بسم الله الرحمن الرحيم
إنه من سليمان وإنه

بسمه تعالی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن (M.sc)

عنوان

تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان تجهیزات خردایش، مطالعه موردی معدن آهک جاجرم

استاد راهنما :
دکتر محمد تاجی

استاد مشاور :
دکتر محمود پارسایی

نگارش
رضا برآبادی
۹۱۰۶۳۴۲۶۹

تابستان ۱۳۹۳

Islamic Azad University of Shahrood
M.Sc tesis on mine engineering

Tendency:
Extraction

Title:

Reliability analysis of Crushing equipment: A case study of a limestone mine Jajarm

Supervisor:
Dr.M.Taji

Advisor:
Dr.M.Parsai

By:
Reza Barabadi

Sammer 2014

به مصداق « من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق» بسي شايسته است از استاد فرهيخته و فرزانه جناب دكتر محمد تاجی و دكتر محمود پارسايی كه با كرامتي چون خورشيد ، سرزمين دل را روشني بخشيدند و گلشن سراي علم و دانش را با راهنمايي هاي كار ساز و سازنده بارور ساختند ; تقدير و تشكر نمايم.(و يزكيهم و يعلمهم الكتاب و الحكمه).

معلما مقامت ز عرش برتر باد
همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

به نكته هاي دلاويز و گفته هاي بلند
صحيفه هاي سخن از تو علم پرور باد

فهرست مطالب

مقدمه ۱
۱- مفاهیم وپیشینه ۳
۱-۱- تعاریف ومفاهیم ۳
۱-۲- آشنایی ۵
۱-۳- قابلیت‌اطمینان ۸
۱-۳-۱- قابلیت‌تعمیرپذیری ۱۰
۱-۳-۲-قابلیت‌دسترسی ۱۱
۱-۴- مرورادبیات قابلیت اطمینان ۱۲
۱-۴-۱- مرورادبیات قابلیت‌اطمینان درسیستم‌های عملیاتی معدن ۱۶
۲- قابلیت اطمینان ۲۱
۲-۱- مبانی کلی قابلیت اطمینان ۲۲
۲-۱-۱- فرمولهای اساسی ۲۵
۲-۱-۲- توصیف سیکل(چرخه عمر)سیستم‌های صنعتی براساس نرخ مخاطره ۳۱
۲-۲-جمع‌آوری وطبقه بندی داده‌ها ۳۳
۲-۲-۱- مرحله اول: جمع آوری اطلاعات ازمنابع مختلف ۳۶
۲-۲-۲- مرحله دوم: مرتب کردن داده‌ها ۳۸
۲-۲-۳-مرحله سوم: طبقه بندی داده‌ها درفرم های مورد نیازبرای تحلیل ۳۸
۲-۲-۴- انواع داده‌های خرابی ۳۸
۲-۳- مباحث آماری وتحلیل داده‌ها ۴۰
۲-۳-۱- تحلیل فراوانی تجمعی(تحلیل پارتو) ۴۰
۲-۳-۲- ارزیابی مستقل بودن وتوزیع یکسان (iid) ۴۳
۲-۳-۳- توزیع‌های‌آماری ونحوة برازش ۴۶
۲-۳-۴- مدل‌های مانا (خوش‌رفتار)ومدل‌های نامانا ۴۶
۲-۴- اهمیت قابلیت اطمینان (RI) ۵۶
۲-۵- مدلسازی شبکه و قابلیت اطمینان سیستم‌ها ۵۷
۲- ۵-۱- سیستم‌های متوالی ۵۷
۲- ۵-۲- سیستم موازی ۵۸
۲- ۵-۳- سیستم ترکیبی ۵۸
۲- ۵-۴- سیستم‌های k از n ۵۸
۲-۵-۵- سیستم‌های آماده به کار ۵۹
۳- نمونه موردی ۶۱
۳ – مطالعة موردي ۶۱
۳-۱- واحدخردایش معدن آهک جاجرم ۶۱
۳-۲- تحلیل نمونة موردي ۶۶
۳-۳- جمع آوري وطبقه بندي داده ها ۶۶

۳-۴- تحليل فراواني تجمعي(تحليل پارتو) ۷۰
۳-۵- ارزيابي مستقل بودن وتوزيع يكسان (iid) ۷۱
۳-۵-۱ آزمون روند وخودهمبستگي ۷۲
۳ -۶- مدل قابليت اطمينان وتوابع توزيع زيرسيستم ۷۳
۳ – ۶ – ۱ گريزلیAFCS ۷۳
۳- ۶ -۲- سنگ شكن اوليهCRCS01 ۷۵
۳-۶-۳- نوارنقاله CBCBS02،D02 ۷۸
۳-۷- توزيع هاي برازش شده برزيرسيتم وسيستم واحدخردايش معدن آهک جاجرم ۸۱
۴ –نتيجه گيری وپيشنهادات ۸۶
۵- منابع ۹۴

فهرست اشکال :

شکل۱ -۱- نمودارساده ازسیستم عملیاتی معدن ۱۷
شکل۲ -۱- تابع اقلام ماندگار(n(tبرای دو وضعیت نظارت ۲۳
شکل۲- ۲- رابطه میان[16]ti , Δti ۲۵
شکل۲ -۳- قضیه مقدارمیانگین به صورت ترسیمی ۲۷
شکل۲ -۴- رابطه میان چهارتابع عملکرد ۲۸
شکل۲ -۵- نمودار وان حمام ۳۱
شکل۲ -۶- انواع خرابی‌های مکانیکی ۳۵
شکل۲-۷- انواع داده‌های خرابی ۳۹
شکل۲ -۸- الگوریتم ارایه سیاست مناسب بااستفاده ازبررسی قابلیت‌اطمینان ۴۱
شکل۲ -۹- نمودار پارتو برای یک شاول هیدرولیکی ۴۲
شکل۲ -۱۰- ویژگی‌های خرابی در واحدسنگ‌شکنی با استفاده ازنمودار پارتو ۴۲
شکل۲ -۱۱- آزمون روند ۴۴
شکل۲- ۱۲- آزمون خودهمبستگی درموردیک دستگاه شاول هیدرولیکی ۴۶
شکل۲- ۱۳- توابع توزیع نرمال لگاریتمی ۴۸
شکل۲- ۱۴- TTT-Plotمربوط به یکدستگاه LHD
۵۳
شکل۲- ۱۵- فراوانی تجمعی تجربی وتابع توزیع نظری ۵۵
شکل ۲-۱۶ سیستم متوالی متشکل از سه زیر سیستم مستقل ۵۷
شکل ۲-۱۷ سیستم موازی متشکل از سه زیر سیستم مستقل ۵۸
شکل ۲-۱۸ سیستم سری- موازی ۵۸
شکل ۳-۱-جاجرم موقعیت جغرافیایي،راههاي ارتباطي جاجرم وموقعیت کارخانه ومعدن بوکسیت جاجرم
۶۲
شکل ۳-۲-موقعیت معادن بوکسیت،آهك وکارخانه تولیدآلومیناي جاجرم ۶۲
شکل ۳-۳-نمای کلی ازواحدخردایش معدن آهک جاجرم ۶۳
شکل ۳-۴ –فرآیندخردایش معدن آهک ۶۴
شکل ۳-۵ –زیرسیستمهای موجود درواحد خردایش معدن آهک ۶۴
شکل ۳-۶-هیستوگرام زیرسیستمCRCS01 ۶۹
شکل ۳-۷-هیستوگرام زیرسیستمCBCBS02 ۶۹
شکل ۳-۸-هیستوگرام زیرسیستمAFCS ۶۹
شکل ۳-۹-نمودار پارتو سیستم ۷۰
شکل ۳-۱۰-روش ترسیمی ارزیابی روند و همبستگیAFCS
۷۲
شکل ۳-۱۱-روش ترسیمی ارزیابی روند و همبستگیCRSC01 ۷۲
شکل ۳-۱۲-روش ترسیمی ارزیابی روند و همبستگیCBCBS02
۷۲
شکل ۳-۱۳-نمودارتوزیع چگالی زیرسیستم گریزلی
۷۴
شکل ۳-۱۴- نمودارتوزیع تجمعی زیرسیستم گریزلی ۷۴
شکل ۳-۱۵-نمودارقابلیت اطمینان زیرسیستم گریزلی ۷۴

شکل ۳-۱۶-نمودارنرخ خرابی زیرسیستم گریزلی ۷۵
شکل ۳-۱۷ –نمودارتوزیع چگالی زیرسیستم سنگ شکن اولیه ۷۶
شکل ۳-۱۸ –نمودارتوزیع تجمعی زیرسیستم سنگ شکن اولیه ۷۶
شکل ۳-۱۹-نمودارقابلیت اطمینان زیرسیستم سنگ شکن اولیه ۷۷
شکل۳-۲۰-نمودارنرخ خرابی زیرسیستم سنگ شکن اولیه ۷۷
شکل ۳-۲۱-نمودارتوزیع چگالی زیرسیستم نوار نقاله۰۲ ۷۸
شکل ۳-۲۲-نمودارتوزیع تجمعی زیرسیستم نوارنقاله۰۲ ۷۸
شکل ۳-۲۳-نمودارقابلیت اطمینان زیرسیستم نوارنقاله۰۲ ۷۹
شکل۳-۲۴-نمودارنرخ خرابی زیرسیستم نوارنقله۰۲ ۷۹
شکل ۳-۲۵-دیاگرام بلوکی زیرسیستم های واحدخردایش معدن آهک جاجرم ۸۱
شکل ۳-۲۶-عدم قابلیت اطمینان زیرسیستمها ۸۲
شکل ۳-۲۷-قابلیت اطمینان زیرسیستمها ۸۳
شکل ۳-۲۸ –دیاگرام زیرسیستمهای واحدخردایش معدن آهک جاجرم ۸۴
شکل ۳-۳۰-چگالی خرابی کل سیستم ۸۴
شکل ۳- ۳۱- قابلیت اطمینان کل سیستم ۸۵
شکل ۳-۳۲-نرخ مخاطره کل سیستم ۸۵

فهرست جداول

جدول۱- ۱- مروری برعناوین پژوهش‌های انجام شده دررابطه باقابلیت اطمینان و دسترسی ۱۵
جدول۱-۲- مروری برعناوین پژوهش‌های انجام شده دررابطه باقابلیت اطمینان درمعدن ۱۷
جدول۲- ۱- انواع داده‌های خرابی ۳۹
جدول۲- ۲- روش‌های برآورد پارامتر درتوابع مختلف ۵۱
جدول۲ -۳- آزمون‌های نیکوئی برازش ۵۴
جدول ۳-۱ مشخصات شیمیایی سنگ آهک معدن آهک جاجرم ۶۱
جدول ۳-۲ اسامی لاتین و کد گذاری زیر سیستم ۶۵
جدول۳-۳ نحوه ذخیره داده ها از گزارش واحد مکانیک و روزانه ۶۷
جدول ۳-۴ داده های اولیه زیر سیستم CRCS ۰۱ ۶۸
جدول۳-۵ داده های اولیه زیر سیستم CBCBS۰۲ ۶۸
جدول۳-۶ داده های اولیه زیر سیستم AFCS ۶۸
جدول ۳-۷ روش های به کار رفته برای ارزیابی فرض Iid ۷۱
جدول ۳-۸ بهترین تابع توزیع برای زیرسیستم ۸۰
جدول ۳-۹ قابلیت اطمینان زیرسیتم های واحد خردایش معدن آهک ۸۰
جدول ۳-۱۰ قابلیت اطمینان زیرسیتم های واحد خردایش معدن آهک ۸۱

علائم و اختصارات

A(t)	قابليت دسترسي	**MTTR**	متوسط فاصله زماني براي تعميرات
AR(1)	فرآيند خودهمبسته ساده	**MTTF**	متوسط زمان تا وقوع خرابي
A-D	آزمون اندرسون دارلينگ	**MLE**	روش برآورد درستنمايي بيشينه
AFC	مقدار تابع خودهمبستگي	**NHPP**	فرآيند پوآسون ناهمگن
AVPLOT	مقدار متوسط آمارة ترسيمي	**NOR**	توزيع نرمال
AVGOF	مقدار آماره K-S	**PM**	نت پيشگيرانه
BDM	نت پس از وقوع خرابي	**PDF**	تابع چگالي احتمال
CBM	نت مبتني بر شرايط	**PRF**	تابع رگرسيون جامعه
CM	نت اصلاحي	**PLP**	مدل قانون توان
CDF	تابع توزيع تجمعي	**R(t)**	تابع قابليت اطمينان
DOM	نت مبتني بر بازنگري در تجهيزات	**$R^*(t)$**	تابع قابليت اطمينان تجربي
DFR	نرخ مخاطره كاهشي	**RI**	اهميت قابليت‌اطمينان
E(t) , μ	ميانگين	**R_{pm}**	قابليت‌اطمينان بعد از اجراي نت
ECP	هزينه نت پيشگيرانه	**SEV**	توزيع كوچك‌ترين مقدار كرانه‌اي
ECC	هزينه نت اصلاحي	**SRF**	تابع رگرسيون نمونه
EXP	توزيع نمايي	**TBF**	زمان بين خرابي‌ها
F(t)	تابع توزيع تجمعي(تابع عدم قابليت‌اطمينان)	**TTR**	زمان تعميرات
$F^*(t)$	تابع توزيع تجمعي تجربي	**TBM**	نت مبتني بر زمان
f(t)	تابع چگالي احتمال(تابع توزيع خرابي)	**TSTA**	مقدار آماره t’student
f*(t)	تابع چگالي احتمال تجربي	**TTT**	زمان كلي آزمون
FTM	نت در بازه زماني ثابت	**t**	زمان

GAM	توزيع گاما
GOF	نيكوئي برازش
HPP	فرآيند پوآسون همگن
Iid	توزيع مستقل با توزيع يكسان
IFR	نرخ مخاطرة افزايشي
K-S	آزمون كلموگروف- اسميرنوف
LOGNOR	توزيع نرمال لگارتيمي
LBQ	مقدار آمارة Ljung-Box-Q
LEV	توزيع بزرگـترين مقدار كرانه‌اي
LSE	روش حداقل مربعات
M(T)	تابع قابليت تعميرپذيري
MTBF	متوسط فاصله زماني بين خرابي‌ها

U	آماره توزيع كا-دو
U_k	آماره آزمون لاپلاس
Var(t)	واريانس
WEI	توزيع ويبول
β	پارامتر شكل
$\Gamma(t)$	تابع گاما
γ	پارامتر آستانه
θ	پارامتر مقياس
$\lambda^*(t)$	تابع نرخ مخاطره تجربي
$\lambda(t)$	تابع نرخ مخاطره
σ	انحراف معيار

چکیده

این پژوهش با هدف پیشنهاد استراتژي مناسب قابلیت اطمینان براي واحد خردایش معدن آهک جاجرم انجام شده است. ارائة پیشنهاد استراتژي نگهداري‌وتعمیرات، پس از مدل‌کردن قابلیت‌اطمینان سیستم در مراحل مختلف و تحلیل نتایج حاصله صورت مي‌گیرد.
پس از تعیین سیستم و زیرسیستم‌هاي دپارتمان مذکور، داده‌هاي مورد نیاز در یک بازة زماني ۱۵ ماهه جمع‌آوري و مرتب شده و سپس تعداد، بازه‌هاي زماني بین خرابي‌ها و زمان تا وقوع خرابي در هر زیرسیستم محاسبه شد. در کل سیستم، تحلیل فراواني خرابي انجام و معتبر بودن فرض مستقل بودن و داشتن توزیع یکسان داده‌ها با استفاده از آزمون‌هاي روند و خودهمبستگي مورد بررسي گرفت. بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌هاي پیش گفته، مدل توصیف کنندة رفتار خرابي‌ها مبني بر مانائي و نامانائي مشخص شد. براي مدل‌هاي نامانا، فرآیند قانون تواني طي و پارامترهاي مربوطه محاسبه شد و براي مدل‌هاي مانا، از بین توابع توزیع معمول در قابلیت‌اطمینان، بهترین توزیع بر داده‌ها برازش شد. بر مبناي فرآیند و یا توزیع برازش شده در مرحلة قبل توابع قابلیت‌اطمینان، عدم‌قابلیت اطمینان، چگالي احتمال خرابي و نرخ‌مخاطره محاسبه و ترسیم شد.
بعد از محاسبة اهمیت قابلیت‌اطمینان به‌منظور اولویت‌بندي زیرسیستم‌ها از جنبة بحراني بودن، براساس رشد نرخ مخاطره، استراتژي کلي مبني بر پیش‌گیرانه یا اصلاحي بودن، مشخص شد.
کلیدواژه: قابلیت‌اطمینان، بازة زماني بین خرابي، زمان تا وقوع خرابي، روند، خودهمبستگي، مدل مانا و نامانا

مقدمه

یکی از پیامدهای وقوع خرابی در سیستم‌های تولیدی و در فرآیندهای صنعتی، افت تولید و در نتیجه عدم تحقق ظرفیت پیش‌بینی شده و تعویق تحویل کالا به مشتری و در دراز مدت کاهش سهم بازار می‌باشد. پیامد دیگر خرابی دوباره کاری است که منجر به اتلاف مواد و منابع و هزینه‌های اضافی در تولید می‌شود. این امر همواره با افت ظرفیت نسبت به ظرفیت بهینه، موجب افزایش قیمت تمام شده محصول، کاهش کیفیت آن و از دست رفتن اعتبار خواهد شد. به عبارت دیگر، وقوع خرابی در سیستم‌ها، عدم تحقق دو مولفهٔ اصلی کسب و کار در دنیای رقابتی امروز، یعنی کسب حداکثر سهم بازار و سود را موجب خواهد شد. بدیهی است توسعهٔ فناوری و پیچیدگی‌های سیستم‌های امروزین بر شدت این عدم تحقق می‌افزاید.

خرابی با از دسترس خارج کردن تجهیزات و ماشین‌آلات از فرآیند تولید یا افت عملکرد آن‌ها، پیامدهای پیش گفته را موجب می‌شود. بنابراین افزایش قابلیت‌دسترسی به تجهیزات و ماشین‌آلات و اقدامات جلوگیری کننده یا کاهش دهندهٔ عملکرد آن‌ها در رشد صنعت و سودآوری، که خود تابع عملکرد سیستم است، نقش مهمی دارد. استراتژی مناسب برای نگه‌داری‌وتعمیرات(نت)از طریق مجموعه فعالیت‌هایی که موجب افزایش عمر ماشین‌آلات و قابلیت‌دسترسی شده، با کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهره‌برداری بهینه از قابلیت‌های تولیدی ماشین‌آلات، کسب حداکثر سهم بازار و سود را محقق می‌کند. قابلیت‌دسترسی یک سیستم، ترکیبی از قابلیت‌اطمینان و قابلیت‌تعمیرپذیری آن می‌باشد. از آن‌جا که قابلیت‌دسترسی تابع خرابی در سیستم بوده و وقوع خرابی با عدم قطعیت همراه است، بنابراین قابلیت‌دسترسی و در نتیجهٔ آن قابلیت‌اطمینان شرایط عملکردی سیستم و اجزای آن را از منظر عدم قطعیت یا احتمال بیان می‌کنند. از این‌رو، قابلیت‌اطمینان به عنوان احتمال توانائی سیستم و یا اجزای آن در انجام کار خواسته شده تحت شرایط حاکم در یک بازهٔ زمانی مشخص تعریف شده و با احتمال و فراوانی وقوع خرابی و به عبارتی صحیح‌تر، با عدم وقوع خرابی مرتبط می‌باشد.

بنابراین، ارایه استراتژی مناسب و برنامه‌ریزی عملی نت مستلزم تحلیل تفصیلی رفتار عملکردی سیستم و قابلیت‌اطمینان آن می‌باشد. برای بیان وضعیت سیستم از لحاظ کمی، توسعهٔ مدل‌های ریاضی از سیستم ضروری است. این تحلیل‌ها، طراحان فرآیند را قادر به پیش‌بینی رفتار سیستم و زیرسیستم‌ها در شرایط واقعی کاری کرده و امکان تعدیل طراحی‌های صورت گرفته را فراهم می‌آورند. این تحلیل‌ها همچنین برای مهندسی نت در پایش عملکرد سیستم و برنامه‌ریزی نت پیش‌گیرانه برای جلوگیری از وقوع خرابی در یک بازهٔ زمانی مشخص سودمند خواهد بود.

در این پایان‌نامه با ارزیابی عملکرد سیستم‌های گوناگون دپارتمان سنگ‌شکن،سرند و نوار نقاله به عنوان یک سیستم تولیدی، از طریق محاسبهٔ قابلیت‌اطمینان، مناسب پیشنهاد شده است.

فصل اول

مرور ادبیات

مفاهیم و پیشینه

۱ـ۱ـ تعاریف و مفاهیم

قابلیت‌دسترسی (Availability): توانایی یک قلم در وضعیت آماده به‌کار برای انجام فعالیت موردنیاز تحت شرایط معین در برهه‌ای از زمان یا در بازه‌ی زمانی معین، با فرض فراهم بودن منابع خارجی موردنیاز[۱].

خطا (Error): اختلاف بین شرایط واقعی، مقادیر محاسبه شده، و مشاهدات سنجش شده با مقادیر و شرایط حقیقی، معین و صحیح به‌لحاظ نظری. خطا می‌تواند به ایجاد خرابی در یک قلم منجر شود[۱].

خرابی (Failure): شرایطی که یک قلم قادربه انجام کار خواسته شده نیست. ناتوانی طی نت پیش‌گیرانه یا توقف‌های از پیش برنامه‌ریزی شده، یا به‌دلیل کمبود منابع خارجی تحت شمول خرابیقرار نمی‌گیرد[۱].

حالت خرابی (Failuremode): ناهنجاری در عملکرد یک قلم، تجهیزات، یا سیستم که سبب می‌شود، آن قلم یا جزء از سیستم یا تجهیزات به‌عنوان "خراب شده" در نظر گرفته شود[۲].

مخاطره (Hazard): منبع انرژی، عوامل رفتاری و فیزیولوژیکی که به‌صورت مؤثر کنترل نشده و سبب حوادث زیان‌بار می‌شود[۲].

نرخ‌مخاطره(Hazardrate): نرخ تغییر تعداد اقلام خراب به تعداد اقلام سالم طی زمانt[۲].

قلم (Item):هر بخش، جزء، ابزار، زیرسیستم، واحدکاری، تجهیزات یا سیستم که می‌تواند به‌صورت جداگانه در نظر گرفته شود. یک قلم ممکن است شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار یا هر دو باشد. قلم ممکن است شرایط ویژه مانند یک گروه انسان را نیز دربربگیرد [۱].

قابلیت‌تعمیرپذیری(Maintainability):احتمال این‌که برای یک قلم تحت شرایط مشخص استفاده از آن، و در بازه زمانی اعلام شده فعالیت نت فعال قابل انجام باشد. به‌طوری‌که بتوان آن قلم را تحت شرایط مشخص و با استفاده از روش و منابع تعیین شدهتعمیر کرد[۱].

تعمیرونگه‌داری(نت)(Maintenance):ترکیبی از همه فنون وفعالیت‌های اجرایی، شامل سرپرستی، نظارتو اقدام موردنظر برای حفظ یک قلم یا بازگرداندن آن به حالتی که قادر به انجام کار خواسته شده باشد[۱].

زمان متوسط بین‌خرابی‌ها(Meantimebetweenfailures):زمان پیش‌بینی شده بین خرابی‌ها[۱].

زمان متوسط برای تعمیر(و بازگردانی)(Meantimetorepair):زمان پیش‌بینی شده برای بازگرداندن قلم به حالت اولیه[۱].

اقلام تعمیرپذیر(Repairableitem): اقلامی که پس از وقوع خرابی قابل تعمیر هستند[۱].

قابلیت‌اطمینان(Reliability): احتمال انجام کار مورد انتظار از یک قلم تحت شرایط وطی بازه‌ی زمانی معین [۱].

عدم قابلیت‌اطمینان(Unreliability):احتمال ناتوان شدن یک قلم از انجام کار مورد انتظار پیش از پایان یک بازه زمانی معین.

تابع چگالی توزیع خرابی (Failure DistributionDensityFunction): مشتق تابع تجمعی خرابي(عدم قابلیت‌اطمینان)نسبت به زمان، که بیانگرتابع چگالی احتمال فاصله زمانی بین خرابی‌های متوالی می باشد.

۱-۲- آشنایی

با ظهور و گسترش تقاضا برای اتوماسیون در بخش‌های مختلف صنایع و تولید از جمله خطوط تولید فرآیندی از قبیل صنایع تولید مواد شیمیایی، کاغذسازی و صنایع مواد معدنی، حجم سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در صنعت به‌شدت افزایش یافت. بازگشت این سرمایه‌گذاری‌های کلان و ادامه حیات در فضای رقابتی کسب‌وکار جهان امروز مستلزم طراحی سیستم‌های کارآمد و تدوین برنامه‌های تولید و بازاریابی و فروش منطقی، کارآ، اثربخش و در عین حال عملی به‌منظور تولید و فروش بالاتر و در نتیجه کسب حداکثر ممکن سهم بازار و سود می‌باشد. عملیاتی کردن این برنامه‌ها بدون حفظ کیفیت ماشین‌آلات و آماده‌به‌کار نگه‌داشتن آن‌ها و بهره‌وری شایسته از تجهیزات غیرممکن بوده و بالا بردن قابلیت‌های اطمینان و دسترسی آن‌ها عنصری کلیدی در نیل به آرمان تولید بالاتر و در نتیجه سود بیشینه می‌باشد. اگرچه دستیابی صددرصد به این قابلیت‌ها غیرممکن است، ولی نگه‌داری‌وتعمیرات

(نت)مناسب، بازدیدهای به‌موقع، آموزش مناسب متصدیان ماشین‌آلات، انگیزش کارگران از طریق القاء عقاید مثبت به آن‌ها و ... می‌تواند نقش قابل‌توجهی در بهبود عملکرد سیستم تولید و ماشین‌آلات داشته باشد.

توسعه کمیت و کیفیت محصولات نیازمند مدیریت کارآمد تولید برای کنترل ورودی‌های عملیات (مواد خام، انرژی، نیروی کار، تجهیزات و ماشین‌آلات، اطلاعات، فن‌آوری، و ...)، کنترل فرآیند تبدیل ورودی‌ها به محصول، و پایش عناصر تأثیرگذار بر عملکرد عملیات تولید می‌باشد.

پیشرفت‌های عظیم در فن‌آوری و رشد روزافزون پیچیدگی مهندسی سیستم، موجب افزایش اهمیت قابلیت‌اطمینان و نت شده است. این موضوع در مورد فرآیندهای صنعتی درگیر با تجهیزات تخصصی ویژه به‌دلیل قیمت بالای این نوع تجهیزات و ارتباط آن‌ها با محدودیت‌های سخت محیط کاری اهمیت بیش‌تری می‌یابد. حرفه مهندسی نت با تلاش برای مطالعه ویژگی‌های سیستم‌ها، و سنجش عملکرد، و تحلیل رفتار آن‌ها سروکار دارد.

بقا در دنیای مدرن و رقابتی امروز، بدون دسترسی به سیستم‌های قابل اطمینان تقریباً غیرممکن است و انتظار از سیستم‌های کاری این است که عملکرد خود را با بیش‌ترین کارآیی و اثربخشی و برای بیشینه زمان ممکن حفظ کنند. سیستم‌های تأمین و توزیع نیرو، بهداشت و درمان، ارتباطات، حمل‌ونقل، آتش‌نشانی و سیستم‌های جانبی سایر خدمات و امور رفاهی از جمله سیستم‌هایی هستند که عملکرد آن‌ها تأثیر قابل توجهی بر جامعه داشته و مؤفقیت آن‌ها در انجام رضایت‌بخش وظیفه در گرو قابلت‌اطمینان بالای آن‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، قابلیت‌اطمینان عنصری کلیدی در همه مراحل طراحی، توسعه، تولید، عملکرد، و نگه‌داری‌وتعمیرات سیستم‌های بزرگ و پیچیده، از صنایع مختلف گرفته تا سیستم‌های اجتماعی، و از تجهیزات نظامی گرفته تا سفینه‌های فضایی می‌باشد. قابلیت‌اطمینان پایین در برخی سیستم‌ها می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری داشته باشد. شکست ماموریت فضاپیماهای آپولو و چلنجر، فاجعهٔ تاسیسات هسته‌ای چرنوبیل (اتحاد جماهیر شوروی سابق)فاجعه گازی بوپال (هند)، ... نمونه‌های کوچکی از این فجایع عمده می‌باشند. سیستم‌های غیرقابل‌اطمینان عموماً هزینه‌های بالا، خطرپذیری بالا، عدم ایمنی کافی، از دست رفتن زمان و منابع را در پی دارند. قابلیت‌اطمینان ضعیف می‌تواند از مشکلات و خطاهای ایجاد شده در مراحل طراحی، عملیات، و نگه‌داری‌وتعمیرات سیستم ناشی شود. پیچیدگی، کمبود ذکاوت و هوشیاری در متصدیان، کارکرد نامناسب، بازخورد ضعیف، نت ضعیف، طبقه‌بندی نادرست اجزاء، خرابی اجزاء، خطاهای طراحی و تولید از جمله مواردی است که می‌تواند به عدم قابلیت‌اطمینان سیستم‌ها منجر شود.

تا قبل از دهه ۱۹۴۰، طراحی‌های مهندسی عمدتاً بر ساختار و کارکرد ماشین‌آلات و فرآیندها متمرکز بود و به موضوع قابلیت‌اطمینان کم‌تر توجه می‌شد. ایده‌ی قابلیت‌اطمینان موضوعی نسبتاً جدید بوده و در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ توسعه یافته و به عنوان روشی برای آرمانی‌سازی سیستم‌ها مطرح شد. از دست رفتن سفینه فضایی SYNCOM-I به علت وقوع انفجار در اثر فشار زیاد تانکر و وقوع خرابی در MARINES- III به دلایل خرابی‌های مکانیکی که توسعه برنامه‌های فضایی امریکا را با بحران مواجه ساخت، از جمله عواملی بود که انگیزه پژوهشگران را جهت تلاش برای دستیابی به عملیات عاری از خرابی و نیاز به قابلیت‌اطمینان بالاتر در سیستم‌ها تقویت کرد. آن‌ها به فکر

بهبود طراحی سیستم‌ها براساس قابلیت‌اطمینان افتاده و کمینه‌سازی شانس وقوع خرابی را به‌عنوان نخستین هدف خود انتخاب کردند.

در سیستم‌های بزرگ مأموریت‌گرا (موشک‌ها، فضاپیماها،...)و صنعتی، طراحی با هدف عملیات عاری از خرابی برای یک بازه زمانی طولانی دنبال می‌شود و پیگیری این آرمان، نقشی اساسی در این نوع سیستم‌های پیچیده دارد. در عین حال، ملاحظات اقتصادی نیز بیشینه‌سازی قابلیت‌دسترسی را مورد تأکید قرار می‌دهند، چرا که وقوع خرابی در سیستم علاوه بر تحمیل هزینه‌های نت، موجب از کارافتادگی سیستم یا کاهش قابلیت‌دسترسی و از دست رفتن فرصت ارزش‌آفرینی برای آن خواهد شد.

در بسیاری از فرآیندهای صنعتی، از قبیل تولید مواد شیمیایی، کاغذسازی، تولید شکر، سیمان، فرآورده‌های غذایی و کارخانه‌های ساخت ماشین‌آلات و تجهیزات، دستیابی به اهدافی مانند قابلیت‌دسترسی بالا و ظرفیت بیشینه، مستلزم درحال کار بودن زیرسیستم‌های مختلف برای مدت زمان طولانی می‌باشد. هرچند، همیشه امکان وقوع خرابی‌های تصادفی در این سیستم‌ها یا زیرسیستم‌های آن‌ها وجود دارد و براساس طبیعت و پهنه وقوع این نوع خرابی‌ها، کاهش یا حتی توقف تولید دور از انتظار نیست. بدیهی است که سیستم‌ها می‌توانند پس از تعمیر یا تعویض قطعات زیرسیستم‌های خراب به وضعیت فعال باز گردند. در این میان شرایط کاری کارخانه و سیاست نگه‌داری‌وتعمیرات به‌کار رفته در سازمان و تشکیلات، نقش مهمی را در حفظ آمادگی سیستم برای کار با ظرفیت کامل طی بازهٔ زمانی طولانی ایفا می‌کند.

انجام تحلیل تفصیلی رفتار سیستم کمک شایانی به برنامه‌ریزی علمی نت خواهد نمود. به منظور بیان وضعیت سیستم از لحاظ کمّی، توسعهٔ مدل ریاضی از سیستم واقعی موجود و تحلیل عملکرد آن تحت شرایط کاری حقیقی، امری ضروری است. تحلیل‌ها، طراحان فرآیند را در پیش‌بینی رفتار زیرسیستم در شرایط واقعی کاری، یاری نموده و امکان انجام برخی تغییرات در طراحی موجود سیستم (تعدیل طراحی)را فراهم می‌کند. چنین تحلیل‌هایی، برای مهندسی نت در پایش عملکرد سیستم و برنامه‌ریزی نگه‌داریپیش‌گیرانه به منظور جلوگیری از وقوع خرابی در یک بازهٔ زمانی مشخص، سودمند خواهد بود.

۱-۳- قابلیت‌اطمینان

رقابت، تقاضا برای سیستم‌های تولیدی را افزایش داده است. رضایتمندی مشتری در گرو ظرفیت تولید سیستم برای تحویل به‌موقع کالاها و خدمات با مشخصات و کیفیت مورد نیاز می‌باشد. برای تحقق این موضوع سیستم باید قابل اطمینان باشد. هرچند، میزان کارکرد و سن سیستم‌ها موجب کاهش تدریجی عملکرد، قابلیت‌اطمینان و ایمنی خواهد شد. سایش[۱]، فرسایش[۲]، خوردگی[۳]، خستگی[۴] و تولید ترک[۵] عوامل عمده تنزل[۶] سیستم و قطعات آن می‌باشند. تنزل به حالتی از سیستم یا قطعه اطلاق

[1]- Wear
[2]- Corrosion
[3]- Erosion
[4]- Fatigue
[5]- Crack generation
[6]- Degradation

می‌شود که به موجب آن سیستم یا قطعه فعالیتخود را درسطحپایین‌تر از سطح مشخص شده در طراحی ادامه داده، یا فقط برخی از وظایف مورد انتظار خود را انجام می‌دهد. وجود همزمانچندینحالت تنزل نیزمحتمل است.تنزل باعثکاهش بهره‌وری سیستم خواهد شد. در برخی موارد، سطح تنزل در مرحله طراحی تعریف شده، و درست عمل نکردن سیستم نیز ممکن است به عنوان خرابی در نظر گرفته شود.

گاهی خرابی‌ها، مانند خرابی‌های راه‌آهن، هواپیما، صنعت نفت و گاز، و ... می‌تواند فاجعه آفرین باشد. خارج شدن ترن ICE[۷] از خط در آلمان در سوم ژوئن ۱۹۹۸ سبب جان باختن بیش از هزار تن شد. سانحه بر اثر گسیختگی ناشی از فرسودگی که در قسمت زیرین لبه چرخ شروع شده بود، اتفاق افتاد.

ریسک خرابی‌ها را می‌توان با آگاهی دقیق ازوضعیت فنی[۸] و سطح تنزل وابسته به شرایط طراحی، کاهش داد. وضعیت فنی ممکن است بین دو حدّ بیشینه و کمینه قرار داشته باشد که حد بیشینه بیانگر شرایط آرمانی طراحی و حدّ کمینه توصیف‌گر تنزل نهایی تعریف شده در طراحی می‌باشد.

خرابی‌ها حتی اگر فاجعه آفرین نباشند، می‌توانند مثلاً در صنعت ساخت موجب از دست رفتن تولید طی بازة از کار افتادگی شوند، که نتیجة آن تحقق نیافتن برنامة پیش‌بینی شده و تعویق تحویل کالا به مشتری و در دراز مدت کاهش سهم بازار می‌باشد. از دیگر عواقب خرابی‌ها دوباره کاری است، که منجر به اتلاف مواد و هزینه‌های اضافی در تولید می‌شود. افت ظرفیت تولید به زیر ظرفیت بهینه و در نتیجه افزایش قیمت تمام شدة محصول و پایین آمدن کیفیت تولیدات و در نتیجه از دست رفتن اعتبار، می‌تواند از دیگر عواقب خرابی‌ها باشد. نتیجة همة این پیامدها افزایش قیمت تمام شده، کاهش میزان سود و نهایتاً از دست دادن قدرت رقابت در بازار خواهد بود.

خرابیدر سیستم و یااجزاءمرتبط، به شرایط فنی، عمر و نرخ تنزل بستگی داشته و وقوع آن با عدم‌قطعیت همراه است. بنابراین، قابلیت‌اطمینان وجهی از مهندسی عدم قطعیت است که شرایط سیستم و اجزاء آن را از منظر احتمال بیان می‌کند. قابلیت‌اطمینان به‌عنوان احتمال این‌که یک قلم کالا قادر به انجام کار خواسته شده از آن تحت شرایط حاکم بر آن در بازه زمانی مشخص باشد، تعریف می‌شود. قابلیت‌اطمینان با احتمال و فراوانی وقوع خرابی (یا به‌طور صحیح‌تر، عدم وقوع خرابی‌ها)مرتبط می‌باشد. عموماً قابلیت‌اطمینان در سیستم‌های تعمیرپذیر با استفاده از میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF)[۹] و در سیستم‌های تعمیرناپذیر با استفاده از متوسط زمان تا خرابی (MTTF)[۱۰] ارزیابی می‌شود. قابلیت‌اطمینان را با دقت بیش‌تر می‌توان بر اساس احتمال مؤفقیت در طی یک بازه زمانی بیان نمود. موضوع قابلیت‌اطمینان در مورد نت تجهیزات اهمیت زیادی دارد، هرچه قابلیت‌اطمینان تجهیزات پایین‌تر باشد نیازمند نت بیش‌تری خواهد بود. قابلیت‌اطمینان بالای تجهیزات شرط لازم برای عملکرد عالی آن‌ها بوده و کیفیت محصولات، ظرفیت تولید و سوددهی منوط به عملکرد خوب ماشین‌آلات می‌باشد.

---

[7]- German ICE train derailment at Eschede on 3rd June 1998
[8]- Technical condition
[9]- mean time between failures (MTBF)
[10]- mean time to failure (MTTF)

تحلیل قابلیت‌اطمینان امکان شناسایی وضعیت فنی سیستم و پیش‌بینی عمر مفید باقی مانده از تنزل سیستم و اجزای آن را فراهم می‌کند. اطلاعات درباره وضعیت فعلی و آینده سیستم و اجزای آن شاخص مهمی در فرآیند تصمیم‌گیری در رابطه با عملکرد و نت به‌شمار می‌رود.پیشنهادهایمتنوع در مرحله طراحی می‌تواند قابلیت‌اطمینان سیستم را بهبود بخشد. این پیشنهادها معمولاً به پیچیدگی سیستم منجر می‌شود، بنابراین تحلیل تفصیلی این پیشنهادها در رابطه با داده‌های خرابی و هزینه‌های مورد نیاز سیستم با درجه‌های پیچیدگی مختلف ضروری است.

گاهی، به عنوان مثال در مورد سکوهای نفتی یا زیرساخت‌های راه آهن، انجام تغییرات در طراحی با توجه به پیچیدگی و ملاحظات هزینه توجیه‌پذیر نمی‌باشد. در چنین مواردی قابلیت‌اطمینان عاملی عملیاتی در نظر گرفته شده و باید توسط عملیات نت مؤثر پشتیبانی گردد. در این موارد نیز آگاهی از وضعیت فنی اجزاء به منظور تصمیم‌گیری در رابطه با نوع و تعدد فعالیت‌های نت، اهمیت زیادی دارد.

عملکرد سیستم و اجزاء، وابسته به تصمیمات اتخاذ شده در طول عمر مفید آن‌ها می‌باشد. فرآیند تصمیم‌گیری فرآیندی پیچیده بوده، که به صنعت مورد مطالعه و موقعیت نیازمند تصمیم‌گیری بستگی دارد. جنبه مهم در مورد اجزای زیرساخت‌ها، در صورت طولانی بودن عمر مفید آن‌ها، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری برای تجدید آن‌ها می‌باشد. این سیستم‌ها یک‌بار نصب شده و ایجاد تغییرات بعدی در طراحی اولیه آن‌ها در طول عمر سیستم بسیار مشکل است. در نتیجه، عملکرد زیرساخت‌های اصلی صرفاً وابسته به تصمیمات نت یا تعویض اتخاذ شده در برهه‌های چرخه عمر مفید آن‌ها می‌باشد. در نقطه مقابل، اجزاء ماشین‌آلات ارزان‌تر بوده و به تناسب آن انتظار عمر مفید کوتاه‌تری از آن‌ها می‌رود. بنابراین، تصمیم‌گیری در مورد گوناگونی طراحی در مورد اجزاء ماشین‌آلات بسیار محتمل‌تر از این نوع تصمیمات در مورد زیرساخت‌ها می‌باشد.

مقالات زیادی در رابطه با نت، تغییرات در طراحی و تعویض مرتبط با سیستم و اجزاء، و تأثیر قابلیت‌اطمینان در توسعه عملکرد سیستم و اجزاء منتشر شده است. هرچند، معمولاً اکثر تصمیمات نت و تجدید اجزاء خراب شده بر اساس تجربه پیشین و برآورد کارشناسان انجام می‌شود. در طول سال‌ها، روش‌های ارزیابیمبتنی بر قضاوت تخصصی و تجربه کارشناسان در رابطه با الگوهای گسیخت سیستم و اجزاء توسعه یافته است. قضاوت‌های تخصصی نوعاً زمانی به‌کار گرفته می‌شوند که دسترسی به داده‌های موردنیاز دشوار بوده و دقت زیادی در پیش بینی مورد نیاز نمی‌باشد.

۱-۳-۱- قابلیت‌تعمیرپذیری

وقتی‌که در یک قطعه از تجهیزات خرابی رخ می‌دهد، بازگرداندن هرچه سریع‌تر آن به حالت اولیه و شرایط کارکرد امر بسیار مهمی است. از این موضوع با عنوان قابلیت‌تعمیرپذیری نام برده می‌شود. قابلیت‌تعمیرپذیری یک سیستم به‌عنوان احتمال بازگرداندن سیستم به حالت اولیه و شرایط کارکرد در یک بازه زمانی معین تعریف می‌شود. هدف از طراحی قابلیت‌تعمیرپذیری تجهیزات افزایش کارآیی و امنیت، کاهش هزینه‌های نت و کاهش زمان اجرای نت تحت شرایط معین با در نظر گرفتن فرآیندها و منابع معین، می‌باشد.