می‌شود (هرچند که تقریباً وقوع این حالت با توجه به تفاوت ابعاد بدنی و شاخصه‌های آنتروپومتریکی افراد بعید به نظر می‌رسد.

پیشنهادات کاربردی

با توجه به مجموعه مطالعات انجام‌شده پیشنهاد می‌گردد:

• مراکز آموزشی حوزه هوانوردی در تعیین اولویت تخصیص خلبانان خود به انواع هواپیماها از روش ارائه‌شده در این پژوهش استفاده نمایند.

• نهادها و سازمان‌های فعال در حوزه‌های هوانوردی بیش‌ازپیش به شاخص‌های مرتبط با ارگونومی و علم بیومکانیک و آنتروپومتریکی توجه نمایند.

¹ . Decision Maker

منابع و مراجع

- [۹]. مرتضوی محمدرضا، ریسی کامران، هاشمی سیدحامد (۱۳۹۵)، ایجاد یک شاخص عددی جهت اندازه‌گیری میزان بارکاری در شبیه‌ساز وظایف خلبان، فصلنامه ارگونومی، زمستان ۹۵، صص ۲۴ - ۳۱.
- [۱۰]. مصطفایی مریم، نصیری پروین، بهزادی محمد حسن. بررسی وضعیت آلودگی صدا در بخش ایمنی زمینی فرودگاه مهرآباد و ارتباط آن با قدرت شنوایی کارکنان. بهداشت و ایمنی کار. ۱۳۹۴؛ ۵ (۲): ۲۳-۳۴
- [11]. ZEHNER, G.F. and J.A. Hudson, Body Size Accommodation in USAF Aircraft, Technical Report AFRL-HE-WP-TR-2002-0118, Crew System Interface Division, Human Effectiveness Directorate, Wright-Patterson AFB, OH, January 2002.
- [۱۲]. مرادی مصطفی (۱۳۹۸)، «ارائه و پیاده‌سازی الگوی تعیین نوع هواپیمای خلبانان مبتنی بر فاکتورهای آنتروپومتریک برای کاهش سوانح هوایی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا (سوانح)، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.
- [۱۳]. اصغرپور، محمد جواد (۱۳۹۷)، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۴]. مؤمنی، منصور؛ شریفی سلیم علی‌رضا (۱۳۹۴)، مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه، انتشارات دانشگاه تهران.
- [15]. Shannon C E (1948) A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal. 27(379): 623.
- [1]. F. Izzuddin Romli, A. Nabilla Asmadi, N. Dasuki "Ergonomics Study of Vertical Seat Design for Standing Cabin Concept in Commercial Transport Aircraft" International Review of Aerospace Engineering 8(3):17-22 · June 2015
- [2]. F. Izzuddin Romli, N. Ozve Aminian" Ergonomic Analysis of Aircraft Passenger Seat: A Malaysian Case Study" International Journal of Pure and Applied Mathematics 119(15):3749-3754 · January 2018
- [3]. N. Ozve Aminian, F. Izzuddin Romli" Ergonomics assessment of current aircraft passenger seat design against Malaysian anthropometry data" International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.13) (2018) 18-21
- [4]. Ionuț, C. Î. M. P. I. A. N. (2011). Ergonomic design of aircraft cockpit. Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, 6(1), 25-28.
- [5]. Jens Alfredson, Rikard Andersson, "Managing Human Factors in the Development of Fighter Aircraft", (www.igi-global.com/chapter/managing-human-factors-developmentfighter/55969)
- [۶]. پورقاسمی علی (۱۳۸۰)، مهندسی عوامل انسانی در برنامه‌ریزی تولید، فصلنامه تدبیر، شماره ۱۱۹، ۷۱-۶۸
- [7]. Nolen-Hoeksema, Susan, Fredrickson, Barbara L., Loftus, Geof. (2009). "Atkinson & Hilgard's Introduction to psychology, 15th".
- [۸]. امامقلی زاده مینایی، حاج آقا زاده، اللهیاری، تیمور، خلخالی و کرامت. (۱۳۹۵). مطالعه ابعاد آنتروپومتری پا در دانشجویان. مجله ارگونومی، ۴(۱)، ۲۸-۳۸.