

ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان انسانی در بهره برداری از سامانه‌های راداری برد کوتاه و متوسط به روش فازی CREAM

گلشن سلطانی علاسوند

کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اصفهان، ایران. golshan.soltani.gs@gmail.com

مهدی کرباسیان

استاد تمام دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران. mkarbasian@yahoo.com

چکیده: امروزه بررسی‌ها نشان می‌دهد که یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین علل بروز حوادث در حین عملکرد سامانه‌های پیچیده، عوامل انسانی هستند. هدف از انجام این پژوهش، توسعه مدل فازی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در سامانه‌های بسیار حساس و متأثر از عملکرد انسان یعنی رادارهای برد کوتاه و متوسط است. روش مورد استفاده در این تحقیق، روش CREAM یا قابلیت اطمینان شناختی و تجزیه و تحلیل خطا است. در این پژوهش سعی بر آن است تا به ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی پژوهش از طریق پرسشنامه پرداخته شود. پس از جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه‌ها و مشورت و نظرخواهی از متخصصین، آنالیز وظایف شغلی و همینطور گراف ارتباطات آنها رسم می‌شود، سپس جدول ارزیابی شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد تشکیل می‌شود، و با استفاده از روش AHP فازی، نمودار سلسله مراتبی و شاخص‌های کیفی پرسشنامه‌ها به مقادیر کمی تبدیل می‌شوند. این اطلاعات وارد نرم‌افزار excel می‌شود و به همین ترتیب ماتریس مقایسات زوجی، ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه، مجموع بردار وزنی تشکیل و سپس بردار سازگاری، شاخص سازگاری و نسبت سازگاری محاسبه شده‌اند و بدین وسیله اولویت‌بندی فاکتورها انجام می‌گردد. برای هر وظیفه شغلی، سبک کنترلی مشخص و احتمال خطای شناختی هر کدام محاسبه شده است. نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که هر کدام از روش‌های فازی و بیزین در ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان انسانی مؤثر هستند. اما به‌عنوان نتیجه نهایی، استفاده از روش CREAM نتایج کاربردی‌تری دارد نتایج مطالعات در این مقاله حاکی از آن است در بین وظایف شغلی، فاکتور "آماده‌سازی بخش‌های مکانیکی" دارای بیشترین میزان احتمال رخ داد خطا است و می‌بایست بر روی بهبود این فاکتور مهم، بیشتر تمرکز کرد.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان انسانی، منطق فازی، روش CREAM، سامانه‌های راداری

۱- مقدمه

بیش از ۲۰۰ تکنیک مختلف وجود دارد که هر کدام بر اساس هدفی خاص مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. مطالعات انجام‌شده، نشان داده که ارزیابی خطاهای انسانی در مرحله قبل از وقوع حوادث، می‌تواند از بروز بسیاری از وقایع جلوگیری نماید. با توجه به پژوهش‌های گیوی جابر و نیومن بیش از ۵۰٪ موارد مرتبط با تعمیر و اصلاح محصولات مرتبط با خطاهای انسانی است. علاوه بر ایجاد هزینه بیشتر، خطاهای انسانی تأثیرات منفی بر سلامت و امنیت دارد به‌طوری که نزدیک به ۸۲٪ جراحات محیط کار مرتبط با خطاهای انسانی بیان شده است [۱]. از طرفی رادارهای آرایه فازی در تمامی حوزه‌های زمینی، هوایی و فضایی در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. رادارها سیستم‌های پیچیده‌ای هستند

از آغازین لحظه‌های پیدایش تمدن، مردم به این نکته آگاه بودند که همه در معرض خطای غیرعمدی هستند. در نتیجه با پیشرفت علم، تلاش‌های آگاهانه جهت کاهش خطا به کار گرفته شد. از طرفی سازمان‌های نظامی و صنعتی مانند سامانه‌های راداری در پی افزایش سطح قابلیت اطمینان تجهیزات خود هستند هدف اصلی تجهیزات و سامانه‌های پدافندی حداکثر کردن کارکرد بدون خطا، جلوگیری از ایجاد خرابی‌های ناگهانی در کل سامانه و هزینه‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیر است. برای شناخت و کنترل خطاهای انسانی،

Corresponding author: golshan.soltani.gs@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

دوره ۱۱/ شماره ۴

صفحات ۳۳۹-۳۵۰

برای هر شکل موج از فیلتر، متناظر با آن شکل موج استفاده می‌کند و شکل موج‌های ارسالی از یکدیگر تفکیک می‌شوند. ذکر این نکته الزامیست که وظیفه شناسایی و دریافت سیگنال رادار توسط گیرنده شناسایی انجام می‌شود [۲]. هر مؤلفه استخراج شده اطلاعاتی از یک مسیر ارسال دارد و برای استفاده از این اطلاعات دو روش وجود دارد. روش اول که به آن چند ورودی-چندخروجی هم جا^۲ می‌گویند و در آن سناریو آنتن‌های فرستنده در فاصله کمی (در حدود طول موج) از یکدیگر قرار دارند و شامل اطلاعات مسیر از آنتن‌های فرستنده به یک آنتن گیرنده است که تشخیص پارامتر، بهتر و انعطاف بیشتر از مزایای این روش است. در روش دوم آنتن‌های فرستنده در فاصله زیادی از یکدیگر قرار دارند که به آنها رادارهای چندورودی-چندخروجی پخش شده می‌گویند و شامل اطلاعات مستقلی از هدف خواهد بود. اما در حال حاضر ترکیب رادارهای چندورودی-چندخروجی و آرایه فازی تحت عنوان رادار ترکیبی آرایه فازی چندورودی-چندخروجی معرفی شده است. لازم به ذکر است که فاصله میان زیر سیستم‌ها به قدری زیاد است که هر زیر سیستم، هدف را از زاویه ای متفاوت مشاهده می‌کند. برای حل این مسئله از شبیه‌سازی استفاده شد که نتایج آن به این قرار است. هر زیر سیستم شامل $m = 1, \dots, M$ آنتن همه‌جهته فرستنده است. و به $K_m = 4$ زیر سیستم آرایه فازی^۳ تقسیم می‌شوند و هر زیر سیستم گیرنده از $I = 12$ پالس در هر فاصله همدوس پردازش استفاده می‌شود. زیر سیستم‌های فرستنده و گیرنده به صورت متقارن حول دایره‌ای به مرکز هدف و شعاع واحد در نظر گرفته شده‌اند. به‌عنوان نتیجه، آشکارساز پیشنهادی در مقایسه با آشکارسازهای دیگر بهتر است و برای احتمال آشکارسازی و احتمال آژیر خطا در این مقاله، رابطه ریاضی به صورت فرم بسته ارائه شد و نتایج شبیه‌سازی نیز نشان داد که رادار چندورودی-چندخروجی با تعداد زیرسیستم‌های بیشتر، عملکرد آشکارسازی بهتری نسبت به رادار چندورودی-چندخروجی هم جا دارد [۳]. در پژوهشی مشابه، مهنا و همکاران اقدام به طراحی و شبیه‌سازی یک رادار مولتی استاتیک کرده که در فضای سه بعدی قادر به

که کاربردهای بسیار متنوعی دارند. نحوه‌ی کلی و عمومی عملکرد رادارها به این صورت است که یک سیگنال را از طریق یک فرستنده ارسال کرده و نسخه شیفت یافته و فرکانسی سیگنال ارسالی را دریافت می‌کنند. به همین خاطر جز سیستم‌های حساس و آسیب‌پذیر محسوب می‌شوند و احتمال بروز خطای انسانی نیز امکان پذیر است. در واقع بهترین روش نظام‌مند برای شناسایی خطاهای شناختی در فرآیندهای کنترلی، روش CREAM^۱ است که به علت سازگاری بیشتر با موضوع تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

همانطور که ذکر شد در این مطالعه، سامانه‌های راداری برد کوتاه و متوسط، به‌عنوان محل بررسی انتخاب شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه‌ها و مشورت و نظرخواهی از متخصصین، آنالیز وظایف شغلی به روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی HTA انجام گرفت. فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی HTA با تجزیه و تحلیل فعالیت‌های اجرایی شروع می‌شود که برای این کار از روش HTA استفاده شده است. این تکنیک در سال ۱۲۷۱ مطرح شد و سپس توسط سایرین توسعه پیدا کرد، و بر روی درک افراد از شغل برای دستیابی به اهداف که می‌تواند ناشی از ۲۴ اجرای برنامه‌های عملیاتی یا طرح و دستورالعمل‌هایی که برای رسیدن به اهداف تدوین شده‌اند تکیه دارد. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شغل مورد نظر را به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌سازد. در واقع کار تجزیه و تحلیل به این گونه آغاز می‌شود که هدف نهایی در نظر گرفته شده و جهت دستیابی به آن هدف، وظیفه به جزئیات کوچکتر تقسیم می‌شود.

احمدی و همکاران در پژوهشی در ارتباط با رادارهای چندورودی-چندخروجی به بررسی آنها پرداخته‌اند. هدف از ارائه این آشکارسازی اهداف متحرک در رادار ترکیبی آرایه فازی چند ورودی-چند خروجی پخش شده که بر روی چند پلتفرم متحرک قرار دارد است. گیرنده رادار چند ورودی-چندخروجی

^۲ Colocated MIMO radar

^۳ Phased array

^۱ Cognitive Reliability Error Analysis

آشکارسازی اجسام پرنده در ناحیه تحت پوشش است همچنین قادر است مکان، سرعت، مسیر و سطح مقطع راداری را نیز محاسبه کند. از طرفی به دلیل تأثیر قرار گرفتن ایستگاه‌های رادار در میزان سطح سیگنال، محل قرارگیری ایستگاه‌های رادار با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند منظوره بهینه‌سازی شده است بطوری که با کمترین ایستگاه فرستنده و گیرنده، بیشترین میزان سیگنال به نویز و سطح پوشش رادار در فضای سه بعدی بدست آید. ذکر این نکته الزامیست که اگر تعداد ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده، دو یا بیشتر باشد رادار، مولتی استاتیک نامیده می‌شود. فرآیند شبیه‌سازی نیز به این صورت است که ابتدا یک سیگنال با فرکانس و توان مشخص ارسال می‌شود و در صورت وجود شی، سیگنال از شی به گیرنده بازتابیده می‌شود. سپس با استفاده از روابط ریاضی مکان و سرعت شی با روش داپلر^۴ و سایر پارامترها بدست می‌آید. در این پژوهش برای بهینه‌سازی از برنامه متلب استفاده شده است. نکته جالب اینجاست که بعد از بهینه‌سازی، دو تابع هدف برتر به دست آمد که نقطه بهینه در تابع اول، به‌عنوان نقطه کمینه در تابع دوم شناخته شد و بالعکس. به همین دلیل این دو تابع با هم ناسازگارند از این رو، انتخاب نقطه بهینه، بستگی به نظر تصمیم گیرنده دارد. در بخش پایانی با استفاده از مکان‌های ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده رادار که در مرحله بهینه‌سازی به دست آمد رادار دوباره شبیه‌سازی گردید و در فرآیند تخمین سرعت، مکان و مسیر شی پرنده نشان داد که میزان سیگنال به نویز و سطح پوشش نسبت به حالت قبل از بهینه‌سازی افزایش یافته است [۴]. چن و همکاران^۵ در پژوهشی، بیان می‌کنند که در رادار انتقال گیرنده سنتی سیستم، آنتن‌های انتقال‌دهنده شکل موج‌های منسجمی را ارسال می‌کنند که یک پرتو بسیار متمرکز را تشکیل می‌دهند. و در سیستم‌های چند ورودی چندخروجی، سیستم راداری MIMO^۶، فرستنده غیر منسجم دارند. این شکل‌های موج را می‌توان با یک گیرنده استخراج کرد. این مقاله بر پردازش تطبیقی فضا-زمان (STAP)^۷ برای سیستم‌های راداری MIMO که باعث بهبود وضوح مکانی

مختلط است، متمرکز شده است. در این مقاله، فضای درهم و برهم (مختلط) و درجه آن در رادار MIMO بررسی شده است. با استفاده از روش هندسی، به جای داده‌ها، فضای زیر(مساحت) درهم و برهم را می‌توان با استفاده از توابع موج کروی پرولات (PSWF)^۸ حل کرد. همچنین در این پژوهش یک الگوریتم جدید STAP نیز ارائه شده است. این محفظه را با استفاده از PSWF محاسبه می‌کند و از خاصیت مورب کواریانس استفاده می‌کند. به دلیل استفاده کامل از هندسه و ساختار ماتریس کواریانس، این روش بسیار مناسب و از پیچیدگی محاسباتی کم برخوردار است. برای برآورد ابعاد فضای زیر درهم و برهم در سیستم‌های راداری MIMO از قانون برنا استفاده شد. بنابراین، روش جدید، پیچیدگی محاسباتی بسیار کمتری دارد. در این مقاله، ما یک "مدل ایده‌آل" در نظر گرفته شد که وقتی این مدل معتبر نباشد، عملکرد الگوریتم کاهش می‌یابد [۵]. لازم به ذکر است که از طرفی نسبت سیگنال به نویز در رادارهای MIMO در مقایسه با رادارهای آرایه فازی کمتر است. بنابراین برای بهره‌مندی از مزایای هر دو رادار بهتر است روش‌هایی برای بهبود نسبت سیگنال به نویز در رادارهای MIMO ارائه داد [۶] و [۷]. رادارهای آرایه فازی در تمامی حوزه‌های زمینی، هوایی و فضایی در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پژوهش مقصود رادار پدافند هوایی است که زمین پایه است این رادار عملکرد بیشتری نسبت به رادارهای معمولی دارد پس طراحی پیچیده‌ای دارد و از تعداد المان‌های زیادی در آن استفاده شده است که این میزان از ۷۰۰ تا بیش از ۴۰ هزار المان متغیر است. دمای منطقه عملیات این رادارها از جمله مسائل مهمی است که بر اساس استاندارد نظامی -mil-std-810 بین ۷۰- تا ۷۰+ درجه سانتی گراد است. با توجه به پیچیدگی این رادارها، در هر بخش آن قطعات و زیر سیستم‌های تعاملی بسیاری موجود است. زیر سیستم‌های رادارهای آرایه فازی اکتیو شامل آنتن، بخش مکانیکی و چرخش، فرستنده، گیرنده، پردازش و نمایشگر، تغذیه، کنترل فرمان، خودرو کشنده که وابسته به منطقه عملیات و اپراتور است. اجزای اصلی این محصول شامل قسمت‌های مکانیکی (مکانیزم قفل، جک، آنتن، ترانسپتر، رسیور، تقویت‌کننده، فیش

⁴ Doppler

⁵ chen- chun yang, et, al

⁶ Multiple Input-Multiple Output

⁷ Space- time adaptive processing

⁸ Prolate Spheroidal Wave Function

فناوری های راداری مثل رادار MIMO در سال‌های اخیر، مورد توجه قرار گرفته. رادارهای آرایه فازی را می‌توان حالت خاصی از رادار هم مکان دانست که فرستنده ی آن ضرایب مختلفی از یک شکل موج را ارسال می‌کند.

اساس کار سیستم‌های رادار در ایران، ارسال امواج الکترومغناطیسی به سمت هدف و دریافت مقدار کمی از این موج که به هدف اصابت کرده است، است. برای امواج ارسالی می‌توان شکل‌های سینوسی، پالسی و شکل‌های دیگر را مورد استفاده قرار داد. با توجه به نوع سیگنال منتشر شده توسط فرستنده از قبیل فاصله و سرعت تحرک هدف در گیرنده استخراج می‌شود. یک رادار را می‌توان شامل قسمت‌هایی مانند فرستنده، گیرنده و آنتن است. در صورتی که برای فرستنده و گیرنده آنتن مجزا استفاده شود، آنها را رادارهای جهت آنتن یا بای استاتیک می‌گویند. [۸]

استر)، کارت پردازشگر، کارت دیجیتال و سیستم فرستنده و گیرنده (TRM)^۹ می‌باشد. مطالعات انجام شده، نشان داده که ارزیابی خطاهای انسانی در مرحله قبل از وقوع حوادث، می‌تواند از بروز بسیاری از وقایع جلوگیری نماید. در واقع بهترین روش نظام‌مند برای شناسایی خطاهای شناختی در فرآیندهای کنترلی، روش CREAM است که به علت سازگاری بیشتر با موضوع تحقیق و مزایای فراوان مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه خلاصه‌ای از مراحل روش پژوهش در نمودار ۱ ذکر می‌شود.

نمودار ۱ مراحل انجام پژوهش را بصورت خلاصه بیان می‌کند. به این صورت که در نقطه شروع، وظایف شغلی به روش HTA آنالیز شده و جدول شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد اپراتور طراحی می‌گردد، سپس وارد مراحل روش فازی خواهیم شد که در نهایت، منجر به محاسبه میزان و فاکتورهای مؤثر در ایجاد خطا خواهد شد.

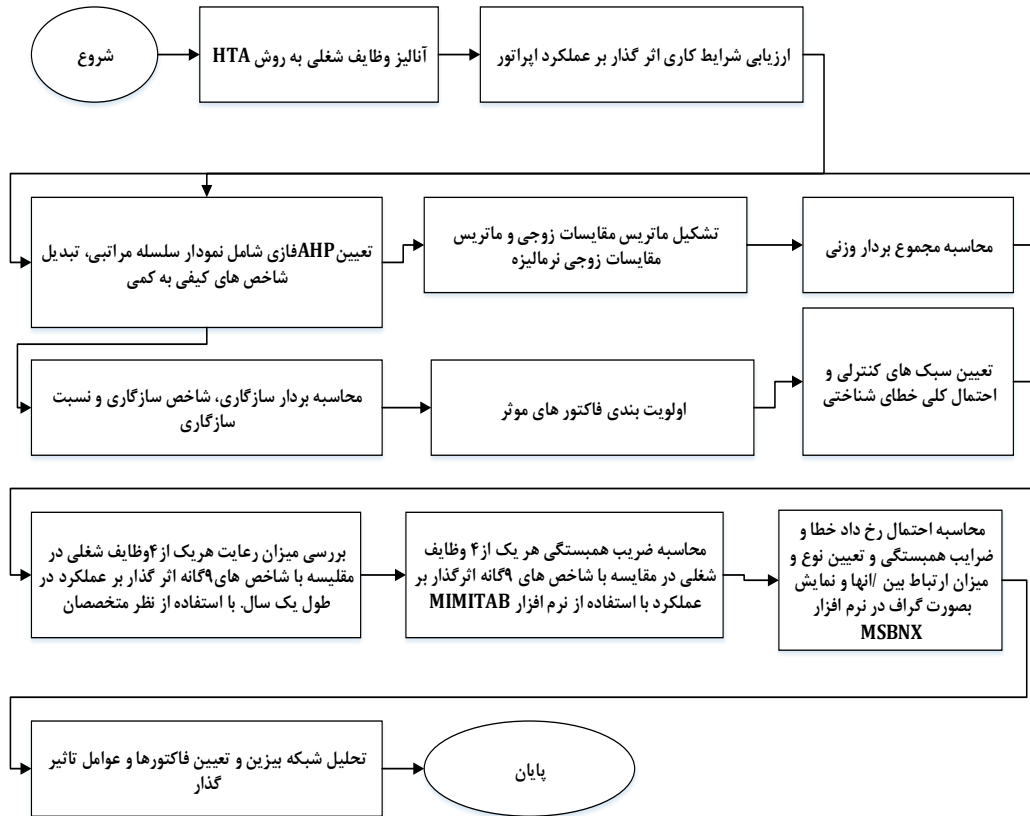
دستاوردهای دیگر پژوهشگران در ارتباط با سامانه‌های راداری نیز با توجه به جدول ۱ به دست می‌آید.

همانطور که در مقالات پیشین نیز اشاره شد، سیستم‌های رادار از ۲ بخش اصلی آنتن فرستنده و گیرنده امواج رادیویی و بخش پردازش و نمایش تشکیل شده است. سیستم‌های رادار غالباً از امواج رادیویی فرکانس بالا که به امواج میکروویو نیز موسوم هستند، جهت تشخیص محیط و ناوبری استفاده می‌کنند.

گیرنده رادار چند ورودی-چندخروجی برای هر شکل موج از فیلتر، متناظر با آن شکل موج استفاده می‌کند و شکل موج‌های ارسالی از یکدیگر تفکیک می‌شوند. هر مؤلفه استخراج شده اطلاعاتی از یک مسیر ارسال دارد و برای استفاده از این اطلاعات دو روش وجود دارد. روش اول که به آن چندورودی-چندخروجی هم جا می‌گویند. در روش دوم آنتن‌های فرستنده در فاصله زیادی از یکدیگر قرار دارند که به آنها رادارهای چندورودی-چندخروجی پخش شده می‌گویند و شامل اطلاعات مستقلی از هدف خواهد بود یکی از مراحل مهم در طراحی سیستم رادار شناختی استفاده از اطلاعاتی است که سیگنال ارسالی از فرستنده به گونه‌ای باشد که بهترین نتایج در تخمین پارامترهای اطراف باشد. از طرفی ترکیب رادار شناختی دیگر از

⁹ Technology Road Map

نمودار (۱) مراحل انجام پژوهش



جدول (۱) خلاصه پیشینه پژوهش

ردیف	نام محقق	هدف																
		آشناسازی متحرک رادار ترکیبی آرایه فازی چندخروجی	بررسی زاویه سنجی رادار MIMO مکان شناختی و رادار آرایه فازی	طراحی و شبیه سازی یک رادار مولتی استاتییک	تعیین فاصله مجاز بین فرستنده و گیرنده و ارائه الگوریتم مبتنی بر GSM	بررسی فضای مختلط و درجه خودکار با استفاده از رادار نوری زمین	عملکرد الگوریتم RMA در سیستم تصویربرداری با برد خیلی کوتاه	شبیه سازی بهینه سازی متناوب	نرم افزار گروی پروات (PSWF)	توان موج Geo-Centers	تاب آرایه ترکیبی	سیستم رادار MIMO هم مکان BCRB	آزمون نسبت حداقل شایستگی تصمیم یافته	الگوریتم طراحی چندمان	قانون فازی	منطق فازی	PSLR ISLR	
۱	احمدی و همکاران ۱۳۹۳	✓						✓						✓				
۲	سوسوی و همکاران ۱۳۹۶		✓									✓						
۳	مهنای و همکاران ۱۳۹۰			✓				✓										
۴	مرنازه و همکاران ۱۳۹۶				✓										✓			
۵	چن و همکاران ۲۰۰۸								✓							✓		
۶	کتر و همکاران ۲۰۰۸									✓						✓		
۷	حسینی و آسینی ۱۳۹۷																✓	

دستیابی به آن هدف، وظیفه به جزهای کوچکتر تقسیم می‌شود. سپس جدول شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد اپراتور CPC رسم گردید، بعد از تجزیه و تحلیل وظایف شغلی، ویژگی‌های کلی هر وظیفه و شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد کاربر با استفاده از جدول CPCs ارائه می‌شود و شرایطی که باعث بهبود، کاهش یا بی‌تأثیری در عملکرد هستند را تعیین و تعداد کل آنها برای هر وظیفه محاسبه می‌شوند. در مرحله بعدی روش AHP فازی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (روش چانگ) مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش AHP فازی روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با استفاده از معیارهای کیفی و کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی AHP فازی در یک تصمیم‌گیری شامل ۳ فاز است:

۱- ساختن سلسله مراتبی ۲- انجام مقایسات زوجی ۳- محاسبه وزن‌ها، ۴- سازگاری سیستم. (مؤسسه تحقیق در عملیات بهین گستر، ۲: ۱۳۸۸). پس از محاسبه ماتریس‌های مقایسات زوجی، تعیین سبک‌های کنترلی صورت می‌گیرد. در پایان کار نیز فاکتورهای ایجاد خطا به همراه میزان قابلیت اطمینان انسانی و احتمال رخداد خطا در هر فاکتور مشخص می‌شود.

۵- جامعه آماری

برای جمع‌آوری اطلاعات از نظر تیم دوازده نفره متخصص استفاده شده است که مشخصات این افراد و میزان تجربه و سابقه کاری و تمامی اطلاعات مرتبط با آنها در جدول ۲ به دست می‌آید.

جدول ۲- جدول خبرگان

ردیف	تخصص	میزان سابقه کار	تعداد نفرات
۱	مهندس الکترونیک در بخش تغذیه	۱۵ و ۱۰ سال	۲
۲	مهندس مکانیک	۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال	۳
۳	مهندس بخش کنترل	۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال	۳
۴	مهندس مخابرات	۸، ۱۲ و ۱۸ سال	۳
۵	مهندس صنایع	۱۵ سال	۱

در این مطالعه، سامانه‌های راداری برد کوتاه و متوسط، به‌عنوان محل بررسی انتخاب شده است. همانطور که گفته شد از روش

۳- اهداف پژوهش

۳-۱- سوال اصلی: چگونه می‌توان به توسعه یک مدل تلفیقی بیزین - فازی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در سامانه‌های راداری برد کوتاه و متوسط پرداخت؟

۳-۲- سوال‌های فرعی:

- ۱- چگونه می‌توان فاکتورهای مؤثر در قابلیت اطمینان انسانی در سامانه‌های راداری برد کوتاه و متوسط را شناسایی کرد؟
- ۲- فاکتورهای مؤثر در قابلیت اطمینان انسانی در سامانه راداری به چه صورت محاسبه می‌شوند؟

۴- روش

این پژوهش به ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی HRA در سامانه‌های راداری برد کوتاه می‌پردازد و همانطور که ذکر شد در این مطالعه، سامانه‌های راداری برد کوتاه و متوسط، به‌عنوان محل بررسی انتخاب گردید و همچنین از نظر تیم دوازده نفره متخصص و کاملاً با تجربه استفاده شده است. پس از جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه‌ها و مشورت و نظرخواهی از متخصصین، آنالیز وظایف شغلی به روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی HTA انجام گرفت. فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی HTA با تجزیه و تحلیل فعالیت‌های اجرایی شروع می‌شود که برای این کار از روش HTA استفاده شده است. این تکنیک در سال ۱۲۷۱ مطرح شد و سپس توسط سایرین توسعه پیدا کرد، و بر روی درک افراد از شغل برای دستیابی به اهداف که می‌تواند ناشی از اجرای برنامه‌های عملیاتی یا طرح و دستورالعمل‌هایی که برای رسیدن به اهداف تدوین شده‌اند تکیه دارد. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شغل مورد نظر را به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌سازد. در واقع کار تجزیه و تحلیل به این گونه آغاز می‌شود که هدف نهایی در نظر گرفته شده و جهت

مراتبی (روش چانگ) مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش AHP فازی روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با استفاده از معیارهای کیفی و کمی و ترکیبی را فراهم می‌کند [۹]. با استفاده از روش AHP فازی، نمودار سلسله مراتبی و شاخص‌های کیفی پرسشنامه‌ها به مقادیر کمی تبدیل می‌شوند. این اطلاعات وارد نرم‌افزار excel می‌شود و به همین ترتیب ماتریس مقایسات زوجی، ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه، مجموع بردار وزنی تشکیل و سپس بردار سازگاری، شاخص سازگاری و نسبت سازگاری محاسبه شده‌اند و بدین وسیله اولویت‌بندی فاکتورها انجام می‌شود. برای هر وظیفه شغلی، سبک کنترلی مشخص و احتمال خطای شناختی هرکدام محاسبه شده است. خروجی‌های حاصل از روش پژوهش ما را در رسیدن به پاسخ درست یعنی همان توسعه مدل تلفیقی برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی راهنمایی می‌کند. از طرفی با تنظیم پرسشنامه‌ای مناسب، می‌توان اطلاعات خوبی در مورد خطاهای شناختی به دست آورد. در پایان کار نیز فاکتورهای ایجاد خطا به همراه میزان قابلیت اطمینان انسانی و احتمال رخداد خطا مشخص می‌شود.

۷- معرفی مدل ارزیابی قابلیت اطمینان

گام ۱. آنالیز وظایف شغلی

در نمودار (۲) وظایف شغلی را به زیر وظیفه‌ها تقسیم کرده تا درک بهتری از سامانه راداری برد کوتاه و متوسط داشته باشیم. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شغل مورد نظر را به جزئیات لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌سازد. از طرفی سامانه راداری مورد بررسی دارای چهار تیم کاری است که شامل "آماده‌سازی بخش‌های مکانیکی"، "آماده‌سازی بخش توان و TRM"، "فعالسازی بخش سرو" و "فعالسازی بخش تغذیه" است و هرکدام نیز به زیر وظایفی تقسیم خواهند شد.

CREAM استفاده شده که خود از دو بخش اولیه و گسترده تشکیل شده است. در روش اولیه در ابتدا وظایف به روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. به این صورت که آنالیز وظیفه به روش سلسله مراتب وظایف HTA انجام می‌شود و وظایف شغلی برای شناخت بهتر به زیروظایفی تقسیم خواهد شد. سپس جدول CPCs یا ارزیابی شرایط کاری برای هرکدام از وظایف شغلی موجود در سازمان رادار در نظر گرفته می‌شود که شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد، ساختار پایه و جامع از ویژگی‌های محیط کار را تشکیل می‌دهد. در مرحله‌ی بعد، روش AHP فازی چانگ آغاز می‌شود، و فاکتورهای ایجاد احتمال رخداد خطا مشخص خواهد شد.

۶- ابزار پژوهش

پس از نظرخواهی از متخصصین، آنالیز وظایف شغلی به روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (HTA)^{۱۰} انجام گرفت. این تکنیک در سال ۱۹۷۱ توسط آنت^{۱۱} مطرح شد و توسط سایرین توسعه پیدا کرد، و بر روی درک افراد از شغل برای دستیابی به اهداف که می‌تواند ناشی از اجرای برنامه‌های عملیاتی یا طرح و دستورالعمل‌هایی که برای رسیدن به اهداف تدوین شده‌اند تکیه دارد. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شغل مورد نظر را به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌سازد. در واقع کار تجزیه و تحلیل به این گونه آغاز می‌شود که هدف نهایی در نظر گرفته شده و جهت دستیابی به آن هدف، وظیفه به جزئیات کوچکتر تقسیم می‌شود. سپس جدول شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد اپراتور (CPCs)^{۱۲} رسم گردید، بعد از تجزیه و تحلیل وظایف شغلی، ویژگی‌های کلی هر وظیفه و شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد کاربر با استفاده از جدول CPCs ارائه می‌شود و شرایطی که باعث بهبود، کاهش یا بی‌تأثیری در عملکرد هستند را تعیین و تعداد کل آنها برای هر وظیفه محاسبه می‌شوند. در مرحله بعدی روش AHP^{۱۳} فازی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله

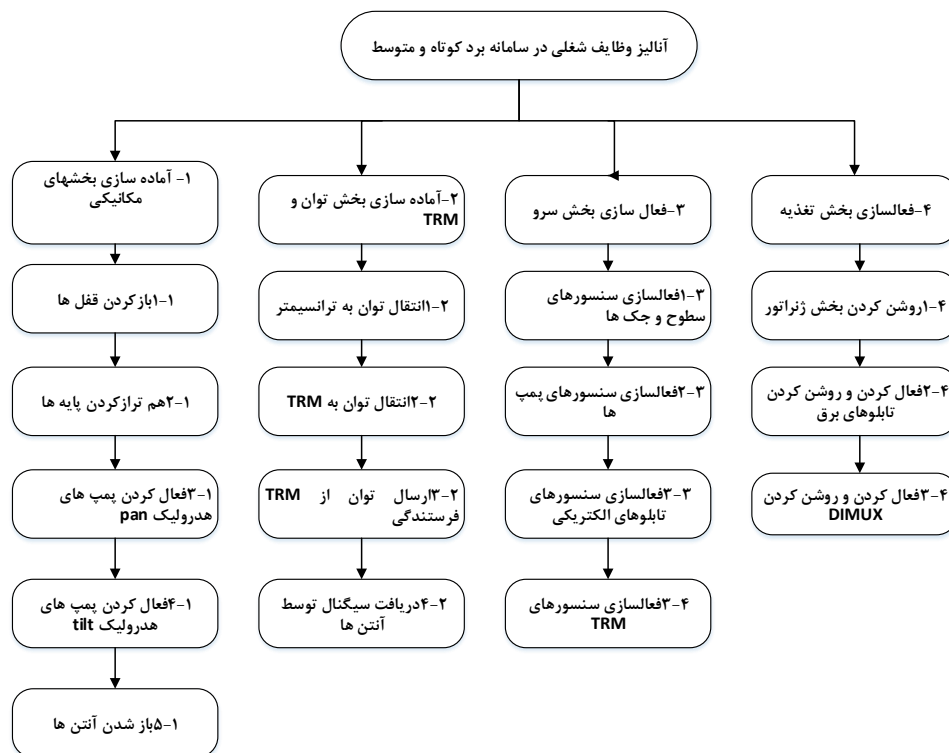
¹⁰ Hierarchical Task Analysis

¹¹ Annett

¹² Common Performance Conditions

¹³ Fuzzy Analytic Hierarchy Process

نمودار (۲) آنالیز وظایف شغلی



سازمان "کارآمد در نظر گرفته شود اثری بر قابلیت عملکرد انسانی نخواهد داشت.

گام ۳. روش AHP فازی

قدم اول در روش AHP فازی، ترسیم گراف سلسله مراتب است. با توجه به نمودار (۳)، ۹ عامل تأثیرگذار بر عملکرد در ۴ وظیفه اصلی شغلی بصورت گراف و با پیکان‌هایی به یکدیگر متصل شده‌اند. وجود پیکان بین هر دو فاکتور نشان‌دهنده ارتباط آن دو فاکتور با یکدیگر است و همانطور که در نمودار (۳) مشخص است، تمامی عوامل به هم مرتبط هستند

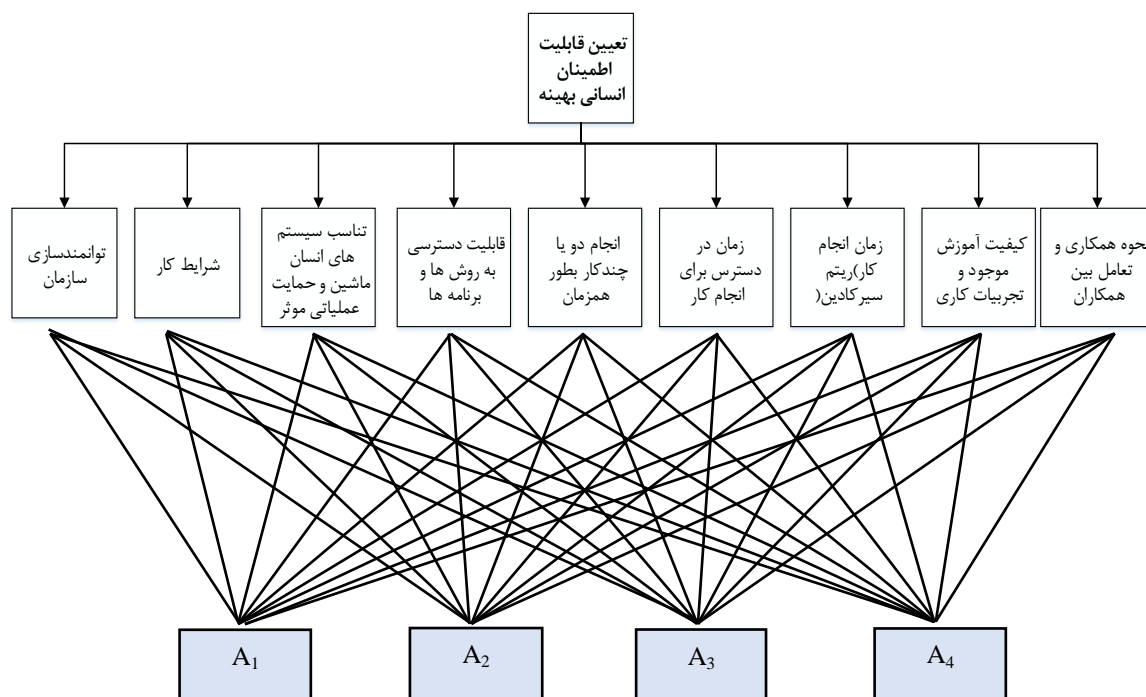
گام ۲. ارزیابی شرایط کاری تأثیرگذار بر عملکرد CPCs

جدول ۳، (CPC) برای ۹ فاکتور مؤثر بر قابلیت عملکرد انسانی با توجه به جدول ۲ به دست می‌آید و اثر مورد انتظار آن بر قابلیت عملکرد انسانی با واژگانی همانند "کاهش"، "بی تأثیر" و "بهبود" نشان داده شده است. به‌عنوان مثال فاکتور "توانمندسازی سازمان" در سامانه راداری، با عناوین "خیلی کارآمد، کارآمد، ناکارآمد" بیان شده است و انتخاب هر یک از این توصیفات تأثیری متفاوت بر قابلیت عملکردی خواهد داشت. شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد، ساختار پایه و جامع از ویژگی‌های محیط کار را تشکیل می‌دهد که انتظار می‌رود عملکرد فرد تحت تأثیر آن انجام شود و در نتیجه بر احتمال وقوع خطا تأثیرگذار باشد [۱۰]. با توجه به توصیفات هر یک از فاکتورها، اثر مورد انتظار آنها بر قابلیت اطمینان انسانی مشخص خواهد شد. به‌عنوان مثال اگر فاکتور "توانمندسازی

جدول ۳- بررسی شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد

اثر مورد انتظار بر روی سطح قابلیت عملکرد انسان	توصیف	شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد اپراتور CPCs
کاهش	خیلی کارآمد	توانمند سازی سازمان
	کارآمد	
	ناکارآمد ✓	
بی تأثیر	عالی	شرایط کار
	متناسب ✓	
	نامتناسب	
بی تأثیر	عالی	تناسب سیستم‌های انسان ماشین و حمایت های عملیاتی مؤثر
	کافی	
	قابل تحمل ✓	
بی تأثیر	نامناسب	قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها
	مناسب	
	قابل تحمل ✓	
کاهش	کمتر از حد توان فردی	انجام دو یا چند کار به طور همزمان
	متناسب با حد توان فردی	
	بیشتر از حد توان فردی ✓	
بی تأثیر	کافی	زمان در دسترس برای انجام کار
	ناکافی (بطور موقت) ✓	
	ناکافی (بطور دائم)	
بی تأثیر	شیفت کار (منظم) ✓	زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)
	شیفت کار (نامنظم)	
بهبود	کافی (با تجربه بالا) ✓	کیفیت آموزش موجود و تجربیات کاری
	کافی (با تجربه محدود)	
	ناکافی	
بی تأثیر	عالی	نحوه همکاری و تعامل بین همکاران
	خوب ✓	
	ضعیف	
	نبود همکاری	

نمودار ۳- گراف سلسله مراتبی



مجموع بردار وزنی از حاصلضرب ماتریس مقایسات زوجی در بردار وزن نسبی بدست می‌آید و حاصل آن یک ماتریس ۹ در ۹ است [۱۱].

گام ۷. محاسبه بردار سازگاری و شاخص سازگاری و نسبت سازگاری

$$\sum_{i=1}^n \lambda = n \quad (3)$$

در حالتی که ماتریس سازگار باشد محاسبات ضرایب اهمیت عامل‌ها در همان مرحله اولیه به پایداری میرسد. اما در عمل کمتر اتفاق می‌افتد که یک ماتریس سازگار باشد. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است این نرخ باید کمتر از ۰/۱ باشد [۱۱] که در فرمول‌های (۴) و (۵) مشخص شده است.

گام ۴. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه بردار ستونی وزن نسبی

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^a & \dots & \dots & \tilde{a}_{1n}^a \\ \tilde{a}_{21}^a & 1 & \dots & \dots & \tilde{a}_{2n}^a \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^a & \tilde{a}_{n2}^a & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

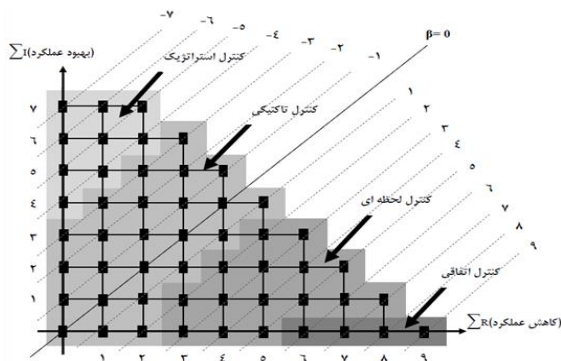
گام ۵. محاسبه ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه

$$\tilde{N}_i = \frac{\tilde{A}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{A}_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

گام ۶. محاسبه مجموع بردار وزنی

شاخص سازگاری

نتایج محاسبات سطوح کنترلی با توجه به جدول ۴ خلاصه می‌شود و شامل سروظیفه‌ها، ΣI و ΣR ، شاخص سطح کنترلی β و احتمال خطای کلی CFPT^{۱۴} است که در جدول ۵ ذکر شد.



شکل (۱) تعیین سبک‌های کنترلی از روی ضریب سبک کنترل β -[۵]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (۴)$$

نسبت سازگاری:

$$C_R = \frac{C_I}{R_i} \quad (۵)$$

می‌توان نتیجه گرفت که در هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ماتریس تصادفی هم بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری ماتریس است که آن را میزان ناسازگاری (R_i) می‌نامند. چنانچه مقدار عددی (R_i) کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد ماتریس از سازگاری تقریبی برخوردار است، در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر صورت گیرد. برای بدست آوردن R_i یا شاخص ناسازگاری تصادفی، از جدول ۴ استفاده می‌شود.

جدول ۴- شاخص سازگاری تصادفی RI

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

گام ۸. محاسبات تعیین سطح کنترلی و احتمال خطای شناختی

برای محاسبه شاخص سطح کنترلی β با تفریق تعداد فعالیت‌هایی که باعث کاهش عملکرد می‌شوند (ΣR) از تعداد کل فعالیت‌های منجر به بهبود عملکرد می‌شوند (ΣI) با فرمول $\beta = \Sigma R - \Sigma I$ به دست می‌آید. سپس میزان احتمال خطای

شناختی کلی طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$CFPT = 0.0056 * 10^{0.25} \quad (۶)$$

با توجه به دیاگرام شکل ۱ به صورت ساده رابطه بین قابلیت اطمینان عملکرد و سطوح کنترلی به دست می‌آید، در شرایطی که کنترل کمی وجود دارد (کنترل اتفاقی یا لحظه ای)، قابلیت اطمینان عملکرد به دلیل بالا بودن احتمال عدم موفقیت پایین است و زمانی که سطح کنترلی افزایش می‌یابد (کنترل تاکتیکی و استراتژیک) قابلیت اطمینان عملکرد به دلیل پایین بودن احتمال عدم موفقیت بالاست [۱۲].

¹⁴ Cognitive Failure Probability Total

جدول ۵- محاسبات نهایی سطوح کنترلی و احتمال خطای شناختی

سروظیفه	کدوظیفه	عنوان وظیفه	ΣI	ΣR	β	CFPt	سبک کنترلی
آماده‌سازی بخش‌های مکانیکی	۱-۱	باز کردن قفل‌ها	۴	۲	۰.۲=۲-۴	۰/۰۰۱۷	تاکتیکی
	۱-۲	هم تراز کردن پایه‌ها	۵	۳	-۲	۰/۰۰۱۷	تاکتیکی
	۱-۳	فعال کردن پمپ‌های هیدرولیک pan	۶	۲	-۴	۰/۰۰۰۵۶	استراتژیک
	۱-۴	فعال کردن پمپ‌های هیدرولیک tilt	۵	۴	-۱	۰/۰۰۳۱	تاکتیکی
	۱-۵	باز شدن آنتن‌ها	۶	۲	-۴	۰/۰۰۰۵۶	استراتژیک
آماده‌سازی بخش توان و TRM	۲-۱	انتقال توان به ترانسیمتر	۵	۲	-۳	۰/۰۰۰۹۹	تاکتیکی
	۲-۲	انتقال توان به TRM	۴	۱	-۳	۰/۰۰۰۹۹	تاکتیکی
	۲-۳	ارسال توان از TRM (فرستندگی)	۳	۱	-۲	۰/۰۰۱۷	تاکتیکی
	۲-۴	دریافت سیگنال توسط آنتن‌ها	۵	۲	-۳	۰/۰۰۰۹۹	تاکتیکی
فعال سازی بخش سرو	۳-۱	فعال‌سازی سنسورهای سطوح وجک‌ها	۶	۲	-۴	۰/۰۰۰۵۶	استراتژیک
	۳-۲	فعال‌سازی سنسورهای پمپ‌ها	۴	۵	۱	۰/۰۰۹۹۵	تاکتیکی
	۳-۳	فعال‌سازی سنسورهای تابلوهای الکتریکی	۳	۱	-۲	۰/۰۰۱۷	تاکتیکی
	۴-۳	فعال‌سازی سنسورهای TRM	۳	۱	-۲	۰/۰۰۱۷	تاکتیکی
فعال‌سازی بخش تغذیه	۴-۱	روشن کردن بخش ژنراتور	۵	۲	-۳	۰/۰۰۰۹۹	تاکتیکی
	۴-۲	فعال کردن و روشن کردن تابلوهای برق	۶	۴	-۲	۰/۰۰۱۷	تاکتیکی
	۴-۳	فعال کردن و روشن کردن DIMUX	۷	۲	-۵	۰/۰۰۰۳۱	استراتژیک

جدول ۶- ماتریس مقایسات زوجی و بردار ستونی

نحوه همکاری و تعامل بین همکاران	کیفیت آموزش موجود و تجربیات کاری	زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)	دسترس برای انجام کار	انجام دو یا چند کار به طور همزمان	قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها	تناسب سیستم‌های انسان ماشین و حمایت‌های عملیاتی مؤثر	شرایط کار	توانمندسازی سازمان
۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۱۱	۰/۲	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۱۴۲	۱
۱	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۳	۰/۳۳۳	۳	۷	۱	۷
۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۱۱۱	۳	۰/۳۳۳	۳	۱	۰/۱۴۲	۳
۰/۱۴۲	۰/۳۳۳	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۰/۱۱۱	۱	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۳
۳	۹	۰/۳۳۳	۹	۱	۹	۳	۳	۹
۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۱۱۱	۱	۰/۱۱۱	۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۵
۳	۳	۱	۹	۳	۹	۹	۳	۹
۰/۳۳۳	۱	۰/۳۳۳	۷	۰/۱۱۱	۳	۳	۳	۷
۱	۳	۰/۳۳۳	۵	۰/۳۳۳	۷	۳	۱	۷
۹/۱۵	۱۷/۲۸۳	۲/۷۷۶	۳۷/۵۳۳	۵/۴۴۳	۳۸/۳۳۳	۲۶/۹۹۹	۱۱/۹۵	۵۱

$\beta = 2 - 1 = 1$

به‌عنوان مثال، مقدار CFPT و شاخص سطح کنترلی β برای بخش "فعال‌سازی سنسورهای پمپ‌ها" محاسبه شده است:

در قدم بعدی نرخ خطا محاسبه می‌شود. میزان نرخ خرابی λ برابر ۰.۲ است و مقدار R طبق فرمول $R = e^{-\lambda}$ برابر با ۰.۸۱

$CFPT = 0.0056 * 1.0^{0.25\beta} = 0.0056 * 1.0^{0.25(1)} = 0.0056$

ستونی وزن نسبی تقسیم می‌شود که نتیجه آن، تشکیل ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه طبق جدول (۶) است. وزن نهایی نیز از حاصل میانگین هر سطر از ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه بدست می‌آید.

وزن نهایی نیز از حاصل میانگین هر سطر از ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه بدست می‌آید و میزان اهمیت و ارزش هر فاکتور را مشخص می‌کند تا تصمیم‌های بهتری در جهت قابلیت اطمینان انسانی اتخاذ شوند.

محاسبه مجموع بردار وزنی

حاصل مجموع بردار وزنی، یک ماتریس ۹ در ۱ است. با توجه به داده‌های جدول (۷) می‌توان گفت که فاکتورهای "زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)" و "انجام دو یا چند کار بطور همزمان" بیشترین اثر را در ایجاد خطا دارند و "نحوه همکاری و کیفیت آموزش موجود و شرایط کار" تا به اینجا، در رتبه دوم قرار دارند.

محاسبه شده است. مقدار عددی قابلیت اطمینان بین صفر و یک است اما به ۱ نزدیک‌تر است، پس سیستم از قابلیت اطمینان خوبی برخوردار است.

$$R = e^{-\lambda} = e^{-0.12} = 0.81$$

گام ۹. تجزیه و تحلیل داده‌ها

محاسبه ماتریس مقایسات زوجی

در این بخش با تبدیل مقادیر کیفی به کمی و استفاده از اعداد و ارقام موجود در پرسشنامه‌ها، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می‌شود. به این صورت که میزان برتری هر فاکتور بر فاکتور دیگر در سطر و ستون مشخص، درج می‌شود. تمامی محاسبات با توجه به جدول ۶ به دست می‌آید

محاسبه ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه

برای محاسبه ماتریس مقایسات زوجی نرمالیزه، هر عنصر ستون ماتریس مقایسات زوجی بر مجموع اعداد آن ستون یا بردار

جدول ۷- مقایسات زوجی نرمالیزه

	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶	C _۷	C _۸	C _۹	وزن نهایی
C _۱	۰/۰۱۹۶	۰/۱۱۰۰	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۰۳	۰/۰۰۴۴	۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۲۴۹
C _۲	۰/۱۳۷۳	۰/۰۸۳۶	۰/۱۷۲۴	۰/۱۳۹۴	۰/۰۱۰۳	۰/۱۵۴۲	۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۸۵۴
C _۳	۰/۰۵۸۸	۰/۰۱۱۸	۰/۰۲۴۶	۰/۰۹۹۶	۰/۰۱۰۳	۰/۱۱۰۱	۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۴۲۹
C _۴	۰/۰۵۸۸	۰/۰۲۷۸	۰/۰۰۴۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۰۳	۰/۰۰۴۴	۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۲۱۹
C _۵	۰/۱۷۶۵	۰/۲۵۱۰	۰/۲۲۱۷	۰/۱۷۹۳	۰/۰۹۲۸	۰/۱۹۸۲	۰/۰۵۸۸	۰/۳۳۷۰	۰/۴۵۳۴	۰/۲۱۸۷
C _۶	۰/۰۹۸۰	۰/۰۲۷۸	۰/۰۰۴۹	۰/۰۹۹۶	۰/۰۱۰۳	۰/۰۲۲۰	۰/۰۵۸۸	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۷۲	۰/۰۳۷۱
C _۷	۰/۱۷۶۵	۰/۲۵۱۰	۰/۲۲۱۷	۰/۱۷۹۳	۰/۸۳۵۱	۰/۱۹۸۲	۰/۵۲۹۷	۰/۳۳۷۰	۰/۴۵۳۴	۰/۳۵۳۵
C _۸	۰/۱۳۷۳	۰/۲۵۱۰	۰/۱۷۲۴	۰/۱۳۹۴	۰/۰۱۰۳	۰/۱۵۴۲	۰/۰۵۸۸	۰/۰۳۷۴	۰/۰۰۷۲	۰/۱۰۷۶
C _۹	۰/۱۳۷۳	۰/۰۸۳۶	۰/۱۷۲۴	۰/۱۳۹۴	۰/۰۱۰۳	۰/۱۵۴۲	۰/۰۵۸۸	۰/۲۶۲۱	۰/۰۵۰۴	۰/۱۱۸۷

جدول ۸- مجموع بردار وزنی

شماره فاکتور	نام فاکتور	مجموع بردار وزنی
C _۱	توانمند سازی سازمان	۰/۱۶۱۷
C _۲	شرایط کار	۱/۰۸۲۹
C _۳	تناسب سیستم‌های انسان ماشین و حمایت عملیاتی مؤثر	۰/۴۹۴۵
C _۴	قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها	۰/۲۶۸۱
C _۵	انجام دو یا چند کار بطور همزمان	۲/۸۰۱۵
C _۶	زمان در دسترس برای انجام کار	۰/۳۷۲۹
C _۷	زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)	۳/۰۸۷۱
C _۸	کیفیت آموزش موجود و تجربیات کاری	۱/۱۷۴۲
C _۹	نحوه همکاری و تعامل بین همکاران	۱/۳۵۹۹

جدول ۹- بردار سازگاری

لاند	محاسبه بردار سازگاری
۱لندا	۶/۴۸۴۷
۲لندا	۱۲/۶۸۲۲
۳لندا	۱۱/۵۱۲۴
۴لندا	۱۲/۳۱۸۹
۵لندا	۱۲/۸۰۷۹
۶لندا	۱۰/۰۴۹۷
۷لندا	۸/۷۳۲۳
۸لندا	۱۰/۹۱۷۸
۹لندا	۱۱/۴۵۴۸
لندا ماکسیم	۱۰/۷۶۲۳

گام ۱۰. اولویت بندی فاکتورها

پس از بدست آوردن احتمالات، فاکتور ها بر اساس مقادیر موجود اوزان، رتبه‌بندی می‌شوند. تا از این طریق میزان اهمیت هر فاکتور مشخص شود. طبق جدول (۱۰) فاکتور "زمان انجام کار(ریتم سیرکادین)" با رتبه ۰/۳۵۳۵ در اولویت اول قرار دارد که نشان‌دهنده احتمال خطای بالا در ریتم سیرکادین است. این در حالیکه فاکتور "توانمندسازی سازمان" و "قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها" دارای کمترین میزان احتمال رخ داد خطا می‌باشند.

جدول ۱۰- شاخص سازگاری تصادفی RI									
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵		

جدول ۱۱- جدول اولویت‌بندی فاکتورها

ردیف	فاکتور	اولویت‌بندی
۱	زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)	۰/۳۵۳۵
۲	انجام دو یا چند کار به طور همزمان	۰/۲۱۸۷
۳	نحوه همکاری و تعامل بین همکاران	۰/۱۱۸۷
۴	کیفیت آموزش موجود و تجربیات کاری	۰/۱۰۷۶
۵	شرایط کار	۰/۰۸۵۴
۶	تناسب سیستم‌های انسان ماشین و حمایت‌های عملیاتی مؤثر	۰/۰۴۲۹
۷	زمان در دسترس برای انجام کار	۰/۰۳۷۱
۸	توانمندسازی سازمان	۰/۰۲۴۹
۹	قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها	۰/۰۲۱۹

محاسبه بردار سازگاری و شاخص سازگاری و نسبت سازگاری

شاخص سازگاری، میزان دستیابی به هدف پژوهش یعنی رسیدن به مدل فازی را مشخص می‌کند. هر سطر از مقادیر بردار سازگاری با نام لندا نشان داده می‌شوند. لندا ماکسیمم از میانگین لنداها ۱ تا ۹ بدست می‌آید و اصطلاحاً مقدار ویژه نامیده می‌شود. از لندا ماکسیمم برای بدست آوردن شاخص سازگاری استفاده می‌شود.

شاخص سازگاری:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

$$CI = 0.2203$$

نسبت سازگاری

$$C_R = \frac{C_1}{R_1}$$

با در دست داشتن $n=4$ یا همان ۴ وظیفه اصلی شغلی و با استفاده از جدول (۹) شاخص سازگاری تصادفی، میزان I.I.R برابر ۰/۹ مشخص و با جایگذاری در فرمول C_R ، نسبت سازگاری محاسبه می‌شود.

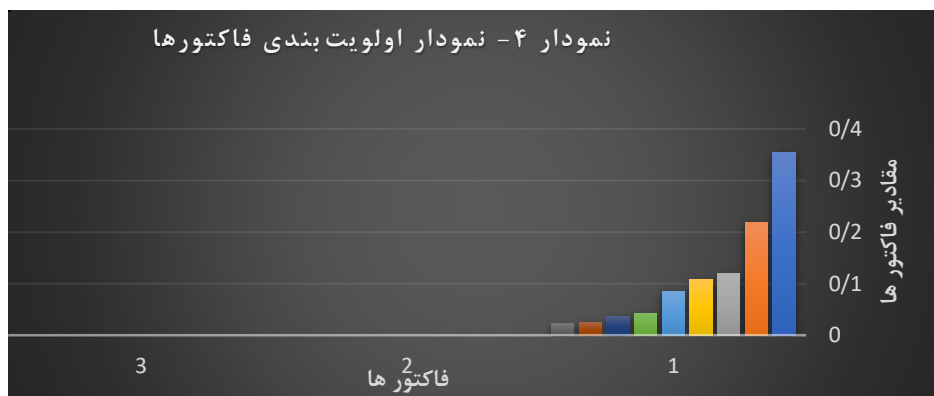
چون نسبت سازگاری برابر ۰/۱ شد پس ماتریس مقایسات زوجی به درستی محاسبه شده است و می‌توان بقیه مراحل را ادامه داد.

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها" با احتمال ۰/۰۲۱۹ دارای کمترین میزان رخ داد خطا در سامانه راداری است. در اینجا نمونه‌ای از پیشنهادات مرتبط با این پژوهش آورده شده است:

- ارائه مدل تلفیقی از شبکه بیزین و روش CREAM
- امکان استفاده از نظرات سایر کارمندان و در اختیار گذاشتن زمان بیشتر برای مشورت و نظرخواهی از کارکنان.
- از طرفی مهم‌ترین CPCهای مرتبط با کاهش اطمینان عملکرد تحت عنوان "توانمندی سازمان" و "انجام دو یا چند کار بطور همزمان" که بیش از حد توان فردی است گزارش شده است. بنابراین انجام یک وظیفه در بازه زمانی مشخص و به کارگرفتن افراد با سابقه و تجربه بالا جهت توانمندی سازمان بسیار کارساز خواهد بود.

در این پژوهش برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی با استفاده از تکنیک فازی از ۱۳ فاکتور مؤثر در قابلیت اطمینان انسانی استفاده شده است که با توجه به تعداد زیاد فاکتورها تنها به فاکتورهایی که بیشترین اثر را بر قابلیت عملکرد دارند اشاره می‌شود. در بین وظایف شغلی فاکتور "آماده‌سازی بخش‌های مکانیکی" با احتمال ۰/۴۱۶ دارای بیشترین میزان احتمال رخ داد خطا است و می‌بایست بر روی این فاکتور بیشتر تمرکز کرد. از طرفی با بررسی احتمالات جدول شرایط کاری تأثیرگذار بر عملکرد، فاکتور "زمان انجام کار یا ریتم سیرکادین" با مقدار ۰/۳۵۳۵ دارای احتمال رخ داد خطای بالا و فاکتور "قابلیت



- قابلیت دسترسی به روشها و برنامه ها
- توانمندی سازمان
- زمان در دسترس برای انجام کار
- تناسب سیستم های انسان ماشین و حمایت های عملیاتی مؤثر
- شرایط کار
- کیفیت آموزش موجود و تجربیات کاری
- نحوه همکاری و تعامل بین همکاران
- انجام دو یا چند کار به طور همزمان
- ریتم سیرکادین

۹-منابع

[۹] آرمان، صالحی صدقیانی، مزدهی و نظری. (۲۰۱۲). محاسبه میزان ناسازگاری ساختار سلسله مراتبی و ماتریس‌های مقایسات زوجی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی. مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۰(۲۷)، ۹۴-۱۱۷.

Hollnagel, E. (1998), Cognitive reliability and error analysis method New York, Avenue of the America.

[10] Yakideh, K., Mahfovi, G., Gudarzi, M. (2017), Optimizing the stock portfolio with the ratio of hope to risk of future financial strength Based on the eigenvector of the matrix of pairwise comparisons, Journal of financial engineering and securities management, No 32. (in Persian)

[11] Mohammadfam, A. M., Mirzaei Aliabadi, M., Hajiakbari M., Soltanian, A. (2016), The Study of Human Errors in De-mining Operations Using the CREAM Technique, Volume 17, Issue 4 Pages: 241-247. (in persian)

[12] Langarizadeh, M., & Moghbeli, F. (2016). Applying naive bayesian networks to disease prediction: a systematic review. Acta Informatica Medica, 24(5), 364.

[1] Matthews, T. (2012, April). Dispelling the Myths of Behaviour and Improving Causal Analysis. In SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition. OnePetro.

[2] Wang, S. Q., Wang, X., Lin, Y. H., Gao, C. Y., & Fu, X. L. (2019). Research on a New Model Structure for Unknown Radar Emitter Signal Sorting. Procedia Computer Science, 154, 514-518.

[۳] احمدی، محامدپور، علایی و سبط. (۱۳۹۳). "آشکارسازان اهداف متحرک در رادار آرایه فازی چند ورودی- چند خروجی پیش‌شده هوا پایه با استفاده از آشکارساز زیر فضای تعمیم یافته"، مجله علمی پژوهشی «رادار»، سال دوم، شماره ۱، ۱۳۹۳.

[۴] مهنا، توکلی افشاری و کلانتری. (۱۳۹۰). "طراحی و شبیه‌سازی یک سامانه رادار مولتی استاتیک و بهینه‌سازی محل قرار گرفتن ایستگاه‌های رادار با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندمنظوره". مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیر عامل»، سال دوم، شماره ۴، ۱۳۹۰.

[5] Chen, C. Y., & Vaidyanathan, P. P. (2008). MIMO radar space-time adaptive processing using prolate spheroidal wave functions. IEEE Transactions on Signal Processing, 56(2), 623-635.

[۶] مریم نیلفروش و روح الله آقاجانی، "بهبود نسبت سیگنال به نویز به اضافه تداخل در رادارهای چند ورودی- چند خروجی هم مکان بااهداف متعدد"، نشریه علمی رادار، دوره هشتم، شماره ۲، ۱۳۹۹.

[7] Haghnegahdar, M., Imani, S., Ghorashi, S. A., & Mehrshahi, E. (2017). SINR enhancement in colocated MIMO radar using transmit covariance matrix optimization. IEEE Signal Processing Letters, 24(3), 339-343.

[۸] حیدری، س. (۱۳۹۵). اصول کلی رادارها و بررسی رادارهای پسیو. دانشکده مهندسی گروه برق، دانشگاه زنجان.

Evaluation and improvement of human reliability in the use of short and medium range radar system using CREAM fuzzy method

Golshan Soltani Alasvand¹⁵

Master of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University of Najaf Abad, Iran, golshan.soltani.gs@gmail.com

Mahdi Karbasian

Professor of Malek Ashtar university of Technology, Iran, mkarbasi@mut-es.ac.ir

Abstract: Today, studies indicate that one of the main and most important causes of accidents is human factors, which play a role in more than 82% of accidents [1] and is considered one of the major problems of today's societies. According to the estimates of the International Labor Organization Every year, 310 million accidents with various injuries happen in the world.[2] On the other hand, due to the essential role of humans in the reliability of systems, it is practically impossible to eliminate human errors [3]. The purpose of this research is to develop a fuzzy logic in order to evaluate human reliability in short and medium range radar systems. The results of the studies show that the fuzzy logic is effective in improving it. To sum up, using the cream method has more practical results. Radar systems consist of 2 main parts: radio wave transmitter and receiver antenna and processing and display part. Radar systems often use high-frequency radio waves, which are also known as microwave waves, for environment detection and navigation, and it is necessary to mention that the task of detecting and receiving the radar signal is performed by the detection receiver [4]. To collect all the basic information needed for the research, a team of twelve experts has been used. After collecting intelligence from the questionnaires and consulting and asking for opinions from experts, job spectrum analysis was done using the HTA hierarchical Task Analysis method. Hierarchical analysis process of HTA starts with the analysis of executive activities, for which the HTA method is used. The structure of the hierarchical analysis is such that the job in question is detailed and in order to do it Activity breaks down. In fact, the work of analysis begins in such a way that the final goal is considered and in order to achieve that goal, the task is divided into smaller components. Then the table of working conditions affecting the performance of the CPC operator was drawn, determining the effect of the working conditions affecting the errors (CPC on human performance is not an easy task and faces many uncertainties. After analyzing the job duties, the general characteristics of each job and The working conditions affecting the user's performance are presented using the CPCs table for 9 factors affecting human performance, and the conditions that improve, reduce, or have no effect on performance are determined and their total number is calculated for each task. Expected effect it is shown on the ability of human

¹⁵ Corresponding author: golshan.soltani.gs@gmail.com

performance with words such as "reduction", "ineffective" and "improvement". For example, the factor "organization empowerment" in the radar system is expressed with the titles "very efficient, efficient, ineffective". And the selection of each of these descriptions will have a different effect on the functional ability. In the next step, the fuzzy AHP method is examined using the hierarchical analysis process (Chang's method).

Keywords: fuzzy logic, human reliability, Hierarchical Task Analysis, working conditions affecting (CPC).

Considering that some indicators have a fuzzy nature, the Fuzzy Analytical Hierarchy Process is a framework suitable for solving this problem [5]. Accordingly, fuzzy sets are used as beneficial tools for modeling very complex processes and qualitative, imprecise and uncertain data. It provides quantity and combination. Fuzzy Analytical Hierarchy Process in a decision-making process includes 3 phases: 1. Hierarchical construction, 2. Paired Comparison Matrix, 3. Calculation of weights, 4. System compatibility [7].

Paired Comparison Matrix and calculation of column vector of relative weight:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^a & \dots & \dots & \tilde{a}_{1n}^a \\ \tilde{a}_{21}^a & 1 & \dots & \dots & \tilde{a}_{2n}^a \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^a & \tilde{a}_{n2}^a & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Calculation of normalized pairwise comparison matrix:

$$\tilde{N}_i = \frac{\tilde{A}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{A}_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

Calculation of the sum of the weighted vector:

The sum of the weighted vector is obtained from the product of the matrix of pairwise comparisons in the relative weight vector and the result is a 9 by 1 matrix.

Calculation of compatibility vector and compatibility index and compatibility ratio:

$$\sum_{i=1}^n \lambda = n$$

In the case that the matrix is consistent, the calculations of the coefficients of the importance of the factors reach stability in the same initial stage. But in practice, it rarely happens that a matrix is consistent. In general, it can be said that the acceptable level of inconsistency is also very important, this rate should be less than 0.1 [8].

Compatibility index:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Compatibility ratio:

$$C_R = \frac{C_l}{R_i}$$

After calculating the matrices of pairwise comparisons, control styles are determined. At the end of the work, the error-causing factors along with the level of human reliability and the probability of error in each factor are determined [9]. To calculate the control level index, β is obtained by subtracting the number of activities that reduce performance (ΣR) from the total number of activities that improve performance (ΣI) with the formula $\beta = \Sigma R - \Sigma I$. Then the probability of general cognitive error is calculated according to the following formula:

$$CFPT = 0.0056 * 10^{0.25}$$

The results of the calculation of the control levels of the β table and the overall error probability of CFPT are mentioned in the Table 1. And includes duties, ΣI and ΣR , control level index.

Table 1- control levels of the β table and the overall error probability of CFPT

duty	Task code	Job Title	ΣI	ΣR	β	CFPT	Control style
Preparation of mechanical parts	1-1	Unlocking locks	4	2	$\frac{2-4}{2} = -1$	0.0017	tactical
	1-2	Leveling the bases	5	3	-2	0.0017	tactical
	1-3	Activate hydraulic pan pumps	6	2	-4	0.00056	Strategic
	1-4	Activate hydraulic tilt pumps	5	4	-1	0.0031	tactical
	1-5	Opening of the antennae	6	2	-4	0.00056	Strategic
Preparation of power and TRM section	2-1	Power transmission to the transmitter	5	2	-3	0.00099	tactical
	2-2	Power transfer to TRM	4	1	-3	0.00099	tactical
	2-3	Sending power from TRM (Transmission)	3	1	-2	0.0017	tactical
	2-4	Signal reception by antennas	5	2	-3	0.00099	tactical
Activation of server section	3-1	Activation of level sensors and jacks	6	2	-4	0.00056	Strategic
	3-2	Activation of pump sensors	4	5	1	0.00995	tactical
	3-3	Activation of electrical panel sensors	3	1	-2	0.0017	tactical
	3-4	Activation of TRM sensors	3	1	-2	0.0017	tactical
Activation of the nutrition department	4-1	Turn on the generator section	5	2	-3	0.00099	tactical
	4-2	Activating and turning on electrical panels	6	4	-2	0.0017	tactical
	4-3	Activating and turning on DIMUX	7	2	-5	0.00031	Strategic

After obtaining the probabilities, the factors are ranked based on the available weights. In this way, the importance of each factor can be determined.

Table 2 -Ranking of invoices

Row	Factor	prioritize
1	Working time (circadian rhythm)	0.3535
2	Doing two or more things at the same time	0.2187
3	How to cooperate and interact between colleagues	0.1187
4	Quality of available education and work experience	0.1076
5	work conditions	0.0854
6	Suitability of man-machine systems and effective operational support	0.0429
7	Time available to do the work	0.0371
8	Empowerment of the organization	0.0249
9	Ability to access methods and programs	0.0219

According to table (2), the factor "time to do work (circadian rhythm)" with a rank of 0.3535 is in the first priority, which indicates a high error in the circadian rhythm. This is while the factor "empowerment of the organization" and "accessibility" "Methods and programs" have the lowest probability of error.

In this research, 13 effective factors in human reliability have been used to evaluate human reliability using the fuzzy technique, and due to the large number of factors, only the factors that have the greatest effect on performance are mentioned. Among the job duties, the "preparation of mechanical parts" factor has the highest probability of error with a probability of 0.416, and it is necessary to focus more on this factor. On the other hand, by examining the possibilities of the table of working conditions affecting performance, the factor "working time or circadian rhythm" with a value of 0.3535 has a high probability of error and the factor "accessibility to methods and programs" with a probability of 0.0219 has the lowest The rate of error in the radar system.

Here is a sample of suggestions related to this research:

- Presentation of integrated model of Bayesian network and CREAM method
- The possibility of using the opinions of other employees and allowing more time to consult and ask for opinions from employees.
- on the other hand, the most important CPCs related to the reduction of performance reliability have been reported under the headings of "empowering the organization" and "doing two or more tasks at the same time", which is more than the individual's ability. Therefore, performing a task in a certain time frame and employing People with high background and experience will be very useful for empowering the organization.

References

- [1] Matthews, T. (2012, April). Dispelling the Myths of Behaviour and Improving Causal Analysis. In SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition. OnePetro.
- [2] Abbasinia, M., Kalatpour, O., Motamedzade, M., Soltanian, A. R., Mohammadfam, I., Ganjipour, M. (2022) Development of a human error risk assessment model in

- high priority emergency situation using TOPSIS, FUZZY-AHP and CREAM method, 12(2),vol. 339-351.
- [3] Adibhesami, A., Ghahramani, A., Mohebbi, I. (2022). Assessment of Human Errors in Control Room Operators of a Cement Manufacturing Company Using Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach, Journal of Health System Research, Vol. 18, No. 2.
- [4] Wang, S. Q., Wang, X., Lin, Y. H., Gao, C. Y., & Fu, X. L. (2019). Research on a New Model Structure for Unknown Radar Emitter Signal Sorting. *Procedia Computer Science*, 154, 514-518.
- [5] Fatemi, F. Ardalan, A., Aguirre, B., Mansouri, N. and Mohammadfam, I. (2017), Constructing the indicators of assessing human vulnerability to industrial chemical accidents: a consensus-based Fuzzy Delphi and Fuzzy AHP approach.
- [6] Mirzaei, M., Ebrahimi, M. (2015), Modam Ranking Zones of Tehran to Add New Emergency Services Using Fuzzy AHP, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran.
- [7] Behin Gostar Operations Research Institute, 1388.
- [8] Yakideh, K., Mahfovi, G., Gudarzi, M. (2017), Optimizing the stock portfolio with the ratio of hope to risk of future financial strength Based on the eigenvector of the matrix of pairwise comparisons, *Journal of financial engineering and securities management*, No 32.
- [9] Mohammadfam, Amid M., Mirzaei Aliabadi, M, Hajiakbari M., Soltanian, A. (2016), The Study of Human Errors in De-mining Operations Using the CREAM Technique, Volume 17, Issue 4 Pages: 241-247.

