

ارائه یک روش سیستماتیک پیشگیرانه برای جلوگیری از آثار نامطلوب آموزش برخط دروس دانشگاهی، طی همه‌گیری کووید-۱۹

حمید حق شناس گرگانی^۱، علیرضا جهان‌تغ پاک^۲، علیرضا حائری‌زاده نبوی^۳ و شریف شعبانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۴

DOI: 10.22047/IJEE.2022.324478.1882

چکیده: بحران همه‌گیری کووید-۱۹ و نیاز به آموزش برخط دروس دانشگاهی، با توجه به عدم آمادگی و نبود زیرساخت‌های کافی، چالش‌های جدی برای دانشجویان، اساتید و سامانه آموزشی ایجاد نموده است. محدودیت منابع و زمان، اولویت‌بندی پیامدهای منفی بر اساس میزان خطر آنها را به صورت پیشگیرانه ضروری می‌سازد. یک ابزار بسیار کارآمد در این مورد، FMEA است که به تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن می‌پردازد. این پژوهش، با پیشنهاد یک الگوریتم ۱۰ مرحله‌ای بر مبنای FMEA و با استفاده از نظرسنجی از ۱۲۰ دانشجوی شرکت‌کننده در کلاس‌های برخط، حالات متداول خرابی، شدت اثر، احتمال وقوع و امکان تشخیص پیشگیرانه آنها را استخراج و بر اساس میزان خطر اولویت‌بندی نموده است. سپس با ارائه اقدامات اصلاحی، راهکارهایی در جهت حذف یا کاهش آثار منفی آن ارائه و پیش‌بینی‌هایی در مورد آثار به کار بستن این راه‌حل‌ها انجام داده، در پایان فهرستی از مهم‌ترین اقداماتی را که می‌توان انجام داد تا از مهم‌ترین پیامدهای ناخوشایند آموزش برخط جلوگیری شود ارائه نموده است.

واژگان کلیدی: همه‌گیری کووید-۱۹، آموزش برخط، استرس آموزشی، تحلیل خطر، روش نظام‌مند پیشگیرانه

۱- عضو هیئت علمی مرکز مهارت‌های مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. نویسنده مسئول (h.haghshenas@sharif.edu)

۲- عضو هیئت علمی مرکز مهارت‌های مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. (jahantigh@sharif.edu)

۳- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. (alirezaharizadeh@yahoo.com)

۴- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. (sharifshabani@gmail.com)

۱. مقدمه

با شیوع همه‌گیری کووید-۱۹ در مدت زمان کوتاهی سامانه‌های آموزشی با چالش‌های فراوانی مواجه شدند. اعلام لزوم فاصله‌گذاری اجتماعی از طرف سازمان جهانی بهداشت، به‌عنوان تنها راه ممکن برای جلوگیری از گسترش بیماری، به‌سرعت باعث تعطیلی مراکز آموزشی در سراسر جهان گشت (Adedoyin & Soykan, 2020). آموزش از راه دور یک پدیده نوظهور نبوده و از دهه‌های آخر قرن بیستم مورد توجه بوده است (Ribeiro et al., 2020). اما این شیوه، در موقعیتی به‌عنوان یک راهکار مورد استفاده قرار گرفت که زیرساخت‌ها و پروتکل‌های این روش آموزشی، آماده و در خور حجم گسترده نیازهای پدید آمده نبود. کمبود امکانات مناسب و نبود آموزش صحیح در مورد این شیوه علم‌آموزی، مشکلات زیادی برای آموزش دهندگان، آموزش‌گیرندگان (در اینجا دانشجویان) و نظام آموزشی، به‌خصوص آموزش دانشگاهی پدید آورد (Corbera et al., 2020; Hamid et al., 2020).

با وجود گذشت مدت زمان قابل توجهی از شیوع اولیه این بیماری، انتظار می‌رود جامعه جهانی فرصت زیادی برای رهایی از اثرات آن و بازگشت به شرایط قبل از همه‌گیری نیاز داشته باشد. با توجه به این موضوع و در نظر گرفتن احتمال وقوع همه‌گیری‌ها و یا بحران‌های بزرگ دیگر، اهمیت بررسی و موشکافی آموزش از راه دور هر چه بیشتر پدیدار می‌شود. همچنین، احتمال داده می‌شود استفاده گسترده از آموزش برخط در زمان همه‌گیری، در بسیاری از زمینه‌ها، رویه‌ای برگشت‌ناپذیر و همیشگی باشد. بنابراین، بررسی چالش‌ها و اثرات مخرب آموزش از راه دور و تلاش برای حذف و یا کاهش شدت این مشکلات از اهمیت بسیاری برخوردار است (Corbera et al., 2020; Mukhtar et al., 2020).

در ابتدا لازم به توضیح است که واژه‌های «آموزش از راه دور» و «آموزش برخط» کاملاً معادل نیستند و در واقع آموزش برخط گونه خاصی از آموزش راه دور محسوب می‌شود. ضرورت برگزاری غیرحضوری فعالیت‌ها و از جمله فرایندهای آموزشی به‌منظور جلوگیری از شیوع ویروس کووید ۱۹ ما را به سمت استفاده از آموزش از راه دور سوق می‌دهد. در این بین گونه‌های مختلفی از آموزش راه دور می‌توانند به کار گرفته شوند. حال آنکه، با توجه به ماهیت ناگهانی بحران ایجادشده، اهمیت واکنش سریع به نیازهای جامعه و محدودیت‌هایی که در زمان و هزینه‌ها وجود دارد، باید در دسترس‌ترین، عملی‌ترین و کم‌هزینه‌ترین نوع آموزش از راه دور که در حال حاضر «آموزش برخط» است، در شرایط موجود به کار گرفته شود. لذا در بخش‌های مختلف این پژوهش، گاهی این دو مفهوم معادل هم گرفته شده و به جای دیگر استفاده شده‌اند (Gorgani & Shabani, 2021; Phanse, 2021; Pokhrel & Chhetri, 2021). همچنین منظور از آموزش، تنها ارائه و تدریس نبوده، با در نظر گرفتن کلیه ذی‌نفعان فرایند آموزش دانشگاهی، تمامی مراحل شامل برنامه‌ریزی آموزشی، تدریس، ارزشیابی مستمر، آزمون نهایی، پروژه‌های احتمالی و بررسی بازخوردها را شامل می‌شود (Gorgani & Pak, 2020).

در کنار مزایای فراوان آموزش برخط، اثرات نامطلوب متعددی نیز در این مورد مطرح گردیدند

که عمده آنها ناشی از ماهیت ناگهانی بحران همه‌گیری ایجاد شده و آماده نبودن زیرساخت‌ها و راهبردهای مناسب در نظام آموزشی، مهارت ناکافی مدرسین به استفاده کامل از فناوری‌های نوین دیجیتال و عدم آشنایی دانشجویان با این روش‌ها به جای آموزش حضوری بوده است (Phanse, 2021; Danchikov et al., 2021).

این موارد باعث بروز نگرانی‌هایی در مورد حفظ استانداردهای آموزشی، عدم دسترسی یکسان برای همه فراگیرندگان و جنبه‌های مربوط به عادلانه بودن آموزش، شیوه‌های آموزش و ارزیابی نامناسب و در نتیجه کاهش اثربخشی آموزش و بروز مشکلات جسمی و روحی متعدد در اثر کاهش تحرک، محیط غیراستاندارد و کم شدن ارتباطات رودرو گردیده است که به عنوان دسته‌های اصلی اثرات نامطلوب این نوع آموزش شناخته می‌شوند (Danchikov et al., 2021; Debes, 2021; Nikolopoulou, 2022).

ریمبا و همکارانش در سال ۲۰۲۰ پس از تجربه آموزش برخط برای دانشجویان و دانش‌آموزان در یک نیمسال به این نتیجه رسیدند که روش برخط منجر به توزیع غیریکنواخت و همچنین عدم دسترسی کامل همه افراد شده و باعث کاهش اثربخشی آموزش می‌شود (Hamid et al., 2020). همچنین بوژکورت و شرما در پژوهش دیگری علت این کاهش را عادت کردن مدرسان به روش‌های سنتی تدریس در قالب سخنرانی‌های حضوری بیان کرده‌اند. از طرف دیگر خاطرنشان ساخته‌اند که برخی دانشجویان با محدودیت منابع مالی مواجه بوده، ممکن است کلاس‌های برخط را از دست بدهند. به عبارتی، این شکاف دیجیتالی ممکن است شکاف نابرابری‌های آموزشی را افزایش دهد (Bozkurt & Sharma, 2020). در یک تحقیق گروهی دیگر در سال ۲۰۲۰، تأکید شده است که رویکرد جدید آموزش برخط، باعث بروز آسیب‌های مختلف جسمی، روحی و اقتصادی به همه طرف‌های ذی‌نفع می‌گردد (Boz-kurt et al., 2020). همچنین مقالات متعددی روی موضوع استرس آموزشی در این بحران ایجاد شده پرداخته‌اند. از آن جمله، روبا به بررسی مهم‌ترین عوامل ایجاد این استرس پرداخته و به این نتیجه رسیده که دلیل عمده آن ترس از نحوه ارزشیابی و امتحانات پایان نیمسال است (Moawad, 2020). در مقابل مقالات زیادی به موضوع امنیت و اعتبار ارزشیابی برخط پرداخته‌اند. لیکن بسیاری از عوامل استرس‌زا به صورت ناخواسته در روش‌های پیشنهادی آنان به چشم می‌خورد. به عنوان مثال، گاماژ و همکاران یکی از این پیشنهادات را در مورد نحوه تحویل تکالیف و برگزاری آزمون‌ها (بدون در نظر گرفتن اثرات نامطلوب بر دانشجویان و صرفاً با هدف تأمین صحت امتحان) ارائه کرده‌اند (Gamage et al., 2020). البته مقالاتی نیز به طور خاص به روش‌های حذف یا تخفیف اثرات منفی آزمون‌های برخط اشاره نموده‌اند. از جمله حق شناس گرگانی و شعبانی در ۲۰۲۱ روشی با استفاده از FMEA، QFD و K-Means ارائه کرده‌اند (Gorgani & Shabani, 2021). برخی مقالات نیز به طور کلی (نه فقط در آموزش برخط) نحوه برگزاری عادلانه آزمون‌ها را مد نظر قرار داده‌اند. برای نمونه، حق شناس و جهان‌تبیغ در ۲۰۲۰، یک روش ارزیابی فازی در تصحیح اوراق امتحانی دروس ترسیمی رشته‌های مهندسی پیشنهاد

نموده‌اند (Haghshenas Gorgani & Jahantigh Pak, 2020). در مقالات متعددی نیز به مهم‌ترین دلایل افت احتمالی نتایج آموزش برخط پرداخته شده است. به‌عنوان یک نمونه، کلارک و دیگران مهم‌ترین علل نابرابری در نتایج و افت احتمالی را کیفیت مدرسان و میزان برخورداری از امکانات دیجیتال دانسته‌اند (Clark et al., 2021).

از سوی دیگر، روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی و اثرات آن^۱ که معمولاً در صنایع مختلف برای تضمین کیفیت و قابلیت اطمینان سامانه‌ها، خدمات و پروژه‌ها استفاده می‌شود (Huang et al., 2020)، می‌تواند در زمینه آموزش و با هدف بهبود فرایند یادگیری و کاهش مشکلات و موانع آموزش به کار رود (Bartolomé & Benítez, 2021; Gorgani, 2016). به‌طور خاص، در میانه همه‌گیری فعلی کرونا که نظام آموزشی را با چالش‌های فراوان مواجه کرده است، در یک آنالوژی میان فرایند آموزش و یک محصول مهندسی، فرایند FMEA می‌تواند به شناسایی و مقابله با مشکلات فعلی کمک شایانی بکند (Gorgani & Pak, 2020).

نمونه‌های متعددی از استفاده از FMEA در فرایندهای انسانی و خدماتی و به‌صورت خاص در آموزش وجود دارد. در سال ۲۰۱۱، Boylan از FMEA برای ارزیابی خطر راهبردهای آموزشی موجود در مؤسسه خود در اجرای آموزش‌های الکترونیکی استفاده نمود (Boylan, 2011). در سال ۲۰۱۶، حق‌شناس گرگانی از FMEA برای یافتن حالت‌های خرابی تکرارشونده و توصیه‌های برای بهبود تدریس تئوری تصاویر در درس نقشه‌کشی مهندسی پرداخت (Gorgani, 2016) تعداد ۲۴ خطر ممکن که می‌تواند مانع اجرای موفقیت‌آمیز آموزش الکترونیکی شود، شناسایی کرده، مقدار عدد اولویت خطر هر یک را تعیین و راهکارهایی ارائه نموده‌اند (Muqtadiroh et al., 2017). در همین سال مقاله دیگری، از ترکیب FMEA و منطق فازی برای بررسی حالت‌های خرابی و اولویت خطر در آموزش پروژه محور مهندسی نرم‌افزار در کشور ژاپن استفاده و به خوشه‌بندی حالت‌ها پرداخته، در نهایت با یک روش طراحی آزمایشات آن را صحت‌گذاری کرده است (Khuankrue et al., 2017). در پژوهش دیگری در سال ۲۰۲۰، آموزش را به‌عنوان یک خدمت برای دانشگاه هلینیک در یونان تلقی و با پیاده‌سازی FMEA حالت‌های بالقوه خرابی، علل، عدهای وقوع، شدت و اولویت خطر را به دست آورده است (Anasta - Siadou & Zirinoglou, 2020). در همین سال لئونارد و همکاران از این تحلیل برای بررسی خطر امنیت اطلاعات در آموزش برخط بهره برده‌اند (Leonard et al., 2020). برای بهبود فرایند یادگیری فعال، در تحقیقی در سال ۲۰۲۱ از پیاده‌سازی FMEA بر روی مطالعه موردی درس تئوری ماشین‌ها و سازوکارها به روش آموزش مشارکتی پروژه‌محور (SRP) استفاده و اقدامات اصلاحی برای بحرانی‌ترین حالت‌ها در نظر گرفته شده است (Bartolomé & Benítez, 2021). در نهایت در همین سال، حق‌شناس گرگانی و

شعبانی از همین الگوریتم و ترکیب آن با K-means و به کارگیری تابع کیفیت در یافتن حالت های خرابی بحرانی برای آزمون های برخط و تمهیداتی برای جلوگیری از آنها بهره جسته اند (Gorgani & Shabani, 2021).

این پژوهش، در پی پاسخگویی به سه سؤال اساسی است. اول آنکه اثرات نامطلوب پیش آمده و تهدیدکننده سلامتی روحی و جسمی کدام اند؟ دوم آنکه با توجه به محدودیت زمان و منابع و به تبع آن ضرورت اولویت بندی در حل مشکلات، معضلات پرخطرتر جهت اولویت در تخصیص منابع و زمان کدام اند؟ و در نهایت آنکه چه راه حل هایی می توانیم برای حالات خرابی پرخطر ارائه کنیم و در صورت به کارگیری این راه حل ها، میزان اثرگذاری احتمالی چقدر خواهد بود؟ نوآوری این پژوهش به کارگیری روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی با مرتب سازی حالات خرابی بر اساس معیارهای شدت، وقوع و تشخیص، و ارائه معیار مناسبی برای شناسایی نامطلوب ترین حالات تهدیدکننده سلامت روحی و جسمی و سپس، استفاده از راهکارهای اصلاحی برای حذف یا کاهش اثرات آنها به صورت پیشگیرانه است.

۲. مواد و روش ها

به منظور شناسایی، اولویت بندی و تحلیل خطر اثرات نامطلوب و مشکلات ایجاد شده در اثر آموزش از راه دور از FMEA که یک روش مهندسی با رویکرد پیشگیرانه است استفاده می کنیم. مبنای روش FMEA تعیین اثرات هر حالت بالقوه خرابی، احتمال وقوع و امکان تشخیص پیشگیرانه آن بوده است که در نهایت با محاسبه عدد اولویت خطر (RPN) به عنوان خروجی (که معیاری از میزان خطر آن حالت است) امکان اولویت بندی آنها را فراهم می سازد. این الگوریتم معمولاً بر روی یک محصول مهندسی، یک فرایند تولیدی یا نوعی از خدمات انجام می شود (Gorgani, 2016). در اینجا با برقراری تشابه میان فرایند تدریس برخط، با یک فرایند تولیدی از FMEA به منظور بهبود آن استفاده خواهیم نمود. بر این اساس گام های زیر در نظر گرفته شده است.

گام ۱: تشکیل گروه چندتخصصی:

با توجه به ماهیت فرایند موجود و نیاز به وجود شناخت کامل از آن و نیز تخصص در آسیب های ممکن از یک گروه متشکل از ۳ نفر دانشجو، ۳ نفر استاد، ۱ نفر کارشناس آموزش، ۱ نفر پزشک، ۱ نفر روان شناس، ۱ نفر فارغ التحصیل مکانیک و ۱ نفر متخصص رایانه و شبکه در این فرایند استفاده شده است. رویکرد انجام مراحل، استفاده از روش هایی همچون طوفان مغزی^۲ و ترسیم نمودار استخوان

ماهی^۱ برای تمامی مراحل تحلیل بوده، بر حسب نیاز در هر مرحله جلسات لازم تشکیل گردیده است.

گام ۲: تعیین ذی نفعان فرایند:

با توجه به نظرات حاضران در جلسه گروه چند تخصصی ذی نفعان به سه دسته دانشجویان، اساتید و نظام آموزش تقسیم گردیدند. بر این اساس مقرر گردید در هر جلسه از گروه‌های تخصصی حتماً اعضای از هر سه این دسته‌ها حضور داشته باشند.

گام ۳: تهیه فرم نظرسنجی:

با توجه به نیاز فرایند FMEA فرم نظرسنجی با سؤالات زیر تهیه گردید:

۱. فهرست مشکلات جسمی و روحی و نیز اختلال‌های ایجاد شده در فرایند آموزشی برخط را بنویسید.
۲. اثرات هر یک از مشکلات نام برده شده در سؤال اول را بر فرایند یادگیری، سلامت عمومی جسمی-روانی و روال‌های حاکم بر زندگی خود بیان کنید.
۳. چگونه از بروز این مشکلات آگاهی یافته‌اید (مثال: درد، تاری دید، مراجعه به پزشک، خستگی و ...)
۴. چگونه این مشکلات را درمان کرده‌اید (و اگر درمان صورت نپذیرفته، علت آن چه بوده است)?

گام ۴: تکمیل فرم‌های نظرسنجی:

فرم تهیه شده به صورت برخط در اختیار دانشجویان حاضر در کلاس‌های برخط قرار گرفت و از آنها خواسته شد به سؤالات مطرح شده پاسخ دهند و توضیحات لازم را قید نمایند. البته ممکن است پاسخ‌های خام قابل دسته‌بندی و نتیجه‌گیری صحیح نباشند.

گام ۵: دسته‌بندی فنی و بازنگری فرم‌های نظرسنجی:

ممکن است پاسخ‌های داده شده به وسیله مخاطبان نظرسنجی در موارد مشابه، با بیان‌های متفاوتی گفته شده باشد. لذا برای یک دسته‌بندی جامع و فنی و داشتن یک سری داده آماری صحیح، لازم است فرم‌ها به وسیله افراد متخصص بازنگری و موارد بیان شده در آن، در یک بانک داده جدید به صورت فنی بازنویسی شود. این کار به وسیله ۳ نفر از اعضای گروه چند تخصصی شامل یک نفر از اساتید و دو نفر از دانشجویان صورت گرفته است.

گام ۶: تهیه فرمت حالت‌های خرابی و اثرات آن: داده‌های تهیه شده در گام ۵ در جلسه گروه چند تخصصی مورد بررسی قرار گرفته و مهم‌ترین مشکلات موجود به عنوان "حالت‌های خرابی" فهرست

شده است و در جدولی مانند جدول ۵ نوشته می شود. در ستون بعدی این جدول مطابق نظرات ثبت شده در فرم‌ها و دسته بندی شده برای هر حالت خرابی مهم ترین اثر یا اثرات آن بر کاربرد در مقابل آن نوشته می شود. سپس با استفاده از جدول ۱ به میزان شدت هر اثر، عددی از ۱ تا ۱۰ نسبت داده می شود. چنان که دیده می شود، عدد ۱ کمترین شدت و عدد ۱۰ بیشترین شدت اثر را نشان می دهند. این عدد شدت با 'S' نمایش داده می شود.

جدول ۱. مقادیر پیشنهادی برای اعداد شدت (این جدول به پیشنهاد گروه چند تخصصی عددگذاری شده است و می تواند تغییر کند)

توضیح	عدد شدت
خطرات جانی	۱۰
ناتوانی شدید - محدودیت های دائمی در حرکت	۹
محدودیت های حرکتی با درمان سخت	۸ و ۷
محدودیت های حرکتی با قابلیت درمان متوسط	۶ و ۵
محدودیت های حرکتی با قابلیت درمان آسان	۴
محدودیت های حرکتی بدون نیاز به درمان	۳ و ۲
بدون اثر	۱

گام ۷: تعیین دلایل بروز هر حالت خرابی و تعیین عدد وقوع

در این مرحله گروه چند تخصصی، طی یک جلسه و با استفاده از طوفان فکری به بحث در مورد دلیل یا دلایل بروز هر حالت خرابی پرداخته، آن را در جدولی مانند جدول ۵ ثبت می نماید. پس از آن، با استفاده از آمار تهیه شده در گام ۵، تعداد موارد گزارش شده از هر حالت خرابی را تعیین و درصد آن را نسبت به کل داده ها مشخص می کنند. عدد وقوع^۲ بر مبنای این درصد و با استفاده از جدول ۲ تعیین می گردد. بیشترین عدد وقوع ۱۰ و کمترین آن ۱ خواهد بود. عدد وقوع با "O" نمایش داده می شود.

جدول ۲. مقادیر پیشنهادی برای اعداد وقوع (این جدول به پیشنهاد گروه چند تخصصی عددگذاری شده است و می تواند تغییر کند)

توضیح	عدد وقوع	توضیح	عدد وقوع
گزارش شده توسط ۲۰٪ الی ۲۹٪	۵	گزارش شده توسط بیش از ۷۰٪	۱۰
گزارش شده توسط ۱۰٪ الی ۱۹٪	۴	گزارش شده توسط ۶۰٪ الی ۶۹٪	۹
گزارش شده توسط ۶٪ الی ۹٪	۳	گزارش شده توسط ۵۰٪ الی ۵۹٪	۸
گزارش شده توسط ۳٪ الی ۵٪	۲	گزارش شده توسط ۴۰٪ الی ۴۹٪	۷
گزارش شده توسط کمتر از ۲٪	۱	گزارش شده توسط ۳۰٪ الی ۳۹٪	۶

گام ۸: تعیین نحوه شناسایی هر حالت خرابی و عدد تشخیص

در این گام با استفاده از سؤال سوم نظرسنجی (چگونگی اطلاع یافتن افراد از وجود مشکل) کنترل‌های پیشگیرانه (یا علائم هشدار قبل از وقوع) برای هر حالت خرابی در ستون بعدی و در مقابل آن حالت، در فرمت جدول ۵، فهرست می‌شوند. بر مبنای جدول ۳ و پس از مشورت در گروه چند تخصصی به روش تشخیص هر حالت خرابی به صورت پیشگیرانه یک عدد تشخیص^۱ با نماد "D" اختصاص می‌یابد. هر قدر تشخیص آسان‌تر، هشدار جدی‌تر و نوع تشخیص پیشگیرانه‌تر باشد عدد D مقدار کمتر و هر قدر تشخیص دشوارتر و نزدیک‌تر به بروز مشکل باشد، عدد D مقدار بیشتری خواهد داشت. همچون اعداد S و O، عدد D نیز بین ۱ تا ۱۰ مقداردهی می‌شود.

جدول ۳- مقادیر پیشنهادی برای اعداد تشخیص (این جدول به پیشنهاد گروه چند تخصصی عددگذاری شده است و می‌تواند تغییر کند)

توضیح	عدد تشخیص
احتمال تشخیص کم، قبل از آسیب جدی	۱ و ۹
امکان تشخیص فقط توسط متخصص	۸ و ۷
احتمال تشخیص زیاد، در صورت استفاده از روش‌های کنترلی	۶ و ۵
علامت هشداردهنده جدی اما غیرقطعی	۴ و ۳
تشخیص پیشگیرانه قطعی با علائم واضح و اختلال در کار	۲ و ۱

گام ۹: تعیین اولویت خطر هر حالت خرابی:

پس از تعیین سه عدد S, O, D عدد اولویت خطر (RPN)، از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

بدیهی است با توجه به اینکه دامنه هر یک از اعداد شدت وقوع و تشخیص بازه [۱،۱۰] می‌باشد، دامنه RPN، بازه [۱،۱۰۰۰] خواهد بود. حال می‌توان یک عدد آستانه برای RPN در نظر گرفت و مقادیر بالاتر از آن را بحرانی دانست.

البته تنها حالت‌هایی که RPN آنها بالاتر از حد آستانه باشد، بحرانی محسوب نمی‌شوند، چراکه ممکن است یک حالت خرابی به علت اعداد وقوع و تشخیص پائین دارای مقدار RPN زیادی نباشد، اما شدت بالایی داشته باشد. شدت اثرهای بالا حتی با وقوع کم و تشخیص بالا هم می‌توانند مشکلات جدی محسوب شوند، لذا در مراجع مختلف توصیه شده است که حالت‌های دارای شدت ۸،۹ یا ۱۰ با هر مقدار RPN، بحرانی محسوب شوند (Gorgani & Shabani, 2021). بر این اساس فهرستی از حالت‌های بحرانی تعیین می‌گردد.

گام ۱۰: در نظر گرفتن اقدامات اصلاحی برای حالت های بحرانی

در نظر گرفتن اقدام اصلاحی برای حالت های بحرانی باهدف کاهش خطر آنها صورت می گیرد. لذا چنانچه بحرانی بودن یک حالت به علت بالابودن RPN آن است باید از طریق اقداماتی یک یا چند عامل تشکیل دهنده RPN (شامل اعداد شدت، وقوع یا تشخیص) کاهش یابد تا RPN به زیر حد آستانه برسد. همچنین اگر بحرانی بودن آن حالت به علت بالابودن شدت بدون لحاظ RPN بوده است، منحصراً باید از طریق کاهش شدت آن اصلاح گردد. مجموعه ای از این اقدامات اصلاحی فهرست شده و پیش بینی می شود که پس از انجام، وضعیت بحرانی آن حالت رفع گردد. مقدار RPN و یا شدت (بسته به نوع بحرانی بودن) پس از به کار بستن این اقدام نیز به صورت کمی پیش بینی می گردد. در نهایت، فهرست اقدامات اصلاحی حاصل از این الگوریتم به عنوان اقداماتی که در صورت انجام فرایند آموزش دروس دانشگاهی به صورت برخط را بهبود خواهد بخشید، ارائه می گردد.

۳. نتایج و بحث

با توجه به توضیحات بخش مواد و روش ها، نظرسنجی به صورت برخط از تعداد ۱۲۰ نفر از دانشجویان درس نقشه کشی صنعتی ۱ و نقشه کشی مهندسی مکانیک که کلاس درس آنها در نیمسال بهار ۱۴۰۰ به صورت مجازی برگزار شده بود، انجام گرفت.

پس از جمع آوری فرم های نظرسنجی، دسته بندی و بازنویسی متن فرم ها و تهیه آمار مطابق گام ۵ صورت پذیرفته، حالات مختلف خرابی و فراوانی آنها مطابق جدول ۴ گزارش گردید. بر اساس این جدول، ۱۴ حالت خرابی استخراج و درصد موارد گزارش شده هر یک محاسبه و بر مبنای جدول ۲، عدد وقوع مناسب به آن نسبت داده شد.

جدول ۴. حالات خرابی و تعداد موارد گزارش شده آن ها

شماره	حالت خرابی	تعداد موارد گزارش شده (از ۱۲۰ نفر)	درصد	عدد وقوع
۱	نشانگان تونل کارپال مچ دست (CTS)	۱۵	۱۲/۵	۴
۲	آسیب و پارگی تاندون ها	۸	۶/۷	۳
۳	کشیدگی عضلات کف دست و انگشتان	۹۰	۷۵/۰	۱۰
۴	برخورد دست با اجسام نوک تیز	۴۰	۳۳/۳	۶
۵	ناراحتی مچ دست	۳۸	۳۱/۷	۶
۶	فشار بر عضلات ساعد و بازو	۷۲	۶۰/۰	۹
۷	برخورد بازو و ساعد با اشیا نوک تیز	۲۱	۱۷/۵	۴
۸	گردن درد	۵۸	۴۸/۳	۷
۹	گرفتگی و درد عضلات کمر	۹۲	۷۶/۷	۱۰

ادامه جدول ۴

شماره	حالت خرابی	تعداد موارد گزارش شده (از ۱۲۰ نفر)	درصد	عدد وقوع
۱۰	فتق دیسک کمر	۱۸	۱۵/۰	۴
۱۱	گرفتگی، اسپاسم و خشکی عضلات ران پا	۲۱	۱۷/۵	۴
۱۲	پارگی مینیسک	۱	۰/۸	۱
۱۳	خستگی ذهنی	۹۳	۷۷/۵	۱۰
۱۴	خستگی چشم	۹۸	۸۱/۷	۱۰

در مرحله بعد، اثرات هر حالت خرابی با توجه به پرسش نامه تکمیل شده به وسیله شرکت کنندگان در نظرسنجی و همچنین نظرات اعضای گروه چندتخصصی ثبت و با استفاده از جدول ۱، عدد شدت مناسب به آن تعلق گرفت.

همچنین با توجه به نحوه مطلع شدن افراد شرکت کننده در نظرسنجی از بروز مشکل مورد نظر و نیز نحوه درمان، نیز با توجه به نظرات و هم اندیشی اعضا حاضر در گروه چندتخصصی، نحوه کنترل پیشگیرانه هر حالت تعیین و با توجه به آن و نیز بر مبنای جدول ۳، عدد تشخیص مناسب هر حالت تعیین گردید. در نهایت با استفاده از رابطه (۱) مقدار عدد اولویت خطر (RPN) هر حالت خرابی محاسبه شد. حاصل تمامی مراحل در جدول ۵ درج گردیده است.

همچنین نمودار شکل های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به صورت مقایسه ای اعداد شدت، وقوع، تشخیص و RPN حالت های خرابی را نشان می دهند.

جدول ۵. نتایج پیاده سازی روش FMEA

شماره	حالت خرابی	اثرات	شدت	عامل	وقوع	کنترل پیشگیرانه	تشخیص	RPN
۱	نشانگان تونل کارپال مج دست (CTS) (Genova et al., 2020)	ضعف عملکردی دست تحلیل عضلانی دست کمرختی دست و انگشتان سوزش و خارش دست و انگشتان	۷	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور انجام حرکات تکراری در طولانی مدت	۴	عکس برداری پزشکی توسط متخصص درد محدودیت حرکتی	۷	۱۹۶
۲	آسیب و پارگی تاندون ها (Hess et al., 1989)	نقص حرکتی انگشتان	۸	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور	۳	محدودیت حرکتی	۸	۱۹۲

شماره	حالت خرابی	اثرات	شدت	عامل	وقوع	کنترل پیشگیرانه	تشخیص	RPN
۳	کشیدگی عضلات کف دست و انگشتان (Okinaka & Wada, 2021)	درد در ناحیه انگشتان و دست	۳	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور انجام حرکات تکراری در طولانی مدت	۱۰	درد	۳	۹۰
۴	برخورد دست با اجسام نوک تیز (Borhany et al., 2018)	بریدگی، خراش و کبودی دست و انگشتان	۵	اضطراب امکانات و لوازم ناکافی و نامناسب	۶	خونریزی درد خراشیدگی	۳	۹۰
۵	ناراحتی مچ دست (Ferguson et al., 2019)	تورم مچ دست درد مچ دست	۵	ارتفاع نامناسب مکان‌های صفحه‌کلید و ماوس چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور	۶	درد ظاهر	۴	۱۲۰
۶	فشار بر عضلات ساعد و بازو (Shankar et al., 2022)	درد در بازو و یا ساعد خستگی مزمن بالای بازو	۴	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور نشستن طولانی مدت پشت میز انجام حرکات تکراری در طولانی مدت	۹	درد	۳	۱۰۸
۷	برخورد بازو و ساعد با اشیا نوک تیز (Reddy et al., 2017) (Azar-Cavanagh et al., 2007)	بریدگی، خراش و کبودی در ساعد و یا بازو	۵	ارتفاع نامناسب مکان‌های صفحه‌کلید و ماوس امکانات و لوازم ناکافی و نامناسب	۴	خونریزی درد خراشیدگی	۳	۶۰

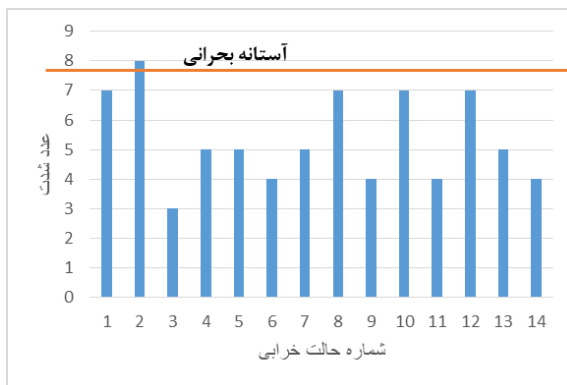
ادامه جدول ۵

شماره	حالت خرابی	اثرات	شدت	عامل	وقوع	کنترل پیشگیرانه	تشخیص	RPN
۸	آرتروز گردن Kazeminasab (et al., 2022)	درد شانه	۷	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور	۷	عکس برداری پزشکی توسط متخصص	۸	۳۹۲
				نگه داشتن تلفن بین سر و شانه				
				نشستن به صورت خمیده به سمت مانیتور				
				نشستن با عضلات منقبض شده				
		نشستن طولانی مدت پشت میز		درد در گردن و سر				
		داشتن سابقه خانوادگی آرتروز						
		انجام حرکات تکراری در طولانی مدت						
۹	گرفتگی و درد عضلات کمر Andersson, 1999) (Purcell, 2009)	درد مزمن پشت	۴	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور	۱۰	درد	۳	۱۲۰
				نشستن به صورت خمیده به سمت مانیتور				
				نشستن با عضلات منقبض شده				
				نشستن طولانی مدت پشت میز				
				ارتفاع نامناسب مکان های صفحه کلید و ماوس				
				اضافه وزن				
				اختلالات غدد درون ریز				
				فشار درسی بیش از حد				
				انجام حرکات تکراری در طولانی مدت				

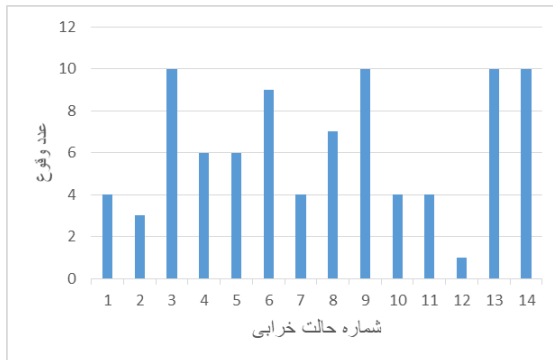
شماره	حالت خرابی	اثرات	شدت	عامل	وقوع	کنترل پیشگیرانه	تشخیص	RPN
۱۰	فتق دیسک کمر (Amin et al., 2017)	درد مزمن پایین کمر	۷	نشستن به صورت خمیده به سمت مانیتور	۴	عکس برداری پزشکی توسط متخصص	۸	۲۲۴
				ارتفاع نامناسب مکان های صفحه کلید و ماوس				
				اضافه وزن				
				داشتن سابقه آرتروز				
				اختلالات غدد درون ریز				
انجام حرکات تکراری در طولانی مدت								
۱۱	گرفتگی، اسپاسم و خشکی عضلات ران پا (Giuriato et al., 2018)	درد مزمن در پا	۴	آویزان بودن پاها هنگام نشستن بر روی صندلی	۴	درد	۳	۴۸
		تورم پا		انجام حرکات تکراری در طولانی مدت				
۱۲	پارگی مینیسک (Bhan, 2020)	ناتوانی یا محدودیت حرکت در پاها	۷	چرخش یا کشش تنه برای دستیابی به اجسام مجاور	۱	محدودیت حرکتی عکس برداری پزشکی توسط متخصص	۶	۴۲
۱۳	خستگی ذهنی (Li et al., 2020)	کسالت	۵	نشستن طولانی مدت پشت میز	۱۰	تشخیص تنها توسط متخصص	۴	۲۰۰
				سروصدای محیط				
				وجود نور شدید یا خیره کننده				
				دمای نامناسب محیط				
		اختلالات غدد درون ریز						
		فشار درسی بیش از حد						
		اضطراب						
		انجام حرکات تکراری در طولانی مدت						
عصبی بودن								
اضطراب								

ادامه جدول ۵

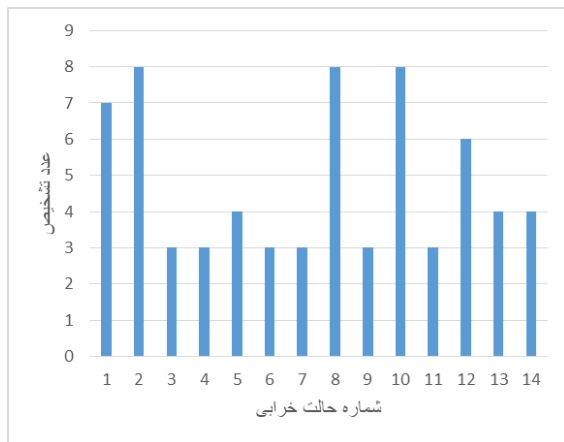
RPN	تشخیص	کنترل پیشگیرانه	وقوع	عامل	شدت	اثرات	حالت خرابی	شماره
۱۶۰	۴	اختلال در انجام امور	۱۰	وجود نور شدید یا خیره‌کننده	۴	آبریزش چشم	خستگی چشم Shantakumari (et al., 2014)	۱۴
				نشستن طولانی مدت پشت میز				
				وجود نور شدید یا خیره‌کننده				
				فشار درسی بیش از حد				
				اضطراب				
				انجام حرکات تکراری در طولانی مدت				
چشم درد								
سرخ‌ی چشم								



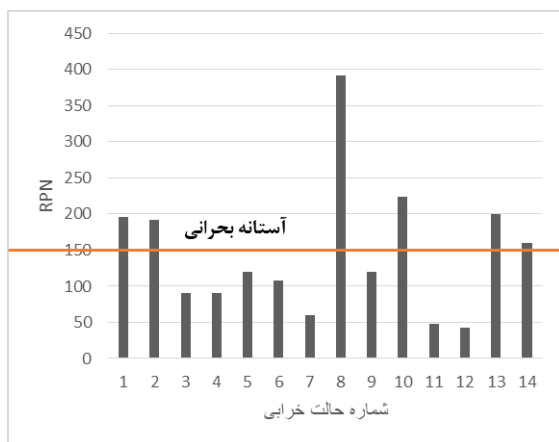
شکل ۱. نمودار مقایسه‌ای اعداد شدت برای حالت‌های خرابی گزارش شده



شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای اعداد وقوع برای حالت‌های خرابی گزارش شده



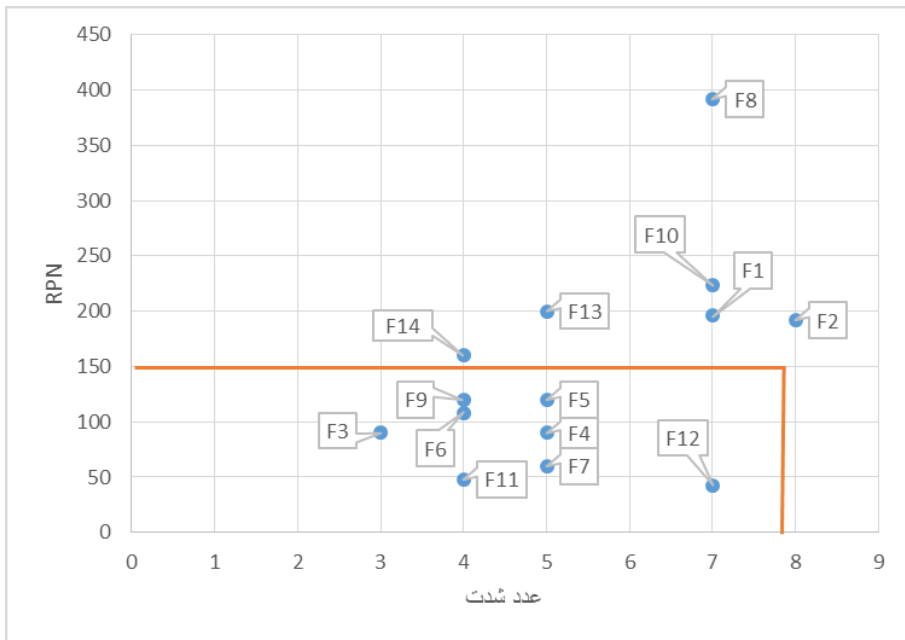
شکل ۳. نمودار مقایسه ای اعداد تشخیص برای حالت‌های خرابی گزارش شده



شکل ۴. نمودار مقایسه ای اعداد اولویت خطر برای حالت‌های خرابی گزارش شده

نمودار ۵ مقدار RPN بر حسب شدت را نشان می‌دهد. خط ناحیه ترسیم شده، آستانه بحرانی بودن است. سمت بالا و سمت راست مرز تعیین شده، منطقه ای است که در صورت واقع شدن یک حالت خرابی در آن، بحرانی تشخیص داده شده و لازم است حتماً برای خارج شدن از این ناحیه برای آن اقدام اصلاحی مناسب تعریف شود. تعریف این منطقه بر اساس دو منطق صورت گرفته است: نخست آنکه در صورت بالا بودن عدد شدت یک حالت خرابی، فارغ از میزان وقوع احتمالی یا احتمال تشخیص زود هنگام به هر حال بروز آن حالت اثر نامطلوب شدیدی بر فرد خواهد گذاشت و لذا حتی برای حالت‌های نادر آن نیز باید چاره جویی پیشگیرانه شود. لذا یکی از مرزهای منطقه بحرانی به صورت یک خط عمودی در برگزیده تمام حالت‌هایی خواهد بود که عدد شدت ۸ یا بیشتر دارند. دومین

موضوع در تعریف این ناحیه حالت‌هایی است که هرچند ممکن است شدت بسیار زیادی در اثر آنها بر فرد دیده نشود اما به دلیل شیوع و یا احتمال تشخیص پیشگیرانه پائین در مجموع حاصل ضرب اعداد S، O و D آنها منجر به RPN بالایی شده است و ناحیه بالای خط افقی شکل ۵ را تشکیل می‌دهد. تعیین آستانه RPN بحرانی در شرایط مختلف متفاوت بوده و با نظر اعضای گروه چندتخصصی FMEA مشخص می‌گردد.



شکل ۵. نمودار مقایسه‌ای اعداد اولویت خطر برای حالت‌های خرابی گزارش شده

نمودار شکل ۱ نشان می‌دهد، شدیدترین اثر حالت‌های خرابی مربوط به حالت خرابی ۲، یعنی آسیب و پارگی تاندون‌ها است. این حالت باعث می‌شود دست‌ها دچار نقص حرکتی گردند و یا انگشتان به خوبی کارایی نداشته باشند. ضمناً برای درمان آن ممکن است نیاز به عمل جراحی وجود داشته باشد. لذا چنان‌که از نمودار برمی‌آید، بالاتر از آستانه بحرانی قرار گرفته و حتماً باید برای آن اقدام اصلاحی تعریف گردد. جدول ۳ و نمودار شکل ۲ نشان می‌دهند که برای حالت خرابی ۲، تعداد موارد گزارش شده زیاد نیست. ضمناً تشخیص آن پس از وقوع آسیب (نقص حرکتی) قابل انجام است، لذا تشخیص پیشگیرانه‌ای نداشته و لزوم تعریف اقدام اصلاحی برای آن را دوچندان می‌کند.

بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد شایع‌ترین مشکلات گزارش شده عبارت‌اند از حالت ۳، کشیدگی عضلات کف دست و انگشتان، حالت ۹، گرفتگی و درد عضلات کمر، حالت ۱۳، خستگی ذهنی و حالت

۱۴، خستگی چشم. خوشبختانه هیچ یک از حالات شایع دارای شدت اثر بحرانی نیستند، ولی مجموعاً عدد اولویت خطر حالت های ۱۳ و ۱۴ آنها را در محدوده بحرانی قرار می دهد و لازم است برای آنها اقدام اصلاحی تعریف گردد.

بررسی شکل ۳ نشان می دهد دشوارترین حالت های خرابی برای شناسایی عبارت اند از ۲، ۸ و ۱۰. حالت ۲، آسیب و پارگی تاندون ها، دارای قابلیت تشخیص از طریق بروز محدودیت در حرکت دست و انگشتان و چندان دشوار نیست ولی به لحاظ پیشگیرانه، علامت هشدار خاصی ندارد و زمانی خود را نشان می دهد که شخص دچار آسیب (متأسفانه با شدت اثر بالا) شده است. این حالت، چنان که گفته شد، به علت شدت اثر بالا در ناحیه بحرانی قرار دارد و لازم است برای آن اقدام اصلاحی تعریف گردد. حالت خرابی ۸، آرتروز گردن نیز پس از وارد کردن آسیب جدی قابل تشخیص است و علامت هشدار به صورت پیشگیرانه ندارد، لذا به آن عدد تشخیص بالایی اختصاص یافته است. شدت اثر آن متوسط و میزان شیوع آن نیز نسبتاً متعادل است، لیکن در مجموع عدد اولویت خطر بالایی دارد و لازم است حتماً برای آن اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود.

حالت خرابی ۱۰، فتق و دیسک کمر نیز، همانند حالت ۲ و ۸، دارای شدت متوسط است، لیکن تشخیص پیشگیرانه ای برای آن وجود ندارد. به علت شدت و شیوع متوسط، مجموعاً عدد اولویت خطر آن به گونه ای است که در ناحیه بحرانی قرار می گیرد و لذا باید برای آن اقدام اصلاحی تعریف شود. بر اساس آنچه گفته شد که خلاصه آن در نمودار شکل ۵ قابل رویت است، ناحیه بحرانی از مجموع نواحی بالای آستانه RPN و بالای آستانه عدد شدت به دست می آید. بنابراین، بحرانی ترین حالت های خرابی عبارت اند از:

حالت ۱: نشانگان CTS

حالت ۲: آسیب و پارگی تاندون ها

حالت ۸: آرتروز گردن

حالت ۱۰: فتق دیسک کمر

حالت ۱۳: خستگی ذهنی

حالت ۱۴: خستگی چشم

بر این اساس جدول ۶، شامل اقدامات اصلاحی پیشنهادی برای هر حالت خرابی ارائه شده است. در مورد هر حالت خرابی عدد فعلی و سپس پیش بینی اعداد شدت، وقوع و تشخیص، پس از به کار بستن اقدام اصلاحی مورد نظر و محاسبه مجدد RPN در این جدول درج گردیده است. مطابق این جدول در صورت به کار بستن اقدامات بیان شده تمامی حالت های بحرانی در منطقه ایمن قرار خواهد گرفت.

جدول ۶. اقدامات اصلاحی پیشنهادی همراه با پیش‌بینی میزان کارایی آنها

ردیف	شماره حالت خرابی	اقدام پیشنهادی	RPN فعلی	پیش‌بینی تأثیرات			
				RPN	D	O	S
۱	۸	- گذاشتن تجهیزات لازم قبل از شروع کلاس در دسترس - دادن زمان‌های استراحت در فواصل کلاس و انجام حرکات کششی - انجام معاینات پزشکی در صورت داشتن سابقه خانوادگی	۳۹۲	۷	۵	۵	۱۷۵
۲	۱۰	- دادن زمان‌های استراحت در فواصل کلاس و انجام حرکات کششی - انجام معاینات پزشکی در صورت داشتن سابقه خانوادگی	۲۲۴	۷	۳	۵	۱۰۵
۳	۱۳	- دادن زمان‌های استراحت در فواصل کلاس و انجام حرکات کششی - تنظیم نور محیط به صورت طبیعی یا با سامانه روشنایی	۲۰۰	۵	۳	۴	۶۰
۴	۱	- گذاشتن تجهیزات لازم قبل از شروع کلاس در دسترس - دادن زمان‌های استراحت در فواصل کلاس و انجام حرکات کششی	۱۹۶	۷	۳	۷	۱۴۷
۵	۲	- گذاشتن تجهیزات لازم قبل از شروع کلاس در دسترس	۱۹۲	۸	۲	۸	۱۲۸
۶	۱۴	- دادن زمان‌های استراحت در فواصل کلاس و انجام حرکات کششی - تنظیم نور محیط به صورت طبیعی یا با سامانه روشنایی - تناسب تکالیف با زمان در دسترس دانشجویان	۱۶۰	۴	۴	۴	۶۴

بر اساس جدول ۶ می‌توان گفت مهم‌ترین اقداماتی که باید در آموزش برخط برای جلوگیری از آسیب‌ها به کار برد عبارت‌اند از:

۱. تجهیزات لازم قبل از شروع کلاس در دسترس قرار داده شود.
۲. در فواصل مشخص در بین کلاس توقف داده و به استراحت و انجام حرکات کششی پرداخته شود.
۳. در صورت داشتن سابقه خانوادگی بیماری‌هایی همچون دیسک کمر و ناراحتی‌های غدد و مشابه آن نسبت به معاینات دوره‌ای و چکاپ اقدام شود.
۴. نور محیط به صورت طبیعی یا با استفاده از سامانه روشنایی تنظیم گردد.
۵. تکالیف داده‌شده به دانشجویان متناسب با زمان در دسترس آنها باشد از فشارهای روانی و اثرات خستگی مزمن جلوگیری شود.

بنابراین آنچه از مجموعه پژوهش فوق برمی‌آید به کار بستن این اقدام ساده می‌تواند بخش‌های قابل توجهی از آسیب‌های ناشی از آموزش برخط را حذف یا خفیف نماید.

نکته قابل توجه در این مورد، ذات پیشگیرانه اقدامات FMEA است که قبل از بروز حالت‌های بحرانی خرابی، برای آنها چاره‌اندیشی صورت می‌گیرد تا با صرف زمان و هزینه کمتر فرایندی مطلوب‌تر داشته باشیم و رضایت ذی‌نفعان بیشتر جلب گردد.

۴. نتیجه‌گیری

چالش همه‌گیری کووید-۱۹ باعث تقاضای فزاینده و ناگهانی در مورد آموزش برخط گردید. در این میان به علت عدم آمادگی نظام آموزشی، دانشجویان و اساتید برای این نوع آموزش، مشکلات فراوانی ایجاد گردید. بر این اساس، شناخت آسیب‌ها و ارائه راه‌حل‌هایی برای آن ضروری گردید. در عین حال به علت محدودیت زمان و منابع و از طرفی نیاز به پیشگیرانه بودن ماهیت آن، ارائه راهکارها با محدودیت‌هایی مواجه گردید.

برای حل این مشکل از روش تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن که یک روش مهندسی پیشگیرانه با قابلیت اولویت‌بندی در طراحی محصولات، فرایندها یا سرویس‌های صنعتی است به کار گرفته شد. برای پیاده‌سازی این روش بر روی فرایند آموزش برخط دروس دانشگاهی یک الگوریتم گام‌به‌گام ۱۰ مرحله‌ای ارائه شد و در پایان، ۱۴ حالت خرابی بر مبنای نظرسنجی از تعداد ۱۲۰ دانشجو فهرست شده، برای هر یک شدت اثر، احتمال وقوع و امکان تشخیص پیشگیرانه آن به وسیله گروه چندتخصصی تعیین و عدد اولویت خطر (RPN) هر حالت از حاصل ضرب این ۳ عدد به دست آمد. سپس ناحیه بحرانی بر تعریف آستانه بحرانی بودن شدت اثر و آستانه بحرانی بودن عدد اولویت خطر تعیین و ۶ حالت خرابی در این ناحیه تشخیص داده شد، که عبارت‌اند از:

- نشانگان CTS
- آسیب یا پارگی تاندون‌ها
- آرتروز گردن
- فتق دیسک کمر
- خستگی ذهنی
- خستگی چشم

بر این اساس راه‌حل‌های پیشگیرانه‌ای برای هر یک از ۶ حالت فوق تعیین و پیش‌بینی شد که پس از به کار بستن آن، تمام این حالت‌های بحرانی در منطقه ایمن قرار بگیرند. به عبارت دیگر، انجام این ۶ عمل ساده از بسیاری از آسیب‌های ناشی از آموزش مداوم برخط جلوگیری خواهد کرد. اقدامات پیشنهادی عبارت‌اند از:

در دسترس قراردادن تجهیزات قبل از شروع کلاس، توقف، استراحت و انجام حرکات کششی در فواصل زمانی مشخص، تنظیم نور محیط، انجام چکاپ‌های دوره‌ای در صورت سابقه بیماری و تناسب

تکالیف با زمان در دسترس.

یکی از تفاوت‌های نتایج به دست آمده در این پژوهش، استفاده از یک روش نظام مند است که قابلیت اطمینان آن را بالا می برد. مزیت دیگر، ماهیت پیشگیرانه این روش است که آن را برای نظام آموزشی بسیار کاربردی می سازد چرا که می تواند قبل از مواجهه با بحران، پیش بینی های لازم را بنماید. همچنین به نظام آموزشی امکان می دهد با توجه به محدودیت های بودجه و زمان بتواند راهکارهای خود را اولویت بندی نموده همچنین یک پیش بینی نسبتاً خوب در مورد نتایج به کار بستن آن داشته باشد و از بروز مشکلات ناگهانی جلوگیری نماید.

محدودیت عمده این روش، تعداد شرکت کنندگان بوده است که در صورت افزایش نتایج بسیار بهتری به دست خواهد داد. تحقیقات بیشتر در این زمینه می تواند شامل راستی آزمایی راه حل های ارائه شده و نظرسنجی مجدد از مخاطبین پس از به کارگیری این راهکارها باشد.

References

- Adedoyin, O. B., & Soykan, E. (2020). Covid-19 pandemic and online learning: the challenges and opportunities. *Interactive Learning Environments*, 1-13.
- Amin, R. M., Andrade, N. S., & Neuman, B. J. (2017). Lumbar disc herniation. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 10(4), 507-516. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9441-4>.
- Anastasiadou, S., & Zirinoglou, P. (2020). Failure modes and effects analysis (FMEA) application in greek tertiary education. 13th Annual International Conference of Education, Research and Innovation, seville (Spain), ICERI2020 proceedings.
- Andersson, G. B. J. (1999). Epidemiological features of chronic low-back pain. *The Lancet*, 354(9178), 581-585. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)01312-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)01312-4).
- Azar-Cavanagh, M., Burdt, P., & Green-McKenzie, J. (2007). Effect of the introduction of an engineered sharps injury prevention device on the percutaneous injury rate in healthcare workers. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 28(2), 165-170. <https://doi.org/10.1086/511699>.
- Bartolomé, E., & Benítez, P. (2021). Failure mode and effect analysis (FMEA) to improve collaborative project-based learning: Case study of a study and research path in mechanical engineering. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 0306419021999046.
- Bhan, K. (2020). Meniscal Tears: Current understanding, diagnosis, and management. *Cureus*, 12(6), e8590-e8590. <https://doi.org/10.7759/cureus.8590>.
- Borhany, T., Shahid, E., Siddique, W. A., & Ali, H. (2018). Musculoskeletal problems in frequent computer and internet users. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 7(2), 337-339. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_326_17.
- Boylan, F. (2011). Introducing the failure mode effects reflective analysis technique for the field of higher education and research EDULEARN. *International Conference on Education and New Learning Technologies*, Barcelona.
- Bozkurt, A., Jung, I., Xiao, J., Vladimirci, V., Schuwer, R., Egorov, G., Lambert, S., Al-Freih, M., Pete, J., & Olcott Jr, D. (2020). A global outlook to the interruption of education due to COVID-19 pandemic: Navigating in a time of uncertainty and crisis. *Asian Journal of Distance Education*, 15(1), 1-126.
- Bozkurt, A., & Sharma, R. C. (2020). Emergency remote teaching in a time of global crisis due to Coronavirus pandemic. *Asian Journal of Distance Education*, 15(1), i-vi.
- Clark, A. E., Nong, H., Zhu, H., & Zhu, R. (2021). Compensating for academic loss: Online learning and student

- performance during the COVID-19 pandemic. *China Economic Review*, 68, 101629.
- Corbera, E., Anguelovski, I., Honey-Rosés, J., & Ruiz-Mallén, I. (2020). Academia in the time of COVID-19: Towards an ethics of care. *Planning Theory & Practice*, 21(2), 191-199.
 - Danchikov, E. A., Prodanova, N. A., Kovalenko, Y. N., & Bondarenko, T. G. (2021). Using different approaches to organizing distance learning during the COVID-19 pandemic: opportunities and disadvantages. *Linguistics and Culture Review*, 5(S1), 587-595.
 - Debeş, G. (2021). Distance learning in higher education during the COVID-19 pandemic: advantages and disadvantages: Distance learning in higher education during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 13(2), 1109-1118.
 - Ferguson, R., Riley, N. D., Wijendra, A., Thurley, N., Carr, A. J., & Bjf, D. (2019). Wrist pain: a systematic review of prevalence and risk factors—what is the role of occupation and activity? *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 542. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2902-8>.
 - Gamage, K. A., Silva, E. K. d., & Gunawardhana, N. (2020). Online delivery and assessment during COVID-19: Safeguarding academic integrity. *Education Sciences*, 10(11), 301.
 - Genova, A., Dix, O., Saefan, A., Thakur, M., & Hassan, A. (2020). Carpal tunnel syndrome: A review of literature. *Cureus*, 12(3), e7333-e7333. <https://doi.org/10.7759/cureus.7333>.
 - Giuriato, G., Pedrinolla, A., Schena, F., & Venturelli, M. (2018). Muscle cramps: A comparison of the two-leading hypothesis. *J Electromyogr Kinesiol*, 41, 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.05.006>.
 - Gorgani, H. H. (2016). Improvements in teaching projection theory using failure mode and effects analysis (FMEA). *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 100(1), 37-42.
 - Gorgani, H. H., & Pak, A. J. (2020). Adaptation of engineering of graphics courses to modern design approaches using a hybrid data mining method based on QFD and fuzzy dematel. *Iranian Journal of Engineering Education*, 22(86), 55-54.
 - Gorgani, H. H., & Shabani, S. (2021). Online exams and the COVID-19 pandemic: a hybrid modified FMEA, QFD, and k-means approach to enhance fairness. *SN Appl Sci*, 3(10), 818. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04805-z>.
 - Haghshenas Gorgani, H., & Jahantigh Pak, A. (2020). A new method for assessment of engineering drawing answer scripts using fuzzy logic. *Journal of Computational Applied Mechanics*, 51(1), 170-183.
 - Hamid, R., SENTRY, I., & Hasan, S. (2020). Online learning and its problems in the Covid-19 emergency period. *Jurnal Prima Edukasia*, 8, 86-95. <https://doi.org/10.21831/jpe.v8i1.32165>.
 - Hess, G. P., Cappiello, W. L., Poole, R. M., & Hunter, S. C. (1989). Prevention and treatment of overuse tendon injuries. *Sports Medicine*, 8(6), 371-384. <https://doi.org/10.2165/00007256-198908060-00005>.
 - Huang, J., You, J.-X., Liu, H.-C., & Song, M.-S. (2020). Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda. *Reliability Engineering & System Safety*, 199, 106885.
 - Kazeminasab, S., Nejadghaderi, S. A., Amiri, P., Pourfathi, H., Araj-Khodaei, M., Sullman, M. J. M., Kolahi, A.-A., & Safiri, S. (2022). Neck pain: global epidemiology, trends and risk factors. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04957-4>.
 - Khuankrue, I., Kumeno, F., Ohashi, Y., & Tsujimura, Y. (2017). Applying fuzzy rule-based system on FMEA to assess the risks on project-based software engineering education. *Journal of Software Engineering and Applications*, 10(07), 591.
 - Leonard, A., Anggito, N., Sialagan, F., & Suroso, J. (2020). Information system security risk management e-learning using fmea in university. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 7565-7568.
 - Li, G., Huang, S., Xu, W., Jiao, W., Jiang, Y., Gao, Z., & Zhang, J. (2020). The impact of mental fatigue on brain activity: a comparative study both in resting state and task state using EEG. *BMC Neuroscience*, 21(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12868-020-00569-1>.
 - Moawad, R. A. (2020). Online learning during the COVID-19 pandemic and academic stress in university students.

- Revista Românească pentru Educație Multidimensională, 12(1 Sup2), 100-107.
- Mukhtar, K., Javed, K., Arooj, M., & Sethi, A. (2020). Advantages, limitations and recommendations for online learning during COVID-19 pandemic era. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 36(COVID19-S4), S27.
 - Muqtaidroh, F. A., Darmaningrat, E. W. T., & Savira, R. N. (2017). Risk assessment and risk mitigation of E-Learning implementation in the middle school using failure modes and effects analysis (FMEA). *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*.
 - Nikolopoulou, K. (2022). Online education in early primary years: Teachers' practices and experiences during the COVID-19 pandemic. *Education Sciences*, 12(2), 76.
 - Okinaka, M., & Wada, T. (2021). The effect of static stretching on key hits and subjective fatigue in sports. *Journal of Physical Therapy Science*, 33(12), 891-897. <https://doi.org/10.1589/jpts.33.891>.
 - Phanse, S. (2021). The online education impact on students during covid-19 pandemic. *Indonesian Journal of Teaching in Science*, 1(2), 137-140.
 - Pokhrel, S., & Chhetri, R. (2021). A literature review on impact of COVID-19 pandemic on teaching and learning. *Higher Education for the Future*, 8(1), 133-141.
 - Purcell, L. (2009). Causes and prevention of low back pain in young athletes. *Paediatrics & child health*, 14(8), 533-538. <https://doi.org/10.1093/pch/14.8.533>.
 - Reddy, V. K., Lavoie, M.-C., Verbeek, J. H., & Pahwa, M. (2017). Devices for preventing percutaneous exposure injuries caused by needles in healthcare personnel. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11(11), CD009740-CD009740. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009740.pub3>.
 - Ribeiro, M. H. D. M., da Silva, R. G., Mariani, V. C., & dos Santos Coelho, L. (2020). Short-term forecasting COVID-19 cumulative confirmed cases: Perspectives for Brazil. *Chaos, Solitons & Fractals*, 135, 109853.
 - Shankar, S., Naveenkumar, R., Nithyaprakash, R., Narmatha, S., Sai, R. R., & Nandhakumar, M. (2022). Impact of digital boards on hand and neck muscle activity during online teaching process. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10854-z>.
 - Shantakumari, N., Eldeeb, R., Sreedharan, J., & Gopal, K. (2014). Computer use and vision-related problems among university students in ajman, United arab emirate. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 4(2), 258-263. <https://doi.org/10.4103/2141-9248.129058>.



◀ **حمید حق شناس گرگانی:** فارغ التحصیل رشته مهندسی مکانیک، گرایش طراحی کاربردی از دانشگاه صنعتی شریف است. وی از سال ۱۳۹۱ تاکنون عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف بوده و زمینه‌های پژوهشی ایشان، طراحی قالب‌های تزریق پلاستیک، مهندسی معکوس، بهینه‌سازی در طراحی با الگوریتم‌های متاهوریستیک، پردازش داده‌های طراحی و روش‌های آموزش مهندسی است.



◀ **علیرضا جهانتیغ:** فارغ‌التحصیل مهندسی مکانیک و مدیریت از دانشگاه صنعتی شریف است. وی از سال ۱۳۹۱ تاکنون عضو هیئت‌علمی مرکز آموزش مهارت‌های مهندسی (مرکز گرافیک مهندسی سابق) دانشگاه صنعتی شریف بوده و حوزه‌های پژوهشی موردعلاقه وی عبارت است از خلاقیت، آموزش مهندسی، تجسم، تدوین دروس رشته‌های مهندسی و مدیریت نوآوری.



◀ **علیرضا حائری زاده نبوی:** فارغ‌التحصیل کارشناسی رشته مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی شریف است. وی از سال ۱۳۹۸ تاکنون به‌عنوان دستیار پژوهشی در آزمایشگاه مدل‌سازی مرکز آموزش مهارت‌های مهندسی این دانشگاه فعالیت داشته است.



◀ **شریف شعبانی:** متولد ۱۳۷۶ در شهر رفسنجان، فارغ‌التحصیل رشته مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی شریف در سال ۱۳۹۹ بوده، هم‌اکنون دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی سیستم‌های بیولوژیکی (Biosystems Engineering)، دانشگاه آبرن (Auburn)، آمریکا است. زمینه پژوهشی ایشان سیستم‌های روباتیکی رخ نمود (phenotyping) گیاهان است.