

Application of the Failure Mode and Effects Analysis for Risk Assessment in the Laboratories of a Research Center

Pourang N^{1*}, Esmaeili F¹, Ranjbarian M²

Abstract

Background & objective: Every year, we witness hazardous and even fatal accidents in laboratories. Therefore, identification of the risks in laboratories and creating safe conditions are of paramount importance in these settings. The present study aimed to evaluate the potential risks in the laboratories of the Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Center.

Materials and Methods: In order to assess and classify the risks associated with working in research centers, the failure mode and effects analysis (FMEA) and relevant statistical tests were used.

Results: Potential risk levels were evaluated as moderate or high in all the laboratories, with the exception of the benthic laboratory. Therefore, appropriate corrective measures must be taken in this regard. Based on the results of the Kruskal-Wallis test, there were significant differences between the studied laboratories in terms of the risk priority number (RPN) before and after the corrective measures. In addition, post-hoc tests indicated the lowest risk levels in the benthic and histology laboratories, while the highest risk was identified in the instrumental analysis laboratory. Results of laboratory classification using cluster analysis were noticeably similar to the post-hoc test results. According to Mann-Whitney U test, there were significant differences between the RPN values before and after the corrective measures only in the case of the sample preparation laboratory ($P>0.05$).

Conclusion: It could be concluded that FMEA is an effective method for risk assessment in research laboratories, while appropriate statistical approaches could also be used for the complementary analysis in this regard.

Keywords: Risk assessment; Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Center; Risk Priority Number; Failure Mode and Effects Analysis

How to cite this article:

Pourang N, Esmaeili F, Ranjbarian M. **Application of the Failure Mode and Effects Analysis for Risk Assessment in the Laboratories of a Research Center.** J Saf Promot Inj Prev. 2017; 5(2):97-108.

1 . Iranian Fisheries Science Research Institute - Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

2 . School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

* **Corresponding Author:** n_pourang@yahoo.com

به کارگیری روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست در ارزیابی مخاطرات آزمایشگاه‌های یک پژوهشکده

نیما پورنگ^{۱*}، فریبا اسماعیلی^۱، محمد رنجبریان^۲۱. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: همه‌ساله شاهد موارد متعددی از حوادث خطرآفرین و حتی مرگ‌آور در آزمایشگاه‌های مختلف می‌باشیم لذا شناسایی ریسک‌های خطرناک در آزمایشگاه‌ها و تلاش در راستای ایجاد شرایط ایمن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق بررسی مخاطرات احتمالی در آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد.

روش بررسی: به منظور ارزیابی مخاطرات احتمالی در ۱۱ آزمایشگاه پژوهشکده و طبقه‌بندی آن‌ها، از روش «تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن»^۱ (FMEA) و برخی روش‌های آماری استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از بررسی مخاطرات بالقوه حاکی از آن است که سطح ریسک در تمامی آزمایشگاه‌ها به جز آزمایشگاه بنتوز، در حد نیمه بحرانی و بحرانی قابل ارزیابی می‌باشد و لذا اجرای اقدامات اصلاحی مناسب در مورد آن‌ها الزامی می‌باشد. بر اساس نتایج آزمون‌های Kruskal-Wallis، اختلاف معنی‌داری میان آزمایشگاه‌های پژوهشکده از دیدگاه عدد الویت ریسک^۲ (RPN) مشاهده می‌شود. مراجعه به نتایج آزمون‌های posthoc در هر دو مرحله، نشانگر آن است که کمترین میزان مخاطرات در آزمایشگاه‌های بنتوز و بافت‌شناسی مشاهده می‌شود و بیشترین مخاطرات در آزمایشگاه تجزیه دستگاهی قابل تشخیص است. از سوی دیگر نتایج مربوط به گروه‌بندی آزمایشگاه‌ها با استفاده از آنالیز خوشه‌ای نیز تا حدود زیادی به نتایج آزمون‌های posthoc شباهت دارد. با توجه به نتایج آزمون Mann-Whitney U می‌توان چنین استنتاج نمود که صرفاً در مورد آزمایشگاه آماده‌سازی نمونه، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر RPN در قبل و بعد از اقدامات اصلاحی مشاهده می‌گردد ($p > 0.05$).

نتیجه‌گیری: در مجموع می‌توان چنین استنتاج نمود که FMEA روشی مناسب برای ارزیابی مخاطرات کارکنان آزمایشگاه‌های تحقیقاتی می‌باشد و از روش‌های آماری مناسب نیز می‌توان برای تحلیل‌های تکمیلی استفاده نمود.

واژگان کلیدی: ارزیابی مخاطرات، آزمایشگاه، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، عدد الویت ریسک، تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن

مقدمه

شدت پیامد تعریف نموده است. به عبارات دیگر مخاطره از دو جزء احتمال رخداد و شدت پیامد تشکیل شده است؛ بنابراین شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک‌های ناشی از خطر، کاربرد روش‌های کنترلی جهت کاهش ریسک و پایش روش‌های اصلاحی از جمله اموری است که می‌بایست در موقع بروز خطر مورد توجه ارزیابان قرار گیرد. ریسک‌ها معمولاً در حوزه سلامتی کلیه کارکنان شاغل، اهداف ارگان مورد نظر و محیط کار وجود دارند (۱).

طی دهه‌های گذشته، برای تجزیه و تحلیل علمی خطرات، روش‌های بسیاری گسترش یافته که هر یک از این روش‌ها دارای دیدگاه‌ها، کاربردها و کارایی‌های متفاوتی می‌باشد. ارزیابی مخاطرات شامل دو

همه‌ساله شاهد موارد متعددی از حوادث خطرآفرین و حتی مرگ‌آور در آزمایشگاه‌های مختلف می‌باشیم. در حال حاضر در بسیاری از کشورها قوانینی در رابطه با مباحث مرتبط با ایمنی آزمایشگاه‌ها وضع شده است. با توجه به تجارب مشابه در کشور، شناسایی ریسک‌های خطرناک در آزمایشگاه‌های مختلف بسیار حائز اهمیت می‌باشد. سازمان جهانی دریانوردی^۳ (IMO) مخاطره را ترکیبی از فراوانی و

* آدرس مسئول مکاتبات: n_pourang@yahoo.com

۱. Failure Mode and Effects Analysis
۲. Risk priority number
۳. International Maritime Organization

انجام می‌شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن‌ها را شناسایی و رتبه‌بندی نماید. به تعبیر دیگر FMEA یک فرآیند سیستماتیک جهت شناسایی نارسایی‌های بالقوه فرایندها قبل از رخداد آن‌هاست که امکان اولویت‌بندی اقداماتی را برای کاهش یا حذف اثرات مخرب به وجود می‌آورد (۵).

مراحل انجام کار

FMEA به‌طور کلی شامل دو مرحله است. در مرحله نخست شناسایی حالات بالقوه شکست و اثرات آن‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. مرحله دوم شامل تجزیه و تحلیل میزان حساسیت به‌منظور تعیین شدت حالت شکست می‌باشد که از طریق ارزیابی و رتبه‌بندی (RPN) سطح بحرانی هر شکست انجام می‌شود (۶). از بین مراحل انجام FMEA ذیلاً به چند مورد که ارائه توضیحاتی در مورد آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد اکتفا می‌شود.

تعیین شدت (وخامت) اثر (S)^۴

وخامت حاصل از خطر، میزان جدی بودن «اثر خطر بالقوه» بر افراد است. برای وخامت خطر شاخص کمی وجود دارد که برحسب مقیاس ۱ تا ۱۰ بیان می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱. رتبه‌بندی وخامت اثر (۷، ۸ و ۹).

رتبه	شرح	شدت اثر
۱۰	وخامت تأسفبار است مثل خطر مرگ، تخریب کامل	خطرناک - بدون هشدار
۹	وخامت تأسفبار است اما همراه با هشدار است	خطرناک - با هشدار
۸	وخامت جبران‌ناپذیر است همانند از دست دادن یک عضو بدن	خیلی زیاد
۷	وخامت زیاد است همانند آتش گرفتن تجهیزات سوختگی بدن	زیاد
۶	وخامت کم است مانند ضرب‌دیدگی، مسمومیت خفیف غذایی	متوسط
۵	وخامت خیلی کم است مانند ضرب‌دیدگی مسمومیت خفیف غذای	کم
۴	وخامت خیلی کم است ولی بیشتر افراد آن را احساس می‌کنند	خیلی کم
۳	اثر جزئی بر جا می‌گذارد مثل خراش دست	اثرات جزئی
۲	اثر خیلی جزئی دارد	خیلی جزئی
۱	بدون اثر	هیچ

مقوله کمی و کیفی است. در این خصوص می‌توان از تکنیک‌های مختلفی نظیر (FMEA) استفاده نمود (۳ و ۲). اخیراً با توجه به تجربیات آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون در کشورهای توسعه‌یافته، رهیافتی جدید نسبت به ضرورت ارزیابی ایمنی در دوره‌های زمانی مشخص با توجه به ماهیت وظایف آزمایشگاه‌ها مطرح و بر این اساس فرایند بررسی روش‌های متداول در ارزیابی ایمنی و توسعه و ارتقاء کارایی آن‌ها در مطالعات مختلف مورد توجه پژوهشگران و سازمان‌های ذی‌ربط قرار گرفته است (۴).

آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان در فعالیت‌هایی متنوع (از آماده‌سازی نمونه‌های زیستی و غیر زیستی گرفته تا آنالیز آن‌ها توسط ابزارها و تجهیزات مختلف و همچنین شناسایی انواع آبیان میکروسکوپی و ماکروسکوپی) دخیل می‌باشند. این فعالیت‌ها در قالب طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط درون‌سازمانی و برون‌سازمانی می‌باشند.

ایجاد شرایط ایمن در محل کار و در زمان فعالیت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. با توجه به آثار مثبت گزارش‌شده از اعمال مدیریت ریسک‌ها و پایش آن‌ها به‌واسطه انجام ارزیابی‌های مخاطرات و دستیابی به بهبود ایمنی در زمینه‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری (کارکنان و امکانات تجهیزات حفاظت فردی)، می‌توان به اهمیت بررسی مشابه در آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان پی برد.

اصولاً این تحقیق در تداوم ارتقاء کیفی فعالیت آزمایشگاه‌های پژوهشکده مزبور و برای نخستین بار در راستای مباحث ایمنی آزمایشگاه‌ها اجرا گردید. اهداف اصلی این تحقیق عبارت‌اند از: بررسی مخاطرات احتمالی در کلیه آزمایشگاه‌های پژوهشکده و ارائه برنامه‌های عملی برای پیشگیری از وقوع مخاطرات مزبور.

مواد و روش‌ها

آزمایشگاه‌های مورد بررسی

در اجرای این پژوهش کلیه اصول اخلاق پژوهشی مدنظر قرار گرفت و در هیچ‌یک از مراحل تبیینی با اصول و کدهای مربوطه مشاهده نگردید. این پژوهش در ۱۱ آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان (تحت عناوین: کروماتوگرافی، تجزیه دستگاهی، آماده‌سازی نمونه، پلانکتون، بافت‌شناسی، جانورشناسی، بنتوز، ژنتیک، میکروبیولوژی، فرآورده‌های دریایی، کشت جلبک) اجرا گردید. به‌منظور ارزیابی مخاطرات آزمایشگاه‌ها، از روشی تحت عنوان «تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن» (FMEA) استفاده گردید. FMEA روشی تحلیلی است که می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک

۴. Severity (severity of effects ranking score)

تعیین احتمال وقوع خطر (O)^۵

خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. احتمال وقوع خطر بر مبنای رتبه‌بندی
۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود (جدول ۲).

احتمال وقوع خطر مشخص می‌کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه

جدول ۲. رتبه‌بندی احتمال وقوع خطر (۷، ۸ و ۹).

رتبه	نرخ‌های احتمالی خطر	احتمال وقوع خطر
۱۰	۱ در ۲ یا بیش از آن	بسیار زیاد: خطر تقریباً اجتناب‌ناپذیر است
۹	۱ در ۳	
۸	۱ در ۸	زیاد: خطرهای مکرر
۷	۱ در ۲۰	
۶	۱ در ۸۰	متوسط: خطرهای موردی (گاه‌به‌گاه)
۵	۱ در ۴۰۰	
۴	۱ در ۲۰۰۰	
۳	۱ در ۱۵۰۰۰	کم: خطرهای نسبتاً نادر
۲	۱ در ۱۵۰۰۰۰	
۱	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰	بعید: وقوع خطر غیرمحتمل است

تعیین احتمال کشف خطر (D)^۶

آن است. رتبه‌بندی احتمال کشف خطر نیز بین ۱ الی ۱۰ می‌باشد
(جدول ۳).

احتمال کشف خطر در واقع احتمال پی بردن به خطر قبل از وقوع

جدول ۳. رتبه‌بندی احتمال کشف خطر (۷، ۸ و ۹).

رتبه	قابلیت کشف	احتمال کشف خطر
۱۰	مطلقاً هیچ	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست
۹	خیلی ناچیز	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۸	ناچیز	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۷	خیلی کم	احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۶	کم	احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۵	متوسط	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۴	نسبتاً زیاد	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۳	زیاد	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۲	خیلی زیاد	احتمال خیلی زیاد وجود دارد
۱	تقریباً حتمی	تقریباً به‌طور قطعی با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.

مشخص نمودن نیاز یا عدم نیاز به اصلاح

در این مرحله ریسک را بر اساس عدد اولویت ریسک رتبه‌بندی
می‌کنیم. با توجه به عدد اولویت ریسک، سطح ریسک به سه گروه
قابل طبقه‌بندی می‌باشد (۱۰، ۱۱ و ۱۲):

- سطح عادی ($RPN < 70$): که در آن همه سه عامل RPN (به‌خصوص شدت و احتمال وقوع) واجد رتبه کمتر از ۵ می‌باشند. در این حالت اقدامات اصلاحی الزامی نیست.
- سطح نیمه بحرانی ($70 < RPN < 140$): که در آن

محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)^۷

عدد اولویت ریسک حاصل ضرب سه عدد شدت اثر (S) احتمال وقوع
خطر (O) و احتمال کشف خطر (D) است.

$RPN = S * O * D$ عدد اولویت ریسک عددی بین ۱ و ۱۰۰۰ خواهد

بود.

۵. Occurrence (frequency of occurrence ranking score)

۶. Detection (probability of detection ranking score)

۷. Risk priority number

زمانی بازدید اول (قبل از اقدامات اصلاحی) و بازدید دوم (پس از انجام اقدامات اصلاحی) از دو آزمون کروسکال-والیس^۸ استفاده شد و با توجه به مشاهده اختلاف معنی دار، در هر مورد آزمون posthoc مربوطه (من-ویتنی یو^۹) به منظور گروه بندی آزمایشگاهها مورد استفاده قرار گرفت. از سوی دیگر به منظور مشخص نمودن تأثیر اقدامات اصلاحی انجام شده، اعداد الویت ریسک محاسبه شده مربوط به هر آزمایشگاه در طی بازدیدهای اول و دوم با به کارگیری آزمون من-ویتنی یو مقایسه گردید. به منظور گروه بندی آزمایشگاهها از نقطه نظر میزان مخاطرات بالقوه از آنالیز خوشه‌ای^{۱۰} بر مبنای مقیاس اقلیدسی^{۱۱} استفاده شد. کلیه آنالیزهای مزبور با استفاده از نسخه جدید بسته نرم افزاری (SPSS (Version ۲۱) انجام شد.

یافته‌ها

همان گونه که ذکر گردید به منظور سهولت بررسی و طبقه بندی مخاطرات به تفکیک آزمایشگاهها، جداولی طراحی گردید. جدول ۴ نمونه‌ای از جداول تکمیل شده توسط ارزیابان ایمنی آزمایشگاههای پژوهشکده به منظور بررسی عوامل بالقوه مؤثر ایجاد خطر می باشد.

حداقل یک عامل از سه عامل RPN (به خصوص شدت و احتمال وقوع) دارای رتبه بیشتر از ۵ می باشد. در این شرایط اقدامات اصلاحی ضروری است.

• سطح بحرانی ($RPN > ۱۴۰$): که در آن حداقل دو عامل از سه عامل RPN دارای رتبه بالا می باشد. در این شرایط اقدامات اصلاحی فوری کاملاً ضروری است.

در این تحقیق، به منظور سهولت بررسی و طبقه بندی مخاطرات به تفکیک آزمایشگاهها، با توجه عوامل بالقوه مؤثر در ایجاد خطر در آزمایشگاههای پژوهشکده، جداولی طراحی گردید. به منظور ارزیابی مخاطرات سه ارزیاب در دو مرحله (قبل و بعد از اقدامات اصلاحی) به ترتیب در شهریورماه سالهای ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از هر آزمایشگاه بازدید و جداول مزبور را تکمیل و متعاقباً جداول مربوط به رتبه بندی ریسک آزمایشگاهها (بر مبنای عدد الویت ریسک) را تکمیل نمودند.

تحلیل‌های آماری

به منظور مقایسه آزمایشگاهها از نظر عدد الویت ریسک در دو مقطع

جدول ۴. نمونه‌ای از جداول تکمیل شده به منظور بررسی عوامل بالقوه مؤثر ایجاد خطر در آزمایشگاههای مورد بررسی در این تحقیق (آزمایشگاه کروما توگرافی پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان - بازدید اول)

ردیف	عوامل بالقوه مؤثر در ایجاد خطر	وجود دارد	وجود ندارد	عدم سنخیت با وظایف آزمایشگاه
۱	هود ایمنی	✓		
۲	دستورالعمل حفاظت و ایمنی کارکنان		✓	
۳	دستورالعمل نحوه سترون سازی و ضد عفونی			✓
۴	دستورالعمل دفع پسماند			✓
۵	تفکیک پسماندها			✓
۶	دستورالعمل طریقه شستشوی لوازم شیشه‌ای		✓	
۷	دستورالعمل ایمنی کار با سانتریفیوژ		✓	✓
۸	نگهداری مناسب مواد خطرناک در آزمایشگاه		✓	
۹	ایمنی مطلوب ابزارهای خطرساز			✓
۱۰	تشعشعات الکترومغناطیسی	✓		
۱۱	خطر حریق	✓		
۱۲	سیلندرهای اطفاء حریق		✓	
۱۳	دتکتورهای اعلام حریق		✓	
۱۴	سیستم‌های خودکار اطفاء حریق		✓	
۱۵	افراد آموزش دیده در زمینه حریق		✓	
۱۶	برگه‌های MSDS ^{۱۲}	✓		
۱۷	پوسترهای ایمنی و علائم هشداردهنده		✓	

۸. Kruskal-Wallis

۹. U yentihW-nnaM

۱۰. Cluster analysis

۱۱. Euclidean distance

۱۲. Material Safety Data Sheet

ادامه جدول ۴. نمونه‌ای از جداول تکمیل شده به منظور بررسی عوامل بالقوه مؤثر ایجاد خطر در آزمایشگاه‌های مورد بررسی در این تحقیق (آزمایشگاه کروماتوگرافی پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان - بازدید اول)

ردیف	عوامل بالقوه مؤثر در ایجاد خطر	وجود دارد	وجود ندارد	عدم سنخیت با وظایف آزمایشگاه
۱۸	جعبه کمک‌های اولیه	✓		
۱۹	راه‌های خروج اضطراری		✓	
۲۰	وسایل حفاظت فردی	✓		
۲۱	دوش اضطراری		✓	
۲۲	دستگاه چشم‌شوی		✓	
۲۳	گذراندن دوره‌های آموزش ایمنی کار در آزمایشگاه		✓	
۲۴	ثبت و گزارش حوادث مخاطره‌آمیز		✓	
۲۵	تهویه عمومی		✓	
۲۶	کالیبراسیون تجهیزات مورد استفاده	✓		
۲۷	وضعیت مناسب ایمنی انبارها			✓
۲۸	چیدمان مناسب مواد شیمیایی در انبار		✓	✓
۲۹	خطر سقوط اجسام			
۳۰	وضعیت مناسب نظافت عمومی	✓		
۳۱	روشنایی مناسب آزمایشگاه	✓		
۳۲	وضعیت مناسب ایمنی اتوکلاو			✓
۳۳	ایمنی شلنگ گاز وسایل			✓
۳۴	نظم و انضباط مطلوب کارگاهی	✓		
۳۵	واکسیناسیون پرسنل		✓	

اطلاعات مربوط به رتبه‌بندی ریسک آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان در طی دو مرحله بازدید که توسط سه ارزیاب انجام شده است و همچنین آمار توصیفی مربوطه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. رتبه‌بندی ریسک آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان توسط سه ارزیاب در دو مرحله

(قبل و بعد از اقدامات اصلاحی)

نام آزمایشگاه	بازدید	ارزیاب	S	O	D	RPN	Mean	SD	سطح ریسک
کروماتوگرافی	۱	۱	۷	۳	۶	۱۲۶	۱۵۶/۳۳	۲۶/۵۰	بحرانی
		۲	۷	۴	۶	۱۶۸			
		۳	۷	۵	۵	۱۷۵			
تجزیه دستگاهی	۲	۱	۷	۳	۵	۱۰۵	۱۲۶/۰۰	۳۶/۳۷	نیمه بحرانی
		۲	۷	۳	۵	۱۰۵			
		۱	۷	۴	۶	۱۶۸			
آماده‌سازی نمونه	۱	۱	۱۰	۶	۹	۵۴۰	۲۸۲/۳۳	۳۱/۵۶	بحرانی
		۲	۹	۶	۹	۴۸۶			
		۳	۸	۶	۸	۳۸۴			
بحرانی	۲	۱	۱۰	۶	۹	۵۴۰	۲۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	بحرانی
		۲	۹	۶	۹	۴۸۶			
		۳	۸	۶	۸	۳۸۴			
بحرانی	۲	۱	۷	۴	۹	۲۵۲	۲۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	بحرانی
		۲	۷	۵	۹	۳۱۵			
		۳	۷	۵	۸	۲۸۰			
بحرانی	۲	۱	۷	۴	۸	۲۲۴	۲۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	بحرانی
		۲	۷	۴	۷	۱۹۶			
		۳	۶	۵	۷	۲۱۰			

ادامه جدول ۵. رتبه بندی ریسک آزمایشگاه های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان توسط سه ارزیاب در دو مرحله (قبل و بعد از اقدامات اصلاحی)

نام آزمایشگاه	بازدید	ارزیاب	S	O	D	RPN	Mean	SD	سطح ریسک
پلانکتون	۱	۱	۶	۵	۶	۱۸۰	۱۸۲/۰۰	۳۳/۰۴	بحرانی
	۲	۲	۶	۵	۵	۱۵۰			بحرانی
	۳	۳	۶	۶	۶	۲۱۶			بحرانی
بافت شناسی	۱	۱	۵	۳	۵	۷۵	۸۵/۰۰	۱۳/۲۳	نیمه بحرانی
	۲	۲	۵	۴	۵	۱۰۰			نیمه بحرانی
	۳	۳	۴	۵	۴	۸۰			نیمه بحرانی
جانور شناسی	۱	۱	۵	۴	۶	۱۲۰	۱۵۰/۰۰	۳۰/۰۰	بحرانی
	۲	۲	۵	۶	۵	۱۵۰			نیمه بحرانی
	۳	۳	۶	۵	۶	۱۸۰			نیمه بحرانی
بنتوز	۱	۱	۴	۳	۵	۶۰	۶۹/۰۰	۷/۹۴	عادی
	۲	۲	۳	۴	۵	۷۵			عادی
	۳	۳	۴	۵	۶	۶۰			عادی
ژنتیک	۱	۱	۷	۵	۵	۱۷۵	۱۸۸/۳۳	۱۸/۹۳	بحرانی
	۲	۲	۷	۶	۵	۲۱۰			بحرانی
	۳	۳	۶	۵	۶	۱۸۰			بحرانی
میکروبیولوژی	۱	۱	۷	۵	۹	۳۱۵	۳۳۷/۶۷	۳۵/۰۲	بحرانی
	۲	۲	۸	۵	۸	۳۲۰			بحرانی
	۳	۳	۷	۶	۹	۳۷۸			بحرانی
فرآورده های دریایی	۱	۱	۷	۴	۸	۲۲۴	۲۲۶/۳۳	۱۷/۶۲	بحرانی
	۲	۲	۷	۵	۷	۲۴۵			بحرانی
	۳	۳	۷	۵	۶	۲۱۰			بحرانی
کشت جلبک	۱	۱	۶	۴	۶	۱۴۴	۱۸۰/۰۰	۳۶/۰۰	بحرانی
	۲	۲	۶	۵	۶	۱۸۰			نیمه بحرانی
	۳	۳	۶	۵	۶	۲۱۶			بحرانی

O: احتمال وقوع خطر

D: احتمال کشف خطر

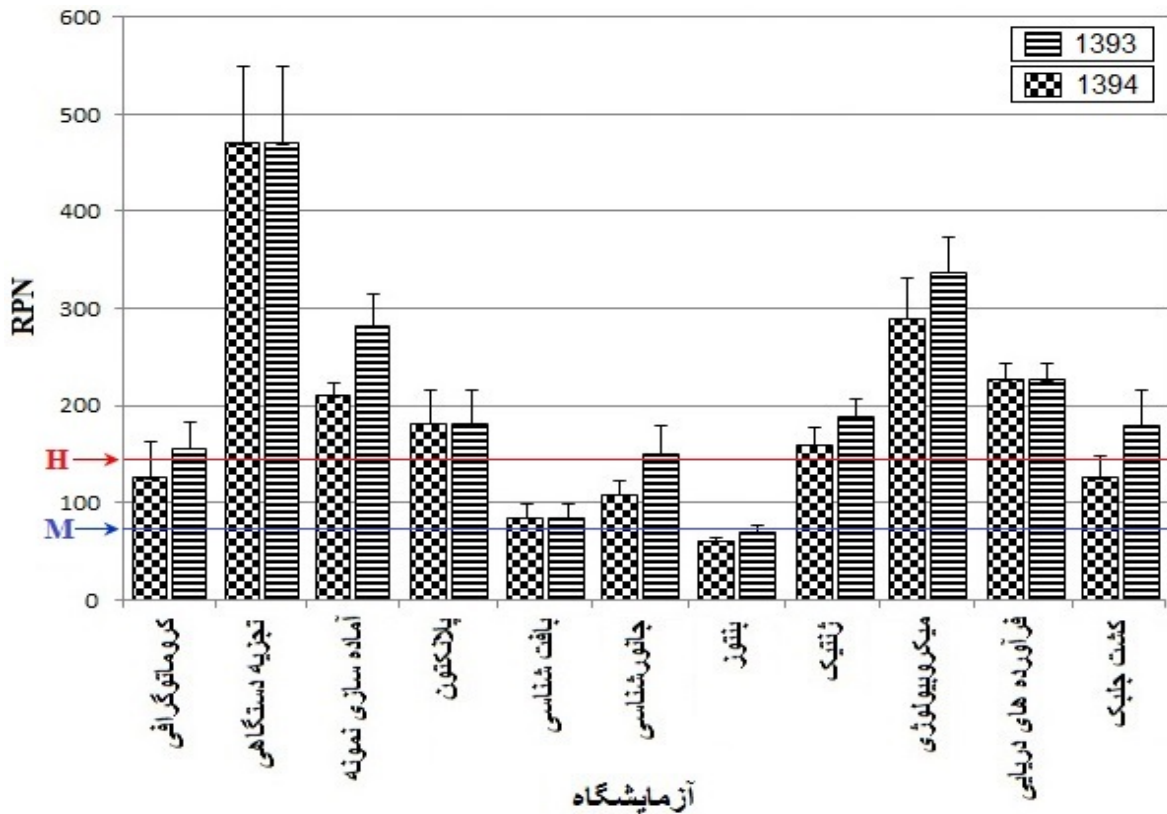
S: شدت اثر

RPN: عدد الویت ریسک

Mean: میانگین

SD: انحراف معیار.

در شکل ۱ تغییرات عدد اولویت ریسک در آزمایشگاه های پژوهشکده مشهود است. همان گونه که از این شکل و همچنین جدول ۵ قابل استنتاج است، در هر دو مرحله قبل و بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ترتیب بیشترین و کمترین عدد اولویت ریسک مربوط به آزمایشگاه های تجزیه دستگاهی و بنتوز می باشد.



شکل ۱. عدد اولویت ریسک (میانگین و انحراف معیار) در آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان در قبل و بعد از اقدامات اصلاحی (به ترتیب شهریور ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴)

همان گونه که مشاهده می‌گردد، در مرحله قبل از اقدامات اصلاحی، بین آزمایشگاه‌های بنتوز و بافت‌شناسی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. همچنین با توجه به نتایج این آزمون آزمایشگاه‌های جانورشناسی و کروماتوگرافی در یک گروه و آزمایشگاه‌های کشت جلبک، پلانکتون و ژنتیک در گروهی دیگر قرار می‌گیرند. در مرحله قبل از اقدامات اصلاحی، بین آزمایشگاه‌های تجزیه دستگاهی، میکروبیولوژی و فرآورده‌های دریایی با سایر آزمایشگاه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p \leq 0/001$).

با توجه به جدول ۷، می‌توان چنین استنتاج نمود که صرفاً در مورد آزمایشگاه آماده‌سازی نمونه اختلاف معنی‌داری بین شرایط بعد و قبل از انجام برخی اصلاحات مشاهده می‌گردد.

M: مرز سطح ریسک عادی و نیمه بحرانی،

H: مرز سطح ریسک نیمه بحرانی و بحرانی،

RPN: عدد الویت ریسک.

جدول ۶. نتایج دو آزمون کروسکال-والیس به منظور بررسی این فرض صفر که هیچ اختلاف معنی‌داری میان آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان از دیدگاه عدد اولویت ریسک (RPN) در قبل و بعد از اقدامات اصلاحی وجود ندارد ($p \leq 0/001$). مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است. آزمایشگاه‌هایی که با حروف لاتین مشابه مشخص گردیده‌اند، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (بر مبنای آزمون من-ویتنی، $p \leq 0/05$). جدول ۶. نتایج دو آزمون کروسکال-والیس به منظور بررسی این فرض صفر که هیچ اختلاف معنی‌داری میان آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان از دیدگاه عدد اولویت ریسک (RPN) در قبل و بعد از اقدامات اصلاحی وجود ندارد ($p \leq 0/001$). مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است. آزمایشگاه‌هایی که با حروف لاتین مشابه مشخص گردیده‌اند، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند (بر مبنای آزمون من-ویتنی، $p \leq 0/05$). نتایج دو آزمون کروسکال-والیس در جدول ۶ مندرج می‌باشد.

جدول ۶. نتایج دو آزمون کروسکال-والیس به منظور بررسی این فرض صفر که هیچ اختلاف معنی داری میان آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان از دیدگاه عدد اولویت ریسک (RPN) در قبل و بعد از اقدامات اصلاحی وجود ندارد ($p \leq 0.001$). مقادیر میانگین و انحراف معیار (درون پرانتزها) نیز ارائه گردیده است. آزمایشگاه‌هایی که با حروف لاتین مشابه مشخص گردیده‌اند فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند (بر مبنای آزمون من - ویتنی، $p \leq 0.05$).

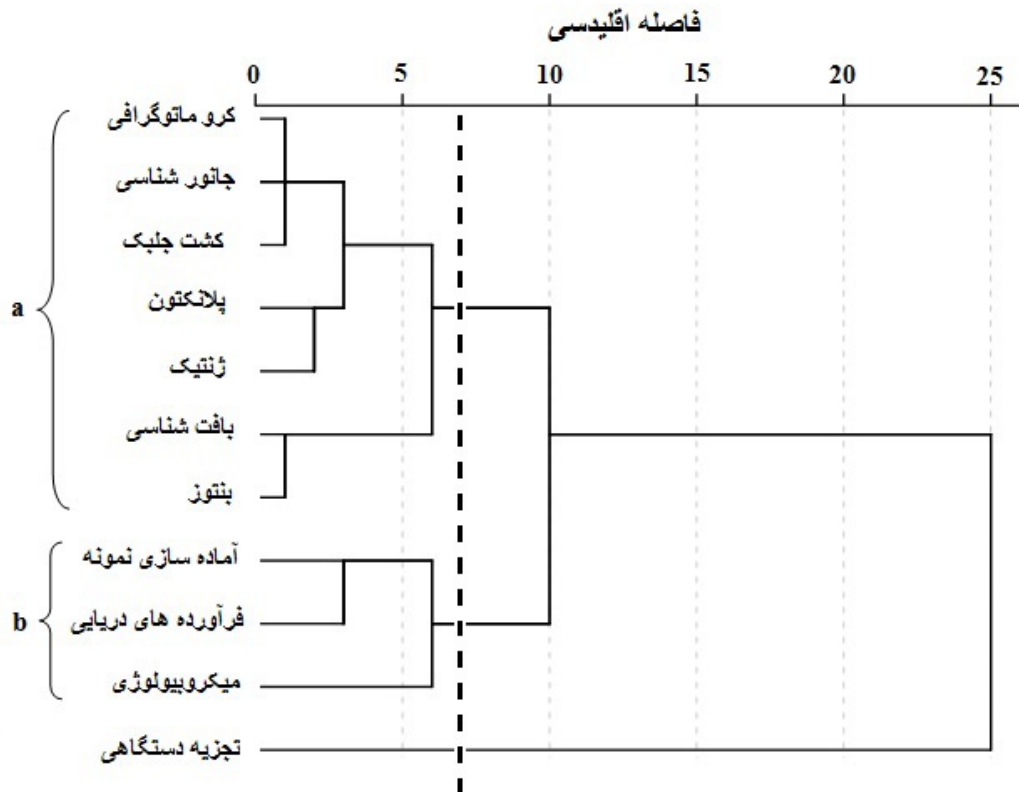
نسبت به زمان اقدامات اصلاحی	آزمایشگاه											H	P-value
	کروماتوگرافی	تجزیه دستگامی	آماده‌سازی نمونه	پلانکتون	بافت‌شناسی	جانورشناسی	بنتوز	ژنتیک	میکروبیولوژی	فرآورده‌های دریایی	کشت جلبک		
قبل	b	f	de	bc	a	b	a	bc	e	d	bc	۲۹/۳۶۲	۰/۰۰۱
	۱۵۶/۳۳	۴۷۰/۰۰	۲۸۲/۳۳	۱۸۲/۰۰	۸۵/۰۰	۱۵۰/۰۰	۶۹/۰۰	۱۸۳/۳۳	۳۳۷/۶۷	۲۲۶/۳۳	۱۸۰/۰۰		
	(۲۶/۵۰)	(۲۲/۷۹)	(۳۱/۵۶)	(۳۳/۰۴)	(۱۳/۲۳)	(۳۰/۰۰)	(۷/۹۴)	(۱۸/۹۳)	(۳۰/۰۲)	(۱۷/۶۲)	(۳۶/۰۰)		
	bcd	h	ef	def	ab	abc	a	cde	g	f	bcd		
بعد	۱۲۶/۰۰	۴۷۰/۰۰	۲۱۰/۰۰	۱۸۲/۰۰	۸۵/۰۰	۱۰۸/۳۳	۶۱/۳۳	۱۶۰/۰۰	۲۸۹/۳۳	۲۲۶/۳۳	۱۲۶/۰۰	۳۰/۲۶۹	۰/۰۰۱
	(۳۶/۳۷)	(۷۹/۳۲)	(۱۴/۰۰)	(۰۴/۳۳)	(۱۳/۲۳)	(۱۴/۴۳)	(۲/۳۱)	(۳۲/۱۷)	(۷۷/۴۲)	(۶۲/۱۷)	(۶۳/۲۱)		

جدول ۷. نتایج ۱۱ آزمون من-ویتنی به منظور بررسی این فرض صفر که اختلاف معنی داری میان اعداد الویت ریسک در هر یک آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس در دو مقطع زمانی قبل (۱۳۹۳) و بعد از اصلاحات (۱۳۹۴) وجود ندارد ($p \leq 0.05$).

	آزمایشگاه										
	کروماتوگرافی	تجزیه دستگامی	آماده‌سازی نمونه	پلانکتون	بافت‌شناسی	جانورشناسی	بنتوز	ژنتیک	میکروبیولوژی	فرآورده‌های دریایی	کشت جلبک
U	۱/۵۰۰	۴/۵۰۰	۰/۰۰۰	۴/۵۵۰	۴/۵۰۰	۱/۰۰۰	۲/۰۰۰	۱/۵۰۰	۲/۰۰۰	۴/۵۰۰	۱/۰۰۰
P-value	۰/۱۷۸	۱/۰۰۰	۰/۰۵۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۱۲۱	۰/۲۴۶	۰/۱۷۸	۰/۲۷۵	۱/۰۰۰	۰/۱۲۷

جانورشناسی، کشت جلبک، پلانکتون، ژنتیک، بافت‌شناسی و بنتوز در یک گروه (گروه a)، آزمایشگاه‌های آماده‌سازی نمونه، فرآورده‌های دریایی و میکروبیولوژی در گروه دوم (گروه b) و آزمایشگاه تجزیه دستگاهی به صورت مجزا قرار می‌گیرد.

نتایج مربوط به گروه‌بندی آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان از نظر میزان مخاطرات بالقوه با استفاده از آنالیز خوشه‌ای در شکل ۲ ارائه گردیده است. با در نظر گرفتن این شکل مشخص می‌گردد که چنانچه یک خط عمود فرضی در فاصله تقریبی ۷ در نظر گرفته شود، آزمایشگاه‌های کروماتوگرافی،



شکل ۲. دندروگرام آنالیز خوشه‌ای برای گروه‌بندی آزمایشگاه‌های پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان از دیدگاه میزان مخاطرات بالقوه (اعداد الویت ریسک).

بحث

مهم‌ترین مخاطرات در آزمایشگاه‌های پژوهشکده

با توجه به نتایج مندرج در جداول تنظیم‌شده به منظور طبقه‌بندی مخاطرات به تفکیک آزمایشگاه‌ها (من جمله جدول ۴) می‌توان استنتاج نمود که به برخی عوامل بالقوه مؤثر ایجاد خطر در آزمایشگاه‌های پژوهشکده توجه کافی نشده است که از این میان به‌طور کلی موارد ذیل از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند:

- تهویه عمومی: آزمایشگاه‌ها باید مجهز به تجهیزات تهویه عمومی و در صورت لزوم تهویه موضعی ضد جرقه باشد. یک سیستم تهویه آزمایشگاهی از نظر SEFA^{۱۳} شامل سیستم دمش هوا، سیستم مکش هوا (مکش هوای اتاق و هود آزمایشگاهی)، هود آزمایشگاهی

و سایر وسایل تهویه موضعی می‌باشد (۵ و ۱۳).

- ایجاد حریق: در هر محیط آزمایشگاهی باید امکانات و تجهیزات جهت اطفای آتش‌سوزی‌های احتمالی در نظر گرفته شود تا هنگام آتش‌سوزی بتوان از این تجهیزات استفاده کرد. تمام کارکنان آزمایشگاه باید در زمینه مقابله با آتش‌سوزی آموزش داده شوند. این آموزش باید شامل آگاهی از خطر، روش‌های نگهداری و ذخیره‌سازی مایعات آتش‌گیر و آشنایی با سیستم زنگ خطر و برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری باشد. علاوه بر این، باید نحوه به‌کارگیری کپسول‌های آتش‌نشانی نیز در آموزش مدنظر قرار گیرد (۵ و ۱۴). با توجه به عدم وجود دکتورها و سیستم‌های خودکار اطفاء حریق در پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، پیشنهادات مناسب در رابطه با الویت بالای استقرار تجهیزات مزبور در کلیه آزمایشگاه‌های این پژوهشکده ارائه گردید. راه‌های خروج اضطراری: آزمایشگاه باید مجهز به تعداد کافی راهروهای نجات و خروجی باشد. در کنار راهروهای

معرفی خطرات به کارکنان را تسریع بخشید. علائم ایمنی به عملکرد مناسب در برابر خطرات کمک می‌کند. استانداردهای متعددی جهت تولید علائم ایمنی در دنیا وجود دارد (۱۷ و ۱۹). با توجه به عدم به کارگیری مناسب علائم هشداردهنده و پوستره‌های ایمنی در اکثر آزمایشگاه‌های مورد بررسی، پیشنهادهایی در این خصوص به تفکیک آزمایشگاه‌ها به مسئولین ذی‌ربط ارائه گردید.

- وضعیت مناسب انبارها و چیدمان مواد شیمیایی: بسیاری از انواع مواد شیمیایی در زمره مواد شیمیایی خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند. لذا در اختیار داشتن اطلاعاتی در مورد ماهیت، غلظت و مقدار آن‌ها حائز اهمیت است. این اطلاعات حاوی نحوه واکنش یک ماده با سایر مواد یا پایداری و ناسازگاری آن با مواد دیگر می‌باشد. کلیه کارکنان آزمایشگاه باید در مورد مواد شیمیایی، خطرات آن‌ها و روش‌های حفاظتی مربوطه آموزش‌های کافی دیده باشند. شایان ذکر است که در رابطه با شیوه نگهداری انواع مختلف مواد شیمیایی (خورنده^{۱۴}، قابل اشتعال^{۱۵}، اکسیدکننده^{۱۶}، منفجره و ...) دستورالعمل‌های استاندارد وجود دارد که در صورت عدم توجه کافی به آن‌ها، بروز حوادث ناخوشایند مالی و جانی محتمل می‌باشد. (۱۷ و ۲۰). پس بازدید اولیه از کلیه آزمایشگاه‌های مورد بررسی مشخص گردید که وضعیت ایمنی و چیدمان مواد شیمیایی در برخی از آن‌ها مناسب نمی‌باشد. لذا متعاقباً توصیه‌های مناسب به منظور انجام اقدامات اصلاحی، به تفکیک آزمایشگاه‌ها ارائه گردید.

ضرورت انجام اقدامات اصلاحی

با توجه به شکل ۱ و جدول ۵ و همچنین معیارهای مندرج در بخش مواد و روش‌ها، سطح ریسک آزمایشگاه‌های پژوهشگاه اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان در تمامی موارد به جز آزمایشگاه بنتوز، در حد نیمه بحرانی و بحرانی قابل ارزیابی می‌باشد و لذا اجرای اقدامات اصلاحی مؤثر در راستای کاهش محسوس احتمال وقوع مخاطرات در مورد آن‌ها الزامی می‌باشد.

از دیدگاه تفاوت در هزینه مورد نیاز برای انجام اقدامات اصلاحی، می‌توان آن‌ها را در قالب سه گروه کلی زیر تبیین نمود:

الف) اقدامات اصلاحی پرهزینه: این اقدامات را می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی نمود: الف-۱) اقداماتی که برای انجام آن‌ها تغییراتی در ساختار آزمایشگاه‌ها الزامی می‌باشد (مانند احداث راه‌های خروج اضطراری) الف-۲) اقداماتی که در اجرای آن‌ها نصب برخی ابزار یا تجهیزات گران‌قیمت ضروری می‌باشد (مانند نصب سیستم‌های خودکار تشخیص و اطفاء حریق در تمامی آزمایشگاه‌ها).

ب) اقدامات اصلاحی قابل اجرا با هزینه کم و متوسط: در این

نجات (خروجی‌های اضطراری) ممکن است اتاق‌هایی را تعبیه کرد که به‌طور مستقل از ایمنی برخوردار باشند تا هنگام خطر بتوان از طریق آن‌ها نجات یافت. در ضمن نصب یک نقشه در آزمایشگاه که در آن محل خروجی‌های اضطراری مشخص شده باشد، ضروری می‌باشد (۱۵ و ۱۶). با توجه به عدم پیش‌بینی راه‌های خروجی اضطراری در هیچ‌یک از آزمایشگاه‌های مورد بررسی در این تحقیق، توصیه‌های جدی در این خصوص ارائه گردید.

- تفکیک پسماندها: به‌منظور حفظ سلامت پرسنل آزمایشگاه (و همچنین محیط زیست دریافت‌کننده پسماندها) مدیریت صحیح و علمی آن‌ها الزامی می‌باشد. یک برنامه مدیریت صحیح پسماندهای آزمایشگاهی شامل مراحل تفکیک (جداسازی)، آلودگی‌زدایی، ذخیره (انباشت)، حمل و نقل و دفع می‌باشد. (۱۷). با عنایت به عدم پیش‌بینی دستورالعمل‌های تفکیک پسماند در اکثر آزمایشگاه‌های پژوهشگاه مورد نظر، پیشنهادات مناسب در رابطه ضرورت تدوین و اجرای دستورالعمل‌های مربوطه ارائه گردید.

- وسایل حفاظت فردی: وسایل حفاظت فردی شامل وسایل حفاظت تنفسی، لباس‌ها و کفش‌های حفاظتی، وسایل مربوط به حفاظت صورت، چشم‌ها و دست‌ها و وسایل مربوط به پیشگیری از تجمع الکتریسیته ساکن می‌باشد. وسایل حفاظت فردی باید در برابر مخاطرات مربوط به آن دسته از مواد شیمیایی موجود در آزمایشگاه که کارکنان در معرض آن‌ها می‌باشد، حفاظت لازم را تأمین کنند (۱۷ و ۱۸). با توجه به عدم پیش‌بینی تدارک و استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب در برخی آزمایشگاه‌های پژوهشگاه مورد بررسی در این تحقیق (مشمول بر آزمایشگاه‌های بافت‌شناسی، جانورشناسی، بنتوز و فرآورده‌های دریایی)، پس از بازدید نخست ارزیابان، پیشنهادات تخصصی در رابطه با اهمیت خریداری و استفاده از تجهیزات مزبور به تفکیک کاربرد در آزمایشگاه‌های تخصصی مختلف ارائه گردید.

- دوش اضطراری و چشم‌شوی: دوش‌های اضطراری بهتر است در محل خروجی آزمایشگاه نصب شوند. طراحی آن‌ها باید طوری باشد که بتوان تمام نقاط بدن را با مقدار زیادی آب شستشو داد. علاوه بر این آزمایشگاه‌ها باید مجهز به سکوهایی باشند که متصل به منابع آب آشامیدنی باشند و ممکن است نزدیک دوش‌ها یا ظرف‌شویی آزمایشگاه باشند و باید طوری تعبیه شوند که بتوان هر دو چشم را فوری با مقدار آب زیاد و کافی شستشو داد (۱۵ و ۱۶). پس از بازدید اولیه از آزمایشگاه‌های پژوهشگاه مورد نظر، مشخص گردید که به نصب دوش اضطراری و چشم‌شوی توجه کافی نشده است و تجهیزات مزبور صرفاً در آزمایشگاه فرآورده‌های دریایی نصب شده‌اند.

- پوستره‌های ایمنی و علائم هشداردهنده: اصولاً با نصب علائم ایمنی در مکان‌های مناسب در محیط آزمایشگاه‌ها، می‌توان روند

را کاهش و به حد قابل قبول رساند. در هر دو مرحله قبل و بعد از اقدامات اصلاحی، اختلاف معنی داری میان آزمایشگاه‌های پژوهش‌شده از دیدگاه عدد الویت ریسک مشاهده می‌شود. کمترین میزان مخاطرات در آزمایشگاه‌های بنتوز و بافت‌شناسی مشاهده می‌شود و بیشترین مخاطرات در آزمایشگاه آماده‌سازی نمونه، اختلاف معنی داری بین مقادیر RPN در قبل و بعد از اقدامات اصلاحی مشاهده می‌گردد ($p > 0.05$). البته در این مورد نیز اقدامات انجام‌شده تأثیری در تغییر سطح ریسک نداشته است و کماکان در سطح بحرانی باقی‌مانده است. در مجموع می‌توان چنین استنتاج نمود که FMEA روشی مناسب برای ارزیابی مخاطرات کارکنان آزمایشگاه‌های تحقیقاتی می‌باشد و از روش‌های آماری مناسب نیز می‌توان برای تحلیل‌های تکمیلی استفاده نمود. استفاده از روش‌های آماری مناسب و مرتبط از جمله مزایای این تحقیق نسبت به اکثر تحقیقات مشابه منتشرشده در منابع علمی معتبر می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های آتی علاوه بر بررسی مخاطرات بالقوه مربوط به ایمنی پرسنل آزمایشگاه‌ها، مباحث زیست‌محیطی و بهداشتی نیز به‌طور همزمان در آزمایشگاه‌ها مورد بررسی قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه اجرای یک پروژه تحقیقاتی تحت عنوان "ارزیابی مخاطرات آزمایشگاه‌های پژوهش‌شده‌های تابعه موسسه تحقیقات علوم شیلاتی" مصوب موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور با کد ۱۲-۱۲-۱۲-۹۱۶۰-۹۲۰۰۱ است که در طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا شده است. نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را از پرسنل آزمایشگاه‌های پژوهش‌شده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان در این تحقیق ابراز می‌دارند.

خصوص می‌توان به اقداماتی نظیر نصب سیستم‌های تهویه عمومی، چشم‌شوی، دوش اضطراری و ... اشاره نمود.

ج) اقدامات اصلاحی بسیار کم‌هزینه یا بدون هزینه: در این رابطه می‌توان اقداماتی مانند تغییر در چیدمان تجهیزات و مواد شیمیایی، نصب پوستره‌های ایمنی و علائم هشداردهنده و برگزاری دوره‌های آموزشی مرتبط با را ذکر نمود. شایان ذکر است، پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که آموزش‌های ایمنی یکی از ابزارهای مؤثر در پیشگیری از بیماری‌ها و حوادث شغلی می‌باشد (۲۱).

با توجه به جدول ۵، متعاقب انجام برخی اقدامات اصلاحی در آزمایشگاه‌های پژوهش‌شده، سطح ریسک در تمامی آزمایشگاه‌ها (به‌جز آزمایشگاه بنتوز) همچنان در سطح نیمه بحرانی و بحرانی می‌باشد. به بیانی دیگر اقدامات اصلاحی انجام‌شده چندان ثمربخش نبوده است.

با توجه به اینکه بر اساس نتایج آزمون‌های کروسکال-والیس در هر دو مرحله قبل و بعد از اقدامات اصلاحی (جدول ۵)، اختلاف معنی داری میان آزمایشگاه‌های پژوهش‌شده از دیدگاه RPN مشاهده می‌شود، مراجعه به نتایج آزمون‌های posthoc در هر دو مرحله، نشانگر آن است که کمترین میزان مخاطرات در آزمایشگاه‌های بنتوز و بافت‌شناسی مشاهده می‌شود و بیشترین مخاطرات در آزمایشگاه تجزیه دستگاهی قابل تشخیص است. از سوی دیگر نتایج مربوط به گروه‌بندی آزمایشگاه‌ها با استفاده از آنالیز خوشه‌ای (شکل ۲) نیز تا حدود زیادی به نتایج آزمون‌های posthoc شباهت دارد.

نتیجه‌گیری

سطح ریسک در تمامی آزمایشگاه‌های پژوهش‌شده موردنظر به‌جز آزمایشگاه بنتوز، در حد نیمه بحرانی و بحرانی قابل ارزیابی می‌باشد. برخی از عوامل مؤثر در ایجاد مخاطرات ساختاری بوده و نیاز به تأمین منابع مالی کلان دارد در حال حاضر امکان رفع نارسایی‌ها وجود ندارد ولی می‌توان با بالا بردن سطح آموزش‌ها، ریسک خطر

References

1. International Association of Classification Societies. A Guide to Risk Assessment in Ship Operations. London 2004; Available from: http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Guidelines_and_recommendations/PDF/REC_127_pdf1842.pdf.
2. Mirza S, Omidvari M, Lavasani SMRM. The application of Fuzzy logic to determine the failure probability in Fault Tree Risk Analysis.

Safety promotion and injury prevention (Tehran). 2014;2(2):113-23.

3. Askaripoor T, Kazemi E, Aghaei H, Marzban M. Evaluating and comparison of fuzzy logic and analytical hierarchy process in ranking and quantitative safety risk analysis (case study: a combined cycle power plant). Safety Promotion and Injury Prevention. 2015;3(3):169-74.

4. Barends D, Oldenhof M, Vredendregt M, Nauta M. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. *J Pharm Biomed Anal.* 2012;64-65:82-6. [PubMed]
5. Pourang N, Baniamam M. A guideline on hazards, Health and safety in the research and laboratory works. Types of hazards and ergonomics in the laboratory. Iranian Fisheries Research Organization. 2011. p. 253.
6. Sharma RK, Kumar D, Kumar P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management.* 2005;22(9):986-1004.
7. Wang Y-M, Chin K-S, Poon GKK, Yang J-B. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert systems with applications.* 2009;36(2):1195-207.
8. Gupta PR, Shende MA, Shaikh DM. Ordinal logistic regression model of failure mode and effect analysis (FMEA) in direct compressible buccal tablet. *International Journal of Pharma Research & Review.* 2013; 2(6): 9-17.
9. Neshkov T, Stefanov A, Ivanov V. Application of PFMEA for Identification of Self Recovering Failures in Production Lines for Automatic Assembly of Capacitors, XI International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, Serbia, 2012, pp. 1-4.
10. Rakesh R, Jos BC, Mathew G. FMEA analysis for reducing breakdowns of a sub system in the life care product manufacturing industry. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology.* 2013;2(2):218-25.
11. Ebrahemzadih M, Halvani G, Shahmoradi B, Giahi O. Assessment and Risk Management of Potential Hazards by Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Method in Yazd Steel Complex. *Open Journal of Safety Science and Technology.* 2014;4(03):127.
12. Kangavari M, Salimi S, Nourian R, Askarian A. An application of failure mode and effect analysis (FMEA) to assess risks in petrochemical industry in Iran. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment.* 2015;2(2):257-63.
13. Organization World Health. Laboratory biosafety manual. Third, editor. Geneva: World Health Organization; 2004.
14. National Fire Operations Reporting System. Fire Emergency, National Fire Protection Association. 2009; Available from: <http://www.nfpa.org/index.asp>.
15. Furr AK. CRC handbook of laboratory safety. 5, editor: CRC press; 2000.
16. Alizadeh Azimi A, Tajrishi B, Kargar Razi M. A guideline on safety and protection for working with chemicals: Kavosh Ghalam Press; 2000.
17. Pourang N, Baniamam M, Motallebi A. A guideline on hazards, Health and safety in the research and laboratory works. Types of hazards of equipment and sampling laboratory. Iranian Fisheries Research Organization. 2013. p. 212. [pubMed]
18. Delkhosh M. Safety in the use of chemicals at work. 2005.
19. Zamanian Z, Afshin A, Davoudiantalab A, Hashemi H. Comprehension of workplace safety signs: A case study in Shiraz industrial park. *Journal of Occupational Health and Epidemiology.* 2013;2(1):37-43.
20. American Conference of Governmental Industrial Hygiene. Introduction to industrial hygiene. 2008.
21. Kiani F, Khodabakhsh MR. The role of supervisor in effectiveness of safety training session and changing employees' attitudes toward safety issues. *Safety promotion and injury prevention (Tehran).* 2015;3(1):49-56.