

نوع مقاله: پژوهشی

## تکنیک عدم قطعیت خاکستری در محاسبه زمان استاندارد فعالیت‌های تعمیراتی

علی سلطان‌پور<sup>۱\*</sup>، سید حامد موسوی راد<sup>۲</sup>، ساسان تقی زاده<sup>۳</sup>، حمید نصرت‌آبادی<sup>۴</sup>

۱ کارشناس بهبود روش‌ها، شرکت ملی صنایع مس ایران، ایران

۲ دانشیار، بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳ رئیس بهبود روش‌ها، شرکت ملی صنایع مس ایران، ایران

۴ مدیر تشکیلات و طبقه‌بندی مشاغل، شرکت ملی صنایع مس ایران، ایران

سابقه مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

پس از آغاز انقلاب اسلامی ایران، به تدریج سازمان‌ها و مؤسسات تولیدی ایرانی توانسته‌اند بخش‌های قابل توجهی از فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات خود را داخلی‌سازی نمایند. یکی از این شرکت‌ها و مؤسسات، مجتمع مس سرچشمه رفسنجان وابسته به شرکت ملی صنایع مس ایران به عنوان اولین تولیدکننده و صادرکننده مس در ایران می‌باشد. با بررسی‌های به عمل آمده مشخص گردیده، این شرکت با توجه به داخلی‌سازی تعمیرات بسیاری از قطعات، فعالیت چندانی در دو حوزه ثبت و به اشتراک‌گذاری دانش کسب‌شده در زمینه تعمیرات و ثبت مدت‌زمان انجام فعالیت‌های تعمیراتی جهت محاسبه زمان استاندارد مربوط به آن فعالیت‌ها، انجام نداده است؛ لذا در این پژوهش به یکی از مهم‌ترین کارهای تعمیراتی این مجتمع در خصوص یکی از قطعات کلیدی و حیاتی که قابلیت به اشتراک‌گذاری دانش کسب‌شده با سایر سازمان‌ها و مؤسسات هم‌رشته را از دو منظر یادشده دارد؛ پرداخته شده است. در این خصوص جهت انجام این پژوهش و به واسطه مشخص بودن عدم قطعیت در خصوص فعالیت‌های تعمیراتی، از عدم قطعیت خاکستری در روش زمان‌سنجی تحلیلی جهت محاسبه زمان استاندارد بهره گرفته شده است. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد که انجام فعالیت‌های تعمیراتی مدت‌زمان قابل توجهی از زمان‌بندی تولید را به خود اختصاص می‌دهد و می‌بایست جهت انجام کلیه برنامه‌ریزی‌ها به‌ویژه مدیریت عملیات، مدت‌زمان انجام فعالیت‌های تعمیراتی را در نظر گرفت.

**کلمات کلیدی:** مدیریت دانش، عدم قطعیت خاکستری، برآورد تحلیلی زمان‌سنجی، فعالیت‌های تعمیراتی، مجتمع

مس سرچشمه رفسنجان

## ۱ مقدمه

امروزه مدیریت دانش را می‌توان یکی از مهم‌ترین اصول علم مدیریت دانست؛ زیرا طبق تعریف هاندزیک (۲۰۱۱)، مدیریت دانش در قالب فرآیندهای سیستماتیک و سازمان‌یافته تشریح می‌شود که از طریق آن‌ها دانش کارکنان جمع‌آوری، سازمان‌دهی و منتقل می‌گردد تا کارکنان به‌وسیله آن دانش، به‌شیوه‌ای مؤثرتر و بهره‌ورتر کار نمایند (Handzic, 2011)؛ بنابراین طبق تعریف وی، هدف مدیریت دانش، حذف تکرار تجارب منفی گذشته، بهبود و توسعه نتایج مثبت حاصله از تجارب گذشته و ارتقا جنبه‌های کمی و کیفی در فعالیت‌های کاری حال و آینده است. یکی از آن حوزه‌هایی که مدیریت دانش کمک بزرگی می‌تواند به آن داشته باشد؛ حوزه نگهداری و تعمیرات است.

در سالیان اخیر سازمان‌ها و مؤسسات، توجه زیادی به کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات نموده‌اند؛ اما تمرکز این سازمان‌ها عمدتاً روی ماشین‌آلات و تجهیزات به‌صورت تأمین قطعات باکیفیت و جایگزین نمودن قطعات جدید با قطعات مستهلک و غیره بوده و کمتر به نیروی انسانی این حوزه توجه نموده‌اند؛ زیرا نیروی انسانی این حوزه با توجه به دانش و اطلاعات کسب‌شده، توانایی شناسایی و حذف خرابی‌ها و همچنین ارائه راهکارها و اطلاعات مفید در راستای اصلاح و بازسازی فرآیندهای جاری در تولید، خصوصاً نگهداری و تعمیرات می‌باشند.

بنابراین نیرووهایی که در حوزه نگهداری و تعمیرات فعالیت می‌کنند؛ دارای تجارب مفید و ارزشمندی می‌باشند که این قابلیت را دارند به‌عنوان یک عنصر کلیدی و مؤثر، سازمان را در راستای ارتقا کمی و کیفی وضعیت موجود با همراهی و کمک واحدهای طراحی مهندسی، مجاب به تغییر فناوری سیستم‌های تولیدی و همچنین تغییر در فرآیند نگهداری و تعمیرات نمایند.

بنابراین توجه به نیروی انسانی حوزه نگهداری و تعمیرات خصوصاً توجه به دانش فنی آن‌ها و ثبت این دانش‌ها امکان ایجاد یک مزیت رقابتی در میان سازمان‌های رقیب را به وجود می‌آورد (Cooke, 2002). از طرفی توجه به این مسئله که در تمامی فرآیندها امکان خطای انسانی وجود

دارد و عمدتاً نیز انجام خطای انسانی ناشی از عدم تجربه و دانش کافی و یا حتی عدم آشنایی کارکنان با فرآیندها و فناوری موجود می‌باشد؛ ضرورت نظام‌مند نمودن مدیریت دانش که قابلیت به حداقل رسانی خطاهای انسانی را دارا می‌باشد؛ بیش‌ازپیش آشکار و نمایان می‌گردد.

یکی از فرآیندهایی که امکان بروز خطاهای انسانی در آن وجود دارد؛ فرآیند نگهداری و تعمیرات است. فرآیند نگهداری و تعمیرات در چهارچوب یک سیستم یکپارچه و سیستماتیک دانش‌محور این قابلیت را دارا می‌باشد که با جمع‌آوری، ثبت و در اختیار گذاشتن دانش افراد خبره‌ی این حوزه به سایر افراد مبتدی و یا حتی خبره در سایر حوزه‌های فرآیندی خصوصاً مدیران عملیاتی و میانی سازمان، اقدام به ارتقا سطح دانش فنی، کاهش بروز خطاهای انسانی و نهایتاً نیز کمک در تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی نماید (Iyengar, Dharwada, Kapoor, Gramopadhye, & Greenstein, 2005).

یکی از مجتمع‌های صنعتی که با توجه به انواع مختلف فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، نیازمند به‌کارگیری مدیریت دانش و اشتراک دانش‌ها می‌باشد، مجتمع مس سرچشمه رفسنجان است؛ زیرا این مجتمع صنعتی همزمان با راه‌اندازی خطوط تولیدش تحت پوشش انواع فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات قرار گرفته است که در هرکدام از این فعالیت‌ها جنبه‌هایی وجود دارند که از لحاظ فنی، اقتصادی، زمان‌بندی تولید و همچنین حجم فعالیت‌های تولیدی امکان تجربه مجدد را سلب می‌نماید.

یکی از فعالیت‌هایی که در حوزه مدیریت نگهداری و تعمیرات مس سرچشمه رفسنجان در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ هجری شمسی به انجام رسیده و عملاً با توجه به ماهیت، اهمیت و کار انجام‌شده از لحاظ فنی، اقتصادی و همچنین زمان‌بندی تولید گام بسیار مؤثری در راستای حذف توقف تولید برداشته و به‌صورت دانش ثبت نگردیده، مربوط به بوش منتل سنگ‌شکن ثانویه (ساخت کشور آمریکا) در امور تغلیظ آن مجتمع می‌باشد.

لذا با توجه به اهمیت موضوع و دانش فنی کسب‌شده در خصوص تعمیر این قطعه از جنبه‌های تکرار مجدد فعالیت، ارتقا دانش فنی کارکنان حوزه نگهداری و تعمیرات، به‌کارگیری این دانش در فعالیت‌های تعمیراتی پیش‌رو و همچنین قابلیت بسط آن به سایر صنایع معدنی، در ادامه، در گام نخست به پژوهش‌هایی که در حوزه مدیریت دانش نگهداری و تعمیرات به انجام رسیده‌اند؛ پرداخته می‌شود. سپس در قدم بعدی با توجه به ماهیت عدم قطعیت فعالیت تعمیراتی مذکور از لحاظ ۱- دخالت مستقیم انسان در انجام فعالیت و ۲- عدم ثبات در مدت‌زمان انجام فعالیت مرتبط با شرایط انجام کار، با بهره‌گیری از تئوری عدم قطعیت خاکستری از دسته تئوری‌های عدم قطعیت به بیان اقدامات تعمیراتی انجام‌شده پرداخته و از روش برآورد تحلیلی از دسته روش‌های زمان‌سنجی جهت برآورد مدت‌زمان انجام این کار تعمیراتی بهره گرفته می‌شود و در پایان نیز یافته‌های پژوهش ارائه می‌گردند.

## ۲ مبانی نظری

### ۲-۱- مدیریت دانش

دانش‌ها عمدتاً به دو صورت کلی در یک سازمان وجود دارند: ۱- دانش آشکار و ۲- دانش پنهان. دانش آشکار را به‌شکل‌های مختلف و ساخت‌یافته می‌توان در یک سازمان جستجو نمود و عملاً این‌گونه دانش در دسترس همگان و یا افراد ذی‌ربط نظیر مستندات فنی، مستندات سازمانی، فیلم، تصویر و غیره می‌باشد. در حالت کلی این نوع دانش، ۲۰ درصد از دانش سازمانی را شکل می‌دهد. در صورتی‌که دانش پنهان بخش عمده دانش سازمانی یعنی ۸۰ درصد دیگر را به خود اختصاص می‌دهد که متأسفانه این نوع از دانش به‌صورت نانوشته بوده و در ذهن افراد وجود دارد و به‌راحتی قابل‌انتقال به سایر افراد نیست (ارمغان، ۱۳۹۵).

بنابراین مدیریت دانش به‌عنوان یک ساختار تسهیل و ترویج کننده می‌تواند در زمان‌های مختلف اعم از ترک و یا بازنشستگی نیروهای انسانی به‌ویژه نیروهای انسانی حوزه نگهداری و تعمیرات که دانش‌ها و تجارب مختلف و ارزشمندی را در طول سالیان متمادی به‌صورت دانش پنهان

کسب نموده‌اند را ثبت و نگهداری نماید و عملاً امکان انتقال این تجارب، دانش و اطلاعات فنی را به نیروهای جدیدالورود، در راستای ارتقا و بهبود سطح علمی و فنی آن‌ها، موردتوجه قرار دهد.

## ۲-۲- نظریه سیستم خاکستری

در دنیای واقعی سیستم‌های مختلفی نظیر سیستم‌های اقتصادی، صنعتی و غیره وجود دارند که هر یک از آن‌ها، با توجه به ماهیتی که دارند از اجزا و زیرسیستم‌های مخصوصی تشکیل گردیده‌اند که برای شناخت آن‌ها می‌بایست علاوه بر اینکه به شناخت اجزا و روابط مابین آن‌ها پرداخته شود؛ اجزا و ساختار آن‌ها نیز معلوم گردد. اسم سیستم‌های خاکستری بر پایه رنگ موضوعات تحت بررسی نام‌گذاری گردید. یکی از بهترین این نمونه‌ها "جعبه سیاه" است. این واژه برای یک بخش که تمامی روابط و ساختارهای داخلی وضعیت کاملاً کدگذاری شده و ناشناخته دارد، اطلاق می‌گردد. اگر اطلاعات واضح و شفاف یک سیستم را بارنگ سفید و اطلاعات کاملاً ناشناخته یک سیستم با رنگ سیاه مجسم شوند، در این صورت اطلاعات مربوط به بیشتر سیستم‌های موجود در طبیعت (اطلاعات سفید) یا اطلاعات کاملاً شناخته‌شده و همچنین اطلاعات سیاه یا اطلاعات کاملاً ناشناخته، نبوده؛ بلکه ترکیبی از هر دو دسته اطلاعات یعنی اطلاعات به رنگ خاکستری نیز هستند. این‌گونه سیستم‌ها که اطلاعات آن‌ها مابین اطلاعات سفید و اطلاعات سیاه قرار می‌گیرند را سیستم‌های خاکستری می‌نامند (Liu & Lin, 2006).

این نظریه توسط پرفسور دنگ در سال ۱۹۸۲ میلادی پیشنهاد و معرفی گردید. این نظریه به پنج بخش اصلی: ۱- پیش‌بینی خاکستری، ۲- تحلیل رابطه‌ای خاکستری، ۳- تصمیم‌گیری خاکستری، ۴- برنامه‌ریزی خاکستری و ۵- کنترل خاکستری دسته‌بندی می‌گردد (Li, Yamaguchi, & Nagai, 2007).

### ۳-۲- زمان‌سنجی

هدف زمان‌سنجی، تعیین زمان استاندارد انجام تمامی فرآیندهای صنعتی و خدماتی می‌باشد که بدون اندازه‌گیری زمانی، عملاً امکان برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و نیز کنترل صحیح فعالیت‌ها وجود نخواهد داشت. به همین خاطر متخصصان، تکنیک زمان‌سنجی را یکی از مطمئن‌ترین تکنیک‌ها جهت رسیدن به بهره‌وری بیشتر می‌دانند. در همین خصوص یکی از تکنیک‌های زمان‌سنجی، روش‌های تخمینی می‌باشد. روش‌های تخمینی به‌طور کلی به دو دسته ۱- تخمین مقایسه‌ای (زمان‌سنجی یک فعالیت در قالب مقایسه محتوای یک سری فعالیت‌های مشخص شده می‌باشد) و ۲- تخمین تحلیلی (جهت زمان‌سنجی فعالیت‌های غیر تکراری مورد استفاده قرار می‌گیرد)، تقسیم‌بندی می‌شوند (مرعشی، ۱۳۷۶).

### ۴-۲- فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات

فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را می‌توان به دو دسته‌ی قابل برنامه‌ریزی و غیر قابل برنامه‌ریزی تقسیم‌بندی نمود و با توجه به اینکه هزینه‌هایی که نگهداری و تعمیرات غیر قابل برنامه‌ریزی می‌تواند بر دوش سازمان‌ها قرار دهد، سازمان‌ها به‌طور خاص به دنبال تمرکز بر نگهداری و تعمیرات قابل برنامه‌ریزی می‌باشند؛ اما به‌طور کلی نگهداری و تعمیرات قابل برنامه‌ریزی نیز نیازمند صرف وقت و هزینه می‌باشد، بنابراین می‌توان یکی از مسائل چالش‌برانگیز صنایع را در حوزه نگهداری و تعمیرات به‌طور ویژه نگهداری و تعمیرات قابل برنامه‌ریزی، برآورد مدت زمان انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و همچنین زمان راه‌اندازی خطوط تولید دانست.

## ۳ پیشینه پژوهش

در حوزه مدیریت دانش پژوهش‌های مختلفی تاکنون انجام شده است، اما یکی از حوزه‌هایی که با توجه به پتانسیل‌های علمی و فنی مختلف، این جنبه از مدیریت به‌ندرت در آن مورد بررسی قرار گرفته، حوزه نگهداری و تعمیرات می‌باشد.

پژوهشی باهدف شناسایی، بازیابی، مدیریت و ساختاردهی به اطلاعات، تجارب و دانش ضمنی متخصصین واحد نگهداری و تعمیرات و خدمات پس از فروش یک شرکت تولیدکننده ماشین آلات خم کاری لوله و میل به منظور ارائه راه حل های بهینه، جهت مشکلات فنی ماشین آلات فروخته شده به مشتریان، به صورت اقدام پژوهی و میدانی و با استفاده از مصاحبه های متعدد انجام شده است که محقق در خصوص نتایج پژوهش خود بیان داشته است که پردازش مناسب اطلاعات و به اشتراک گذاری آن ها با تأکید بر تعامل بهینه میان انسان-رایانه و ارائه راه حل های استاندارد شده در کوتاه ترین زمان ممکن به مشتری، سبب افزایش رضایت مشتریان و از طرف دیگر به دلیل استانداردسازی روش حل مسائل امکان استفاده مجدد از آن ها به وسیله بقیه افراد خصوصاً افراد کم تجربه تر را فراهم نموده است (ارمغان، ۱۳۹۵).

محققان، پژوهش دیگری را باهدف اصلی شناسایی، طبقه بندی و ارزیابی عوامل موفقیت در به کارگیری مدیریت اثربخش فرآیند مدیریت دانش در نگهداری و تعمیرات با بهره گیری از روش توصیفی-پیمایشی و همچنین روش ریاضی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، به انجام رسانده اند که طبق نتایج پژوهش ایشان مهم ترین عامل مؤثر در بین عوامل اصلی مؤثر بر موفقیت مدیریت دانش در نگهداری و تعمیرات از نظر خبرگان، عامل راهبردی و مدیریتی می باشد (برزگر، حسونند، حاجی زاده و رامک، ۱۳۹۴).

در پژوهشی دیگر، با بهره گیری از روش آنالیز درخت خرابی در یک شرکت توزیع آب اردنی، پژوهشگران، به ارائه و توسعه یک سیستم مدیریت دانش در حوزه نگهداری و تعمیرات، جهت افزایش کارایی مدیریت فعالیت های نگهداری و تعمیرات و فعالیت های عملیاتی مورد استفاده، پرداخته اند. ایشان در خصوص نتایج پژوهش خود بیان داشته اند که سیستم ارائه شده توانسته است در مقایسه با سیستم موجود در آن شرکت عملکرد مثبتی را نشان دهد (Al-Tahat & Al-Shoubaki, 2012).

همچنین در پژوهش دیگری، محققان به بررسی رابطه میان اشتراک‌گذاری دانش ضمنی بین اعضای تیم نگهداری و تعمیرات و اندازه‌گیری سطح عملکرد نگهداری و تعمیرات به‌ویژه اندازه‌گیری عملکرد نگهداری و تعمیرات با سه شاخص متوسط زمان میان دو خرابی، متوسط زمان تا تعمیر و متوسط زمان انتظار پرداخته‌اند. ایشان رابطه بین اشتراک‌گذاری و اندازه‌گیری عملکرد را مجموعاً در ۹۶ شرکت از ۴۸ منطقه جغرافیایی در حوزه انرژی در کشور انگلستان و کشورهای عربی منطقه، بر پایه یک پرسشنامه مربوط به حوزه فعالیت این شرکت‌ها، مورد بررسی قرار داده‌اند. در نهایت نیز در خصوص نتایج کسب‌شده بیان داشته‌اند که اشتراک‌گذاری دانش ضمنی در کشور انگلستان نسبت به کشورهای عربی قدرتمندتر بوده است (Refaiy & Labib, 2009).

در تحقیق دیگری، محققان به علت اینکه یکی از دلایل حوادث هوایی را عدم بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌ویژه تجزیه و تحلیل عملکرد عملیات نگهداری و تعمیرات دانسته‌اند، اقدام به ارائه مزایای استفاده از سیستم مدیریت دانشی که اطلاعات و دانش را در میان سطوح مختلف عملیاتی به اشتراک می‌گذارد؛ نموده‌اند (Iyengar et al., 2005).

محققان دیگری به ارائه یک سیستم مدیریت دانش برای بخش نگهداری و تعمیرات و همچنین سرویس و نگهداری در سیستم‌های تولیدی پرداخته‌اند. در همین راستا ایشان در پژوهش خود از وضعیت فعلی در خصوص مدیریت دانش نگهداری و تعمیرات یک سازمان تولیدکننده ژنراتور بهره گرفته‌اند که به اعتقاد ایشان فرآیند نگهداری و تعمیرات در سازمان کمترین کارآمدی را داشته است، به‌گونه‌ای که مستندات نگهداری و تعمیرات که در پایگاه داده‌های داخلی نگهداری می‌شوند، اشتراک‌گذاری و به‌کارگیری مجدد دانش را دچار مشکل نموده است (Wan, Gao, Li, & Evans, 2014).

محققان باهدف بهره‌گیری از مدیریت دانش، پژوهشی را به جهت رفع مشکلات خرابی موجود در صنایع خودرو به انجام رسانده‌اند که نتایج پژوهش ایشان نشان داده است که نگهداری و تعمیرات علاوه بر اینکه سیستم‌ها را به وضعیت عملیاتی و آماده به‌کاری قبلی خود بازمی‌گرداند، این قابلیت را نیز دارد که اطلاعات زیادی را در ارتباط با خرابی‌ها ارائه نماید (James, Gandhi, & Deshmukh, 2017).



همچنین محققان دیگری در پژوهش خود، روی فرآیندهای تصمیم‌گیری نگهداری و تعمیرات سرویس‌گرا، یک چهارچوب اشتراک دانش مشترک تصمیم‌گیری و همچنین شبکه بلاک چین<sup>۱</sup> توزیع‌شده‌ی چند کاناله MKShareNet تمرکز نموده‌اند. این در حالی است که ایشان در پژوهش یادشده بیان داشته‌اند که MKShareNet و سیستم پیشنهادی توانسته است به‌طور مؤثر، اشتراک دانش را متوالی و مشوق‌گونه در میان ذی‌نفعان مختلف جهت برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات پیاده‌سازی نماید (Chang et al., 2021).

تاکنون پژوهشگران در حوزه‌های مختلف مدیریت دانش من‌جمله نگهداری و تعمیرات، مطالعات مختلفی را انجام داده‌اند اما با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده هیچ‌یک از آنان در خصوص ثبت دانش در حوزه زمان‌سنجی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع معدنی، مطالعاتی را انجام نداده‌اند.

این موضوعی قابل‌توجه و تأمل می‌باشد؛ زیرا بررسی مدت‌زمان انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات از آن جهت حائز اهمیت می‌باشد که بخش غیرقابل‌تفکیک تولید یعنی تعمیرات، عمدتاً از زمان‌های مختلفی تشکیل گردیده و واضح و مبرهن است که اگر بتوان زمان‌بندی دقیقی از مدت‌زمان انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات ارائه نمود، به‌طورقطع می‌توان برنامه‌ریزی‌های دقیقی را در خصوص افزایش تولید، کاهش توقفات خطوط تولید و نیز ارتقا کیفیت محصولات تولیدی انجام داد.

اما با توجه به خلأهای موجود در پیشینه پژوهش، این پژوهش با مدنظر قرار دادن اینکه فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات از هیچ‌گونه قطعیتی برخوردار نیستند و حتی گاهی علی‌رغم مشخص‌بودن تمامی مراحل انجام کار، به‌دلیل بروز سایر فعالیت‌های غیربرنامه‌ای دیگر، آن فعالیت‌ها در مدت‌زمان برنامه‌ریزی‌شده خود به اتمام نرسند، از یک‌طرف و از طرف دیگر با توجه به اینکه بخش اصلی انجام فعالیت‌های تعمیراتی، توسط انسان به انجام می‌رسد؛ لذا در این

---

1. blockchain network

پژوهش، با توجه به محرز بودن عدم قطعیت در انجام فعالیت‌های تعمیراتی، به مقوله عدم قطعیت در زمان سنجی فعالیت‌های تعمیراتی، پرداخته می‌شود.

## ۴ روش تحقیق

در این قسمت با توجه به خلأهای موجود در تحقیقات گذشته، متناسب با نیاز پژوهش، در آغاز تعاریف مربوط به اعداد خاکستری و عملگرهای اعداد خاکستری در راستای بهره‌گیری از عدم قطعیت خاکستری بیان می‌شود. سپس در گام بعدی، روش برآورد تحلیلی توضیح داده می‌شود و پس‌از آن با تلفیق عدم قطعیت خاکستری و روش برآورد تحلیلی، روش مورد استفاده در این پژوهش ارائه می‌شود و در پایان نیز شرح اقدامات تعمیراتی انجام‌شده نیز جهت تلفیق روش پیشنهادی ارائه‌شده و دانش کسب‌شده، جهت بیان یافته‌های پژوهش آورده می‌شود.

### ۴-۱- اعداد خاکستری

هر سیستم خاکستری به واسطه‌ی اعداد خاکستری، معادلات خاکستری، ماتریس‌های خاکستری و غیره توصیف و معرفی می‌گردد که در همین بین اعداد خاکستری همانند اتم‌ها یا سلول‌ها، جزئی‌ترین جزء این سیستم می‌باشند. به عبارتی یک عدد خاکستری بیان‌کننده‌ی این موضوع می‌باشد که مقدار دقیق آن معلوم نبوده اما محدوده‌ای که این مقدار دقیق در آن قرار خواهد گرفت؛ مشخص و معین می‌باشد. در همین بین در مسائل کاربردی یک عدد خاکستری در یک بازه یا یک مجموعه کلی از اعداد نمایش داده می‌شود (Liu & Lin, 2006).

در ذیل چند طبقه‌بندی از اعداد خاکستری نمایش داده می‌شوند (Liu & Lin, 2006):

اعداد خاکستری که فقط حد پایین دارند و فاقد حد بالا می‌باشند که به صورت  $(\underline{a})$  یا  $\otimes [a, \infty)$  نمایان می‌شوند که در آن  $\underline{a}$  نشان‌دهنده‌ی یک حد پایین و مقداری ثابت می‌باشد. به عنوان مثال وزن یک درخت در طول زندگی‌اش با یک عدد خاکستری با حد پایین نمایش داده می‌شود؛ زیرا وزن یک درخت بزرگ‌تر از صفر می‌باشد؛ اما لازم به ذکر است. وزن یک درخت را

نمی‌توان با ابزارهای معمولی بدست آورد. اگر با استفاده از نماد  $\otimes$  وزن درخت را نمایش بدهیم آنگاه خواهیم داشت:  $\otimes \in [0, \infty)$

اعداد خاکستری که فقط حد بالا داشته و فاقد حد پایین می‌باشند که به صورت  $\otimes(\bar{a})$  یا  $\otimes \in [-\infty, \bar{a})$  نمایان می‌شوند که در آن  $\bar{a}$  نشان‌دهنده‌ی یک حد بالا و مقداری ثابت می‌باشد. به‌عنوان مثال برای تجهیزات الکتریکی می‌بایست بیشترین مقدار بحرانی نظیر حداکثر ولتاژ یا حداکثر جریان مجاز که عملکرد طبیعی تجهیزات را دچار مشکل نمی‌نماید را معین نمود. بنابراین ولتاژ تجهیزات الکتریکی از اعداد خاکستری با حد بالا در نظر گرفته می‌شوند.

اعداد خاکستری بازه‌ای، اعدادی هستند که هر دو حد پایین  $\underline{a}$  و حد بالا  $\bar{a}$  را دارا می‌باشند؛ به‌صورت  $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$  نمایان می‌شوند. به‌عنوان مثال قد یک فرد خاص بین  $1/8$  و  $1/9$  متر می‌باشد یعنی  $\otimes \in [1.8, 1.9]$

اعداد خاکستری گسسته، اعدادی هستند که یک تعداد متناهی از مقادیر یا یک تعداد مقادیر شمارا که در یک بازه در نظر گرفته می‌شوند، نام‌گذاری می‌گردند. برای مثال سن افراد بین ۳۰ و ۳۵ می‌تواند یکی از مقادیر ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ باشد بنابراین سن یک عدد خاکستری گسسته می‌باشد.

اعداد خاکستری پیوسته، اعدادی هستند که مقادیر پیوسته یک بازه را پوشش می‌دهند. برای مثال قد افراد، وزن افراد و غیره اعداد خاکستری پیوسته می‌باشند.

اعداد سیاه هنگامی که  $\otimes \in (-\infty, \infty)$  یا  $\otimes \in (\otimes_1, \otimes_2)$  باشند (به‌ترتیب به این معناست، که  $\otimes$  نه حد بالا و نه حد پایین، یا حد بالا و حد پایین همه اعداد خاکستری باشند)،  $\otimes$  عدد سیاه نامیده می‌شوند.

اعداد سفید هنگامی که  $\otimes \in [\underline{a}, \bar{a}]$  و  $\underline{a} = \bar{a}$  باشند،  $\otimes$  عدد سفید نامیده می‌شوند که برای راحتی، اعداد سیاه و سفید به‌عنوان اعداد خاکستری خاص تلقی می‌شوند.

عدد خاکستری غیرممکن یا موقتاً غیرممکن که عدد سفید نشان داده می‌شود، عدد خاکستری ضروری<sup>۱</sup> می‌نامند. به عنوان مثال یک پیش‌بینی کلی، میزان کل انرژی در جهان، بیان سن با دقت در حد ثانیه یا میلی‌ثانیه و غیره، همه مثال‌هایی از اعداد خاکستری ضروری هستند.

یک عدد خاکستری غیرضروری  $\otimes$  یک عدد خاکستری می‌باشد که می‌تواند توسط یک عدد سفید، به عنوان "نماینده" که عدد سفید با استفاده از اطلاعاتی از قبل شناخته شده یا از طریق برخی از وسایل دیگر تعیین شده است، نشان داده شود. این عدد سفیدسازی شده مربوط به عدد خاکستری به عنوان  $\widetilde{\otimes}$  توصیف می‌گردد و  $(a)$   $\otimes$  به عنوان نماینده مقادیر قطعی‌سازی شده استفاده می‌شود. برای نمونه اگر از کسی جهت خرید پالتو در حدود ۱۰۰ دلار کمک بخواهید. این مقدار ۱۰۰ دلار به عنوان مقدار قطعی‌سازی قیمت آینده پالتو  $(100)$   $\otimes$  به عنوان  $100 = (100) \widetilde{\otimes}$  تعیین می‌گردد.

## ۲-۴- عملگرهای اعداد خاکستری

دو عدد خاکستری  $\otimes_1$  و  $\otimes_2$  به صورت ذیل مفروض است (محمدی و مولایی، ۱۳۸۹):

$$\otimes_1 \in [a, b], a < b$$

$$\otimes_2 \in [c, d], c < d$$

عملگرهای محاسباتی، جمع دو عدد خاکستری، ضرب یک عدد ثابت در یک عدد خاکستری، ضرب دو عدد خاکستری و همچنین تقسیم دو عدد خاکستری به ترتیب مطابق با روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ تعریف می‌شود:

$$\otimes_1 + \otimes_2 \in [a+c, b+d] \quad (۱)$$

$$K \in \mathbb{R}^+, K \times \otimes_1 \in [Ka, Kb] \quad (۲)$$

$$\otimes_1 \times \otimes_2 \in [\min\{a \times c, a \times d, b \times c, b \times d\}, \max\{a \times c, a \times d, b \times c, b \times d\}] \quad (۳)$$

$$\frac{\otimes_1}{\otimes_2} \in \left[ \min\left\{\frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d}\right\}, \max\left\{\frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d}\right\} \right], c \text{ \& } d > 0 \quad (۴)$$

### ۳-۴-برآورد تحلیلی

روش برآورد تحلیلی یکی از دسته روش‌های زمان‌سنجی می‌باشد که جهت زمان‌سنجی فعالیت‌های غیرتکراری هنگامی که جمع‌آوری داده‌های کافی امکان ندارد؛ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش همانند سایر روش‌های زمان‌سنجی سیکل کاری به عناصر موجود در آن تقسیم می‌شود. از این روش می‌توان به‌طور مناسبی در فعالیت‌های تعمیراتی استفاده نمود. جهت به‌کارگیری این روش از یک فرد خبره که در صنعت خاصی مهارت دارد درخواست می‌شود تا نسبت به برآورد مدت‌زمان مربوط به فعالیت‌های آن صنعت اقدام نماید. البته بعد از آنکه عناصر فعالیت مشخص گردید و زمان‌های این عناصر توسط فرد خبره تعیین گردید، الوانس مشخصی که مابین ۱۰ تا ۲۰ درصد کل زمان پایه می‌باشد؛ به آن افزوده می‌گردد. در همین خصوص با توجه به اینکه شرایط انجام تعمیرات به‌نحوی می‌باشد که کلیه فاکتورهای مربوط به کار ممکن است مشاهده نشود، نظیر شرایط بد هوا، تنظیم‌های دقیق و غیره، می‌بایست این فاکتورها که می‌تواند بر روی زمان لازم برای انجام کار اثر گذارد و زمان انجام فعالیت را افزایش دهد، به‌گونه‌ای در نظر گرفته شوند که اولاً علت افزایش زمان مشخص باشد و ثانیاً اعتبار زمان‌های مشخص گردیده خدشه‌دار نگردد (مرعشی، ۱۳۷۶).

در همین خصوص جهت به‌کارگیری روش برآورد تحلیلی زمان‌سنجی، از سه زمان خوشبینانه، محتمل و بدبینانه مطابق با رابطه (۴) به‌گونه‌ای بهره گرفته می‌شود که در آن  $\bar{x}$  برآورد زمان در روش برآورد تحلیلی زمان‌سنجی خاکستری و  $x_1$ ،  $x_2$  و  $x_3$  به‌ترتیب زمان‌های خاکستری خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه می‌باشند:

$$\overline{\otimes}_X = \frac{\otimes x_1 + (4 \times \otimes x_2) + \otimes x_3}{6} \quad (۴)$$

#### ۴-۴- شرح اقدامات تعمیراتی انجام‌شده

با توجه به اینکه اکثر ماشین‌آلات و قطعات خطوط تولیدی مجتمع مس سرچشمه رفسنجان نظیر ماشین‌آلات و قطعات امور تغلیظ، ساخت آمریکا است؛ این مجتمع صنعتی و معدنی در راستای سیاست‌های کلان کشور گام‌هایی را در خصوص حذف وابستگی به بیگانگان از قبیل داخلی‌سازی قطعات و یا داخلی‌سازی تعمیرات قطعات مجتمع برداشته است که یکی از این اقدامات با توجه به استراتژیک و کلیدی بودن قطعه، مربوط به دهه هفتاد و هشتاد هجری شمسی در خصوص بوش منتل سنگ‌شکن ثانویه امور تغلیظ این مجتمع بوده است.

این قطعه با توجه به ماهیت عملکردی که در فرآیند تولید مس ایفا می‌نماید، می‌تواند با هرگونه عیب و یا دچار مشکل شدن، فرآیند خردایش سنگ معدن و نهایتاً خطوط تولید را متوقف نماید. لذا با توجه به ماهیت کلیدی بودن قطعه و همچنین عدم امکان تأمین قطعه از خارج از کشور به‌علت تحریم، ضرورت ساخت این قطعه در داخل کشور بیش‌ازپیش آشکار گردید به‌گونه‌ای که ساخت این بوش به یک پیمانکار ایرانی سپرده شد، اما متأسفانه بوش ساخته‌شده توسط آن شرکت پیمانکار در همان لحظات اولیه راه‌اندازی و بهره‌برداری پس از توقف سنگ‌شکن، به شافت منتل سنگ‌شکن گیر و واحد تعمیرات امور تغلیظ را با توجه به اهمیت جلوگیری از توقف کامل خطوط تولید، دچار مشکل نمود و با توجه به اینکه بوش‌های مورد استفاده در منتل تا پیش از ساخت توسط پیمانکار ایرانی همگی آمریکایی بودند و عدم تأمین آن‌ها نیز به‌واسطه تحریم از تأمین‌کننده خارجی وجود نداشت و بوش منتل ساخته‌شده توسط پیمانکار ایرانی نیز جوابگوی فرآیند کار در امور تغلیظ نبود؛ در همین راستا یک عدد از هفت عدد بوش منتل دچار مشکل شده به‌علت در دسترس نبودن اطلاعات فنی با بهره‌گیری از روش مهندسی معکوس جهت انجام آنالیز اولیه تعمیرات و همچنین مشخص نمودن مراحل، اقلام و ابزارآلات مصرفی و غیره در انجام تعمیرات، به کارگاه جوشکاری امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی مجتمع مس سرچشمه

رفسنجان، با توجه به تجارب گذشته این کارگاه در خصوص تعمیرات حیاتی، منتقل گردید. در همین خصوص در جدول (۱) برگرفته از تجارب و نظرات مسئول تعمیرات بوش‌ها، اقدامات اولیه در راستای شناسایی و آماده‌سازی انجام فعالیت‌های موردنیاز فرآیند تعمیرات که روی بوش اول صورت پذیرفت، تشریح می‌گردد.

جدول (۱): فعالیت‌های انجام‌شده در خصوص آنالیز قطعه و شناسایی مراحل انجام کار تعمیراتی

| ردیف | شرح اقدامات  |
|------|--|
| ۱    | تهیه عکس از نمونه شکسته شده جهت مقایسه با قطعه پایان کار، بررسی نظری و فنی، نمونه‌گیری جهت تخلل و آلودگی‌های منطقه مورد جوشکاری و تهیه عکس‌های میکروسکوپی  |
| ۲    | ساخت فیکسچرها و قیدهای مربوطه  |
| ۳    | زدودن و پاکسازی سطوح و مناطق شکسته شده   |
| ۴    | آماده‌سازی و فیکس کردن قطعه با قیدهای ساخته‌شده جهت جوشکاری، ساخت آلیاژ فیلر مورد استفاده جهت جوشکاری و تطابق آن با جنس قطعه به‌همراه بررسی استحکام فیلر مشخص‌شده پس از عملیات جوشکاری و بررسی نتایج حاصله از آن   |
| ۵    | ایجاد شیار و اتصال جهت جلوگیری از پیش‌پیش قطعه هنگام عملیات جوشکاری  |
| ۶    | انجام عملیات تنش‌گیری با بهره‌گیری از عملیات مکانیکی حین عملیات جوشکاری جهت استحکام هرچه بیشتر جوش، عکس‌برداری در حین عملیات جوشکاری در مراحل مختلف و نهایتاً ماشین‌کاری ویژه (قطعه مذکور پس از عملیات فوق نیاز به ماشین‌کاری داشته و به لحاظ مخروطی بودن قطعه، زمان نسبتاً زیادی حتی با ماشین تراش صرف انجام این عملیات می‌شد که با توجه به بحران سنگ‌شکن و پیگیری‌های مستمر امور مربوطه، سطوح برجسته به‌صورت انسان – ماشین به‌گونه‌ای تخصصی هم‌سطح و پرداخت گردید که انجام این عملیات منجر به حذف زمان عملیات ماشین‌کاری گردید). |

## ۵ یافته‌های تحقیق

پس از آنکه مطابق با جدول (۱)، اقدامات اولیه در خصوص آنالیز قطعه، شناسایی مراحل انجام کار تعمیری و همچنین انجام تعمیرات بوش اول انجام گردید و نتیجه تست عملیاتی بوش اول موفقیت‌آمیز از سوی واحد عملیاتی در آن سال‌ها اعلام شد؛ شش عدد بوش دیگر نیز جهت انجام تعمیرات به کارگاه جوشکاری امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی این مجتمع ارسال گردیدند و

نهایتاً تعمیرات این بوش‌ها نیز مشمر ثمر واقع گردید و نتایج عملکردی مطلوب از آن‌ها استخراج شد. اما نکات مهمی که در این فرآیند با توجه به اهمیت موضوع و همچنین عملکرد ضعیف پیمانکار در ساخت قطعه در آن سال‌ها می‌توان به آن پی برد، عبارتند از:

غفلت مجتمع در خصوص مدون نمودن دانش فنی کسب‌شده توسط شخص انجام دهنده کار.

عدم در نظر گرفتن مدت‌زمان صرف شده جهت انجام تعمیر.

این موارد به دو دلیل اصلی حائز اهمیت می‌باشند: ۱- با توجه به ماهیت ساختاری قطعه، فرآیند تعمیرات آن به طرق خاصی مدنظر بوده است؛ بنابراین تجارب مفید کسب‌شده از این فرآیند تعمیرات، قابلیت انتقال به سایر شرکت‌های معدنی دیگر و خودکفا سازی تعمیرات آن‌ها در رابطه با قطعات این‌چنینی وجود داشته است و ۲- با توجه به اینکه در حال حاضر این قطعه در داخل کشور پس از آن سال‌ها ساخته می‌شود اما با توجه به اینکه فرآیند تعمیرات یکی از بخش‌های مهم در چرخه تولید و یا حتی برنامه‌ریزی تولید و مهندسی صنایع از خود ایفا می‌نماید و همچنین با توجه به اینکه شخص انجام دهنده کار در حال حاضر به علت بازنشستگی از محیط مجتمع دور گردیده و دانش کسب‌شده جهت بهره‌برداری‌های آینده مکتوب نگردیده، این پژوهش، باهدف ارائه روشی نوین در خصوص ارائه مدت‌زمان تعمیرات قطعات و همچنین مدون نمودن دانش فنی کسب‌شده از این فرآیند تعمیرات در قالب مدیریت دانش انجام‌شده، می‌باشد.

لذا مطابق با جدول (۲) و دیدگاه شخص انجام دهنده کار، عناصر فعالیت تعمیراتی جهت سایر بوش‌ها تعیین گردید. همچنین مطابق با منطق روش برآورد تحلیلی زمان‌سنجی از شخص انجام دهنده تعمیرات این هفت عدد بوش درخواست شد تا با توجه به انجام این کار تعمیراتی این هفت عدد بوش و سایر فعالیت‌های تعمیراتی مشابه، نسبت به تخمین زمان هریک از این عناصر مطابق با تئوری خاکستری در سه سطح زمان‌های خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه اقدام نماید. در همین رابطه براساس زمان تعیین‌شده توسط شخص خبره، مطابق با رابطه (۵)، زمان عناصر، محاسبه و تعیین گردید.



براساس جدول (۲) زمان کلیه عناصر از اقدام اولیه که می‌توان گفت مربوط به آنالیز قطعه می‌باشد تا مرحله نهایی یعنی عملیات ماشین‌کاری به همراه تصاویر مربوط به مراحل تعمیرات یکی از بوش‌ها در شکل (۱) ارائه شده است.

پس از شناسایی اقدامات و آنالیز اولیه، در مراحل بعدی تعمیرات، نیاز مجددی به آنالیز نمی‌باشد و می‌بایست در انجام تعمیرات بعدی فقط عناصر تعمیراتی ذکر شده در جدول (۲) که تأثیرگذار در برنامه‌ریزی تعمیرات و نهایتاً در برنامه‌ریزی تولید هستند را در نظر گرفت.

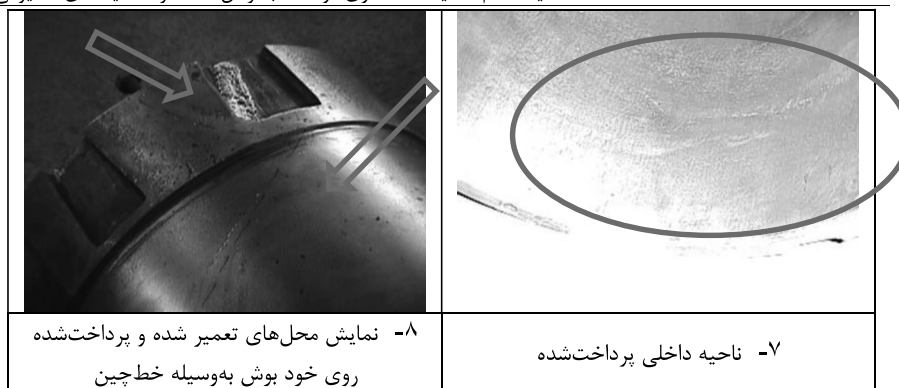
$$\begin{aligned}\overline{\otimes}_1 &= \frac{\otimes_1 + (4 \times \otimes_2) + \otimes_3}{6} = \frac{[60 \ 480] + 4 \times [480 \ 1440] + [1440 \ 2400]}{6} = [570 \ 1440] \\ \overline{\otimes}_2 &= \frac{\otimes_1 + (4 \times \otimes_2) + \otimes_3}{6} = \frac{[60 \ 240] + 4 \times [240 \ 480] + [480 \ 1920]}{6} = [250 \ 680] \\ \overline{\otimes}_3 &= \frac{\otimes_1 + (4 \times \otimes_2) + \otimes_3}{6} = \frac{[30 \ 120] + 4 \times [120 \ 240] + [240 \ 480]}{6} = [125 \ 260] \\ \overline{\otimes}_4 &= \frac{\otimes_1 + (4 \times \otimes_2) + \otimes_3}{6} = \frac{[60 \ 480] + 4 \times [480 \ 960] + [960 \ 1920]}{6} = [490 \ 1040] \\ \overline{\otimes}_5 &= \frac{\otimes_1 + (4 \times \otimes_2) + \otimes_3}{6} = \frac{[60 \ 120] + 4 \times [120 \ 180] + [180 \ 360]}{6} = [120 \ 200] \\ \overline{\otimes}_6 &= \frac{\otimes_1 + (4 \times \otimes_2) + \otimes_3}{6} = \frac{[480 \ 960] + 4 \times [960 \ 1440] + [1440 \ 1920]}{6} = [960 \ 1440]\end{aligned}\quad (5)$$

جدول (۲): نتایج زمان‌سنجی تحلیلی فعالیت‌های تعمیراتی با بهره‌گیری از عدم قطعیت خاکستری

| ردیف | شرح اقدامات   | زمان خوش‌بینانه<br>(دقیقه) | زمان محتمل<br>(دقیقه) | زمان بدبینانه<br>(دقیقه) | زمان پایه<br>(دقیقه) |
|------|---|----------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| ۱    | تهیه عکس از نمونه شکسته شده جهت مقایسه با قطعه پایان کار، بررسی نظری و فنی، نمونه‌گیری جهت تخلل و | [۶۰ ۴۸۰]                   | [۴۸۰ ۱۴۴۰]            | [۱۴۴۰ ۲۴۰۰]              | [۵۷۰ ۱۴۴۰]           |

|   |   |           |               |  |            |
|---|---|-----------|---------------|--|------------|
|   |   |           |               | آلودگی‌های منطقه<br>مورد جوشکاری و<br>تهیه عکس‌های<br>ماکروسکوپی |            |
| ۲ | ساخت فیکسچرها و<br>قیدهای مربوطه  | [۶۰ ۲۴۰]  | [۲۴۰ ۴۸۰]     | [۴۸۰ ۱۹۲۰]   | [۲۵۰ ۶۸۰]  |
| ۳ | زدودن و پاک‌سازی<br>سطوح و مناطق<br>شکسته شده   | [۳۰ ۱۲۰]  | ۲۴۰]<br>[۱۲۰  | [۲۴۰ ۴۸۰]  | [۱۲۵ ۲۶۰]  |
| ۴ | آماده‌سازی و فیکس<br>کردن قطعه با<br>قیدهای ساخته‌شده<br>جهت جوشکاری،<br>ساخت آلیاژ فیلر<br>مورد استفاده جهت<br>جوشکاری و تطابق<br>آن با جنس قطعه<br>به همراه بررسی<br>استحکام فیلر<br>مشخص شده پس از<br>عملیات جوشکاری و<br>بررسی نتایج حاصله<br>از آن | [۶۰ ۴۸۰]  | ۹۶۰]<br>[۴۸۰  | [۹۶۰ ۱۹۲۰]   | [۴۹۰ ۱۰۴۰] |
| ۵ | ایجاد شیار و اتصال<br>جهت جلوگیری از<br>پیچش قطعه هنگام<br>عملیات جوشکاری   | [۶۰ ۱۲۰]  | ۱۸۰]<br>[۱۲۰  | [۱۸۰ ۳۶۰]  | [۱۲۰ ۲۰۰]  |
| ۶ | انجام عملیات<br>تنش‌گیری با<br>بهره‌گیری از عملیات<br>مکانیکی حین<br>عملیات جوشکاری<br>جهت استحکام<br>هرچه بیشتر جوش،<br>عکس‌برداری در<br>حین عملیات<br>جوشکاری در مراحل  | [۴۸۰ ۹۶۰] | ۱۴۴۰]<br>[۹۶۰ | [۱۴۴۰ ۱۹۲۰]  | [۹۶۰ ۱۴۴۰] |

|   |  |  |  |                                    |  |
|---|--|--|--|------------------------------------|--|
|   |  |  |  | مختلف و نهایتاً<br>ماشین کاری ویژه |  |
|   |  |  |  |                                    |  |
|    |  |  |    |                                    |  |
| ۲- بخش ترک خورده داخل بوش   |  |  | ۱- بخش جدا شده   |                                    |  |
|   |  |  |   |                                    |  |
| ۴- عملیات جوشکاری ناحیه شیارزنی شده   |  |  | ۳- عملیات شیارزنی بخش ترک خورده خارج از بوش  |                                    |  |
|  |  |  |  |                                    |  |
| ۶- ناحیه خارجی پرداخت شده   |  |  | ۵- تکمیل عملیات جوشکاری بخش های نیازمند تعمیر  |                                    |  |



شکل (۱): مراحل تعمیرات یکی از بوش‌ها

در همین خصوص در جدول (۳) عناصر تعمیراتی تأثیرگذار در فرآیند زمان‌بندی تولید به همراه مدت‌زمان مربوطه برگرفته از جدول (۲)، ارائه شده است. اما توجه به این نکته که امکان دارد فاکتورهای غیرقابل برنامه‌ریزی دیگری نیز در هنگام انجام کار تعمیراتی پدید آیند و عملاً زمان استفاده مجدد قطعه را در فرآیند تولید به تأخیر بیندازند؛ یک الوانس [۲۰٪ - ۱۰٪] نیز در نظر گرفته شد و در نهایت نیز به مجموع زمان پایه این کار تعمیراتی اضافه گردید که در ادامه شرح عناصر فعالیت تعمیراتی، زمان هریک از عناصر و نتایج محاسبه زمان استاندارد این فعالیت تعمیراتی در جدول (۳)، ارائه شده است.

جدول (۳): نتایج زمان‌سنجی تحلیلی عدم قطعیت خاکستری فعالیت‌های تأثیرگذار در زمان‌بندی تولید

| ردیف | شرح اقدامات   | زمان خوشبینانه (دقیقه) | زمان محتمل (دقیقه) | زمان بدبینانه (دقیقه) | زمان پایه (دقیقه) |
|------|---|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| ۳    | زدودن و پاکسازی سطوح و مناطق شکسته شده  | [۳۰ ۱۲۰]               | [۱۲۰ ۲۴۰]          | [۲۴۰ ۴۸۰]             | [۱۲۵ ۲۶۰]         |
| ۴    | آماده‌سازی و فیکس کردن قطعه با قیدهای ساخته‌شده جهت جوشکاری، ساخت آلیاژ فیلر مورد استفاده | [۶۰ ۴۸۰]               | [۴۸۰ ۹۶۰]          | [۹۶۰ ۱۹۲۰]            | [۴۹۰ ۱۰۴۰]        |

|   |            |             |            |  |  |
|---|------------|-------------|------------|--|--|
|   |            |             |            | جهت جوشکاری و تطابق آن با جنس قطعه به همراه بررسی استحکام فیلر مشخص شده پس از عملیات جوشکاری و بررسی نتایج حاصله از آن |  |
|   | [۱۲۰ ۲۰۰]  | [۱۸۰ ۳۶۰]   | [۱۲۰ ۱۸۰]  | [۶۰ ۱۲۰]   | ۵<br>ایجاد شیار و اتصال جهت جلوگیری از پیچش قطعه هنگام عملیات جوشکاری  |
|   | [۹۶۰ ۱۴۴۰] | [۱۴۴۰ ۱۹۲۰] | [۹۶۰ ۱۴۴۰] | [۴۸۰ ۹۶۰]  | ۶<br>انجام عملیات تنش گیری با بهره گیری از عملیات مکانیکی حین عملیات جوشکاری جهت استحکام هرچه بیشتر جوش، عکس برداری در حین عملیات جوشکاری در مراحل مختلف و نهایتاً ماشین کاری ویژه |
| مجموع کل زمان پایه تعمیرات (دقیقه) (مجموع زمان های پایه (دقیقه) ردیف های ۳، ۴، ۵ و ۶)   |            |             |            |  |  |
| $[۱۶۹۵\ ۲۹۴۰] = [۹۶۰\ ۱۴۴۰] + [۱۲۰\ ۲۰۰] + [۴۹۰\ ۱۰۴۰] + [۱۲۵\ ۲۶۰]$  |            |             |            |  |  |
| [۱۰٪ ۲۰٪]   |            |             |            |  | الوانس   |
| زمان کلی خاکستری فعالیت تعمیرات در عملکرد استاندارد (دقیقه)<br>$[\min\{1/1*1695, 1/1*2940, 1/2*1695, 1/2*2940\}$ $\max\{1/1*1695, 1/1*2940, 1/2*1695, 1/2*2940\}] = [1864/5\ 3528]$ |            |             |            |  |  |

تحلیل نتایج این پژوهش نشان داد که انجام این کار تعمیراتی نیازمند زمان خاکستری [۳۵۲۸/۵] دقیقه برای هر قطعه می باشد که می بایست جهت برنامه ریزی و زمان بندی تولید

خصوصاً زمان‌بندی فعالیت‌های تعمیراتی، در نظر گرفته شود. در همین خصوص جهت تعیین تعداد قطعات تعمیری در یک ماه می‌بایست اقدام به تعیین مدت‌زمان در دسترس روز و ماه نمود که در همین راستا تعداد روزهای کاری یک ماه در بهترین حالت ۳۰ روز و در بدترین حالت ۲۴ روز در نظر گرفته می‌شوند. همچنین هر روز نیز با لحاظ مدت‌زمان ۴۴۰ دقیقه به‌عنوان مدت‌زمان در دسترس فعالیت‌های کاری با لحاظ مدت‌زمان نماز و نهار به‌صورت پیش‌فرض مدنظر قرار می‌گیرد؛ بنابراین مدت‌زمان خالص در دسترس جهت انجام فعالیت تعمیراتی این قطعه در ماه مطابق با رابطه (۶)، محاسبه می‌گردد.

بنابراین تعداد قطعاتی را که توسط یک فرد ماهر در مدت‌زمان یک ماه امکان تعمیر آن وجود خواهد داشت مطابق با رابطه (۷) با بهره‌گیری از رابطه (۴)، محاسبه می‌شود.

$$(۶) \quad [10560 \ 13200] = [24*440 \ 30*440] = \text{زمان در دسترس ماه (دقیقه)}$$

$$\text{تعداد قطعات تعمیری در یک ماه} = \frac{[10560 \ 13200]}{[1864.5 \ 3528]} = [2.99 \ 7.08]$$

تعداد قطعات تعمیری در یک ماه

(۷)

$$= [\min\{\frac{10560}{1864.5}, \frac{10560}{3528}, \frac{13200}{1864.5}, \frac{13200}{3528}\} \max\{\frac{10560}{1864.5}, \frac{10560}{3528}, \frac{13200}{1864.5}, \frac{13200}{3528}\}]$$

$$= [\min\{5.66, 2.99, 7.08, 3.74\} \max\{5.66, 2.99, 7.08, 3.74\}] = [2.99 \ 7.08]$$

اما با توجه به اینکه تأمین این قطعه چه از تأمین‌کننده داخلی و چه از تأمین‌کننده‌ی خارجی هزینه‌های قابل‌توجهی را به‌همراه دارد و براساس اعلام نظر دفتر فنی امور تغلیظ مجتمع مس سرچشمه رفسنجان تعمیر هفت عدد از این بوش ارزشی بالغ بر ۴۹۸۹۶ یورو صرفه‌جویی ارزی در آن سال‌ها به همراه داشته است. لذا هزینه‌های بالای ناشی از تعویض‌کاری نسبت به انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در خصوص این قطعات، ضرورت تعمیر آن‌ها را بیش‌ازپیش لازم و ضروری می‌نماید. این در حالی است که مطابق با نتایج حاصله از رابطه (۷)، انجام فرآیند تعمیرات آن قطعه، در طول یک ماه امکان تعمیر بیش از ۷/۰۸ قطعه را توسط یک شخص ماهر نمی‌دهد و عملاً زمان قابل‌توجهی را به خود اختصاص می‌دهد بنابراین ضرورت برنامه‌ریزی دقیق چه در حوزه نگهداری و تعمیرات و چه در حوزه برنامه‌ریزی تولید را می‌طلبد.

## ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر مربوط به انجام یک کار تعمیراتی در دهه هفتاد و هشتاد هجری شمسی در امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی مجتمع مس سرچشمه رفسنجان بوده است. کار تعمیراتی یادشده به ترتیب مراحل پژوهش، از چندین جهت دارای اهمیت می‌باشد:

نخستین اهمیت آن مرتبط با شخص انجام دهنده کار می‌باشد که ایشان بازنشسته شده و دانش انجام این کار با توجه به اهمیت آن ثبت نگردیده است. این دانش به واسطه اینکه ثبت نشده و عملاً به صورت یک دانش فنی پنهان در جنبه‌های مختلف: «بررسی نظری و فنی و همچنین نمونه‌گیری جهت تخلل و آلودگی‌های منطقه مورد جوشکاری»، «ساخت فیکسچرها و قیدهای مربوطه»، «زدودن و پاکسازی سطوح و مناطق شکسته شده»، «ساخت آلیاژ فیلر مورد استفاده جهت جوشکاری و تطابق آن با جنس قطعه به همراه بررسی استحکام فیلر مشخص شده پس از عملیات جوشکاری و بررسی نتایج حاصله از آن»، «ایجاد شیار و اتصال جهت جلوگیری از پیچش قطعه هنگام عملیات جوشکاری» و «انجام عملیات تنش‌گیری با بهره‌گیری از عملیات مکانیکی حین عملیات جوشکاری جهت استحکام هرچه بیشتر جوش و نهایتاً ماشین‌کاری ویژه<sup>۱</sup>» باقیمانده، عملاً این دانش فنی از دسترس سازمان خارج و امکان بهره‌مندی مجدد در خصوص تعمیر قطعه موردنظر در زمان‌های موردنیاز از بین رفته است. این در حالی است که با بررسی‌های به عمل آمده مشخص گردیده حتی دانش‌های فنی دیگری که در این مجتمع با زحمت و وقت زیادی توسط افراد مختلف به‌ویژه شخص مذکور به واسطه تجارب گذشته ایشان در کارگاه جوشکاری امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی مجتمع مس سرچشمه رفسنجان در خصوص تعمیرات حیاتی، پیش از این به دست آمده، به علت غفلت از دست‌رفته‌اند و عملاً سهم بزرگی از دانش‌های کسب‌شده به‌ویژه در حوزه تعمیرات صنایع معدنی کشور که می‌توانست روزی کمک

---

۱. در خصوص ماشین‌کاری ویژه رجوع شود به ردیف ۶ جدول (۱)

بزرگی را به دیگر شرکت‌های مشابه ارائه دهند و یا حتی با انتقال آن‌ها درآمد قابل توجهی از این حوزه از آن خود کنند را از دست بدهند.

دومین جنبه اهمیت این کار پژوهشی مرتبط با مدیریت کیفیت تعمیرات و استانداردسازی تعمیرات می‌باشد؛ زیرا قطعه یادشده با توجه به اینکه از جنبه‌های: «بررسی نظری و فنی و همچنین نمونه‌گیری جهت تخلخل و آلودگی‌های منطقه مورد جوشکاری»، «ساخت فیکسچرها و قیدهای مربوطه»، «زدودن و پاک‌سازی سطوح و مناطق شکسته شده»، «آماده‌سازی و فیکس کردن قطعه با قیدهای ساخته‌شده جهت جوشکاری، ساخت آلیاژ فیلر مورد استفاده جهت جوشکاری و تطابق آن با جنس قطعه به همراه بررسی استحکام فیلر مشخص شده پس از عملیات جوشکاری و بررسی نتایج حاصله از آن»، «ایجاد شیار و اتصال جهت جلوگیری از پیچش قطعه هنگام عملیات جوشکاری» و «انجام عملیات تنش‌گیری با بهره‌گیری از عملیات مکانیکی حین عملیات جوشکاری جهت استحکام هرچه بیشتر جوش و نهایتاً ماشین‌کاری ویژه» اقدامات خاصی در راستای کیفیت و استاندارد مطلوب تعمیرات در نظر گرفته شد که نهایتاً این جنبه مشخصاً خود را در عملکرد مطلوب قطعه پس از راه‌اندازی نمایان کرد. به‌طوری‌که پس از تعمیر بوش اول و متمر ثمر واقع‌شدن در چرخه تولید، شش عدد بوش دیگر نیز جهت انجام چرخه تعمیرات به این کارگاه منتقل گردیدند.

سومین جنبه اهمیت این مطالعه مرتبط با مهندسی معکوس در تعمیرات می‌باشد. این جنبه در خصوص موارد: «بررسی نظری و فنی و همچنین نمونه‌گیری جهت تخلخل و آلودگی‌های منطقه مورد جوشکاری و تهیه عکس‌های ماکروسکوپی»، «ساخت فیکسچرها و قیدهای مربوطه»، «زدودن و پاک‌سازی سطوح و مناطق شکسته شده»، «ساخت آلیاژ فیلر مورد استفاده جهت جوشکاری و تطابق آن با جنس قطعه به همراه بررسی استحکام فیلر مشخص شده پس از عملیات جوشکاری و بررسی نتایج حاصله از آن» و «نهایتاً ماشین‌کاری ویژه» مورد استفاده عملی قرار گرفت و سبب گردید بخش بدون اطلاعات فنی مربوط، خصوصاً اطلاعات و الزامات مجتمع در خصوص بهره‌برداری از قطعه آماده‌به‌کار را جبران نماید.



چهارمین جنبه اهمیت این کار پژوهشی مرتبط با صرفه‌جویی ارزی ناشی از تعمیرات بوده که با توجه به اعلام نظر دفتر فنی امور تغلیظ این مجتمع که مالک این کار تعمیراتی بوده؛ حجم قابل‌توجهی از صرفه‌جویی ارزی را به‌همراه داشته است.

پنجمین جنبه، تعمیراتی این است که در آن سال‌ها به علت نبود قطعه یدکی مناسب و مطابق با الزامات مجتمع از یک‌طرف و از طرف دیگر به‌علت تحریم کشور و عدم امکان تأمین این قطعه از خارج، عملاً این مجتمع صنعتی با توجه به حیاتی بودن این قطعه و نیاز مبرم به تأمین هرچه سریع‌تر آن دچار مشکل گردید و عملاً تولید مس کشور از یک‌طرف و کاهش چشم‌گیر صادرات از طرف دیگر ضرورت جایگزین کردن تأمین قطعه جدید با تعمیر آن در آن سال‌ها مطرح گردید.

بنابراین با توجه به اینکه در انجام فعالیت‌های تعمیراتی این قطعه، جنبه‌های مختلف علمی نظیر مدیریت دانش، مهندسی معکوس به‌ویژه در ایران، مدیریت کیفیت تعمیرات و همچنین استانداردسازی تعمیرات به‌طور کامل مشهود و بهره‌گرفته‌شده است. ذکر یک نکته قابل‌توجه و تأمل می‌باشد که انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات به‌ویژه فعالیت‌های تعمیراتی این چینی، در کارگاه‌های تعمیراتی نظیر کارگاه جوشکاری امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی مجتمع مس سرچشمه رفسنجان صورت می‌پذیرد و با توجه به اینکه کارکنان تعمیرات در طول فرآیند تعمیرات سعی در تمرکز بر نحوه صحیح و اصولی انجام کار در حداقل زمان ممکن هستند؛ به‌طور خاص این جنبه‌های علمی که ضرورت انجام هر کار تعمیراتی می‌باشد به‌ندرت توسط سازمان‌ها مورد بررسی و توجه قرار می‌گیرد و عملاً بخش مهم چرخه‌های تعمیرات این چینی مورد غفلت، کم‌توجهی و نهایتاً منجر به تجربه مجدد بسیاری از این‌گونه فعالیت‌های تعمیراتی می‌شود.

لذا این پژوهش به‌دنبال یادآوری به شرکت‌ها و مؤسسات به‌ویژه شرکت ملی صنایع مس ایران بوده که در عصر علمی امروز که مدام با فناوری همراه می‌باشد، ثبت نکردن تجارب کسب‌شده گذشته خواهد توانست که آن‌ها را از پیشرفت‌ها و حتی اصلاح فرآیندها که می‌تواند توسط فعالیت‌هایی نظیر نگهداری و تعمیرات ایجاد نماید؛ محروم نماید و حتی هزینه‌های گاهاً

قابل توجهی را بر دوش آن‌ها جهت کسب تجارب مجدد قرار دهد. در نتیجه به مدیران صنایع پیشنهاد می‌شود که از روش پژوهش استفاده شده در این مقاله، جهت ثبت تجربیات مربوط به محاسبه زمان تعمیرات استفاده نمایند تا بدین ترتیب در چرخه فرآیند بهبود مستمر زمان تعمیرات (برنامه‌ریزی، اجرا، کنترل و اقدام)، عملیات کنترل یا اندازه‌گیری زمان تعمیرات با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها با دقت بالاتری انجام شود. این بهبود در دقت اندازه‌گیری می‌تواند به مدیران در تصمیمات مربوط به برنامه‌ریزی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، برنامه‌ریزی تولید، کاهش توقفات، ارتقا کیفی محصولات، آماده‌به‌کاری ماشین‌آلات و دستگاه‌ها کمک کند.

جهت پژوهش‌های آینده نیز توصیه می‌گردد که پژوهش‌گران خصوصاً علاقه‌مندان در خصوص ثبت سایر تجارب و دانش‌های کسب‌شده افراد خبره در حوزه‌های مختلف به‌ویژه صنایع که پتانسیل‌های خوبی دارند، اقدامات لازم را انجام دهند؛ زیرا این امر سبب خواهد شد که شرکت‌های مختلف این امکان را داشته باشند تا نسبت به کارگیری تجارب گذشته کسب‌شده توسط شرکت‌های دیگر برخوردار باشند و عملاً شرکت‌های به دست آورنده تجارب حتی امکان کسب درآمد از حوزه فروش دانش را به دست آورند.

## ۷ مراجع

- Al-Tahat, M.D., & Al-Shoubaki, H. . (2012). Knowledge management of maintenance activities for potable water distribution business. *International Journal of Energy, Environment and Economics*, 20(2), 123-134 .
- Chang, Fengtian, Zhou, Guanghui, Zhang, Chao ,Ding, Kai, Cheng, Wei, & Chang, Fengjiao. (2021). A maintenance decision-making oriented collaborative cross-organization knowledge sharing blockchain network for complex multi-component systems. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124541. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124541>
- Cooke, Fang Lee. (2002). Harnessing the Firm-specific Knowledge of the Maintenance Workforce for Organizational Competitiveness. *Technology Analysis & Strategic Management*, 14(1), 123-140. doi: 10.1080/09537320220125928
- Handzic, Meliha. (2011). Integrated socio-technical knowledge management model: an empirical evaluation. *Journal of Knowledge Management*, 15(2), 198-211. doi: 10.1108/13673271111119655
- DOI: 10.22034/jsqm.2021.275644.1318

Iyengar, N., Dharwada, Pallavi, Kapoor, K., Gramopadhye, A., & Greenstein, J. (2005). DEVELOPMENT OF A KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM TO REDUCE ERRORS IN AVIATION MAINTENANCE.

James, A.T., Gandhi, O.P., & Deshmukh, S.G. (2017). Knowledge management of automobile system failures through development of failure knowledge ontology from maintenance experience. *Journal of Advances in Management Research*, 14(4), 425-445. doi: <https://doi.org/10.1108/JAMR-02-2017-0024>

Li, Guo-Dong, Yamaguchi, Daisuke, & Nagai, Masatake. (2007). A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(3), 573-581. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.11.021>

Liu, Sifeng, & Lin, Yi. (2006). *Grey Information Theory and Practical Applications*: Springer-Verlag London.

Refaiy, Mamdouh, & Labib, Ashraf. (2009). The effect of applying tacit knowledge on maintenance performance: an empirical study of the energy sector in the UK and Arab countries. *Knowledge Management Research & Practice*, 7(3), 277-288. doi: 10.1057/kmrp.2009.11

Wan, S., Gao, J.X., Li, D., & Evans, R.D. (2014). Knowledge Management for Maintenance, Repair and Service of Manufacturing System. Paper presented at the International Conference on Manufacturing Research .

ارمغان، نگار. (۱۳۹۵). مدیریت تجارب و اطلاعات در واحد تعمیرات و نگهداری و خدمات پس از فروش یک شرکت صنعتی. *مجله تعامل انسان و اطلاعات*, ۳(۱), ۴۴-۵۵.

برزگر، تقی، حسونود، مرید عباس، حاجی‌زاده، رضا و رامک، مهرباب. (۱۳۹۴). تعیین و رتبه‌بندی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت دانش در نگهداری و تعمیرات با رویکرد AHP (مورد کاوی معاونت آما و پشتیبانی ناجا). *مجله اندیشه آما*, ۱۴(۵۲), ۳۷-۵۲.

محمدی، علی و مولایی، نبی. (۱۳۸۹). کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری در ارزیابی عملکرد شرکت‌ها. *مدیریت صنعتی*, ۱۲(۱), ۱۲۵-۱۴۲.

مرعشی، سید نصرالله. (۱۳۷۶). سیستم‌های زمان‌سنجی. تهران: انتشارات بصیر.

Research paper

## Grey Uncertainty Technique in the Calculation of Maintenance Activities' Standard Time

Ali soltanpour<sup>1</sup>, Seyed Hamed Moosavirad<sup>2</sup>, Sasan Taghizadeh<sup>3</sup>, Hamid Nosratabadi<sup>4</sup>

### Abstract

Received: 2021/08/17

Accepted: 2021/09/28

Since the beginning of the Iran Islamic Revolution, Iranian organizations and manufacturing institutions have gradually been able to internalize significant parts of their maintenance and maintenance activities. One of these companies and institutions as the first producer and exporter of copper in Iran is Sarcheshmeh Rafsanjan Copper Complex which is affiliated to the National Iranian Copper Industries Company. Based on the performed studies, it has been determined that this company, considering the internalization of maintenance of many parts, has not done any activity in two areas of recording and sharing the knowledge gained in the field of maintenance and recording the duration of maintenance activities to calculate the standard time related to those activities. Therefore, in this research focused on one of the most important maintenance activities of this complex regarding one of the key and vital parts that has the capability to share the acquired knowledge with other organizations and institutions in the same field from two aforementioned areas. In this regard, in order to conduct this research and due to the specific uncertainty regarding the maintenance activities, gray uncertainty in the analytical timing method has been used to calculate the standard time. Finally, the results of this study showed that performing maintenance activities takes a significant amount of time from the production scheduling, and the duration of maintenance activities should be considered in order to perform all planning, especially operations management.

**Keywords:** Knowledge Management; Grey uncertainty; Analytical estimation of timing; Maintenance activities; Sarcheshmeh Copper Complex of Rafsanjan