مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۳، شمارهٔ ٤، زمستان ۱٤۰۳، صفحه ۲۱۱-۲۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۳/۰٤/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۳/۱۱/۱٦

ارزیابی خطاهای انسانی اپراتورهای اتاق کنترل یک رآکتور تحقیقاتی ۵ مگاواتی با استفاده از روش رویکرد قاعده‌مند پیش‌بینی و کاهش خطای انسانی (SHERPA)

کبری هرانده[۱]، محسن خردمند سعدی*[۱] و احسان ظریفی[۲]

[۱] گروه مهندسی هسته‌ای، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۲] پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده رآکتور و ایمنی هسته‌ای، تهران، ایران.

*تهران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه مهندسی هسته‌ای، کد پستی ۱٤۷۷۸۹۳۸۵۵.

پست الکترونیکی : mohsen.kheradmand@gmail.com

چکیده

عامل انسانی اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارد. یکی از سیستم‌هایی که بروز انسانی خطاها در آن می‌تواند به حادثه‌ای فاجعه‌بار منتهی شود رآکتورهای هسته‌ای است. این مقاله با هدف بررسی ارتباط بین حوادث و خطاهای انسانی و فرایندی اتاق کنترل یک رآکتور تحقیقاتی ۵ مگاواتی از نوع استخری انجام شده است. پس از مصاحبه با اپراتورهای اتاق کنترل، شغل‌ها مشخص و با روش سلسله‌مراتبی وظایف، تجزیه‌وتحلیل شدند. با استفاده از روش SHERPA خطاهای انسانی در اتاق کنترل مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها نشان دادند که بیشترین مورد خطا مربوط به درک و تشخیص وضعیت بوده و مشاهده و جمع‌آوری اطلاعات در رده دوم قرار گرفته است. به‌منظور کاهش خطای انسانی، بهبود عملکرد کارمندان و جلوگیری از بروز خطای ناشی از عوامل انسانی، راهکارهای کنترلی از جمله دستورالعمل‌های کاری مناسب، ارتقای کیفیت آموزش کارمندان و رعایت ضوابط و مقررات ایمنی پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژگان: خطای انسانی، روش SHERPA، اتاق کنترل، رآکتور تحقیقاتی.

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر حوادث متعدد هسته‌ای مانند حادثه چرنوبیل، تری‌مایل آیلند و فوکوشیما اتفاق افتاده که پیامدهای جبران‌ناپذیری را به همراه داشته است [۳-۱]. تجزیه‌وتحلیل حوادث نشان داد خطای انسانی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در بروز حادثه سیستم‌های بحرانی است. معمولاً خطای انسانی در صنایع، محسوس نبوده و بازیابی و بهبود آن مستلزم گذشت زمان طولانی است [٤]. بنابراین، توجه خاصی به آموزش جامع و بهبود تقابل انسان-ماشین و تلفیق عوامل فنی و نواقص سازمانی در ایمنی سیستم‌های بحرانی معطوف گردید [٦،٥]. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بین ۲۰ تا ۹۰ درصد نقص سیستم در ارتباط با عملکرد انسان و عامل بیش از ٪۹۰ حوادث اتفاق افتاده در صنایع به علت خطای انسانی است [۸،۷]. خطای انسانی عمدتاً شامل خطای عملکردی، خطای مونتاژ، خطای طراحی، خطای بازرسی، خطای نصب و خطا در حفظ و نگهداری است.

در ۲۰ سال اخیر، ارزیابی خطای انسانی در سیستم بر مبنای شناسایی خطای انسانی مشتمل بر روش‌های شناخته شده شامل CREAM، GEMS، HEIST و SHERPA توسعه یافته است [۹]. پیچیده شدن سیستم‌ها و فرایندها و همچنین توسعه تکنولوژی و فرایندهای پرخطر از یک طرف و ماهیت خطاپذیری انسان، مستلزم پیش بینی، تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی و ارائه راهکارهای کنترلی مناسب جهت حذف و کاهش خطاها و یا پیشگیری از پیامدهای ناگوار آن است [۱۰].

روش ارزیابی قاعده‌مند خطای انسانی SHERPA[1] برای اولین‌بار در سال ۱۹۸٦ توسط امبری پیشنهاد و سپس توسعه یافت. این روش تحلیل خطای انسانی از یک برنامه حساب شده از جریان عادی پرسش‌وپاسخ تشکیل شده است به‌طوری که خطاهای مشابه را در هر مرحله از فرایند تجزیه‌وتحلیل وظایف شغلی، تشخیص می‌دهد [۱۱].

روش SHERPA باهدف بررسی نوع خطاهای بالقوه به تفکیک وظایف کاری بر پایه تحلیل فعالیت‌های شغلی انجام می‌شود [۱۲]. روش فوق بر پایه قضاوت‌های فردی پژوهشگر، سلسله‌مراتب ارزیابی خطای انسانی در هر یک از وظایف، انجام و پنج نوع خطای عملکردی، بازبینی، بازیابی، انتخاب و تبادل اطلاعات را مورد بررسی قرار می‌دهد. این تکنیک به کمک روش واکاوی سلسله‌مراتبی وظیفه[2] به تحلیل وظایف پرداخته و راه‌حل‌های بالقوه را برای خطاهای شناسایی شده ارائه می‌دهد.

مطالعات راسموسن و سایر مطالعات نشان داده است که وقوع خطای انسانی متأثر از عوامل متعددی مانند عوامل شخصی، مدیریتی و سازمانی، پیچیدگی روش انجام کار و فقدان تجربه و مهارت اپراتور، شرایط محیطی، عدم تناسب تجهیزات با نیازها، نحوه آموزش افراد، ضعف دستورالعمل‌های کاری و قوانین و مقررات و در نهایت عدم اجرای صحیح پایش و نظارت است [۱۳-۱۵].

شریدا ن[3] در سال ۱۹۸۰ به بررسی خطاهای انسانی در نیروگاه‌های هسته‌ای پرداخت [۱٦]. استیلول[4] و همکاران در سال ۱۹۸۲ یک برآورد کارشناسی از احتمالات خطای انسانی در بهره‌برداری نیروگاه هسته‌ای را ارائه نمودند [۱۷]. فارکاسیو[5] و همکاران در سال ۲۰۰٦ تجزیه‌وتحلیل عوامل بازیابی خطاهای انسانی برای رآکتورهای تحقیقاتی را ارائه نمودند [۱۸]. انوری و همکاران در سال ۲۰۱۳، میزان تخلیه پودر مولیبدن از یک رآکتور تحقیقاتی به دلیل خطای انسانی را ارزیابی نمودند [۱۹]. براتی و همکاران در سال ۲۰۱٤ اقدامات اپراتورها برای کاهش ریسک بهره‌برداری در رآکتورهای تحقیقاتی را بررسی نمودند [۲۰]. محمد و همکاران در سال ۲۰۱۵ قابلیت اطمینان اپراتورها برای تحلیل ایمنی احتمالی بهره‌برداری یک رآکتور تحقیقاتی را مطالعه کردند [۲۱]. حسن و همکاران در سال ۲۰۱۷، پاسخ اپراتور و احتمال خطای انسانی در ارزیابی ایمنی احتمالی رآکتور تحقیقاتی تریگا مارک ۲[6] را مدل‌سازی نمودند [۲۲]. همچنین حسن و همکاران در سال ۲۰۲۰ عملکرد اپراتور رآکتورهای تحقیقاتی را بر اساس روش ارزیابی و کاهش خطای انسانی[7] مورد بررسی قرار دادند [۲۳]. وچگاما[8] و همکارانش در سال ۲۰۲۱، به بررسی و ارزیابی رویدادهای داخلی و خطاهای انسانی در رآکتور تحقیقاتی تای-۱[9] پرداختند [۲٤].

باتوجه‌به مطالعات انجام شده، تاکنون بررسی‌های کمی در خصوص بررسی خطای انسانی در رآکتورهای تحقیقاتی انجام شده است. این مقاله باهدف شناسایی و پیش‌بینی خطای انسانی،

[1] Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach
[2] HTA: Hierarchical Task Analysis
[3] Sheridan
[4] Stillwell
[5] Farcasiu
[6] TRIGA Mark II
[7] HEART: Human Error Assessment and Reduction Technique
[8] Vechgama
[9] Thai-1

شناسایی و پیش‌بینی موقعیت‌های به‌وجودآورنده خطا، شناسایی خطاهای بحرانی و ارائه راهکارهای کنترلی برای کاهش خطای انسانی با استفاده از روش SHERPA در اتاق کنترل یک رآکتور تحقیقاتی ارائه شده است.

۲. رویکرد قاعده‌مند پیش‌بینی و کاهش خطای انسانی

رویکرد قاعده‌مند پیش‌بینی و کاهش خطای انسانی (SHERPA) که نوعاً جزو روش‌های پرکاربرد شناسایی خطای انسانی است توسط امبری (۱۹۸٦) مطرح شده است و می‌تواند به تحلیل وظایف پرداخته و راه‌حل‌های بالقوه جهت خطاهای شناسایی شده، ارائه دهد. این رویکرد از مدل‌های شناختی عملکرد انسانی به‌عنوان مبنای کاری خود استفاده می‌کند [۲۵].

اولین ماژول در SHERPA تجزیه‌وتحلیل وظایف و خطاهای انسانی را انجام می‌دهد که حالت‌های احتمالی خطا را به همراه دستورالعمل‌هایی برای کاهش این خطاها با آموزش، رویه‌ها و طراحی مجدد تجهیزات شناسایی می‌کند. این دستورالعمل‌های کاهش خطا که در ماژول اول پیاده‌سازی می‌شود با یک مرحله تضمین کیفیت به پایان می‌رسد تا اثربخشی آن‌ها تأیید شود. ماژول دوم برای تعیین کمیت احتمال وقوع خطاهایی که قبلاً شناسایی شده‌اند، طراحی شده است و تجزیه‌وتحلیل‌های هزینه فایده را برای کمک به انتخاب رویکردهای کاهش خطا در ماژول سوم ارائه می‌کند. مرحله آخر ماژول تجزیه‌وتحلیل، روشی به نام آنالیز خطای انسانی[1] است. تجزیه و تحلیل خطای انسانی به‌طور خاص برای شناسایی حالت‌ها و روش‌های خطای احتمالی برای کاهش احتمال وقوع آن‌ها طراحی شده است. تجزیه و تحلیل خطای انسانی دستورالعمل‌های خاصی را برای تغییرات در روش‌ها، طراحی تجهیزات و آموزش تولید می‌کند که در ماژول کاهش خطا استفاده می‌شود. جهت اجرای روش SHERPA هشت مرحله وجود دارد که عبارت است از:

- تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه[2]
- طبقه‌بندی وظیفه[3]
- شناسایی خطای انسانی[4]
- تحلیل پیامد[5]
- تحلیل بازیابی[6]
- تحلیل احتمال خطا[7]
- تحلیل بحرانیت[8]
- اصلاح آنالیز[9]

تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه بر روی درک افراد از شغل برای دستیابی به اهدافی که می‌تواند ناشی از اجرای برنامه‌های عملیاتی یا دستورالعمل‌هایی که برای رسیدن به اهداف تدوین شده‌اند باشد و همه مراحل انجام کار را جهت دستیابی به هدف موردنظر از پایین‌به‌بالا ترسیم می‌کند. در این مرحله باید وظایف به زیر وظیفه‌ها شکسته شده و تا آن‌جا ادامه می‌یابد که دیگر زیر وظیفه‌ای باقی نماند.

۳. روش کار

در این تحقیق ارزیابی خطاهای انسانی اپراتورهای اتاق کنترل یک رآکتور تحقیقاتی با استفاده از رویکرد SHERPA انجام شده است. بر اساس این روش ابتدا به بررسی و تحلیل سلسله‌مراتبی وظایف اپراتورها پرداخته شد و سپس خطاهای انسانی هر یک از وظایف مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت اطلاعات حاصل با کمک نرم‌افزار SPSS[10] [۲٦] مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. با استفاده از آمار توصیفی، میزان و

[1] HEA: Human Error Analysis
[2] Hierarchical Task Analysis
[3] Task Classification
[4] Human Error Identification
[5] Consequence Analysis
[6] Recovery Analysis
[7] Probability Analysis Ordinal
[8] Critically Analysis
[9] Remedy Analysis
[10] Statistical Package for the Social Sciences

درصد فراوانی به‌دست آمد و با استفاده از روش محاسبه رگرسیون خطی، وجود و یا عدم وجود سطح معناداری بین عوامل مؤثر بر عملکرد اپراتورها تعیین گردید.

در تحقیق حاضر یک رآکتور تحقیقاتی در شرایط بهره‌برداری عادی دارای ٤ گروه شامل «گروه بهره‌برداری»، «گروه تعمیر و نگهداری»، «گروه مدیریت سوخت و پسمان» و «گروه پسماندار‌ی» است و یک گروه، تحت عنوان «گروه اضطراری رآکتور» در شرایط مواجهه با رخداد و موارد اضطراری وارد عمل می‌شود [۲۷]. ازآن‌جاکه هدف ارزیابی خطاهای انسانی در اتاق کنترل رآکتور تحقیقاتی است، بنابراین این ارزیابی با تمرکز بر گروه بهره‌برداری رآکتور انجام شده است و به‌منظور راه‌اندازی و بهره‌برداری از این رآکتور تحقیقاتی، ترکیبی از نیروی انسانی در هر نوبت‌کاری (۱۲ ساعت شیفت و ٢٤ ساعت استراحت) در اتاق کنترل مشغول فعالیت بوده که در حال حاضر این ترکیب عبارت است از:

- ۱ نفر سوپروایزر شیفت
- ۲ نفر اپراتور شیفت
- ۳ نفر کمک اپراتور (پشتیبانی شیفت)
- ۳ نفر مسئول فیزیک بهداشت

(که یک نفر از مسئولین فیزیک بهداشت در داخل اتاق کنترل جهت ثبت داده‌های مانیتورینگ و یک نفر در وردی رآکتور و یک نفر در محیط رآکتور مستقر می‌شوند).

سوپروایزر نوبت رآکتور صدور فرمان راه‌اندازی رآکتور با اطمینان از کارکرد صحیح تمام سیستم‌ها به همراه بررسی چک‌لیست ساختمان‌ها و تجهیزات و چک‌لیست راه‌اندازی و همکاری و هماهنگی با سوپروایزر شیفت فیزیک بهداشت در ارزیابی وضعیت رآکتور، مدیریت کلیه امور شیفت از جمله نظارت بر ورود و خروج به رآکتور، تهیه و تنظیم برنامه کارمندانی شیفت رآکتور، بررسی وقایع و تأیید اطلاعات ثبت شده در لاگ‌بوک[1] رآکتور، صدور فرمان خاموشی رآکتور به اپراتور کنسول و نظارت بر تکمیل چک‌لیست خاموشی و پایان شیفت را انجام داده و اپراتور بهره‌برداری انجام چک‌لیست راه‌اندازی، قبل از روشن نمودن رآکتور و اخذ فرمان راه‌اندازی از سوپروایزر شیفت، اطمینان از تکمیل چک‌لیست ساختمان‌ها و تجهیزات توسط کارمندان پشتیبانی رآکتور، هدایت کامل رآکتور در حالت کاری و آزمایش‌های در ایمنی کامل، ثبت و گزارش کلیه وقایع در داخل رآکتور در لاگ بوک، همکاری و تعامل با اپراتور فیزیک بهداشت در انجام اقدامات اصلاحی و اجرایی به‌منظور ایجاد شرایط مناسب پرتوی برای ادامه کار رآکتور، شرکت در تعمیرات داخلی رآکتور باتوجه‌به مهارت‌های کسب شده و ترخیص نمونه‌های پرتودهی شده باتوجه‌به برنامه ترخیص، اخذ فرمان خاموشی رآکتور از سوپروایزر شیفت رآکتور و تکمیل چک‌لیست خاموشی رآکتور را انجام می‌دهند. پشتیبانی شیفت رآکتور وظایف همکاری در انجام چک‌لیست ساختمان‌ها و تجهیزات و چک‌لیست راه‌اندازی، قبل از روشن نمودن رآکتور و همچنین چک‌لیست خاموشی هنگام خاموش نمودن رآکتور، شارژ بیم‌تیوب‌ها قبل از روشن‌شدن رآکتور، تکمیل و ثبت اطلاعات ساعتی در دفتر ساعتی رآکتور، بازدید چشمی از تمامی مناطق و سیستم‌های رآکتور و گزارش آن‌ها به اپراتور مستقر در پشت کنسول رآکتور، شرکت در برنامه‌های نمونه‌گذاری در قلب، ترخیص نمونه، شارژ و یا تعویض رزین ستون سیستم تصفیه آب، شرکت در تعمیرات داخلی رآکتور باتوجه‌به مهارت‌های کسب شده و ترخیص نمونه‌های پرتودهی شده باتوجه‌به برنامه ترخیص را برعهده دارد؛ بنابراین، وظایف اصلی اپراتورها شامل «تحویل شیفت، راه‌اندازی و بهره‌برداری رآکتور، نمونه‌گذاری و ترخیص نمونه، اقدامات پایان شیفت و متوقف کردن رآکتور» شناسایی و پس از انجام تجزیه‌وتحلیل به روش تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه، تعداد ۱۰ زیر وظیفه برای

[1] Log Book

اپراتورهای اتاق کنترل یک رآکتور تحقیقاتی تعیین گردید. نتایج مربوط به وظایف کنترلی و نتایج مربوط به تحویل شیفت تا اقدامات پایان شیفت در یک تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه تحت عنوان «اقدامات کلی و روتین» و نتایج مربوط به متوقف کردن رآکتور در شرایط اضطراری در یک تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه تحت عنوان «اقدامات اضطراری» تدوین گردید. شکل ۱، اعمال و اقدامات لازم از زمان دریافت شیفت توسط اپراتورها و سایر بخش‌های مربوط تا پایان همان شیفت و شکل ۲، اقدامات اپراتور در شرایط اضطراری را بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه نشان می‌دهد.

شکل (۱): وظایف کلی و روتین اپراتورهای اتاق کنترل یک رآکتور تحقیقاتی بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه.

شکل (۲): وظایف اپراتورهای اتاق کنترل رآکتور در شرایط اضطراری بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه.

٤. پردازش اطلاعات زیر وظایف شغلی

برای تشریح مراحل مدل‌های مختلفی وجود دارد که در اغلب آن‌ها تمرکز اصلی بر تعاملات انسانی و محیط در سیستم موردنظر هستند [۲۸-۳۶]. در این مطالعه از مدل پیشنهادی ویکنز[1] استفاده شده است [۳۷]. این مدل برای اولین‌بار در سال ۱۹۸۳ معرفی شده و اغلب برای تشریح مراحل پردازش اطلاعات انسانی در وظایف اپراتورها و راهبری سیستم‌ها در اتاق‌های کنترل کاربرد دارد. در این مدل وقتی راهبر با حالتی از سیستم مواجهه می‌شود، از فرایند سه‌مرحله‌ای زیر استفاده می‌کند:

۱. درک: کار اصلی سیستم ادراک، انتقال محرک‌های خارجی است که از طریق شناسایی، بازشناخت، کشف و دسته‌بندی برای اپراتورها حاصل می‌شود. این مرحله به‌طور ناخودآگاه و سریع صورت می‌پذیرد.

[1] Wickens

۲. شناخت: در این مرحله، کاربر پس از درک شرایط موجود، با اعمال محاسبات، تصمیمات و حافظه کاری به بررسی علل فرآیند می‌پردازد و این مرحله به زمان بیشتری نیاز دارد.

۳. پاسخ: در این مرحله کاربر با درک و شناختی که از فرآیند برای کنترل شرایط اضطراری و برگرادندن آن به حالت اولیه کسب کرده است، با بررسی کلیه روش‌های در دسترس، بهترین پاسخ را برای بازگرداندن سیستم به شرایط عادی انتخاب می‌کند.

بدین‌گونه مراحل مختلف پردازش اطلاعات برای زیر وظایف شغلی کاربران تشریح و در ادامه با طرح سؤالاتی به‌عنوان راهنما در چارچوب مراحل «پردازش اطلاعات» بر اساس پرسش‌نامه مطرح شده در مطالعه کاریوکی[1] و لوو[2] مراحل پردازش اطلاعات جهت انجام زیر وظایف و فعالیت کاربران مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هدف از طراحی این سؤالات، امکان بررسی ریشه‌ای علل خطاهای انسانی است [۳۸].

در ادامه، انتخاب عوامل مؤثر بر عملکرد کاربران در وظایف شغلی مورد بررسی قرار می‌گیرد در این تحقیق برای شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد کاربران از طبقه‌بندی کیروان[3] استفاده شده است [۳۹]. بدین صورت که بر اساس طراحی سؤالاتی به‌عنوان راهنما در چارچوب عوامل مؤثر بر عملکرد کاربران، عوامل مؤثر بر عملکرد آنان در هر مرحله از پردازش اطلاعات هنگام انجام زیر وظایف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این طبقه‌بندی عوامل مؤثر بر عملکرد به شش دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. زمان: یکی از عوامل مؤثر در میزان بروز خطاهای انسانی، زمان لازم برای انجام یک فعالیت مشخص است. این فاکتور نقش خود را به‌ویژه در شرایط بحرانی و استرس‌زا به خوبی نشان می‌دهد و به‌همین دلیل میزان خطاهای انسانی در انجام یک فعالیت یکسان در شرایط مختلف متفاوت است.

۲. تعامل با کنترل‌گرها و نشان‌گرها: در سیستم انسان –ماشین، کنترل‌گرها و نشان‌گرها رابط بین انسان و ماشین بوده و درصورتی‌که طراحی، ساخت، جانمایی و نگهداری آن‌ها بر اساس محدودیت‌ها و توانمندی‌های روانی و جسمانی کاربران انجام نشود در هنگام عملیات، بر میزان خطاهای انسانی افزوده خواهد شد. براساس رویکرد فردی خطاهای انسانی، خطای انسانی بر اثر عدم تطابق میان توانایی‌های فردی و نیازمندی‌های شغل بروز می‌کند؛ بنابراین برای بالا بردن قابلیت اعتماد کارمندان، لازم است محیط کار براساس تعامل‌های مناسب طراحی شود.

۳. آموزش و تجربه: کمیت و کیفیت آموزش‌هایی که اپراتور تحت یک سیستم ویژه دریافت کرده است و همچنین آموخته‌های عملی اپراتورها در کار با سیستم مورد مطالعه از دیگر عوامل بسیار مهم هستند که در میزان وقوع خطاهای انسانی سهم قابل ملاحظه‌ای دارند.

٤. دستورالعمل‌ها: وجود دستورالعمل‌های انجام کار، به خصوص به صورت مکتوب، از اعمال سلیقه‌های شخصی و همچنین بروز سردرگمی در شرایط اضطراری کاسته و به همان نسبت نیز از میزان خطاهای انسانی خواهد کاست.

۵. سازماندهی وظایف: جهت تعیین کامل و دقیق وظایف افراد در انجام کارهای ضروری و روزمره بوده و مؤید کیفیت نقش‌ها و مسئولیت‌های اعضای تیم است.

٦. پیچیدگی وظیفه: اندازه سیستم و یا تعداد مواردی که لازم است مشاهده، کنترل و مورد توجه قرار گیرند در بروز خطاهای انسانی نقش کلیدی را دارند. در واقع، پیچیدگی وظیفه با توجه

[1] Kariuki
[2] Löwe
[3] Kirwan

به تعداد اهداف، نشان‌گرها، موارد پیش‌بینی شده در چک-لیست‌ها و یا قطعات و تجهیزاتی که باید به عنوان بخشی از فرآیند مورد بررسی قرار گیرند، تعیین می‌شود.

در نهایت اطلاعات حاصل با کمک نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند. با استفاده از آمار توصیفی، جدول فراوانی و درصد فراوانی به‌دست آمد و با استفاده از روش محاسبه رگرسیون خطی، وجود و یا عدم وجود سطح معناداری بین عوامل مؤثر بر عملکرد در مراحل پردازش اطلاعات انسانی به‌صورت مجزا تعیین می‌گردد.

۵. نتایج

باتوجه‌به تجزیه‌وتحلیل انجام شده برای تکمیل برگه‌های کار SHERPA، تعداد ۲۶ خطا مطابق با جدول ۱ برای وظایف شغلی موردنظر شناسایی و طبقه‌بندی گردید. تعداد و درصد هر یک از خطاهای انسانی شناسایی شده به تفکیک مراحل پردازش اطلاعات در جدول‌های ۲ و ۳ و شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی انواع خطاهای انسانی.

نوع خطا	شناسه خطا	توصیف خطا
خطاهای عملکردی	A۱	عمل خیلی زود یا دیر انجام شود.
	A۲	عمل موردنظر بی‌موقع انجام شود.
	A۳	عمل موردنظر در جهت اشتباه انجام شود.
	A٤	عمل کمتر، یا بیش از حد لازم انجام شود.
	A٥	عمل تغییر انجام می‌شود.
	A٦	عمل صحیح بر روی گزینه اشتباه انجام شود.
	A۷	عمل اشتباه بر روی گزینه صحیح انجام شود.
	A۸	انجام عمل موردنظر فراموش شود.
	A۹	عمل به‌طور ناقص انجام می‌شود.
	A۱۰	عمل اشتباه بر روی گزینه اشتباه انجام می‌شود.
خطای بازدید	C۱	بررسی فراموش می‌شود.
	C۲	بررسی به‌طور ناقص انجام می‌شود.
	C۳	بررسی صحیح بر روی گزینه اشتباه انجام می‌شود.
	C٤	بررسی اشتباه بر روی گزینه صحیح انجام می‌شود.
	C٥	بررسی در زمان نامناسب انجام می‌شود.
	C٦	بررسی اشتباه بر روی گزینه اشتباه انجام می‌شود.
خطای بازیابی	R۱	اطلاعات لازم در دسترس نیست.
	R۲	اطلاعات به‌صورت اشتباه ارائه شده است.
	R۳	بازیابی اطلاعات، ناقص انجام می‌شود.
خطای ارتباطاتی	I۱	تبادل اطلاعات انجام می‌شود.
	I۲	اطلاعات اشتباه تبادل می‌شود.
	I۳	تبادل اطلاعات به‌طور ناقص انجام می‌شود.
خطای انتخاب	S۱	انتخاب حذف می‌شود.

جدول (۲): فراوانی و درصد خطاهای انسانی وظایف شغلی اپراتورهای اتاق کنترل به تفکیک مراحل پردازش اطلاعات انسانی.

خطا	مراحل پردازش اطلاعات					
	درک		شناخت		پاسخ	
	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
عملکردی	٤	۳۷	۲	۳۷.۵	۳	۳۷.۵
بازدید	۳	۲۷	۱	۱۲.۵	۱	۱۲.۵
بازیابی	۱	۹	۱	۱۲.۵	۱	۱۲.۵
ارتباطی	۲	۱۸	۲	۲۵	۱	۱۲.۵
انتخاب	۱	۹	۱	۱۲.۵	۲	۲۵

جدول (۳): نتایج حاصل از پردازش اطلاعات انسانی.

حالت خطاها	فراوانی	درصد
درک	۱۱	٤۲
شناخت	۷	۲۷
پاسخ	۸	۳۱

نتایج حاصل نشان داد که از ۲٦ مورد خطای پیش‌بینی و شناسایی شده به تفکیک مراحل پردازش اطلاعات، مراحل درک، شناخت و پاسخ به‌ترتیب ۱۱، ۷ و ۸ مورد خطا را به خود اختصاص داده‌اند.

خطای مرحله ادراک: مرحله ادراک بیشترین تعداد خطا (۱۱ مورد با ٤۲٪) را به خود اختصاص داده و بنابراین چنین استنباط می‌شود که خطا در مرحله ادراک به دلیل تلاش بیشتر انجام شده برای تمرکز بر پارامترها و پنل‌های کنترلی است. این موضوع نشاندهنده اهمیت بالا و نقش بحرانی این مرحله در انجام فعالیت‌های وظایف شغلی است.

در پی مطالعات دیگری نیز که در خصوص بررسی عملکرد اپراتورها در اتاق کنترل یک نیروگاه هسته‌ای صورت‌گرفته است، یکی از فاکتورهای بحرانی که عملکرد اپراتورها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند درک اپراتورها از شرایط جاری بوده است [٤۰]. مطالعات نشان دادند عواملی که به هنگام انجام فعالیت‌های وظایف شغلی منجر به افزایش تمرکز می‌شوند می‌توانند خطای مربوطه را در مرحله درک پردازش اطلاعات کاهش دهند؛ بنابراین استراتژی‌های افزایش تمرکز و مهارت‌های ادراکی کارمندان باید بررسی شوند [٤۱]. جهت حصول به این استراتژی‌ها به بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد در این مرحله می‌پردازیم که بر اساس یافته‌های طبقه‌بندی کیروان و شرایط محیط کاری به شرح زیر قابل بررسی است [۳۹]:

تعامل با کنترل‌گرها و نشان‌گرها به‌عنوان رابط بین انسان و ماشین در سیستم‌های انسان–ماشین هستند و درصورتی‌که طراحی، جانمایی، ساخت و نگهداری آن‌ها با در نظرگرفتن محدودیت‌ها و توانمندی‌های روانی و جسمانی کاربران صورت نگیرد، کاربران را در درک شرایط کاری دچار مشکل می‌کند.

آموزش و تجربه: کمیت و کیفیت نامناسب آموزش یا عدم برخورداری کاربر از آموخته‌های علمی کافی برای کار با سیستم موردمطالعه باعث می‌شود که کاربر برای درک شرایط دچار لغزش شود.

دستورالعمل‌های کاری: نبود یا کمبود وجود دستورالعمل‌های مکتوب مبتنی بر این‌که کاربر بعد از درک علائم هشداردهنده، چه وظیفه‌ای را انجام دهد باعث بروز سردرگمی و افزایش میزان خطای انسانی می‌شود.

سازماندهی وظایف: شرح وظایف کارکنان به‌طور مناسب سازماندهی نشده و وظایف افراد برای انجام فعالیت در شرایط عادی و اضطراری به‌طور دقیق و مکتوب مستند نشده است.

پیچیدگی وظیفه: وسعت سیستم و همچنین تعداد موارد زیادی که باید توسط کاربران درک و کنترل شود، باعث پیچیدگی در وظایف و در نتیجه بروز خطاهای انسانی می‌گردد. همچنین زیاد بودن فاکتورهای مورد قضاوت و تصمیم‌گیری، در پیچیده کردن شرایط نقش به‌سزایی دارد.

خطای مرحله شناخت: این مرحله از پردازش اطلاعات، ۲۷ درصد از خطاها را به خود اختصاص داده است. خطا در این مرحله نشانگر این موضوع است که اپراتور برای انجام موفقیت آمیز وظایف شغلی از هوشیاری و حافظه مناسب برخوردار

نیست و ارتقاء ظرفیت‌های فکری از عوامل روانشناختی مفید در کاهش احتمال خطای انسانی است. موارد استراتژیک و عوامل مؤثر بر عملکرد در این مرحله به‌صورت زیر است:

زمان: کاربر با توجه به امکانات و منابع موجود، نمی‌تواند در زمان تعیین شده برای مقابله با شرایط اضطراری به شناخت کامل از فرایند عملیات سیستم دست یابد.

آموزش و تجربه: کمیت و کیفیت نامناسب آموزش یا عدم برخورداری کاربر از آموخته‌های علمی کافی برای کار با سیستم موردمطالعه باعث می‌شود که کاربر نتواند شناخت مناسبی از فرایند عملیات سیستم اتخاذ کند.

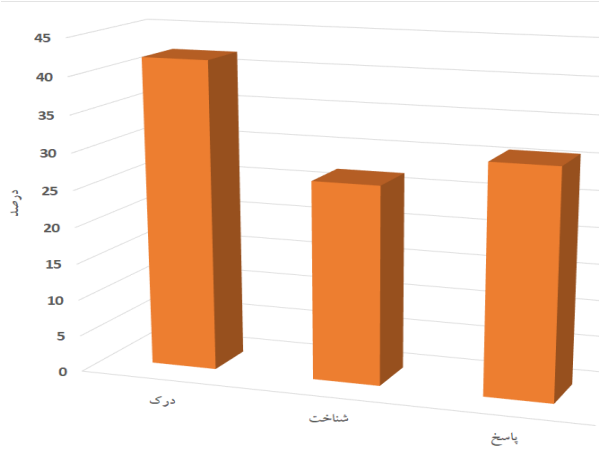
دستورالعمل‌های کاری: عدم وجود دستورالعمل‌های مکتوب مبنی بر اقدام مناسب کاربر جهت شناخت کافی و مناسب از فرایند عملیات، باعث سردرگمی در شرایط اضطراری و افزایش میزان خطای انسانی می‌شود.

خطای مرحله پاسخ: این مرحله، آخرین مرحله از مراحل پردازش اطلاعات، ۳۱ درصد از خطاها را به خود اختصاص داده است. موارد استراتژیک و عوامل مؤثر در مرحله پاسخ و بروز خطاهای شناسایی شده در این مرحله به شرح زیر است:

آموزش و تجربه: آموزش و تجربه با امتیاز پاسخ نیز رابطه معنی‌داری دارد، یعنی کمیت و کیفیت نامناسب آموزش یا عدم برخورداری از آموخته‌های علمی کافی برای کار با سیستم موردمطالعه باعث می‌شود که کاربر برای انتخاب پاسخ مناسب دچار لغزش شود.

دستورالعمل‌های کاری: عدم وجود دستورالعمل‌های مکتوب مبنی بر این‌که کاربر بعد از شناخت شرایط، چه پاسخ مناسبی برای مقابله با شرایط اضطراری و بازگرداندن سیستم به حالت عادی انتخاب نماید باعث بروز سردرگمی و افزایش میزان خطای انسانی می‌گردد.

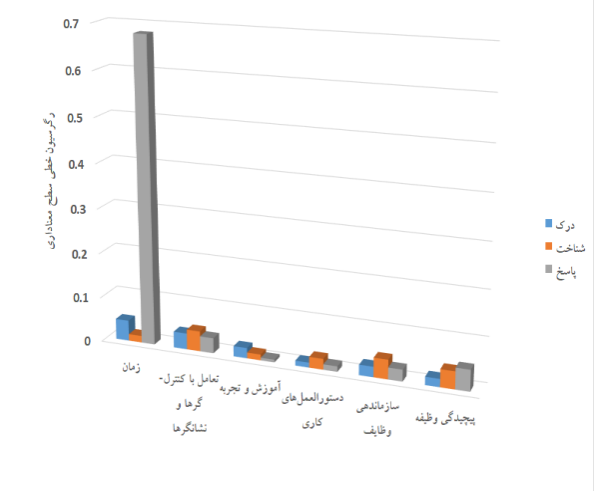
جدول ٤ به بررسی عوامل مؤثر در بروز خطا به تفکیک مراحل پردازش اطلاعات می‌پردازد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، مرحله ادراک، با بیشترین تعداد خطای انسانی، عوامل تعامل با کنترل‌گرها و نشان‌گرها، آموزش و تجربه، دستورالعمل‌های کاری، سازماندهی وظایف و پیچیدگی وظیفه را به خود اختصاص داده است. همچنین آموزش و تجربه و دستورالعمل‌های کاری به‌طور مشترک از عوامل مؤثر در مراحل سه‌گانه پردازش اطلاعات هستند. در شکل ٤، با استفاده از روش محاسبه رگرسیون خطی، وجود و یا عدم وجود سطح معناداری بین عوامل مؤثر بر عملکرد اپراتورها تعیین گردید. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، عامل زمان دارای بالاترین سطح معناداری میان تمامی عوامل مؤثر است.



شکل (۳): نتایج حاصل از پردازش اطلاعات انسانی.

جدول (٤): رگرسیون خطی سطح معناداری رابطه عوامل مؤثر بر عملکرد در مراحل پردازش اطلاعات.

عوامل مؤثر بر عملکرد	مراحل پردازش اطلاعات		
	درک	شناخت	پاسخ
زمان	۰/۰٦٤	۰/۰۱۵	۰/۰٦۸
تعامل با کنترل‌گرها و نشان‌گرها	۰/۰۳٦	۰/۰٤۵	۰/۰۳٤
آموزش و تجربه	۰/۰۲۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰٦
دستورالعمل‌های کاری	۰/۰۱۱	۰/۰۲٤	۰/۰۱۲
سازماندهی وظایف	۰/۰۳۲	۰/۰٤۳	۰/۰۲٦
پیچیدگی وظیفه	۰/۰۱۸	۰/۰۳۹	۰/۰٤۷



شکل (٤): رگرسیون خطی سطح معناداری رابطه عوامل مؤثر بر عملکرد در مراحل پردازش اطلاعات.

٦. بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه ارزیابی میزان خطاهای انسانی در یک رآکتور تحقیقاتی بود که با استفاده از رویکرد SHERPA انجام شد. بر اساس این روش تشخیص وضعیت بالاترین احتمال خطای انسانی در مراحل درک و تصمیم‌گیری قرار داشته و زمان و تعامل با کنترل‌گرها و نشان‌گرها مؤثرترین عوامل بروز خطا شناسایی شدند. این تکنیک در شناسایی خطا از دیدگاه سیستمی و روان‌شناختی علل خطا، کاربرد داشته و برای فرایندهایی که در مرحله فعالیت سیستم از طریق اتاق کنترل هدایت می‌شوند به‌کار می‌رود. به‌منظور مقابله با خطاهای انسانی در آشنایی با کار دستگاه کنترل می‌توان اصلاح در مواردی مانند ارائه دستورالعمل‌های کاری، زمان، آموزش و تجربه برگزاری دوره‌های بازآموزی هدفمندتر، نظارت بر عملکرد کارکنان و تعامل با کنترل‌گرها و نشان‌گر را ضروری دانست. ضمناً تأکید بر تحلیل نتایج این روش‌ها به‌همراه ارائه بازخوردهای مناسب به کارکنان ضروری است. آنالیز سلسله‌مراتبی وظیفه در شناسایی خطاهای انسانی نقشی مؤثر دارد؛ زیرا موجب شناخت بهتر و انجام صحیح‌تر وظایف شده و با جزءبه‌جزء وظایف، مداخلات مؤثر در وظایف، انجام شده و در نتیجه کاهش خطا را به دنبال خواهد داشت.

عدم کسب مهارت، تجربه یا دانش کافی (نبود آموزش یا کم‌بودن اثربخشی آموزش) یکی از دلایل درک صحیح و تصمیمات غلط اپراتورها می‌تواند باشد، چرا که این تصمیمات را بر مبنای اطلاعات ادراکی خود می‌گیرند و سازمان مربوطه نیز ممکن است برخی تخلفات را نادیده بگیرد.

مدیران ارشد می‌بایست به امر آموزش تخصصی و فنی، راهنمایی و رعایت قوانین و مقررات مخصوصاً در شرایط مخاطره‌آمیز، توجه بیشتری داشته باشند. توجه شود که تحصیلات نقشی اساسی در بروز خطای انسانی دارد، زیرا به‌عنوان یک منبع تأمین‌کننده آگاهی و تقویت مهارت افراد در پذیرش مسئولانه و ایمنی مشاغل دارای خطر با بهره‌گیری از آموزش‌های لازم محسوب می‌شود که دراین‌خصوص بر انتخاب افراد باصلاحیت و سطح سواد مناسب در شغل مربوطه تأکید می‌شود. اما این نکته را باید در نظر گرفت که افراد منتخب با تحصیلات مربوطه ممکن است آموزش‌های کاری کمتری دیده و به دلیل حس کنجکاوی و ماجراجویی خطرپذیری بالایی داشته باشند که توجه به رابطه مستقیم سن و سابقه کار را ضروری می‌سازد. مدیران ارشد و سوپروایزران می‌بایست در رعایت الزامات ایمنی و دستورالعمل‌ها و روش‌های اجرایی، نظارت مستقیم و دائم داشته باشند.

این مطالعه از معدود مطالعاتی است که از دیدگاه مدل پردازش اطلاعات انسانی به بررسی خطاهای انسانی در یک رآکتور تحقیقاتی پرداخته است. نتیجه مهم حاصل از مطالعه این است که با شناسایی انواع خطاهای ممکن در مراحل مختلف پردازش اطلاعات و همچنین عوامل مؤثر بر آن‌ها، از نقاط ضعف سیستم آگاهی کامل‌تری حاصل می‌شود. در نهایت، می‌توان این‌چنین نتیجه‌گیری نمود که استفاده از این دیدگاه در روند شناسایی خطاهای انسانی در صنایع حساس، به‌خصوص صنعت هسته‌ای بسیار مفید و مؤثر باشد.

۵. مراجع

1. S. Dekker. *The Field Guide to Understanding 'Human Error'*. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2017.
2. D. Petersen. *Human-Error Reduction and Safety Management.* 3rd. Ed. John Wiley & Sons, New York, 1984.
3. R. A. Klein. Risk assessment and firefighter safety. Patterns of injury in the UK- the UK and USA compared. *Fire Eng. J.* 61 (2001) 15-18.
4. N. Meshkati. Human factors in large-scale technological systems' accidents: Three Mile Island, Bhopal, Chernobyl. *Org. Environ*. 5 (2) (1991) 133-154.
5. E. Stojiljković, M. Grozdanović. Framework for Human Error Quantification. *Facta Uni. Phil. Soc. Psy. His* .5 (1) (2006) 131-144.
6. J. Reason. Human error: models and management. *British Med. J*. 320 (7237) (2000) 768-770.
7. B. Zimolong, G. Elke. Occupational health and safety management. In: Salvendy, G. (ed.) *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. pp. 673–707. Wiley, New York, 2006.
8. B. S. Dhillon. editor. Modeling human errors in repairable systems. *Annual Reliability and Maintainability Symposium.* Atlanta, GA, USA, 1989.
9. S. T. Shorrock, B. Kirwan. Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Appl. Ergon.* 33 (4) (2002) 319-336.
10. B. Kirwan, R. Kennedy, S. Taylor-Adams, B. Lambert. The validation of three Human Reliability Quantification techniques—THERP, HEART and JHEDI: Part II—Results of validation exercise. *Appl. Ergon.* 28 (1) (1997) 17-25.
11. D. Embrey. *Task Analysis Techniques*. Human Reliability Associates Ltd. 2000.
12. P. Salmon, N. A. Stanton, M. S. Young, D. Harris, J. Demagalski, A. Marshall, T. Waldman, S. Dekker. Using existing HEI techniques to predict pilot error: A comparison of SHERPA, HAZOP and HEIST. *Proc. British Comput. Soc. Conf. Human-Computer Interaction* (BCS-HCI), 2002.
13. J. Rasmussen, M. Annelise, L. P. Pejtersen. *Goodstein Cognitive Systems Engineering*. Wiley, New York. 1994.
14. J. L. Clark. The Management Oversight and Risk Tree (MORT): a new system safety program. *ICMA* (2014) 17 p.
15. D. Piccione, G. M. Hewitt. FAA Human Factors Workbench. *Proc. Human Factors Ergon. Soc. Ann. Meet*. 2004.
16. T. B. Sheridan. Human Error in Nuclear Power Plants, Technology Review. *IAEA* (1980) 22-23.
17. W. G. Stillwell, D. A. Seaver, J. P. Schwartz. Expert estimation of human error probabilities in nuclear power plant operations: A review of probability assessment and scaling (NUREG/CR-2255, SAND81-7140). Falls Church, VA: Decision Science Consortium, Inc., 1982.
18. M. Farcasiu, M. Nitoi, M. Apostol, I. Turcu, G. Florescu.The recovery factors analysis of the human errors for research reactors. 12*th Int. ICIT Conf. Prog. Cryogenics Isotopes Separation. Proc.* 2006.
19. A. Anvari, L. Safarzadeh, Assessment of molybdenum powder discharge from Tehran research reactor due to a human error. *J. Radiat. Safety Measurement.* 1 (1) (2013) 9-14.
20. R. Barati, S. Setayeshi, On the operator action analysis to reduce operational risk in research reactors. *Proc. Safety Environ. Protect.* 92 (6) (2014) 789-795.
21. F. Mohamed, A. Hassan, R. Yahaya, I. Rahman, Operator reliability study for Probabilistic Safety Analysis of an operating research reactor. *Ann. Nucl. Energy.* 80 (2015) 409-415.
22. A. Hassan, M. Maskin, P. P. Tom, F. Brayon, P. Hlavac, Operator response modeling and human error probability in TRIGA Mark II research reactor probabilistic safety assessment. *Ann. Nucl. Energy.* 102 (2017) 179-189.
23. A. Hassan, F. Mohamed, M. Maskin, Research reactor operator performance based on the human error assessment and reduction technique (HEART). *IOP Conf. Ser.* 2020.
24. W. Vechgama, K. Silva, A. Pechrak. Application of Hazard and Operability Technique to Level 1 Probabilistic Safety Assessment of Thai Research Reactor-1/Modification 1: Internal Events and Human Errors. *Prog. Nucl. Energy.* 138 (2021) 103838.
25. D. E. Embrey, SHERPA: A Systematic Human Erroe Reduction and Prediction Approach. *Int. Top. Meet. Adv. Human Factors Nucl. Power Sys.* 1986.
26. J. Pallant, SPSS Survival Manual, A step by step guide to data analysis using. IBM SPSS, 2020.

27. AEOI. *Safety Analysis Report for Tehran Research Reactor*. Atomic Energy Organization of Iran, 2009.
28. B. Mullen, C. Copper. The relation between group cohesiveness and performance. An Integration. *Psychological Bull.* 115 (1994) 210-227.
29. M. Hoegl, H. G. Gemuenden. Teamwork quality and the success of innovative projects: a theoretical concept and empirical evidence. *Organization Sci.* 12 (2001) 435-449.
30. G. C. Homans. *The Human Group*. Harcourt. Brace. Jovanovich, Inc. New York, 1950.
31. P. V. Crosbie. *Interactions in Small Group*. Macmillan Publishing Co., New York, 1975.
32. H. L. Nixon. *The Small Group*. Prentice-Hall Series in Sociology. New York, 1979.
33. L. Rognin, J. P. Blanquart. Human communication, mutual awareness and system dependability. Lesson learnt from air-traffic control field studies. *Reliability Eng. Sys. Safety* 71 (3) (2001) 327-336.
34. C. R. Paris, E. Salas, J. A. Cannon Bowers. Teamwork in multi-person systems. *Ergonomics* 43 (2000) 1052-1075.
35. L. L. Paglis, S. G. Green. Leadership self-efficacy and managers' motivation for leading change. *J. Org. Beh.* 23 (2002) 215–235.
36. Y. H. L. Chang, A. Mosleh. Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. Part 2: IDAC performance influencing factors model. *Reliability Eng. Sys. Safety.* 92 (2007) 1014-1040.
37. C. D. Wickens. Processing resources and attention. Multipletask performance and workload performance. Defense Technical Information Center. 1981.
38. S. Kariuki, K. Löwe. Integrating human factors into process hazard analysis. *Reliability Eng. Sys. Safety* 92 (12) (2007) 1764-1773.
39. B. Kirwan. *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. Taylor and Francis, London, 1994.
40. C. J. Lin, T. C. Yenn, Y. T. Jou, T. L. Hsieh, C. W. Yang. Analyzing the staffing and workload in the main control room of the advanced nuclear power plant from the human information processing perspective. *Safety Sci.* 57 (2013) 161-168.
41. G. A. Shirali, A. Dibeh Khosravi, T. Hosseinzadeh, A. Fathi, M. Hame Rezaee, M. Hamzeiyan Ziariani. Using the human information-processing model and workload to predict staffing demand: A case study in a petrochemical control room. *J. Ergonomics* 2 (3) (2014) 70-76.