دانشگاه یزد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - آب

ارزیابی قابلیت اعتماد و تحلیل ریسک روگذری سیل برای سدها

استاد راهنما : دکتر بهروز احمدی

استاد مشاور : دکتر مهدی فلاح

پژوهش و نگارش : محمد درافشانی

مهر ۱۳۸۹

تقدیم به همسر عزیزم

که بی یاری او دستیابی به این موفقیت امکان پذیر نبود

و با سپاس فراوان از

دکتر بهروز احمدی

چکیده

یکی از مهم ترین عوامل خرابی سدها، پدیده روگذری می باشد که خود ناشی از علل متعددی منجمله سیلاب و خیزاب ناشی از باد می باشد. از جمله اثر گذارترین عوامل بر پدیده روگذری، سیلاب و خیزاب ناشی از وزش باد می باشد که در این پروژه اثر این دو عامل طی مطالعه موردی بر روی سد خاکی دوراهان واقع در استان چهارمحال و بختیاری مورد بحث و بررسی قرار گفته است و احتمال رخداد این پدیده به روشهای گشتاور دوم مرتبه اول مقدار میانگین، گشتاور دوم مرتبه اول پیشرفته و شبیه سازی مونت کارلو مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج بدست آمده بیانگر این است که احتمال روگذری ناشی از باد در مقابل سیلاب بسیار ناچیز است و می توان از اثر این پدیده صرفنظر کرد. همچنین نتایج نشان می دهد که تراز سطح آب، ضریب رواناب، ارتفاع و مدت زمان بارش نقش مهمی در روگذری ناشی از سیلاب دارند.

کلمات کلیدی: قابلیت اعتماد، روگذری سیل، مونت کارلو، گشتاوردوم مرتبه اول مقدار میانگین و پیشرفته

فهرست مطالب

فصل اول پیشگفتار..... ۱

۱-۱ مقدمه..... ۲

فصل دوم قابلیت اعتماد..... ۵

۲-۱ تعریف قابلیت اعتماد..... ۶

۲-۲ مدل های قابلیت اعتماد وابسته به زمان..... ۱۲

۲-۳ ملاحظات اقتصادی..... ۱۴

فصل سوم روش های ارزیابی قابلیت اعتماد..... ۱۵

۳-۱ مقدمه..... ۱۶

۳-۲ تابع عملکرد و نشانه قابلیت اعتماد..... ۱۸

۳-۳ روش گشتاور اول مرتبه دوم مقدار میانگین..... ۱۹

۳-۴ روش گشتاور اول مرتبه دوم پیشرفته..... ۲۴

۳-۴-۱ نقطه طراحی..... ۲۴

۳-۴-۲ الگوریتم هاسفر- لیند..... ۲۷

۳-۵ روش شبیه سازی مونت کارلو..... ۲۸

فصل چهارم آمار و احتمالات در هیدرولوژی..... ۳۳

۴-۱ مقدمه..... ۳۴
۴-۲ تحلیل فراوانی..... ۳۵
۴-۳ توابع توزیع احتمال..... ۳۶
۴-۴ برآورد پارامترها..... ۳۹
۴-۴-۱ روش گشتاورها..... ۴۰
۴-۴-۲ روش حداکثر درستنمائی..... ۴۰
۴-۴-۳ روش حداقل مربعات..... ۴۱
۴-۵ ریسک..... ۴۲
فصل پنجم پدیده روگذری از سد..... ۴۳
۵-۱ مقدمه..... ۴۴
۵-۲ تاثیر سیلاب بر پدیده روگذری..... ۴۷
۵-۲-۱ سیل طرح..... ۴۷
۵-۲-۱-۱ معادله استدلالی..... ۵۱
۵-۲-۱-۲ معادلات تجربی..... ۵۴
۵-۲-۱-۳ روش منحنی های پوش..... ۵۶
۵-۲-۲ روند یابی در مخزن..... ۵۶
۵-۲-۳ انتخاب روش برآورد سیلاب..... ۵۸
۵-۲-۴ روش های آماری..... ۶۰
۵-۲-۵ انتخاب سیلاب طراحی..... ۶۱

۵-۳ تاثیر باد بر پدیده روگذری..... ۶۳

۵-۳-۱ ارتفاع خیزاب بر اثر باد.....۶۴

۵-۳-۲ ارتفاع خیزاب بر اثر موج.....۶۶

۵-۳-۳ احتمال روگذری بدلیل وزش باد..... ۶۷

۵-۴ روگذری ناشی از باد و سیلاب..... ۶۸

فصل ششم مطالعه موردی..... ۷۰

۶-۱ مقدمه..... ۷۱

۶-۲ تحلیل پدیده روگذری..... ۷۴

۶-۲-۱ اثر باد..... ۷۹

۶-۲-۲ اثر سیلاب.....۸۲

۶-۲-۳ اثر توام باد و سیلاب.....۸۹

فصل هفتم نتیجه گیری..... ۹۳

فصل هشتم فهرست مراجع..... ۹۹

فصل اول :

پیشگفتار

۱-۱ مقدمه

در طول تاریخ، حوادث طبیعی موجب تلفات جانی، مالی و خسارات بسیار زیادی شده اند. در جهان امروز، این حوادث ممکن است موجب خرابی جاده ها، خطوط تلفن، حمل و نقل و شبکه ارتباطات، در هم گسیختن تسهیلات زندگی و منابع انرژی و خراب کردن مناطق اقتصادی و صنعتی شوند.

با نگرش کوتاه و اجمالی بر تعداد سدهای بزرگ ساخته شده در جهان و تعداد شکستگی های بوقوع پیوسته، می توان احتمال شکستگی را برای هر سد حدود $۱۰^{-۴}$ تخمین زد. گرچه این احتمال ضعیف بنظر می رسد ، ولی نادیده گرفتن آن نیز با توجه به اهمیت موضوع و تجارب تلخ عینی موجود، غیر معقول و غیر منطقی بنظر میرسد[۱] . بطور مثال، در ایالات متحده آمریکا متوسط هزینه های ناشی از خطرات حوادث طبیعی به ۵۲ میلیارد دلار در یک سال می رسد که متجاوز از ۷۵٪ این حوادث، مرتبط با سیل گزارش شده اند [۲] .

از مهم ترین علل افزایش این آسیب پذیری، شهر سازی و توسعه سواحل می باشد، همچنین تغییرات اقلیمی بر شدت و فراوانی سیل ها اثر گذارند.

نتایج خرابی سدها می تواند برای مردم، اقتصاد و محیط مخرب و ویران کننده باشد. در دو دهه گذشته، تحقیقات زیادی در ارزیابی ریسک ایمنی در سدها و ریسک مجاز صورت گرفته است. عموما این تحقیقات بر روی قابلیت پذیرش ریسک مرتبط با سدهای موجود و یا سدهای در حال اجراء تمرکز داشته اند.

از کار افتادن سازه های هیدرولیکی نظیر سدها ، موجب اختلال در سطوح مختلف میشود و حتی می تواند بعنوان تهدیدی شدید برای جامعه و محیط زیست نیز تلقی شود. از اینرو انتظار می رود که سیستم ها پایا، اطمینان بخش و ایمن باشند.

در هر جامعه، مهندسان و مدیران فنی، مسئول برنامه ریزی ، طراحی، ساخت و بهره برداری سیستم ها می باشند و وظیفه اصلی مهندسین، ارزیابی جنبه های عملی قابلیت اطمینان سیستم ها یا سازه های هیدرولیکی برای طراحی می باشد. در واقع یک سازه هیدرولیکی بایستی با توجه به پیشامدهای طبیعی که می توانند بر سازه در طول عمر مفیدش به آن تحمیل شوند، طراحی شود.

از آنجایی که در طراحی و عملکرد سیستم های مهندسی همیشه عدم قطعیت وجود دارد، محاسبه ریسک شکست با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها، لازم و ضروری خواهد بود و تحلیل قابلیت اعتماد یک وظیفه اساسی در طراحی و تحلیل سیستم های آبی یا سازه های هیدرولیکی میباشد.

بعنوان یک پرسش اساسی چنین مطرح میشود که قابلیت اطمینان یک سیستم، در طول عمر کاری آینده اش چه میزان است و ایمنی آن چقدر است ؟ این پرسشی است که بخش هایی از آن را می توان با ارزیابی و کمیت سنجی قابلیت اعتماد پاسخ گفت.

قابلیت اعتماد، یک مشخصه ذاتی از هر محصول است و لذا یکی از پارامتر های طراحی محسوب میشود که همواره باید در طی فرآیند طراحی، بعنوان یکی از معیار های مهم آن مورد توجه قرار گیرد. بنابراین برای حصول این امر، نیاز به ارزیابی کمی قابلیت اعتماد می باشد. مفاهیم کیفی مانند اینکه سیستم دچار از کار افتادگی نخواهد شد و یا این سیستم بسیار قابل اطمینان است و یا اینکه سیستمی قابل اطمینان تر از سیستم مشابهی است، بهیچ وجه معنای قابل ارزیابی و مشخصی را بدست نمی دهد.

باید به این توجه داشت که شاخص های عددی قابلیت اعتماد برای نشان دادن چگونگی از کار افتادگی سیستم، عواقب از کار افتادن سیستم و ارتباط میان کیفیت و هزینه های سرمایه گذاری و مسائل اقتصادی می باشد. در نتیجه می توان به طرح هایی که توجیه اقتصادی بهتری داشته و از حیث مشخصات تکنیکی و بهره برداری مناسب تر هستند، دست یافت.

در این تحقیق، سعی شده است تا با بررسی عوامل موثر بر لبریز شدن آب از روی تاج سد (سد خاکی)، به روش عملی برای برآورد ریسک روگذری مربوط به رفتار باد و سیلاب ناشی از بارندگی دست یافت. در تحقیق حاضر، فقط اثر باد و بارندگی در نظر گرفته شده است و عدم قطعیت و متغیر بودن رقوم تاج سد و تراز سطح آب دریاچه و سایر فاکتورها در نظر گرفته نشده است. برای این منظور ۷ تابع توزیع احتمال بررسی شدند و توزیع های آماری مناسب با آزمون حداقل مربعات تعیین شده است. در بخش آخر تحقیق حاضر، مطالعه موردی روی سد خاکی دوراهان واقع در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است و قابلیت اطمینان روگذری از سد با بررسی عدم قطعیت های سرعت باد، مقدار بارندگی و ضریب رواناب تحلیل شده است.

فصل دوم :

قابلیت اعتماد

۲-۱ تعریف قابلیت اعتماد

ایده اساسی مهندسی قابلیت اعتماد[1]، در تعیین احتمال خرابی یک سیستم می باشد که می تواند ایمنی یک سیستم را ارزیابی کند یا موجب یک تصمیم گیری منطقی برای طراحی شود.

تعاریف بسیار زیادی در مورد ریسک بیان شده است، نمونه هایی از آنها عبارتند از امکان ضرر و زیان، صدمه یا خرابی، احتمال از دست دادن چیزی، شانس ضرر یا خطر و نمونه هایی از این قبیل، و در کل ریسک بصورت احتمال خرابی در رسیدن به هدف مطلوب بیان می شود.

اگر واژه خرابی را نقصان و کاستی در انجام وظیفه و یا عدم توانایی در برآورده ساختن انتظارات طرح بیان کنیم، خرابی هنگامی رخ میدهد که :

$$L \geq R \qquad (۱-۲)$$

پاسخ سیستم در اثر بار[2] ، با نماد L مشخص شده است که مبین یک متغیر تصادفی با چگالی احتمال مشخص است و با $P_L(x)$ نشان داده میشود. برای نشان دادن مقاومت[3] سیستم در برابر این بارگذاری یا ظرفیت آن از R استفاده شده و R نیز متغیر تصادفی با چگالی احتمال مشخص است که با $P_R(x)$ نشان داده میشود.

احتمال آنکه L بزرگتر یا مساوی با مقدار مشخص x شود برابر است با یک منهای تابع توزیع احتمال L در x ، بعبارت دیگر:

$$P_L(L \geq x) = 1 - P_L(x) \qquad (۲-۲)$$

برای جزء کوچک dx ، احتمال آنکه R مابین x و x+dx قرار گیرد، برابر است با $P_R(x)dx$. بنابراین بازاء جمیع مقادیر ممکن x ، خرابی هنگامی رخ میدهد که R مابین x و x+dx باشد و L بزرگتر یا مساوی با x قرار گیرد. لذا احتمال خرابی P_f برابر است با :

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty}[1 - P_L(x)]P_R(x)dx \qquad (۳-۲)$$

---

[1] Reliability
[2] Load
[3] Resistance

احتمال رفتار ایمن برابر است با یک منهای احتمال خرابی و بشکل زیر تعریف میشود :

$$P_s = 1 - P_f \qquad (۴-۲)$$

به احتمال رفتار ایمن، قابلیت اعتماد نیز گفته میشود[۳].

نظریه قابلیت اعتماد شاخه ای از تئوری احتمالات است که طی سالهای اخیر بتدریج جای خود را در علوم مهندسی باز کرده است. این نظریه دارای چارچوبی منطقی است که با احتساب و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت های ناشی از طبیعت آماری مسائل مهندسی، به کمک روش های ریاضی، امکان ارزیابی ایمنی واقعی یک سیستم را بصورت کمی وارد تصمیمات طراحی می کند.

در تعبیری کلی، قابلیت اعتماد مقیاسی است که با آن می توان توانایی هر قسمت و یا کل سیستم را تحت شرایطی که برای آن در نظر گرفته شده است، با این مقیاس سنجید.

یکی از بهترین تعاریفی که برای قابلیت اعتماد بیان شده است، از طرف موسسه ملی هوافضای آمریکا[۴] چنین بیان شده است [۴] :

" قابلیت اعتماد احتمال عملکرد با کیفیت یک سیستم، تحت شرایطی از پیش تعیین شده و برای مدت زمانی معین است. "

تعریف فوق مشخص میکند که قابلیت اعتماد همیشه معرف نوعی احتمال است که بین عملکرد سیستم با آنچه در عمل از آن انتظار میرود، نوعی ارتباط برقرار میکند. هر سیستم یا قسمتی از آن که با این مقیاس ایمنی قابل ارزیابی باشد، می توان گفت که خوب ساخته شده است.

عملکرد یک سیستم در هیچ موردی بصورت قطعی قابل تعریف نیست و دارای طبیعتی اتفاقی[۵] می باشد و بصورت اتفاقی نیز در تغییر می باشد. ارزیابی فرآیندهای اتفاقی صرفا با شیوه های احتمالات میسر است ولی باید توجه داشت تئوری احتمالات، به تنهایی قادر به پیش بینی قابلیت اطمینان و یا ایمنی یک سیستم نیست و باید درک کاملی از یک سیستم، طرح آن، از کار

---

[4] NASA
[5] Stochastic

افتادن آن، محیط عمل و تنش هایی که تحت تاثیر آن شرایط واقع میشود، در اختیار داشت. لذا در اینجاست که باید قضاوت های مهندسی را بکار برد. بنابراین تئوری احتمالات، فقط ابزاری است تا بوسیله آن اطلاعات یک سیستم را تبدیل به پیش بینی عملکرد احتمالی نمود.

مهم ترین سوالی که هر طرح هیدرولوژیک با آن مواجه می باشد، این است که ریسک شکست چقدر است؟

اگر در یک سد بزرگ با شکست مواجه شویم، هزینه این شکست بسیار بالا خواهد بود. در نتیجه خطر این پیشامد باید مینیمم شود. در مورد بیش از ۱۶۰۰ سد مطالعه شده، علل زیر برای شکست طرح مشخص شده است :

مربوط به پی سد، نا متناسب بودن سرریز، ضعف در سازه، نشست نا همگن، فشار منفذی، علل جنگی، لغزش خاکریز، مصالح نا مرغوب، عملکرد نا درست و زمین لرزه [۵].

در عمل همه سازه های هیدرولیکی که در یک محیط طبیعی واقع اند، تحت بارها و عوامل محیطی مختلف هستند. مقاومت، ظرفیت یا میزان توانایی ذخیره سیستم، توانایی در برابر بارهای خارجی میباشد. و شکست هنگامی رخ می دهد که بار از مقاومت و یا تقاضا از ظرفیت بیشتر شود.

تحلیل قابلیت اعتماد، نیازمند بررسی فعل و انفعالات بین مقاومت و بارگذاری سیستم میباشد. برای طرح های مهندسی سیستم های آبی، بارگذاری می تواند پیشامدهای هیدرولوژیکی و مقاومت نیز می تواند ظرفیت جریان یا ابعاد سازه هیدرولیکی تعریف شود، و عدم قطعیت هایی که به دو صورت هیدرولیکی و هیدرولوژیکی وجود دارند، بایستی بصورت متغیرهای تصادفی با توزیع های احتمالاتی بیان شوند.

محاسبه ریسک مبتنی بر این فرض است که توزیع پیشامد معلوم است. به عنوان مثال، اگر معلوم باشد که اندازه سیلاب در یک رودخانه خاص از توزیع نرمال لگاریتمی و در طول زمان از یک توزیع پوآسون پیروی می کند، آنگاه ریسک اینکه سیلابی به اندازه معین در ۵ سال آینده رخ دهد را می توان دقیقا حساب کرد.

به منظور محاسبه ریسک در یک سیستم، با عامل متغیر تصادفی[۶] روبرو می شویم و متغیر تصادفی، متغیری است که نمی توان مقدار آن را بطور قطعی اندازه گیری کرد. عدم قطعیت[۷] به این علت پیش می آید که داده های اصلی موجود، شامل اندازه گیری تصادفی و خطاهای محاسباتی، خطاهای سیستمی، ناهمگنی نسبت به زمان از دست رفتن اطلاعات در تغییر ثبت های پیوسته به مجموعه ای از داده های گسترده و غیره است. سپس همین داده های ناقص برای برآورد پارامترهای توزیع فرضی جمعیت به کاربرده می شوند [۶].

اغلب فرآیند های فیزیکی در طبیعت، رفتاری متغیر دارند. به عنوان مثال، شدت بارش، بزرگی سیلاب یا خشکسالی تغییرات زیادی در یک منطقه دارد. جهت آگاهی از احتمال وقوع این پدیده ها، تغییرات رفتاری و بازه تغییرات آنها در طول یک دوره باید ثبت گردد که از آن تحت عنوان بررسی فرآیند های غیر قطعی نام برده می شود.

عدم توجه کافی به خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و به معنای دیگر نبود شناخت کافی در مورد عدم قطعیت های موجود، منجر به کاهش کارایی و بهره وری سیستم می شود. مهمترین عواملی که تغییرات آنها منجر به بروز عدم قطعیت در بهره برداری از سیستم های آبی می شود، به شرح زیر هستند :

- عدم قطعیت های هیدرولوژیکی : عدم قطعیت های هیدرولوژیکی به دو شکل بروز می نمایند، یکی عدم قطعیت های ذاتی و طبیعی و دیگری عدم قطعیت ناشی از مدل سازی و انتخاب پارامترهای مدل برای پیش بینی جریان.
- عدم قطعیت های هیدرولیکی : عدم قطعیت های هیدرولیکی بواسطه تغییر شرایط فیزیکی سیستم های آبی رخ می دهند و بر عملکرد این سیستم ها تاثیر دارند. تغییر در

[6] Random Variable
[7] Uncertainty

حجم مفید مخازن، تغییر ضریب زبری کانال ها، تغییر پوشش گیاهی بستر، تغییر ضریب رواناب در سطح حوزه آبریز نمونه هایی از عدم قطعیت های هیدرولیکی هستند.

- عوامل اقلیمی : عوامل اقلیمی نظیر بارندگی، رطوبت، درجه حرارت، سرعت باد ساعات آفتابی اثرات مهمی بر عملکرد سیستم های آبی دارند، ولی اغلب موارد عدم قطعیت های ناشی از آنها در نظر گرفته نمی شود.
- فعل و انفعالات کمی و کیفی در مسیر آبراهه : حاشیه اکثر آبراهه ها و رودخانه ها محل تجمع مراکز شهری و فعالیت های مختلف کشاورزی و صنعتی است که این فعالیت ها خود عامل ایجاد تغییرات کمی و کیفی در جریان آبراهه ها می شود. برداشت از نقاط مختلف و تخلیه پساب های شهری به کانال، علاوه بر تغییرات کمی باعث ایجاد تغییراتی در عملکرد آببری کانال ها می شود.
- فرضیات مورد استفاده در محاسبات و تخمین پارامترها : کافی نبودن دانش بشر در تحلیل وقایع طبیعی، کارشناسان را ملزم به استفاده از روابط و روشهای محاسباتی کرده است که علیرغم به همراه داشتن خطاهای مختلف، تا حدی فراهم آورنده امکان شناسایی، بررسی و پیش بینی تغییرات پارامترهای مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیستم ها هستند. از آنجاییکه نتایج این مدل ها با ماهیت طبیعی مساله قدری تفاوت دارد، این اختلاف از عوامل بروز عدم قطعیت در سیستم های آبی خواهد شد[۷] .

بعنوان جمع بندی از مطالب ذکر شده، می توان نتیجه گیری کرد که برای بدست آوردن قابلیت اعتماد یک سیستم، لازم است مراحل زیر طی شود :

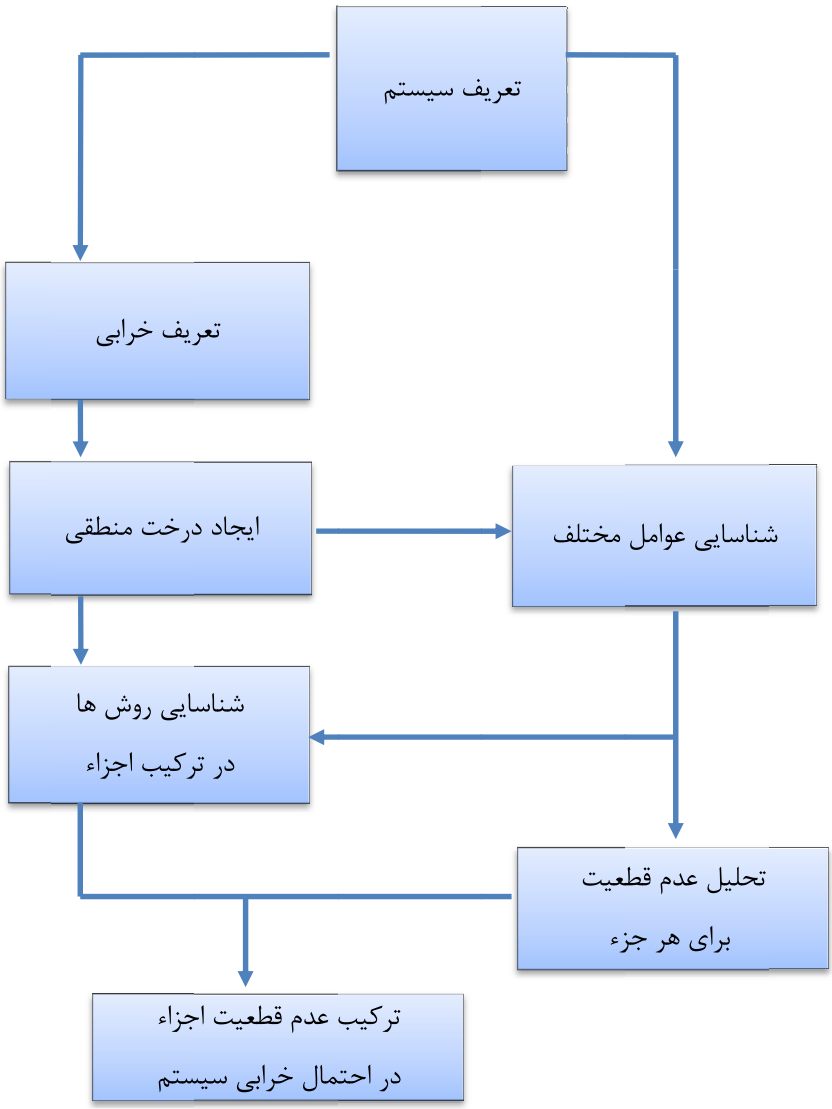
الف – مرزبندی روشن بین ضوابط خرابی و ایمنی طرح مورد نظر، به عبارت دیگر تعریفی دقیق برای خرابی

ب – انتخاب یک مدل قطعی که متغیرهای اصلی را به ضابطه خرابی یا ایمنی مربوط سازد

پ – تشخیص عدم قطعیت ها در متغیرهای اصلی

ت – بدست آوردن توابع توزیع احتمال مناسب و گشتاورهای آماری متغیرهای تصادفی

وقتی مراحل فوق پشت سر گذاشته شد، می توان به تحلیل های لازم برای بدست آوردن قابلیت اعتماد پرداخت. احتمال خرابی سیستم مهندسی می تواند بصورت وضعیتی تعریف شود که بار روی یک سیستم از ظرفیت یا مقاومت سیستم تجاوز کند و قابلیت اعتماد به صورت احتمال خراب نشدن بشکلی که بار از ظرفیت تجاوز نکند، بیان می شود.



شکل ۲-۱ : فلوچارت قابلیت اعتماد سیستم ها

شکل ۲-۱ مراحل گام به گام شناسایی پارامترهای مختلف، روش های مورد استفاده و در نهایت ترکیب عوامل مختلف موثر بر قابلیت اعتماد سیستم را نشان می دهد.

۲-۲ مدل های قابلیت اعتماد وابسته به زمان[8]

انتظار می رود که یک سیستم، روی یک دوره زمانی مورد انتظار کار کند و در نتیجه عدم قطعیت ها، بارگذاری تصادفی و تغییرات ممکن در مشخصات ظرفیت یا مقاومت روی زمان، باید بررسی گردند.[9]

احتمال اینکه سیستمی که زمان خرابی آن T است (T خود متغیر است) بتواند عملکرد مطلوب خود را در شرایط محیطی معین تا زمان t هم چنان حفظ کند، قابلیت اعتماد آن سیستم نام دارد.

$$R(t) = P(T > t) \qquad (۵-۲)$$

در این تعریف فرض می شود که سیستم در زمان $t = 0$ خوب کار میکرده است، و علاوه بر این واضح است که هیچ سیستمی نمی تواند تا ابد دچار خرابی نشود، بعبارت دیگر :

$$R(0) = 1 \quad ; \quad R(\infty) = 0$$

اگر آهنگ خرابی لحظه ای با $\lambda(t)$ نشان داده شود، که بیانگر احتمال خرابی یک سیستم در لحظه ای مشخص از عمر خود است، آنگاه می توان اثبات کرد که :

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)}\frac{dR(t)}{dt} \qquad (۶-۲)$$

$$\lambda(t)dt = -\frac{dR(t)}{R(t)} \qquad (۷-۲)$$

حال با انتگرال گیری از دو طرف رابطه (۲-۶)، بین زمان های ۰ تا t نتیجه می شود :

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \qquad (۸-۲)$$

اگر آهنگ خرابی ها مستقل از زمان و یکنواخت باشد، آنگاه :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \qquad (۹-۲)$$

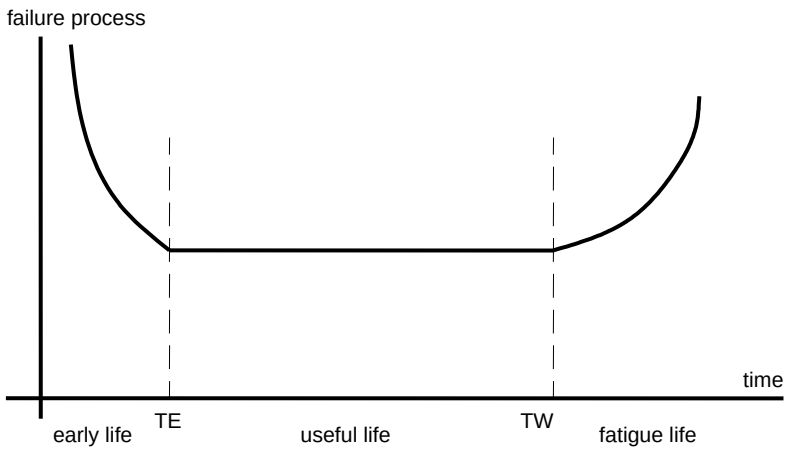
شکل ۲-۲ آهنگ خرابی های لحظه ای را بر حسب زمان نشان می دهد :

---

[8] Time-dependent Reliability Models

[9] مدلهای قابلیت اعتمادی که این المان ها را با یکدیگر در هم می آمیزند، مدل های قابلیت اعتماد وابسته به زمان نامیده می شوند.

جمعیت مورد بررسی در دوره اول، آهنگ خرابی بالایی از خود نشان می دهد. این روند به سرعت رو به کاهش می رود تا در زمان T_E حدودا ثابت می شود. دوره زمانی ۰ تا T_E را دوره نوجوانی[۱۰] یا دوره ظهور معایب می نامند. در زمان T_E به علت اینکه عناصر معیوب دچار خرابی شده اند، تثبیت آهنگ خرابی ها پدید می آید. خرابی های این دوره، اغلب بعلت طراحی غلط و یا ضعف در ساخت بروز می کنند. پس از زمان T_E ، آهنگ خرابی تثبیت می شود و به این دوره از عملکرد سیستم، عمر مفید[۱۱] اطلاق می شود، زیرا که بهترین بهره برداری از سیستم را در طی این دوره می توان به انجام رساند. خرابی هایی که در این دوره بروز کنند، طبیعت تصادفی، غیر مترقبه و فاجعه آمیز دارند و این خرابی ها را بهیچ وجه نمی توان از قبل پیش بینی کرد.



شکل ۲-۲ : آهنگ خرابی سیستم در طول زمان

وقتی سیستم به عمر T_W رسید، روند بالا رفتن خرابی ها دوباره پدید می آید. این خرابی ها در اثر فرسودگی اجزاء سیستم و نزدیک شدن آنها به محدوده عمر تعیین شده خود اتفاق می افتد. یک بررسی همه جانبه قابلیت اعتماد، باید تمام دوره های سه گانه عمر سیستم را در نظر داشته باشد، در مورد سیستم های نسبتا قابل اعتماد (سیستم هایی که نسبت به پارامترهای موثر در عملکرد آن، شناخت و کنترل بهتری وجود داشته باشد)، دوره ظهور معایب را تا حد مطلوب می

[10] Early Life
[11] Useful Life

توان کاهش داد. این عمل با بکار گیری روش های صحیح و شناخته شده طراحی و ساخت انجام پذیر است [۳].

۲-۳ ملاحظات اقتصادی

این نکته حائز اهمیت است که ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم در امتداد فرآیند طراحی و به عنوان گام تفکیک ناپذیری از آن، همواره باید مورد توجه قرار گیرد. در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و سعی در افزایش آن در زمان های بعدی پس از طراحی غیر عملی است و حتی در جایی که اینکار بصورت فیزیکی میسر باشد، مستلزم صرف هزینه های بسیار و غیر ضروری می باشد، بنابر این هر محصول یا سیستم دارای یک قابلیت اعتماد ذاتی است که در مرحله طراحی برای آن ایجاد می شود.

بهسازی قابلیت اعتماد مستلزم سرمایه گذاری بیشتر است، همچنین روند کلی نسبت میان هزینه ها به قابلیت اعتماد با افزایش سطح قابلیت اعتماد یک روند افزایشی است. بعبارت دیگر، با صرف سرمایه گذاری معین در سطوح بالاتری از قابلیت اعتماد، بهبودی کمتری در قابلیت اعتماد بدست می آید.

عموما هزینه سرمایه گذاری با افزودن قابلیت اعتماد افزایش می یابد. از طرف دیگر هزینه های نگهداری و تعمیرات به علت از کار افتادگی، با افزایش قابلیت اعتماد کاهش می یابد، از آنجا که هزینه کلی دوره عمر، مجموع این دو هزینه جداگانه است، دارای حداقلی می باشد که به عنوان سطح بهینه قابلیت اطمینان تلقی می شود. اگرچه چنین مفهومی کاملا صحت دارد، ولی اجرای آن با دو مشکل مواجه است، اول اینکه مدل های محاسباتی برای شاخص ها تقریبی است، و دوم اینکه با مشکلات بزرگی در ارزیابی میزان تحمیلی جهت هزینه های نگهداری و تعمیرات روبرو هستیم [۸]. از اینرو همچنان باید تحقیقات قابل ملاحظه ای در مورد هزینه های ناشی از کار افتادگی، انجام پذیرد.