

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARMARAY PROJESİ YANGIN SİSTEMLERİNİN FONKSİYONEL EMNİYET
AÇISINDAN GÜVENİRLİK ANALİZİ**

GÖZDE YETKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ÖZGÜR TURAY KAYMAKÇI**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARAY PROJESİ YANGIN SİSTEMLERİNİN FONKSİYONEL EMNİYET
AÇISINDAN GÜVENİRLİK ANALİZİ**

Gözde YETKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 27/08/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muzaffer METİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin her geçen gün gelişmesi, insanların daha güvenli bir dünyada yaşaması için bilim adamlarını yeni çalışmalara yönlentmektedir . Bu süreçte güvenli, daha çevreci ve ekonomik olması nedeniyle toplu ulaşım sistemleri içerisinde raylı sistemlerin önemi artmaktadır. İnsan yoğunluğu ve yaşanabilecek tehlikeler göz önüne alındığında raylı ulaşım sistemlerindeki emniyet seviyesi sistemler projelendirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri olmaktadır.

Ülkemizde hizmete açılır açılmaz büyük talep gören Marmaray projesi, toplu ulaşım sistemleri arasındaki yerini hemen almış, taşıdığı anlam ve özellik bakımından yolcular dışında turistik amaçlı farklı bir deneyim yaşamak isteyen insanların da ilgi odağı olmuştur.

İnsan yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde yaşanabilecek bir tehlike ciddi kayıplara sebep olabileceğinden, Marmaray gibi deniz altından geçen bir tünel ulaşım sisteminin bünyesinde bulunan emniyet sistemleri daha da önemli hale gelmektedir.

Bu çalışmada Marmaray projesi üzerinden yangın emniyet sistemlerinin önemine dikkat çekilmek istenmiş, ilgili sistemin fonksiyonel emniyet analizi yapılmıştır.

Çalışmalarım sırasında beni yönlendirip yardım eden danışmanım Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI'ya ve hayatım boyunca bana hep destek olan canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2014

Gözde YETKİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Orjinal Katkı.....	5
BÖLÜM 2	
FONKSİYONEL EMNİYET	7
2.1 Fonksiyonel Emniyetin Tanımı	7
2.2 Hata Modelleri	12
2.3 Hata Ağacı Analizi.....	18
2.3.1 Hata Ağacı Ortak Nedenli Hata (CCF) Modellemesi	21
2.3.2 Bulanık Mantık (Fuzzy) Yöntemi ile Hata Değeri Bulma	22
BÖLÜM 3	
MARMARAY YANGIN EMNİYET SİSTEMİ	26
3.1 Marmaray Yangın Algılama Sistemi	26
3.2 Duman Kontrol Fanları.....	30
3.3 Yangın Senaryosu.....	33

BÖLÜM 4

MARMARAY ÜSKÜDAR İSTASYONU YANGIN ÖNLEME KONTROL SİSTEMLERİNİN GÜVENİRLİK ANALİZİ	35
4.1 Acil Kaçış Merdivenleri Duman Kontrol Sistemleri	43
4.1.1 Batı Merdiveni Duman Kontrol Sistemi	46
4.1.2 Doğu Merdiveni Duman Kontrol Sistemi	47
4.2 FM 200 Gazlı Söndürme Sistemli Odalar Duman Kontrol Fanları.....	48
4.3 Tünel İçi Duman Kontrol Fanları	53
4.4 İstasyon Duman Kontrol Fanları	57

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGE LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$E[\tau]$	MTTF fonksiyonu
$F(t)$	Başarısız olma olasılığı
$f(t)$	Hataya düşme olasılık fonksiyonu
N	Toplam test sayısı, işletim sayısı
N_s	Hatasız test sayısı
P	Bir olayın gerçekleşme olasılığı
$R(t)$	Güvenirlilik fonksiyonu
T	Zaman
ΔN_f	Süreç içerisindeki hata sayısı
Δt	Zaman farkı
$X(t)$	Durum değişkeni
$\lambda(t)$	Hata oranı
μ	Tamir etme katsayısı
β	CCF katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

CCF	Common Cause Failure
DK	Damper kapalılığı
EN	European Norm
EAF	Exhaust Air Fan
FFR	Fuzzy Failure Rate
FPS	Fuzzy Probability Score
FR	Failure Rate
GAP	Graphical Alarm Panel
HV	High Voltage
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LHD	Linear Heat Dedection
LHDP	Linear Heat Dedector Panel
LV	Low Voltage
MFAP	Main Fire Alarm Panel
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTF	Mean Time to Failure
MTTR	Mean Time to Restore
NFPA	National Fire Protection Association
PELS	Programmable Electronic Logic Solver
PFD	Probability of Failure on Demand
PFDavg	Probability of Failure on Demand Average
RRF	Risk Reduction Factor
SAF	Supply Air Fan
SFF	Safe Failure Fraction
SIF	Safety Instrumented Functions
SIL	Safety Integrity Level
SIMS	Station Information Management System
SIS	Safety Instrumented System
SCEA	Smoke Control Extract Air
TR	Trafo
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TVF	Tunnel Vantilation Fans
UPS	Uninterruptible Power Supply

YiP Yangın İhbar Paneli
YiS Yangın İhbar Santrali

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Marmaray'ın genel yapısı..... 4
Şekil 2. 1	Basitleştirilmiş fonksiyonel emniyet döngüsü 8
Şekil 2. 2	1001 mimari..... 10
Şekil 2. 3	1002 mimari..... 10
Şekil 2. 4	1002D mimari 11
Şekil 2. 5	X(t) ile T arasındaki ilişki..... 12
Şekil 2. 6	Sistem hata-başarı döngüsü..... 16
Şekil 2. 7	Bir sistemin ortalama davranışı 17
Şekil 2. 8	VE kapısı arıza gerçekleşme durumu 20
Şekil 2. 9	VEYA kapısı arıza gerçekleşme durumu 21
Şekil 2. 10	CCF hata ağacı gösterimi..... 22
Şekil 2. 11	Bulanık mantığın algoritması 23
Şekil 3. 1	Marmaray yangın sistemi bağlantı şeması..... 29
Şekil 3. 2	Duman kontrol fanları çalışma diyagramı 30
Şekil 3. 3	Acil kaçış merdiveni fanları çalışma diyagramı 32
Şekil 3. 4	Temiz hava ve eksoz fanları çalışma diyagramı 32
Şekil 3. 5	FM 200 gazlı mahallerin çalışma diyagramı 33
Şekil 4. 1	Enerji sistemi için hata ağacı 38
Şekil 4. 2	Şebeke sistemi için hata ağacı..... 38
Şekil 4. 3	Jeneratör sistemi için hata ağacı..... 39
Şekil 4. 4	Damper kapalılık-hata oranı ilişkisi 40
Şekil 4. 5	Acil kaçış merdivenleri sistem diyagramı 44
Şekil 4. 6	Normal havalandırma fanları hata ağacı..... 45
Şekil 4. 7	Yedekli A ve B fanları hata ağacı 45
Şekil 4. 8	A-B yedekli fanları CCF hata ağacı..... 46
Şekil 4. 9	Batı acil kaçış merdiveni hata ağacı 46
Şekil 4. 10	Doğu acil kaçış merdiveni hata ağacı..... 47
Şekil 4. 11	207-208 nolu mahaller sistem diyagramı 49
Şekil 4. 12	207-208 mahalleri için hata ağacı..... 50
Şekil 4. 13	Yedekli 01B-01C fanları hata ağacı 51
Şekil 4. 14	B-C yedekli fanları CCF hata ağacı..... 51
Şekil 4. 15	01A fanı hata ağacı 52
Şekil 4. 16	Tünel içi sistem diyagramı 54

Şekil 4. 17	Tünel 1 hata ağacı	54
Şekil 4. 18	Fan arızası için hata ağacı	55
Şekil 4. 19	Yedekli fan CCF hata ağacı	55
Şekil 4. 20	Damper arızası hata ağacı	56
Şekil 4. 21	Zone 1 sistem diyagramı	58
Şekil 4. 22	Zone 1 hata ağacı	59
Şekil 4. 23	A fanı hata ağacı	59
Şekil 4. 24	Yedekli 01B-01C fanları hata ağacı	60
Şekil 4. 25	B-C yedekli fanları CCF hata ağacı	60
Şekil 4. 26	Damper arızası hata ağacı	61

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Emniyet bütünlük seviye tablosu 9
Çizelge 2. 2	Mimari yapı - SIL ilişkisi 11
Çizelge 2. 3	Formül tablosu 14
Çizelge 2. 4	IEC 61511 e göre PELS için SFF-SIL ilişkisi 17
Çizelge 2. 5	Hata ağacı oluşturma adımları 19
Çizelge 2. 6	Hata ağacı temel sembolleri 19
Çizelge 3. 1	Marmaray yangın sistemi Şekil 3.1 cihaz listesi 28
Çizelge 4. 1	Hesaplamalarda kullanılan hata oranları 35
Çizelge 4. 2	Yangın ihbar sistemi elemanları ve sistem merkezi FR ve PFDavg 36
Çizelge 4. 3	Yangın ihbar paneli elemanları, sistem merkezi FR ve PFDavg 37
Çizelge 4. 4	Hata ağaçları temel olay tablosu 41
Çizelge 4. 5	Hesaplamalar sonucu elde edilen PFDavg değerleri 42
Çizelge 4. 6	Hesaplamalarda kullanılacak sistemlerin PFDavg değerleri 43
Çizelge 4. 7	Üsküdar istasyonu acil kaçış merdiveni fanları 45
Çizelge 4. 8	Batı merdiveni PFDavg hesabı 47
Çizelge 4. 9	Doğu merdiveni PFDavg hesabı 48
Çizelge 4. 10	207-208 nolu mahaller sistem elemanları 50
Çizelge 4. 11	207-208 nolu mahaller PFDavg hesabı 52
Çizelge 4. 12	Tünel 1 PFDavg hesabı 56
Çizelge 4. 13	Zone 1’de bulunan sistem elemanları 57
Çizelge 4. 14	Zone 1 PFDavg hesabı 61

MARMARAY PROJESİ YANGIN SİSTEMLERİNİN FONKSİYONEL EMNİYET AÇISINDAN GÜVENİRLİK ANALİZİ

Gözde YETKİN

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI

Toplu ulaşım sistemleri içerisinde raylı ulaşım sistemlerinin önemi gün geçtikçe artmakta olup raylı ulaşım sistemleri hızlı, güvenli ve çevreci olması nedeniyle tercih edilmektedir. Özellikle insan yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde ulaşım ihtiyacının hızlı, kaliteli ve güvenli olarak karşılanabilmesi amacıyla raylı ulaşım sistemleri projelendirilmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile endüstriyel sistemlerdeki hata ihtimallerinin en aza inmesi beklenmekte ve çalışmalar bu alanda yoğunlaştırılmaktadır. Sistemler arızaya düştükten sonra yapılacak bir müdahale sistemin kurtarılması için yeterli değildir ve ciddi kayıplara da sebep olabilmektedir. Fonksiyonel emniyet elemanları, sistemin bir bölümü hataya düşse bile sistemin bütününün sorunsuz çalışmasını sağlamak ya da güvenli bir şekilde emniyetli duruma getirmek amacı ile tasarlanan sistemlerdir.

Marmaray projesi hizmete açılır açılmaz toplu ulaşım sistemleri içerisinde ciddi bir pay sahibi olmuştur. İnsan yoğunluğunun yüksek olduğu raylı tünel sistemlerinde yaşanabilecek muhtemel bir yangın durumunda, devreye girecek yangın emniyet sisteminin yüksek emniyet seviyesinde olması gerekmektedir. Yüksek emniyet seviyesi sağlanamadığında can ve mal kayıplarının görüldüğü bir felaket kaçınılmazdır.

Fonksiyonel emniyet alanında bu zamana kadar ciddi çalışmalar yapılsa da yangın emniyet sistemleri ile ilgili standartlar tam anlamıyla ortaya konulamamıştır. Yangın ile

ilgili fonksiyonel emniyet sistemlerine ait bir standart olmadığından, yangın emniyet sistemleri üzerine yapılan çalışmalar artı önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Marmaray ulaşım sisteminin Üsküdar istasyonunda, yaşanabilecek bir yangın durumunda sistemin duman tahliyesi ve insanların güvenli şekilde istasyon dışına çıkışını sağlamak amacıyla kurulmuş yangın senaryosuna bağımlı olmak üzere yangın emniyet sistemi incelenmiş ve IEC 61508 standardına göre güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde fonksiyonel emniyet sistemleri ile ilgili literatür araştırmalarına ve Marmaray projesi hakkında genel ve teknik bilgilere yer verilmiştir.

İkinci bölümünde fonksiyonel emniyet genel hatlarıyla incelenmiş, fonksiyonel emniyet sistemlerinin hata ağacı yöntemi ile incelenmesi hakkında bilgi verilmiştir. Hata oranı hesaplamaları için kullanılan bulanık mantık yönteminden ve hata ağacı uygulamalarında ortak çevre etkeninin sistemler üzerindeki etkisinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde Marmaray'ın yangın ihbar sistemi, duman kontrol fanları ve yangın senaryosundan bahsedilip, sistemin çalışması incelenmiştir.

Dördüncü bölümünde ise IEC 61508 standardı çerçevesinde Marmaray Üsküdar İstasyonu'nda dört ayrı mekanda yaşanması muhtemel bir yangın için, yangın senaryosuna bağımlı olmak üzere yangın emniyet sisteminin çalışması incelenmiştir. Algılanan bir yangın sinyali sonrası yolcuların istasyonlardan tahliyesini sağlayacak olan acil kaçış merdivenleri insan hayatı için kritik önem taşıyan mahallerden biridir. Marmaray projesinde trenin, enerji sistemlerinin ve kontrol sistemlerinin denetiminin sağlandığı odalar FM 200 gazlı söndürme sistemine sahiptir. Bu odalar sistemin hatasız çalışması için kritik önem taşır. Tünel içerisinde çıkacak bir yangının, yolcu tahliyesinin zorluğu ve dumanın tünel içerisindeki hareketi göz önüne alındığında ciddi bir felaket kaçınılmazdır. İstasyonlardaki yolcu yoğunluğu göz önüne alınarak istasyon yangın hatları emniyet sistemleri için ayrı bir önem taşımaktadır. Bu analizler ışığında yangın emniyet sistemlerinin analizi hata ağacı yöntemi ile incelenmiş, damperlerin kapalılık durumundan kaynaklı hata değerleri de bulanık mantık yardımı ile hesaplanmıştır.

Sonuç bölümünde ise inceleme sonrası Marmaray yangın emniyet sisteminin güvenilirlik analiz değerleri standartlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada özellikle yangın emniyet sistemleri için fonksiyonel emniyetin önemine dikkat çekilmek istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel emniyet, güvenilirlik, yangın emniyet sistemi, Marmaray, hata ağacı.

**MARMARAY PROJECT FIRE SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS IN TERMS OF
FUNCTIONAL SAFETY**

Gözde YETKİN

Department of Control and Automation Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI

Importance of railway transportation systems are increasing day by day in public transport systems and railway transportation systems are preferred because it is fast, safe and environmental friendly. The railway transportation systems are designed to adequate faster, comfortable and safe transportation in areas where human density is high.

The possibility of fault in the industrial systems are getting minimizing with the development of technology. When the system gets a fault, getting an action is not enough to save the system and may also lead to serious losses. Functional safety equipments provide the systems works properly even a part of a system gets fault or to be safe situation.

Marmaray project is opened to service in public transport systems has been a significant shareholder. High concentration of people is likely to live in rail tunnel system in the event of a fire, the fire safety systems will be engaged should be a higher security level. Providing a high level of security of life and property losses can not be seen a disaster is inevitable

Lots of functional safety system studies had been done except fire safety system. So that fire safety system studies have a priority.

In this study, in Uskudar station of Marmaray, that may occur in case of a fire disaster, smoke evacuation systems and people to ensure a safe exit out of the station established fire safety systems including fire scenario dependent examined and reliability analysis was performed according to the IEC 61508 standard.

First part of this study, related researches about functional safety, general and technical information about Marmaray Project is given.

In the second part, functional safety examined in general terms. Functional safety system is studied with fault tree method. For fault rate calculations fuzzy logic calculations method is explained.

In the third part, fire detection system in Marmaray, smoke control extract fans and fire scenario and operation of the system is examined.

In the fourth part, in case of fire in Marmaray Uskudar Station, fire safety system with fire scenario is examined as per IEC61508. Fire escape staircases are the most important areas in case of fire. All electrical rooms and control system areas are protected with FM200 Gaseous Fire Fighting System in Marmaray. This rooms has a priority for the operating system to work without a fault. In case of fire inside tunnel, evacuation of the passengers are too difficult. Also inside the stations high density of passenger evacuation is difficult. Fire safety system is examined with fault tree method and closed position of fire dampers fault values is calculated with fuzzy logic methods.

As a result, Marmaray fire safety system analysis is examined as per standards.

During this study attention is taken for the importance of fire safety systems with functional safety.

Keywords: Functional safety, reliability, fire safety system, Marmaray, fault tree

1.1 Literatür Özeti

Dünya nüfusunun artışı, metropollerin ve kentleşmenin gün geçtikçe toplumlarda yarattığı etkiler, insanların daha kolay bir yaşam sürmek için attığı adımlar göz önüne alındığında fonksiyonel emniyetin hayatımızdaki yeri ve önemi artmaktadır. Fonksiyonel emniyet henüz ülkemizde olması gerektiği ölçüde yaygınlaşmamış olsa da özellikle raylı sistemler, donanma sistemleri ve enerji santralleri gibi insan hayatı üzerinde önem teşkil eden kritik alanlarda çalışmalar devam etmektedir.

28 kişinin ölümü ile sonuçlanan 25 Şubat 1991 tarihinde Dharan, Suudi Arabistan'da füze sistemlerinde yaşanan kaza, 10 kişinin ölümü ile sonuçlanan 29 Haziran 2011 tarihinde Saxony-Anhalt Almanya'da bir yük treni ile yolcu treninin çarpışması sonucu yaşanan kaza, 11 kişinin ölümü ile sonuçlanan 23 Temmuz 2008 tarihinde Nurdağı Gaziantep'te bir yolcu minibüsü ile trenin çarpışması sonucu yaşanan kaza, 13 Mayıs 2014 tarihinde Manisa'nın Soma ilçesinde bir maden ocağında yaşanan ve 301 madencinin ölümü ile sonuçlanan kaza fonksiyonel emniyetin hayatımızdaki yeri ve önemi açısından dikkat teşkil etmektedir. Risk faktörü yüksek mahal, taşıma sistemleri ve çalışma sektörlerinde fonksiyonel emniyet sistemleri ne kadar çok kullanılır ise güvenli bir yaşam sürme şansı canlılar ve doğa için o kadar artmaktadır.

Büyük Britanya'da 1996 yılında Warrington Fire Research [1] tarafından yapılan çalıştay, 1996 yılında Fire Code Reform Center tarafından hazırlanan Avustralya Yangın Mühendislik Kuralları ve 1971 yılında Tokyo Fire Department tarafından derlenen

yangın istatistik verileri yangın emniyet sistemleri üzerine hazırlanan temel kaynaklardan birkaçıdır [2].

Yangın algılama ve söndürme sistemleri üzerine veri bilgisi oldukça az olup; Kingswell 1972, Sayers 1972, Watanabe 1979, Moliere 1982, Krasner 1985, Finucane & Pinkney 1989 ve OREDA 1992 [3] referans alınabilecek kaynaklardır [4].

Yangın emniyet sistemleri üzerine İngiltere’de Ramachandran çeşitli çalışmalar yürütmüş, yangın emniyet sistemlerinin ekonomi ve emniyet üzerindeki etkileri ile ilgili konuya temel bakış açısı sağlayan tespitlerde bulunmuştur. “Quantitative Risk Assessment in Fire Safety” [5] kitabı bu kaynaklardan bir tanesidir.

Fonksiyonel emniyet çalışmalarına en çok ihtiyaç duyulan sektörler risk oranları yüksek olan sektörlerdir. Enerjinin hayatımızdaki önemi arttıkça nükleer santrallerin sayısı da artmış, risk oranı yüksek çalışma sistemleri nedeni ile bu alanda fonksiyonel emniyete daha çok ihtiyaç doğmuştur. Bu alanda en kapsamlı çalışmaları Rausand 1976 yılında başladığı akademik kariyeri süresince yürütmüş ve halen yürütmektedir. 1994 yılında Hoyland ile beraber hazırladıkları "System Reliability Theory; Models and Statistical Methods" kitabı [6] güvenilirlik analizi üzerine yayınlanmış temel kaynaklardan biridir.

Fonksiyonel emniyete ihtiyaç duyan sistemlerin doğru incelenmesi iyi bir modelleme ve analiz gerektirir. Bilgisayar sistemlerinin emniyeti, güvenli çip sistemleri, ağ sistemleri, sensör çalışma sistemleri gibi endüstri için önem arz eden teknolojilerde Börcsök tarafından modelleme, güvenilirlik ve analiz çalışmaları yürütülmektedir. Börcsök’e ait 2004 yılında yayımlanan “Electronic Safety Systems; Hardware Concepts, Models and Calculations” [7] bir çok çalışma için temel teşkil eden bir yayın olmuştur.

Çeşitli modelleme metodları ile analiz imkanı olan fonksiyonel emniyetin, yaygın olarak tercih edilen hata ağacı yöntemi için IEC 61025 standardı oluşturulmuştur. Hata ağacı ile yapılan analizler hata ağacı standardı da denilen bu temel kaynak çerçevesinde yapılmaktadır [8].

Fonksiyonel emniyetin tüm endüstriyel alanlarda standartları IEC 61508 çatısı altında toplanmaktadır. IEC 61508 standardı endüstride fonksiyonel emniyeti kapsayan 2010 da ikinci versiyonu yayınlanmış en geniş standarttır. IEC 61508 in bir amacı endüstride zaman, maliyet, üretim kaybını en aza indirmek; diğeri ise elektrik, elektronik ve

programlanabilir sistemlerde emniyeti artırmaktır [9]. Diğer bir standart olan IEC 61511 elektronik sistemlerde proses emniyetini [10], EN ISO 13849-1 standardı ise mekanik ve pnömatik ürün grubundaki emniyeti, IEC 61513 nükleer santrallerdeki emniyeti ve IEC 50126-50128-50129 raylı sistemlerdeki emniyeti kapsayan standartlardır [11]. Fonksiyonel emniyet için farklı sektörlerde kullanılan standart örnekleri çoğaltılabilir. Ancak endüstride bir çok durum için kabul edilmiş standartlar mevcutken, hali hazırda yangın emniyet sistemlerini kapsayan standart bulunmamaktadır. Yangın emniyet sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan elektronik ekipmanlar ve bu ekipmanların güvenilirlik analizi henüz bir standart referans alınarak incelenmemektedir. Bu sistemlerde özellikle insan yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde bir risk oluşması halinde sistemin yüksek olasılıkla işlevsel olması gerektiği garanti altına alınmalıdır. Bu noktada bu çalışma literatürdeki bu açığı kapatmak için büyük bir önem arz etmektedir.

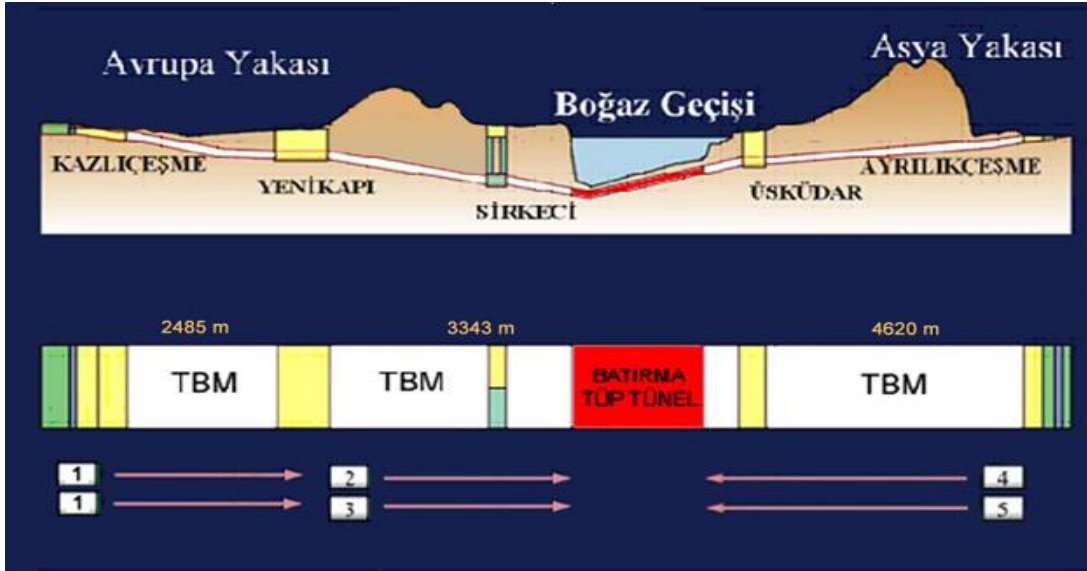
1.2 Tezin Amacı

Marmaray Projesi, İstanbul'un ulaşım ve trafik problemini çözmeye yönelik, elektrik enerjisi kullanarak çevre kirliliği yaratmayacak şekilde tasarlanmış yüksek kapasiteli bir demiryolu projesidir. İstanbul tarihi ve kültürel güzellikleriyle her anlamda korunması gereken, kalabalık nüfus ve geniş coğrafyası nedeniyle de çevre kirliliği yaratmayan toplu taşıma sistemleri tercih edilmesi gereken bir şehirdir.

Marmaray; boğaz geçiş kısmında çift hat olmak üzere Kazlıçeşme'den sonra Yedikule'de yeraltına giren; yeni yeraltı istasyonları olan Yenikapı ve Sirkeci boyunca ilerleyen, İstanbul Boğazının altından geçip diğer bir yeni yer altı istasyonu olan Üsküdar'dan ilerleyerek Ayrılıkçeşme'de tekrar yüzeye çıkan ve Ayrılıkçeşme'de son bulan bir hattır. Bu mesafenin uzunluğu yaklaşık 13,5 kmdir.

Marmaray projesindeki tüneller farklı teknikler kullanılarak hazırlanmış tünellerdir. Güzergahın Şekil 1.1'e göre kırmızı bölümü, batırma tünelden oluşur, beyaz bölümleri ise çoğunlukla tünel açma makineleri kullanılarak delme tünel olarak inşa edilmiş ve sarı bölümleri aç-kapa tekniği ve yeni avusturya tünel açma metodu veya diğer geleneksel metotlar kullanılarak yapılmıştır.

Marmaray'da batırma tüneller kuru dok veya tersanede üretilen elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanların sahada bir kanal içerisinde batırılması ile batırma tüp tüneller oluşmaktadır. Marmaray projesinde batırma tünel, batırma tünel ile delme tüneller arasındaki bağlantılar dahil olmak üzere yaklaşık 1,4 kilometredir.



Şekil 1. 1 Marmaray'ın genel yapısı

Batırma tüneller kontrolü rahat sağlanabilecek uzunlukta prefabrike sistemlerin gerekli bağlantı elemanları ile birlikte suyun altında birleştirilmesi ile oluşur. Marmaray projesindeki bu yapılar Tuzla'da üretilmiş daha sonra indirme ve batırma işlemleri gerekli ağırlıklar yardımı ile tamamlanmıştır.

Batırma tünel ile kayada açılan tüneller birbirine bağlıdır ve gidiş dönüş olmak üzere iki tünel her bir tünelde de bir demiryolu hattı bulunur. Acil bir durumda kaçıışı sağlamak ve görevli personelin müdahalesini kolaylaştırmak amacıyla paralel tüneller arası sıklıkla birbirine bağlanmıştır. Tüm hat boyunca su sızıntılarının önlenmesi için gerekli tüm önlemler alınmış, yaşanabilecek herhangi bir tehlikeye karşı diğer metro ve raylı sistemlerde kullanılan tüm emniyet sistemleri de kullanılmıştır [12].

Marmaray hattı ile ilgili sayısal bilgiler aşağıdaki gibidir [12].

- Toplam uzunluk : 76,3 km
- Avrupa yakası uzunluğu : 19,3 km
- Asya yakası uzunluğu : 43,4 km

- Batırma tp tünel : 1,4 km
- Delme tünel : 9,8 km
- A-kapa ve açık kazı : 2,4 km
- Batırma tp tünelin maksimum derinliği: 56 m
- Yeniden inŖa edilecek-edilmiŖ olan istasyonlar : 37
- Yeni yeraltı istasyonları : 3
- Peron uzunluğu, minimum : 225 m
- Saatte tek yönde maksimum doruk kapasite;
Mevcut banliyö demiryolu : 10000 yolcu
İyileŖtirilmiŖ banliyö demiryolu : 75000 yolcu
- Tasarım Hızı: 100 km/saat
- Maksimum iŖletme hızı: 100 km/saat
- Beklenen ortalama hız: 45 km/saat
- Sefer Aralığı (trenler arasındaki süre): 120 - 600 saniye

Bu alıŖmada fonksiyonel emniyet ve yangın emniyet sistemlerinin hayatımızdaki önemini vurgulamak amacıyla, Marmaray ulaŖım sisteminin Üsküdar istasyonunda, yaŖanabilecek bir yangın durumunda sistemin duman tahliyesi ve insanların güvenli Ŗekilde istasyon dıŖına ıkıŖını sağlamak amacıyla kurulmuŖ yangın senaryosuna bağımlı olmak üzere yangın emniyet sistemi incelenmiŖ ve IEC 61508 standardına göre güvenirlik analizi yapılmıŖtır.

1.3 Orjinal Katkı

Ülkemizde ve dünyada özellikle Marmaray gibi toplu ulaŖım sistemlerinde yaŖanabilecek, canlılar ve doğa üzerinde tehlike arz eden kazaların önlenmesi amacıyla, bu sistemlerin projelendirilme aŖamasında sisteme entegre edilmiŖ fonksiyonel emniyet sistemleri bulunmaktadır. Ülkemizde binaların yangın sistemleri için TS-EN 54

temel alınarak, durum ve sistemlerin değişmesi üzerine TS-EN 54 çerçevesinde çeşitlendirilen yangın standartları kullanılmaktadır.

Marmaray ulaşım sistemi projelendirilirken TS-EN 54 ve NFPA standartları dikkate alınmıştır [13]. Ancak Marmaray ulaşım sistemi projelendirilirken herhangi bir fonksiyonel emniyet standardından yararlanılmamıştır.

Bu çalışmada marmaray projesinin güvenilirliği fonksiyonel güvenilirlik temel standardı olan IEC 61508 göz önüne alınarak incelenmiştir.

Endüstride fonksiyonel emniyeti tek çatı altında toplayan IEC 61508 standardı kendi içinde çeşitli endüstriyel kollara göre ayrılmış olmasına rağmen, yangın emniyet sistemleri için böyle bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle yangın emniyet sistemleri üzerine yapılan çalışmalar konunun gelişimi açısından önem arz etmektedir.

Yaşanabilecek bir yangın anında can ve mal kayıplarını en aza indirmek amacıyla sistemlerin doğru ve güvenilirliği yüksek tasarlanması, kaza sırasında yapılacak müdahaleden daha önemli, sonuçları bakımından avantajlı ve ekonomiktir. Bu nedenle özellikle insanların yoğun olarak kullandığı toplu ulaşım araçları, raylı sistemler ve tünellerde güvenilirliği yüksek sistemler kullanılması gerekir.

Bu çalışmada Marmaray yangın emniyet sistemi kritik önem taşıyan dört durum üzerinden, ilk olarak yangın durumunda istasyonların tahliyesini sağlayacak olan batı ve doğu olmak üzere iki adet planlanmış acil kaçış merdivenlerinde, ikinci olarak FM200 gazlı söndürme sistemine sahip kontrol odaları ve elektrik odalarında, üçüncü olarak tünel içerisinde ve son olarak da istasyonun bir bölümünde yaşanabilecek bir yangın durumu düşünülerek; Marmaray'ın yangın emniyet sistemi ve elemanları yangın senaryosuna göre incelenmiş, emniyet seviyesinin standartlara uygunluğu analiz edilmiş, sistemin kritik elemanları ve çalışma koşulları fonksiyonel emniyet standartları içerisinde değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

FONKSİYONEL EMNİYET

2.1 Fonksiyonel Emniyetin Tanımı

Sistemlerde karşılaşılan sorunların ekonomik olarak ve uzun vadede hataya düşme oranını azaltmak amacı ile yapılan mühendislik çalışması fonksiyonel emniyetin en kısa tanımıdır. Fonsiyonel emniyet, sistemin tamamının ve ekipmanlarının doğru ve hatasız çalışmasını kapsayan genel emniyet sisteminin bir parçasıdır.

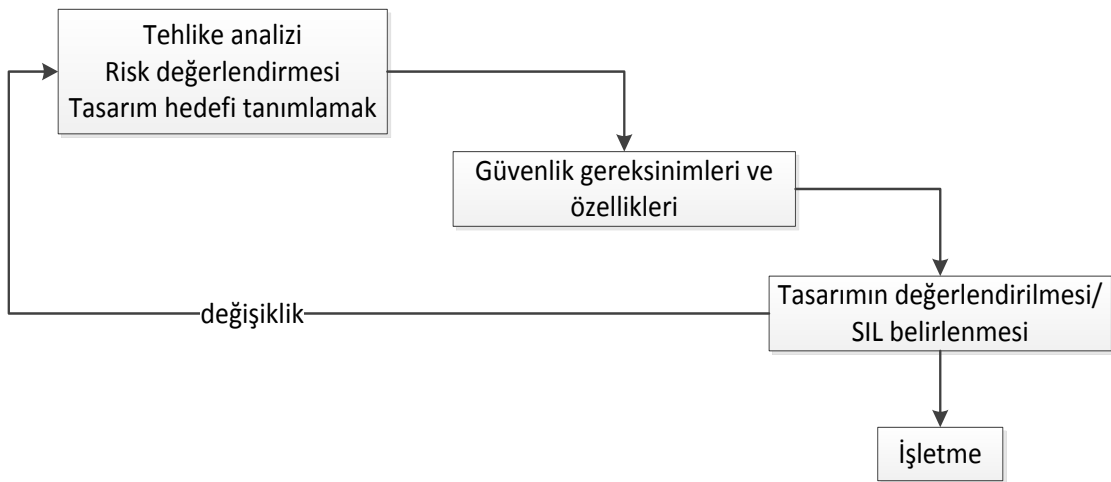
Fonksiyonel emniyet; risk analizini, riskin azaltılması için gerekli çalışmaları, sistem performansının değerlendirilmesini, gerekli performansa göre sistemin tekrar ele alınmasını ve sistemin gerektiği gibi sorunsuz çalışmasını, çevre koşullarını da göz önünde tutarak inceler. Fonksiyonel emniyetten ancak aktif sistemler için bahsedilebilir pasif sistemler için fonksiyonel emniyetten bahsedilemez [14]. Dedektör tarafından algılanan bir sinyalin yangın söndürme sistemini devreye sokması ya da kimyasal dolu bir tankın seviye sensörünün gerektiğinde sıvı dolumunu kesmesi aktif sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Yalıtımı yüksek yangına dayanaklı bir yangın kapısı ise pasif bir sistem olup, fonksiyonel emniyet kapsamına girmemektedir.

Bir cihazın ısınmasını kontrol etmek için kullanılan sıcaklık sensörü fonksiyonel emniyet olurken, ısı yalıtımı için yapılmış bir kaplama yüzey fonksiyonel emniyet tanımına girmemektedir [9].

Endüstride yaşanan tehlikeler ve kayıplar göz önüne alındığında, fonksiyonel emniyetin bir sistemin tasarım, dizayn, işletim gibi her aşamasında dikkate alınması ve böylece mal ve can güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Ürünün ve sistemin dayanıklılığını yaşanabilecek muhtemel ve sistematik hatalara karşı artırmak için; iç test yollarının oluşturulması, yedeklenmesi; çeşitli, güvenli, doğru yazılım ve donanım sistemlerinin tasarımlarının yapılması gerekir.

Fonksiyonel emniyet süreci üç temel süreç altında toplanabilir. Şekil 2.1’de bu sürecin basitleştirilmiş hali gösterilmiştir [10].

Riskin değerlendirilme sürecinde sistemin sahip olduğu elemanların risk durumları ve fonksiyonel emniyet kapsamında olup olmadığı belirlenir. Bu süreçte sistemin risk düzeyi ve fonksiyonel emniyet kapsamında bir emniyet seviyesine gerek olup olmadığı gözlemlenir.



Şekil 2. 1 Basitleştirilmiş fonksiyonel emniyet döngüsü

Fonksiyonel emniyet süreçleri, sistemlerin sahip olduğu ya da sahip olması beklenen emniyet seviyesinin tespitinin yapıldığı süreçtir. Bir sistemdeki risk değeri tolere edilebilir durumda ise bu sistem için emniyet sistemine sahip elemanlara (SIS) gerek yoktur ancak risk değerinin yüksek olduğu durumlarda risk değerinin düşürülmesi için çalışma gerekmektedir. Bu risk değeri de emniyet seviyesi (SIL) olarak değerlendirilir.

IEC 61508 standardı için düşük talep modu, sürekli talep modu ve yüksek talep modu olmak üzere üç tip durum tanımlanmıştır [15]. Bu modların talep-arıza durumlarına göre hata olasılıkları birbirlerinden farklı olarak hesaplanır. Düşük talep durumu için

hata olasılığı oldukça az ve beklenmeyen bir durumdur. Sürekli talep durumu için emniyet seviyesinin artırılması oldukça zordur ve güvenilirliği oluşturulabilecek tek çözüm cihazların yedekli kullanılmasıdır. Bu sistemlerde arıza olduğu zaman sistem hataya düşer. Yüksek talep durumu için risk olasılığı çok yüksek olmasa da sık sık arıza gözlemlenir [14].

SIL seviyesinin farklı durumlar için almış olduğu değer tablosu Çizelge 2.1'de gösterilmiştir [15].

Çizelge 2. 1 Emniyet bütünlük seviye tablosu

Emniyet bütünlük seviyesi (SIL)	Talep esnasında		Risk azaltma faktörü (RRF)
	Talep esnasında hataya düşme olasılığı	Talep esnasında hataya düşme olasılığı	
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$	Sürekli ve yüksek talep modu $10^{-9} \leq PFD_{avg} < 10^{-8}$	$10000 \leq RRF \leq 100000$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$	$10^{-8} \leq PFD_{avg} < 10^{-7}$	$1000 \leq RRF \leq 10000$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$	$10^{-7} \leq PFD_{avg} < 10^{-6}$	$100 \leq RRF \leq 1000$
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$	$10^{-6} \leq PFD_{avg} < 10^{-5}$	$10 \leq RRF \leq 100$

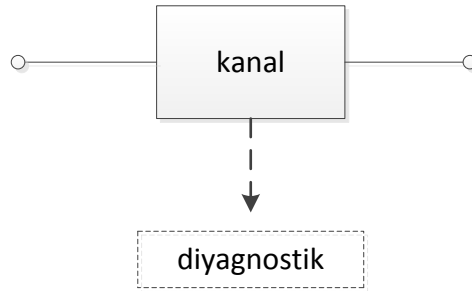
Fonksiyonel emniyetin değerlendirilmesi sürecinde ise analiz sonucu ortaya çıkan emniyet seviyesi ihtiyacı karşılamakta mı yoksa emniyet olması gerekenden düşük müdür belirlenir ve gerekli düzenlemeler yapılır [10].

IEC 61508 standardına göre kritik elemanların çalışma koşulları göz önüne alınarak sistem mimarileri tasarlanmaktadır. Bu mimarilerin sahip olduğu özelliklere göre sistemin güvenilirlik seviyesi değişim göstermektedir.

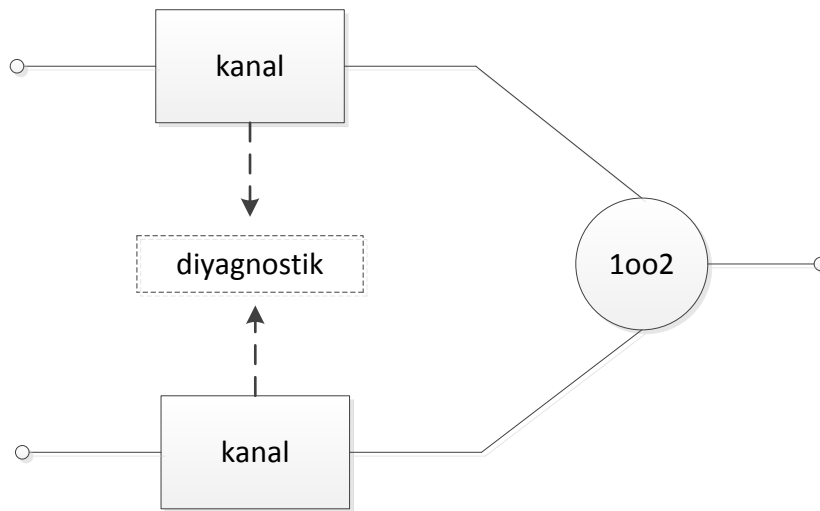
Tek kanallı bir kontrol sistemi olan, 1oo1 mimarisi sistem elemanının bir giriş ve bir çıkış olmak üzere alternatifi olmadığını gösterir. Sistemde bu ekipmanın bozulması sistemi hataya götürür. Sistem mimarisi Şekil 2.2'de gösterilmiştir [16].

1oo2 mimarisi, aynı görev ve özellikte iki ekipmanın birbiri ile paralel bağlanması ile oluşmaktadır. Sistemin çalışma koşullarına göre ekipmanlardan birtanesi bozulsa dahi, diğer ekipman sistemi arızaya götürmeden çalışmayı sürdürebilir. Sistemlerin analizi

sonucunda paralel sistemin seri sisteme göre daha güvenli olduğu görülebilir. Sistem mimarisi Şekil 2.3'de gösterilmiştir [16].



Şekil 2.2 1001 mimari



Şekil 2.3 1002 mimari

1002D, paralel olarak bağlanmış iki kanaldan oluşur. Normal çalışma sırasında, her iki kanal da emniyet fonksiyonunun talep etmesi durumunda devreye girebilir. Sistemlerden birinde bir hata görünmesi durumunda diğer sistem ile bu durum ortadan kaldırılabilir. Sistem mimarisi Şekil 2.4'de gösterilmiştir [16].

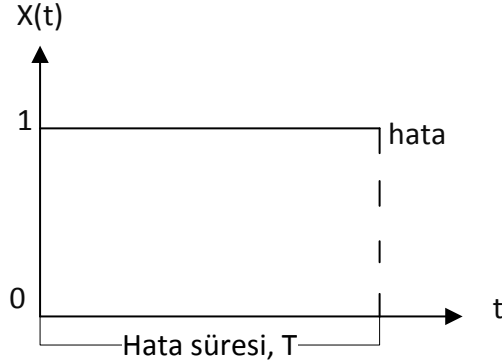
Mimari yapılar sistemin ihtiyacına göre 2003, 3003, 1003 ve benzerleri şeklinde değişim gösterebilir. Sistemin emniyet seviyesinin yükseltilebilmesi için doğru mimari yapının kullanılması önemli bir gereksinimdir. Bu mimariler için yapılan analizlerde yedekli ve paralel sistemlerin emniyet seviyelerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

2.2 Hata Modelleri

Durum değişkeni $X(t)$;

$$x(t) = \begin{cases} 1 & t \text{ zamanında sistem çalıřıyor ise} \\ 0 & t \text{ zamanında sistem hataya dűřműş ise} \end{cases}$$

Hata zamanı T şekil 2.5 deki grafik ile gösterilir [9].



şekil 2. 5 $X(t)$ ile T arasındaki ilişki

T hata zamanı her zaman takvimi bir değeri temsil etmeyebilir, her çalışma başına hatayı, dűnme sayısını vb. değerleri kapsayabilir. Aksi belirtilmedikçe T aşağıdaki denklemlere gűre değerlendirilir. Bu denklemlerde $f(t)$ hataya dűřme olasılık fonksiyonu, $F(t)$ bahsedilen zaman aralığı içerisinde başarısız olma olasılığıdır [9].

$$F(t) = Pr(T \leq t) = \int_0^t f(u) du \quad t > 0 \text{ için} \quad (2.1)$$

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Pr(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.2)$$

T nin kűűk olması durumunda denklem (2.3) deki gibi gűsterilir.

$$Pr(t < T \leq t + \Delta t) \approx f(t) \times \Delta t \quad (2.3)$$

Gűvenirlik: Belli bir zaman aralıęında bařarı ile tamamlanan bir fonksiyonun ۆlűsűdűr [14]. Bir sistemin gűvenilirlięi 0 ile 1 arasında bir deęer almaktadır. Ancak bu deęer gűz ۆnűne alınırken incelenen zaman aralıęı da gűz ardı edilmeden sistem hesaplamaları yapılmalıdır.

Güvenirlilik değeri, sistem üzerinde yapılan toplam testler sonucu çalışmasını sağlıklı sürdüren sistem elemanlarının sayısının toplam test sayısına bölünmesi ile N toplam test sayısı ve N_s hatasız test sayısı olmak üzere (2.4)'deki gibi bulunur [9].

$$R(t) = \frac{N_s}{N} \quad (2.4)$$

Güvenirlilik Fonksiyonu $R(t)$: Güvenirlilik fonksiyonu, (2.5)'de olduğu gibi hata oranının birden çıkarılması sonucu ya da güvenirlilik fonksiyonunun fonksiyon grafiğinin altta kalan bölümü olduğu göz önüne alınarak yapılan matematiksel işlemler sonrasında (2.6)'daki formül ile elde edilir [9].

$$R(t) = 1 - F(t) = Pr(T > t) \quad t > 0 \text{ için} \quad (2.5)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(u) du = \int_t^{\infty} f(u) du \quad (2.6)$$

Hata Oranı (Failure Rate) $\lambda(t)$: Ekipmanın baz alınan belli bir zaman aralığı ya da deneme süreci içerisinde hataya düşme oranıdır [14].

($t, t + \Delta t$] zaman aralığında sistemin hataya düşme olasılığının fonksiyonu (2.7)'deki gibi gösterilir [9].

$$Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t) = \frac{Pr(t < T \leq t + \Delta t)}{Pr(T > t)} = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (2.7)$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \times \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.8)$$

Δt çok küçük ise,

$$Pr(t < T \leq t + \Delta t \mid T > t) \approx \lambda(t) \times \Delta t \quad (2.9)$$

$$Pr(t < T \leq t + \Delta t) \approx f(t) \times \Delta t \quad (2.10)$$

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \frac{d}{dt} (1 - R(t)) = -R'(t) \quad (2.11)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{d}{dt} \ln R(t) \quad (2.12)$$

$$R(0) = 1$$

$$\int_0^t \lambda(u) du = -\ln R(t) \quad (2.13)$$

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(u) du\right) \quad (2.14)$$

Gerekli düzenlemeler sonrasında güvenilirlik denklemi (2.14) elde edilir [9].

(2.14)'ün $f(t)$ 'ye dönüşümü ile (2.15) elde edilir [9].

$$f(t) = \lambda(t) \times \exp\left(-\int_0^t \lambda(u) du\right) \quad t > 0 \text{ için} \quad (2.15)$$

$F(t)$, $f(t)$, $R(t)$ ve $\lambda(t)$ tanımlarının birbiri cinsinden formülasyonları Çizelge 2.3'de gösterilmiştir [6].

Çizelge 2. 3 Formül tablosu

	$F(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
$F(t)$	-	$\int_0^t f(u) du$	$1 - R(t)$	$1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda(u) du\right)$
$f(t)$	$\frac{d}{dt} F(t)$	-	$-\frac{d}{dt} R(t)$	$\lambda(t) \times \exp\left(-\int_0^t \lambda(u) du\right)$
$R(t)$	$1 - F(t)$	$\int_t^\infty f(u) du$	-	$\exp\left(-\int_0^t \lambda(u) du\right)$
$\lambda(t)$	$\frac{dF(t)/dt}{1 - F(t)}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(u) du}$	$-\frac{d}{dt} \ln R(t)$	-

Hata durumları fiziksel-rasgele ve fonksiyonel-sistematik olarak iki durum altında incelenebilir. Fiziksel-rasgele hata durumu sistemdeki bir cihazın arızası sonucu oluşur ve genellikle bu cihazın çalışmaması durumunda sistemde hata gözlemlenir.

Fonksiyonel-sistemik hata durumunda ise sistemdeki herhangi bir cihazda arıza gözlemlenirse de sistemin genel çalışma ve veriminde arıza gözlemlenmektedir.

Fonksiyonel hataların temelini sistemlerin yanlış tasarımı, yetersiz bilgi ve eğitim, eksik bakım ya da yanlış kurulum gibi sebepler oluşturmaktadır [14].

Fonksiyonel emniyetin temelinde hataların nedenlerinin incelenmesi, hata ile karşılaşılan durumların zaman ve konuma göre incelenip istatistik olarak verilerinin çıkarılması yatmaktadır. Bir sistem tasarlanırken mühendislik açısından SIF, sistemin gelecekteki performansını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu inceleme sürecinde en önemli veriler sistemin başarısızlık zamanı ve hata oranıdır. ΔN_f süreç içerisindeki hata sayısı ve N süreç içerisindeki işletim sayısı olmak üzere hata oranı (2.16)'daki gibi tanımlanmıştır [7].

$$\lambda = \frac{\Delta N_f}{N \times \Delta t} \quad (2.16)$$

Başarı Olasılığı: Sistemin gerekli ve belirtilen şartlar altında çalıştırıldığında amaçlanan fonksiyonu sorunsuz olarak gerçekleştirme olasılığıdır [14].

Hata Durum Değeri $F(t)$: 0-T zaman aralığında sistemin hata olasılığıdır [9]. Güvenirlik değerine göre formülü (2.17)'de gösterilmiştir.

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.17)$$

Ortalama Hata Süresi (MTTF): T değişken zamanlı beklenen hata değeridir. Bu süreç sistemin kullanım ömrünü de temsil eder [14].

Sabit Arıza Oranı: Bir cihazın kullanım süresi boyunca geçerli hata oranıdır [9].

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.18)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.20)$$

$$E[\tau] = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt \quad (2.21)$$

$$E[\tau] = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad \text{pozitif değerler için} \quad (2.22)$$

$$MTTF = E[\tau] = \int_0^{\infty} (1 - F(t)) dt = \int_0^{\infty} (R(t)) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt \quad (2.23)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.24)$$

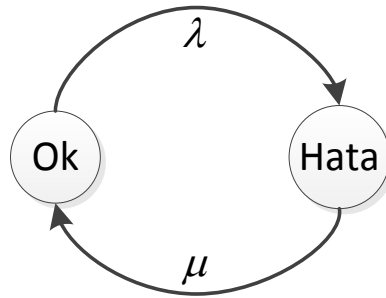
Arıza oranı ile elde edilen denklemler (2.18), (2.19), (2.20), (2.21), (2.22), (2.23) ve (2.24)'de gösterilmiştir [9].

Güvenirlik hesaplamaları bir sistemin belirlenen süreç içerisinde başarılı olmasını gerektirir. Kimi zaman bir cihazın bozulması ile güvenilirlik kaybolmasa da yeni bir cihaz ya da sistem eklenip alternatif yaratılarak güvenilirliği sağlamak ve artırmak için çalışma yapılması gerekmektedir.

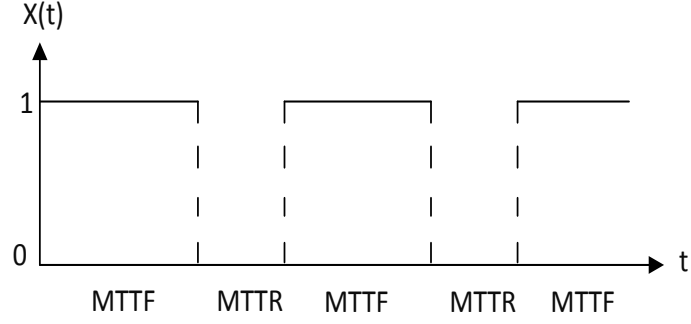
Onarım İçin Ortalama Süre (MTTR): Arızanın giderilmesi için geçen ortalama süredir. Sistemin başarısızlıktan başarıya geçirmek için harcanan süredir. Bazı durumlarda bu süreç yalnızca hatanın düzeltilmesi için geçen süre olarak değerlendirilirken, bazı durumlar da ise hem hatanın farkedilme süreci hem düzeltilme süreci olarak ele alınmaktadır.

Tamir etme katsayısı, (2.25) denklemine göre hesap edilir [9].

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (2.25)$$



şekil 2. 6 Sistem hata-başarı döngüsü



Şekil 2. 7 Bir sistemin ortalama davranışı

Şekil 2.7’de bir sistemin ortalama davranış grafiği ile MTTF ve MTTR ilişkisi görülmektedir [17].

Hatalar Arası Ortalama Süre (MTBF): Bir arıza-onarım döngüsünün ortalama süresi, hatanın gerçek arıza ve onarım süresinin tespiti için en büyük yardımcıdır [9]. Hesaplaması (2.26) da verilen denklem ile yapılmaktadır.

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.26)$$

Emniyet Hata Oranı (SFF): Emniyet hata oranı ile saptanabilir tehlike oranı toplamının, toplam hata değerine bölümüdür [9]. Çizelge 2.3’de programlanabilir elektronik bir mantık çözücü örnek alınarak SFF-SIL ilişkisi verilmiştir [14].

Çizelge 2. 4 IEC 61511 e göre PELS için SFF-SIL ilişkisi

SIL	Minimum hata		
	SFF < 60%	SFF 60% - 90%	SFF > 90%
1	1	0	0
2	2	1	0
3	3	2	1
4	Özel durum		

Talep Esnasında Hataya Düşme Olasılığı (PFD): Fonksiyonel emniyete göre çalışan bir sistemden beklenen başarısızlık oranıdır. Bu değer ne kadar küçük ise sistem o kadar güvenli demektir.

PFD_{avg}: Olması beklenen başarısızlık oranı ortalamasıdır. PFDavg değeri (2.27) formülü ile hesaplanır [14].

$$PFD_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad (2.27)$$

2.3 Hata Ağacı Analizi

Fonksiyonel emniyet alanında sistemlerin emniyet seviyelerinin ölçümü için oldukça çok yöntem kullanılmaktadır. Ancak hata ağacı yöntemi en gerçeğe yakın, basit ve sonuçları net olarak gözlemlenebilen yöntem olduğundan endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir [18].

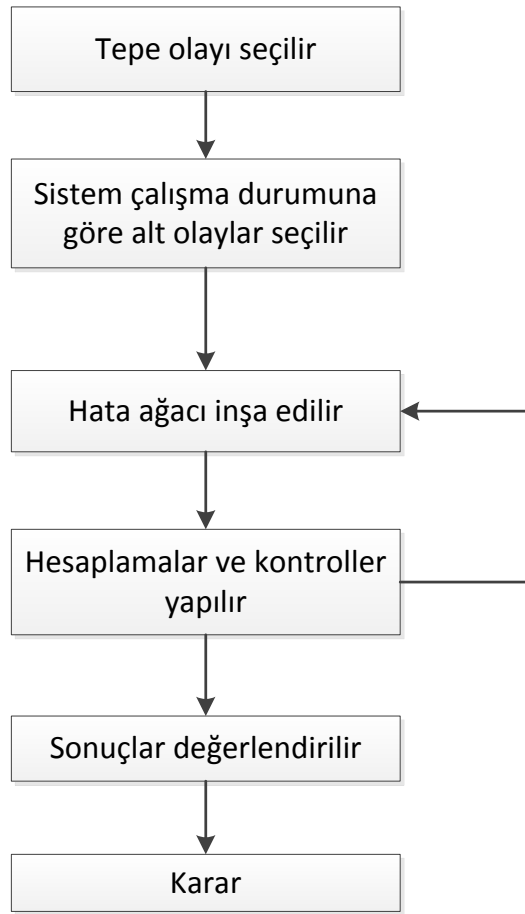
Hata ağacı yöntemi sistemde tanımlanan istenmeyen durumların mantıksal kombinasyonlarla ifade edilmesidir. Hata ağacı yöntemini diğer yöntemlerden ayıran özellikleri aşağıdaki gibidir [19].

- Karmaşık sistemlerin basitleştirilerek ele alınmasını sağlar.
- Genel hata sistemini incelediği gibi aynı anda tek bir hata üzerine yoğunlaşılmasını da sağlar.
- Olasılık hesaplamaları ile sonuçların daha net anlaşılmasını sağlar.
- Sonuca ulaşmak daha kolay ve hızlıdır.

Hata ağacı kurulurken öncelikle sistemdeki tepe olay seçilir. Sonrasında bu tepe olayın oluşumuna sebep olacak durumlar ele alınır ve bu durumların sistemdeki çalışma koşullarına göre mantıksal bağlantılarını kurulur. Hata ağacı oluşturma adımları kısaca Çizelge 2.5'deki gibidir [19].

Hata ağacı kurulurken sistemi tam olarak karşılayan doğru sembollerin kullanılması gerekir. Hesaplamaların doğruluğu açısından ve sistemin çalışma prensibinin net olarak anlaşılabilmesi için sembol ve sistemler arasındaki ilişki önem teşkil eder. Hata ağacı yöntemi ile sistem oluşturulurken kullanılan semboller sisteme göre çeşitlilik gösterse de temel semboller Çizelge 2.6'daki gibidir.

Çizelge 2. 5 Hata ağacı oluşturma adımları



Çizelge 2. 6 Hata ağacı temel sembolleri

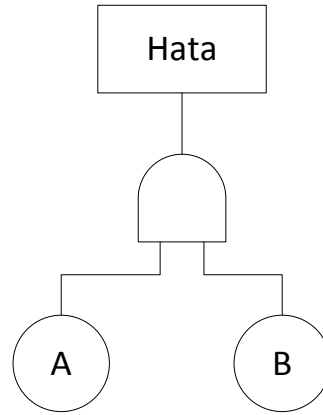
	Tepe olay
	Ve kapısı
	Veya kapısı
	Transfer
	Temel olay ve hata

Tepe Olay: Arızaya düşme ya da hatasız çalışma durumu incelenen sistemin tamamı tepe olay olarak ele alınır. Bu incelenen sisteme göre sistemin tamamı ya da bir kısmını içerebilir.

Temel Olay ve Hata: Sistemi hataya düşürebilecek her bir alt parçasının sebep olduğu hata durumudur. Bu olay sistemin yapısal özelliğine göre en küçük parça ya da küçük parçaların oluşturduğu genel bir sistem de olabilir.

VE (AND) Kapısı: VE kapısı, hata ağacında kullanılırken tüm girişlerin aktif, doğru ve birbirlerinden bağımsız olması gerekir. Girişlerde alınan birimler o sistemin hataya düşmesi olarak ele alınır. İki ayrı bağımsız A ve B durumları için VE kapısının hesabı (2.28)deki gibidir.

$$F_S = F_A \times F_B \quad (2.28)$$



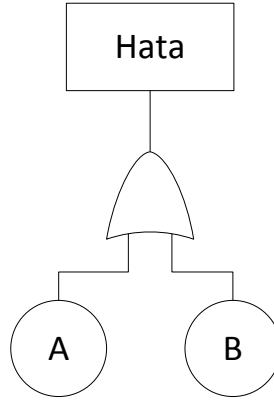
Şekil 2. 8 VE kapısı arıza gerçekleşme durumu

VE kapısının mantıksal yapısı Şekil 2.7’de gösterilmiştir [20]. Sistemin hataya düşmesi için her iki durumun aynı anda olması gerekir.

VEYA (OR) Kapısı: VEYA kapısı, tüm girişlerin aktif ancak herhangi birinin doğruluğunun yeterli olduğu durumlarda kullanılır. Bu şartlardaki A ve B durumları için VEYA kapısının hesabı (2.29)’daki gibidir.

$$F_S = F_A + F_B - (F_A \times F_B) \quad (2.29)$$

$(F_A \times F_B)$ değeri çok küçük olduğundan işlemlerde ihmal edilebilir.



Şekil 2. 9 VEYA kapısı arıza gerçekleşme durumu

VEYA kapısının mantıksal yapısı Şekil 2.8’de gösterilmiştir [20]. Sistemin hataya düşmesi için her iki temel olaydan birinin gerçekleşmesi yeterlidir.

Hata ağacı hesaplamalarında PFD_{avg} dönüşümü (2.30), (2.31) ve (2.32)’deki gibidir [14].

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (2.30)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \frac{e^{-\lambda T_i} - 1}{\lambda T_i} \quad (2.31)$$

$$PFD_{avg} = 1 - \prod_1^n (1 - P_N(s)) \quad (2.32)$$

2.3.1 Hata Ağacı Ortak Nedenli Hata (CCF) Modellemesi

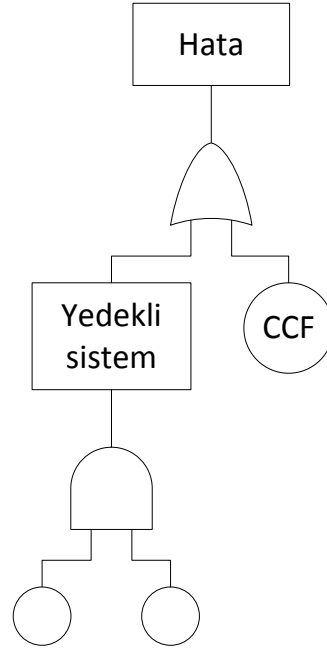
Yedekli çalışan ya da aynı görevi üstlenmiş sistemlerde birbirleri ile olan fonksiyonel ilişkiden doğan bir hata değeri daha göz önüne alınmaktadır. Burada bahsedilen değer, birbirini tetikleyebilecek arızalarda ve bir üst hata durumunda görülecek başarısızlığın, sistemin yapısı ile ilişkisini ele alır [21].

CCF modellemesi Şekil 2.10’da gösterildiği şekilde yapılır [22].

CCF değeri (2.33) denklemi ile hesaplanır [23],[24].

$$CCF = \text{Yedekli sistemin hata oranı} \times \beta \quad (2.33)$$

β katsayısı sistemin çalışmakta olduğu şartlar göz önüne alınarak seçilmektedir.



Şekil 2. 10 CCF hata ağacı gösterimi

2.3.2 Bulanık Mantık (Fuzzy) Yöntemi ile Hata Değeri Bulma

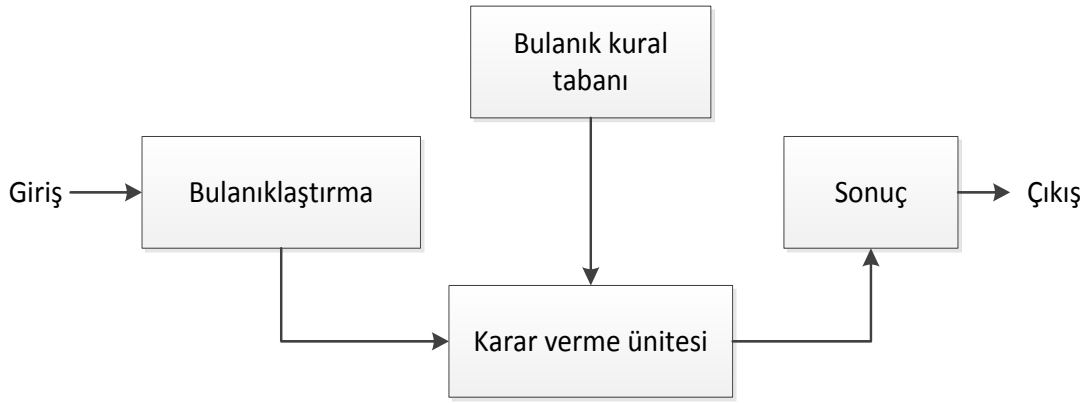
Bulanık mantık görüşünün ortaya çıkması ile bir konunun kesinliği üzerinde yapılan çalışmalar son bulmuş ara durumlar içinde değerlendirme yapma imkanı doğmuştur. Normal mantık kavramında yalnızca bir durumun varlığı ya da yokluğundan bahsedilebilirken; bulanık mantıkta bu kesinliği net olmayan durumlarda incelenebilmektedir. Elektronik sistemler de veya klasik mantık kavramında bir sistemin bir kümenin elemanı olup olmayışı 1 ya da 0 ile tanımlanırken, bulanık mantık kesinliği olmadan bu kümeye ait olabilecek sistemleri de hesaba dahil etmektedir [25].

Bulanık mantık ile işleyen bir sistem kurmak için elimizdeki veriler ile önce bir bulanık mantık kuralı kurulur. Bu kurala göre sistemdeki giren ve çıkan değerler arasında matematiksel bir ilişki elde edilir. Elde edilen bu matematiksel sisteme göre giren değerler ile çıkan değerlerin grafiği çizilir. Bu bulanık kümeler bulanık bir alan, yani söz konusu kuralın girdi ve çıktılar arasında oluşturduğu bütün birlikteliklerin kümesini temsil eden bulanık bir bölge oluşturacaktır. Grafik sonucu ortaya çıkan bulanık alanın büyüklüğü, kuralın bulanık ya da belirsizliğini yansıtır. Bulanık küme kesinleştikçe elde edilen grafiksel alan da küçülür.

Bulanık bir sistemde kurallar sonucu, giren değerlerle çıkan değerlerin tümü ilişkilendirilir ve aralarında örtüşen bölgelerden oluşan bir küme tanımlanır. Bunun sonucunda bulanık sistem matematiksel bir neden-sonuç fonksiyonu oluşturur [26].

Uzun boylu insanlar kümesinden bahsedilirken kimi durumlar için 170cm uzun kabul edilebilirken kimi durumlar içinde 190cm uzun kabul edilir. Bu tarz kesinliği kişiden kişiye ya da durumdan duruma farklılık gösterebilen konularda, hesaplamalarda netlik sağlamak amacıyla bulanık mantık kullanılır.

Kış mevsiminde ölçülen 20° C hava sıcakken yaz mevsimindeki 20° C sıcaklık soğuk olarak değerlendirilir. Bu tarz durum ve kişiye göre değerlendirilen durumlarda sonuçları kesin olarak değerlendirebilmek mümkün değildir.



Şekil 2. 11 Bulanık mantığın algoritması

Bulanık sistemlerin temel yapısı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Sistem kurulurken önce giren değerler eldeki verilere göre kümelendirilir (fuzzifier). Kurulan bulanık kural tabanına göre giren ve çıkan değerler eğer-öyle ise (if-then) kurallarına göre ilişkilendirilir (karar verme ünitesi). Elde edilen mantıksal sonuca göre çıkan değerler durulaştırılarak matematiksel değerlere dönüştürülür (defuzzifier).

Durulaştırma işlemi için üyelik fonksiyonun maximum noktası, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, üyelik işlevinin maximum noktalarının ortalaması, geniş alan merkezi ve ilk veya son yükselti yöntemi gibi hesap yöntemleri kullanılmaktadır [26].

Bulanık mantık, sistemlerin değerlendirilmesi konusunda matematiksel olarak ciddi bir yardım sağladığı gibi, düşüncenin akışına ve yeni fikirlere de ciddi katkılarda bulunmaktadır [25].

Fuzzy sayısı, $f_A(x)$ fonksiyonu ve $[0,w]$ kapalı aralığında $0 \leq w \leq 1$ olmak üzere fonksiyon (2.34) deki gibidir.

$$f_A(x) = \begin{cases} f_A^L(x) & (a \leq x \leq b) \\ 1 & (b \leq x \leq c) \\ f_A^R(x) & (c \leq x \leq d) \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.34)$$

$f_A^L(x):[a,b] \rightarrow [0,1]$, $f_A^R(x):[c,d] \rightarrow [0,1]$ ve $f_A^L(x)$, $f_A^R(x)$ lineer ise fuzzy sayısı $A = (a,b,c,d)$ olmak üzere yamuk şeklindedir. Bu sisteme göre A fuzzy sayısının orta değerleri (x_0, y_0) (2.35) ve (2.36)'daki formüller ile hesaplanır.

$$x_0(A) = \frac{\int_a^b (x \cdot f_A^L(x)) dx + \int_b^c x \cdot dx + \int_c^d (x \cdot f_A^R(x)) dx}{\int_a^b f_A^L(x) dx + \int_b^c dx + \int_c^d f_A^R(x) dx} \quad (2.35)$$

$$y_0(A) = \frac{\int_0^1 (y \cdot g_A^R(y)) dy - \int_0^1 (y \cdot g_A^L(y)) dy}{\int_0^1 g_A^R(y) dy - \int_0^1 g_A^L(y) dy} \quad (2.36)$$

$g_A^L(x)$ ve $g_A^R(x)$, $f_A^L(x)$ ve $f_A^R(x)$ fonksiyonlarının ters fonksiyonu olmak üzere, (x_0, y_0) ın bulunması ile fuzzy sayısı(FPS) son olarak öklid bağıntısından yola çıkılarak (2.37)'deki denklem ile bulunur.

$$FPS(A) = \sqrt{(x_0)^2 + (y_0)^2} \quad (2.37)$$

$$e = \frac{1}{1 + (K \times \log(1 / E_m))^3} \quad (2.38)$$

$$FFR = \begin{cases} \frac{1}{10^m} & \text{FPS} \neq 0 \\ 0 & \text{FPS} = 0 \end{cases} \quad (2.39)$$

$$m = \left[\frac{1 - FPS}{FPS} \right]^3 \times 2.301 \quad (2.40)$$

(2.39) denkleminde m için (2.40) denklemini kullanılır.

FFR hata değerinin, yaşanabilecek toplam hata frekansına bۆlümü ile elde edilen orandır. Bu tanımdan yola çıkılarak, fuzzy hata değerine (FFR), (2.38), (2.39) ve (2.40)'daki formüller ile ulaşılır [27].

MARMARAY YANGIN EMNİYET SİSTEMİ

3.1 Marmaray Yangın Algılama Sistemi

Yangın alarm sistemi, oluşabilecek bir duman ya da yangın anında algılama sağlayan dedektörlerle çalışan erken uyarı sistemi ile kurulmuştur.

Marmaray projesi için temel alınan yangın algılama ve ihbar sistemi standartları aşağıdaki gibidir.

- EN 54 yangın standardı; raylı ulaşım yangın standardı [28]
- Türkiye binaların yangından korunması yönetmeliği
- NFPA 130 ve NFPA 72 yangın standartları [29],[30]

Yangın algılama sistemi; EN 54-13:2005 standardına göre test edilip onaylanmıştır. Yangın sisteminin elektriksel altyapısı da IEEE nin son düzenlemesi temel alınarak hazırlanmıştır [13].

Marmaray yangın alarm sistemi;

- Otomatik duman dedektörleri ve yangın ihbar santrali (YİS)
- Lineer sıcaklık dedektörü (fiber optik kablo) ve yangın ihbar paneli (YİP)
- Gazlı söndürme (FM 200) ve yangın algılama sistemi

olmak üzere bu çalışmada üç madde altında incelenmektedir.

Yangın ihbar santrali ve yangın ihbar paneli yaşanabilecek muhtemel bir enerji kesintisine karşı farklı noktalardan beslenen iki şebeke hattı ve bir saat kapasiteli bir UPS hattı ile beslenmektedir. Yangın alarm sistemi oluşabilecek yanlış ihbarı ve sonrasındaki paniği engellemek için alarm doğrulama yöntemi ile kontrol edilmektedir.

Yangın algılama sisteminin gerekli standartlara uygun ve tehlikeyi en kısa sürede farkedip sistemi devreye sokucu özellikte olması gerekir. Yangın alarm santrali ve paneli istasyon bilgi ve yönetim sistemi (SIMS)'ne bağlıdır ve tüm mahallerin kontrolü bu ana sistem üzerinden yapılmaktadır. Sistem kullanıma hazır hale getirildikten sonra elektriksel, yangın vb konulardaki emniyet standartlarına uygunluğu test edilmiştir.

Tüm bina, istasyon ve kullanıma açık mahallerin kontrolü için kullanılan yangın ihbar santrali, yangın durumunda devreye girmesi ve senaryoya bağımlı olarak acil durum sistemini devreye sokması amacıyla projelendirilmiştir. Yangın ihbar santrali tarafından kontrol edilen her biri EN54 standartına uygun olmak üzere sistemde bulunan cihazlar aşağıdaki gibidir [13].

- Yangın ihbar santrali (MFAP)
- Anons paneli (GAP)
- Tekrarlayıcı panel
- Adreslenebilir fotoelektrik duman dedektörü
- Konvensiyonel fotoelektrik duman dedektörü
- Adreslenebilir monitör modül
- Adreslenebilir kontrol modül
- İzolatör modül
- Adreslenebilir flaşör ve siren
- Manuel yangın butonu
- Grafiksel anons paneli

Lineer sıcaklık dedektörü tünelde yaşanabilecek bir yangın durumunu algılamak için fiber optik kablonun ısınma özelliğinden yola çıkarak hazırlanmış algılama sistemidir.

Fiber optik kablo istasyonlar arasında her iki tünelde ve rayların güzergahında olmak üzere sisteme entegre edilmiştir.

Yangın ihbar paneli tarafından kontrol edilen cihazlar aşağıdaki gibidir [13].

- Lineer ısı dedektörü
- Lineer ısı dedektör paneli ve mesafe belirleyici
- Bağlantı kutusu

Gazlı söndürme sistemi elektrik odaları, UPS odaları, fan kontrol odaları gibi sistemin kontrolü için önem arz eden mahallerde kullanılmaktadır. Bu odalarda olabilecek herhangi bir yangın durumunda dedektörler dumanı algılayacak, yangın diğer mahallere yayılmadan bu oda içerisinde izole edilerek içeriye yayılan gaz ile söndürme işlemi tamamlanacaktır. Kontrol ve monitör modülleri ile gazlı söndürme sistemi de yangın ihbar santraline bağlı olarak çalışmaktadır.

Marmaray projesi yangın söndürme sistemi, ıslak tip yangın vanaları, kuru tip otomatik sprinkler sistemi ve FM200 gazlı söndürme sisteminden oluşmaktadır. Sistemde gerekli talebi karşılamak için otomatik olarak devreye giren bir elektrikli pompa (duty) ve bir dizel pompa (standby) mevcuttur. Islak sistem pozitif basıncı sabit tutmak için elektrikli jokey pompa ile kuru sistem sıkıştırılmış hava ile basınçlandırılır.

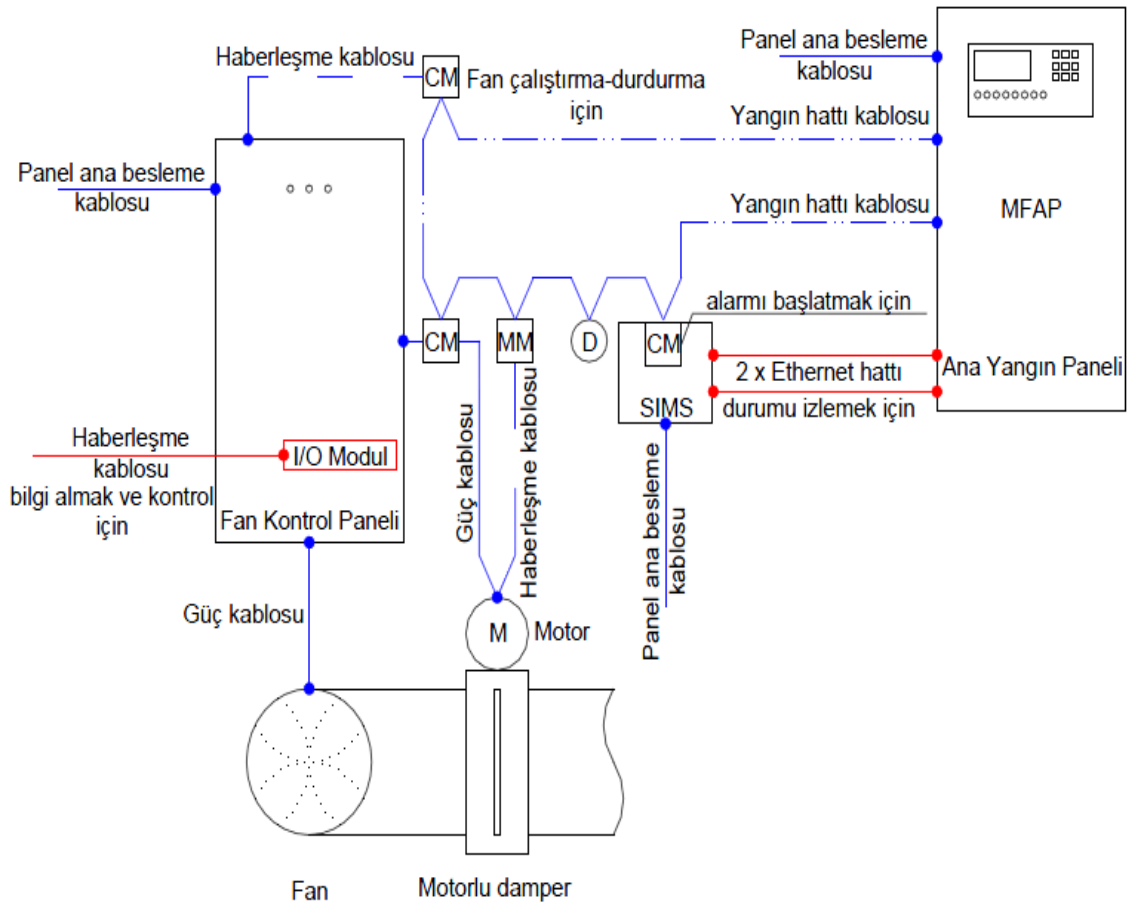
Çizelge 3. 1 Marmaray yangın sistemi Şekil 3.1 cihaz listesi

NO	Cihaz
1	Yangın ihbar santrali
2	Duman dedektörü
3	Monitor modül
4	Adreslenebilir yangın butonu
5	Kontrol modülü
6	Flaşör ve siren
7	Gazlı söndürme sistemi kontrol paneli
8	Lineer ısı dedektörü paneli-YİP
9	Bağlantı kutusu

3.2 Duman Kontrol Fanları

İstasyonlarda birbirinden ayrılmış her bir bölgede bulunmak üzere dumanı hızlı bir şekilde tahliye etmek için kullanılır. Her bir bölge (zone) elektrik motorlu damperlerle birbirinden ayrılmıştır.

Duman dedektörleri yangın durumunda dumanı algılayacak ve yangın ihbar santraline yangın sinyalini gönderecek. Gelen sinyal üzerine ilgili zone dışındaki elektrikli damperler dumanın yayılmasını engellemek için kapanacak, dumanı tahliye eden fanların damperleri açılacak ve fanlar dumanı tahliye etmek için devreye girecek, normal havalandırma fanları ise devre dışı kalacaktır. Duman kontrol fanlarının çalışma sistemi yangın senaryosuna göre düzenlenmektedir. Duman kontrol fanları çalışma diyagramı Şekil 3.2'deki gibidir [13].



Şekil 3. 2 Duman kontrol fanları çalışma diyagramı

Proje genelinde farklı tiplerde fanlar kullanılmıştır. Kullanıldığı yerlere ve şekillere göre bu fanlar çeşitlilik göstermektedir.

Mahalin aydınlatma anahtarı açıldığı zaman çalışan fanlar aydınlatma anahtarı ile kontrol edilen fanlardır. Yangın durumunda YİS tarafından fanlar devre dışı bırakılır. Bu fanlar genellikle ATM odaları, sürücü odası ve tuvaletlerde kullanılmıştır.

Belli zaman aralıklarında çalışması istenen fanlar zamanlayıcı ile kontrol edilmektedir. Yangın durumunda YİS tarafından fanlar devre dışı bırakılır. Bu fanlar genellikle bilet satış ofisi, UPS odası ve personel odalarında kullanılmıştır.

Kritik emniyet seviyesine sahip mahallerde odanın sıcaklığı ısı sensörleri ile kontrol edilmektedir. Bu mahallerde ısının algılanması ile YİS tarafından kritik emniyet seviyesine dahil olmayan fanlar devre dışı bırakılır. Elektrik odaları, kompresör odaları bu tip odalardır.

Merdivenlerde bulunan genel havalandırma amaçlı fanlar yangın sinyali geldiği an YİS tarafından devre dışı bırakılır.

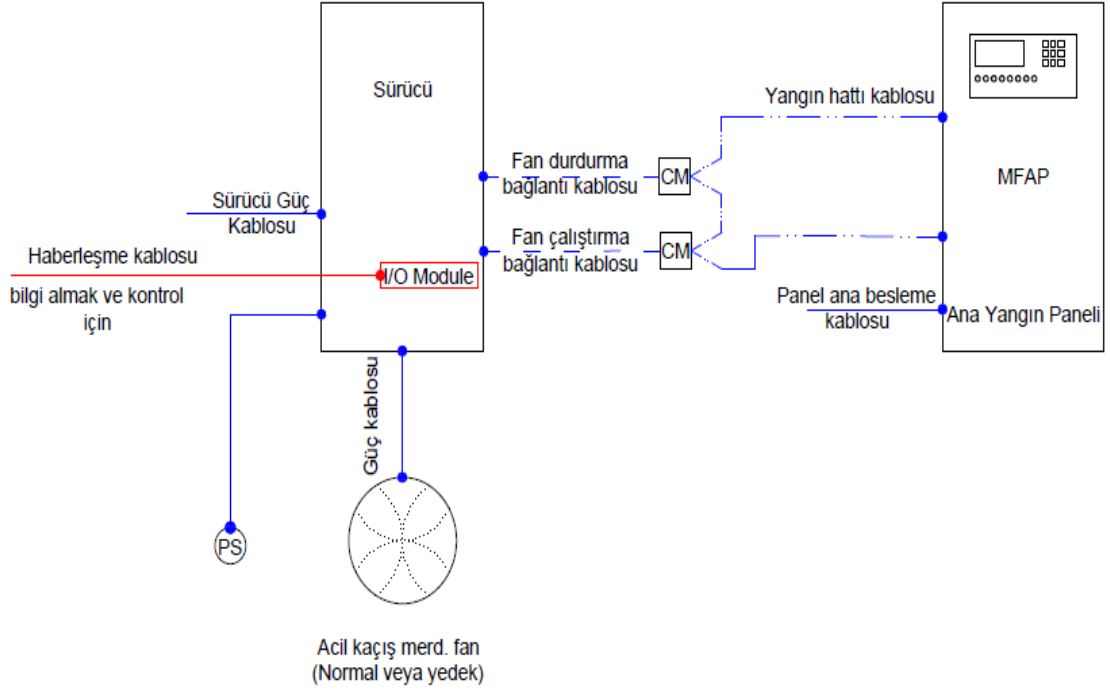
Eksoz fanları, kritik emniyet seviyesine dahil değildir. Yangın durumunda YİS tarafından durdurulur. Emniyet sistemi üzerinde direk etkileri yoktur.

Acil kaçış merdivenleri fanları kritik emniyet seviyesindeki fanlardır. Yangın sinyalinin algılanması ile bu fanlar YİS tarafından devreye alınır. Yangın senaryosunda tanımlanan çalışma planına göre sistemde etkileri gözlemlenir.

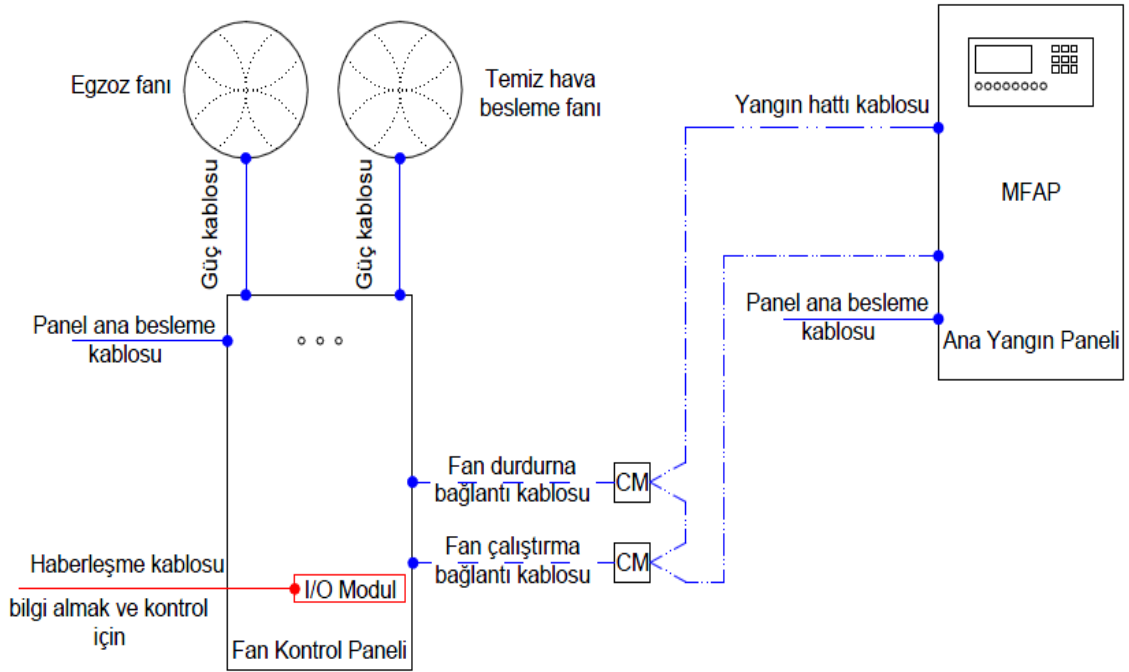
Temiz hava besleme fanları, kritik emniyet seviyesindeki bir diğer fanıdır. Yangın sinyali sonrası YİS tarafından yangın senaryosuna göre devreye alınır ya da devre dışı bırakılır. Bulunduğu mahal ve sisteme göre çalışma durumları değişiklik göstermektedir.

Tünel içerisinde algılanan herhangi bir yangın sinyalinde dumanın tahliyesi için devreye giren tünel fanları, kritik emniyet seviyesine dahil fanlardandır. Yangın senaryosuna göre çalışma koşulları belirlenmektedir.

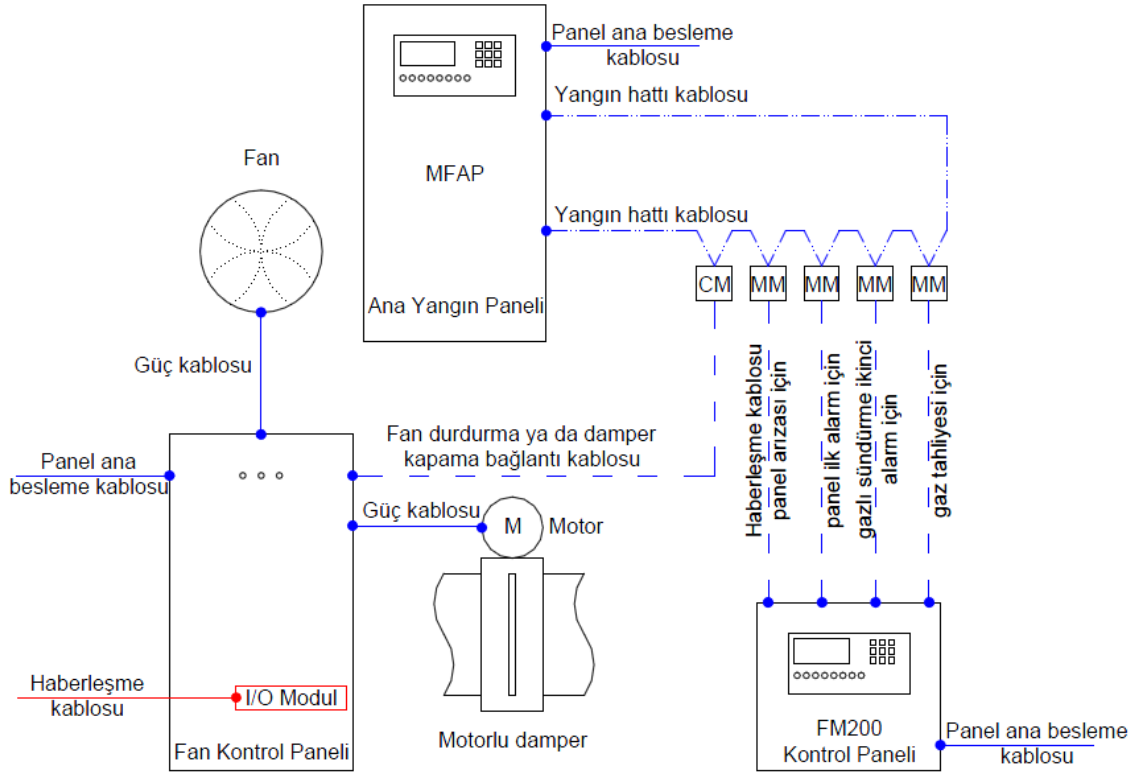
FM 200 gazlı söndürme sisteminin olduğu mahallerdeki fanlar, yangın sinyali sonrası yangın senaryosuna göre YİS tarafından kontrol edilir.



Şekil 3. 3 Acil kaçış merdiveni fanları çalışma diyagramı



Şekil 3. 4 Temiz hava ve egzoz fanları çalışma diyagramı



Şekil 3. 5 FM 200 gazlı mahallerin çalışma diyagramı

Acil kaçış merdiveni fanları çalışma diyagramı Şekil 3.3'de, temiz hava ve eksoz fanları çalışma diyagramı Şekil 3.4'de ve FM 200 gazı söndürme sistemli mahallerdeki fanların çalışma diyagramı Şekil 3.5'de gösterilmiştir [13].

3.3 Yangın Senaryosu

Marmaray projesi yangın emniyet sistemi, yaşanacak bir tehlike durumunda emniyet sistemlerini devreye sokan yangın senaryosuna göre çalışmaktadır. Yangın senaryosu farklı mahallerdeki farklı tehlike ve durumlar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Marmaray yangın senaryosu iki temel durum üzerine kurulmuştur.

Birinci durum; yangın algılama dedektörlerinin bir tanesinin sinyali sistem merkezine ulaşır. Sistem sinyali algıladıktan sonra on beş saniye boyunca operatör tarafından sistemin kontrol edilmesini bekler. Operatör bu süre içerisinde reset komutu verir ise sistem yangın sinyalini kapatır ve alarm sonlandırılır. Operatör bu süre içerisinde sistemi kontrol etmek için onay komutu verir ise sistem üç dakika daha süre tanır ve bu sürede yangın sisteminin devreye girmesi ya da alarmın sonlandırılması için operatörün

müdahalesi beklenir. Tüm bu süreler sonrası operatörden sisteme herhangi bir müdahale olmaz ise yangın sistemi devreye girer.

İkinci durum; yangın algılama dedektörlerinden herhangi iki tanesinin aynı anda sinyali algılaması durumunda zaman sayıcı sistemler devreden çıkar, yangın emniyet sistemi devreye girer.

İki temel yangın senaryosu çerçevesinde yangın emniyet sistemi şekillendirilmiştir. Kritik önem taşıyan acil kaçış merdiveni gibi mahallerde yangın emniyet sisteminin devreye girmesi için bir dedektörden sinyal alınması yeterlidir [13].

Yangın söndürme ve emniyet sisteminin devreye girmesi ile fanların, damperlerin ve söndürme sisteminin her mahal için ayrı planlanan senaryoya göre çalışması beklenir.

**MARMARAY ÜSKÜDAR İSTASYONU YANGIN ÖNLEME KONTROL
SİSTEMLERİNİN GÜVENİRLİK ANALİZİ**

Çizelge 4. 1 Hesaplamalarda kullanılan hata oranları

Cihaz	Failure rate		Kaynak
	x10 ⁻⁶	1 yıllık	
Şebeke	20,43	0,178967	OREDA 339.syf [3]
Jeneratör	514,28	4,50509	OREDA 295.syf [3]
Motor	63,56	0,556786	OREDA 335.syf [3]
İnverter	0,22831	0,002	Solar Bridge [31]
Eğitimli insan hatası	0,44211	0,003873	Carnegie Mellon University [32]
Basınç sensörü	2,73	0,0239148	OREDA 553.syf [3]
İnsan hatası	0,03	0,0002628	HSE [33]
Batarya	1,05	0,009198	OREDA 623.syf [3]
UPS	8	0,07008	Rittal [34]
Dedektör	1	0,00876	Operation Of Fire Protection System 58.syf [35]
Siren	2,5	0,0219	Operation Of Fire Protection System 58.syf [35]
Modüller	0,004	3,50E-05	Digi-Key [36]
Kontrol paneli	336,422	2,947057	OREDA 811.syf [3]
Yangın butonu	7,9969	0,070053	OREDA 811.syf [3]

Marmaray yangın sisteminde yangın senaryosuna bağlı olarak kurulan duman tahliye sistemleri bu çalışmada dört temel ana kısma ayrılarak incelenecektir. Çizelge 4.1’de verilen hata değerleri temel alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada yangın emniyet sistemi için analiz yapılırken sistemde yaşanabilecek mekanik hatalar ihmal edilmiştir.

Çizelge 4. 2 Yangın ihbar sistemi elemanları ve sistem merkezi FR ve PFDavg

	Adet				PFDavg
	Dedektör	Siren	Modüller	Yangın butonu	
Zone 1	46	2	27	2	0,001744
Zone 2	48	2	30	2	0,001746
Zone 3	38	2	24	2	0,00165
Zone 4	40	2	26	2	0,001669
Zone 5	36	2	24	2	0,001631
Zone 6	38	2	26	2	0,00165
Zone 7	40	2	22	2	0,001669
Zone 8	40	2	20	2	0,001669
Zone 9	38	2	24	2	0,00165
Acil kaçış merdivenleri	16	4	10	4	0,002728
Kritik mahaller	50	5	24	4	0,013888
Toplam	430	27	257	26	
Yangın ihbar santrali elemanları	Zone1 V Zone2 V Zone3 V Zone4 V Zone5 V Zone6 V Zone7 V Zone8 V Zone9 V Acil kaçış merdivenleri V Kritik mahaller V Kontrol paneli				

$$PFD_{avg} = 0,6885$$

Yangın ihbar santrali elemanları ve sistem merkezinin hata oranları Çizelge 4.2’deki gibidir.

Tünel içinde bir yangın çıkması durumunda yangını algılayıp merkezi yangın sistemine haber ileten yangın paneli hata oranları Çizelge 4.3'deki gibidir.

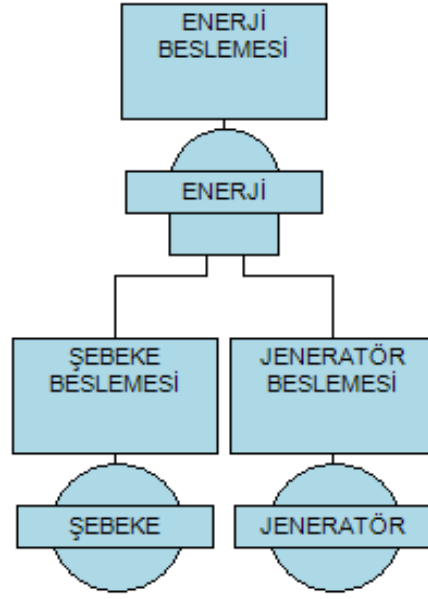
Çizelge 4. 3 Yangın ihbar paneli elemanları, sistem merkezi FR ve PFDavg

Cihazlar	Miktar	FRx10 ⁻⁶	1 yıllık	FR Toplam	PFDavg	Kaynak
Fiber kablo	13 km	1,8	0,015768	0,204984	0,095834	Telecommunication s System Reliability Engineering, Theory and Practice [37]
Kontrol paneli	1 adet	336,422	2,947057	2,947057	0,6785	OREDA 811.syf [3]

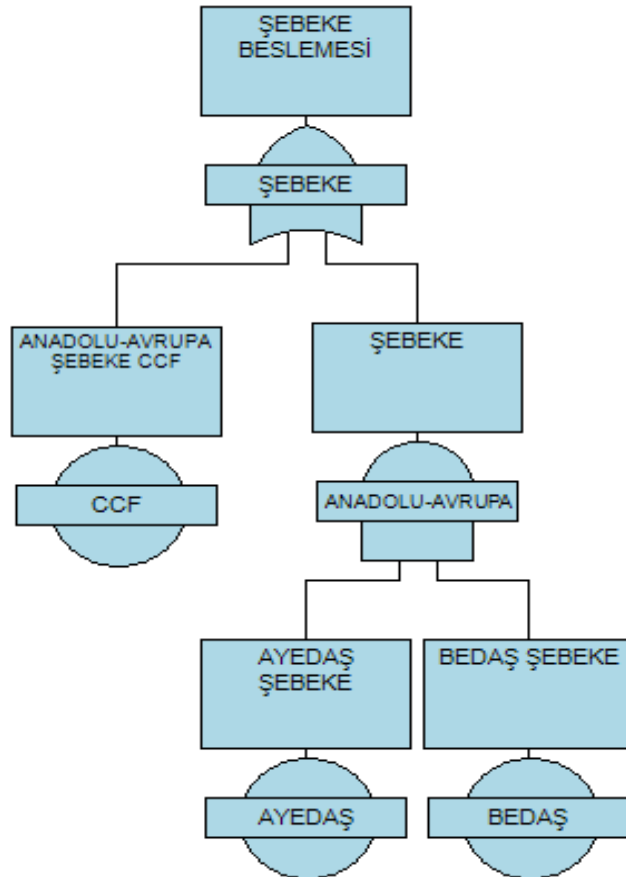
Yangın paneli elemanları PFDavg	0,7093105
------------------------------------	-----------

Aynı özellikte birbirine yedekli olarak çalışan sistemlerin hata değeri hesaplanırken CCF (β) değeri de ele alınmaktadır. β sistemin çalışmakta olduğu şartlar göz önüne alınarak seçilmektedir. Bu çalışmada [38] referans alınarak $\beta=0,01$ olarak hesaplara dahil edilmiştir.

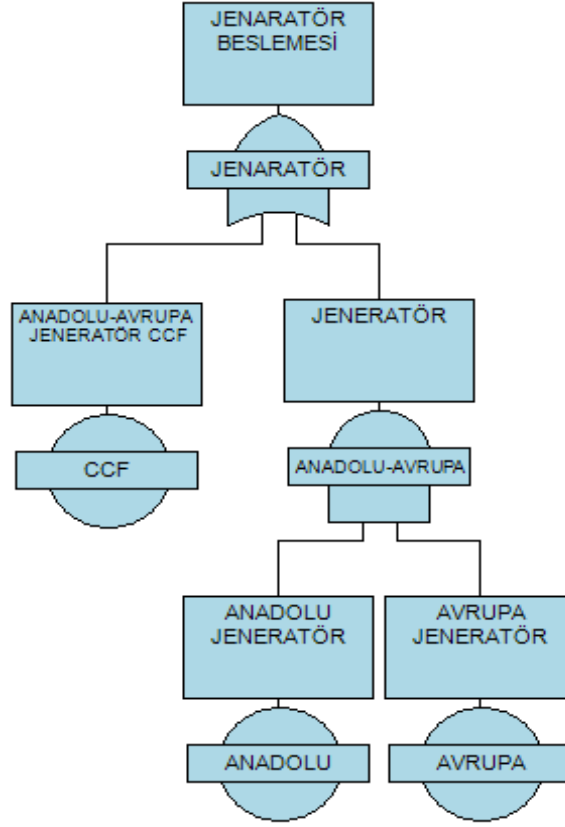
Marmaray enerji sistemi İstanbul'un Anadolu yakasından ve Avrupa yakasından olmak üzere iki kaynak üzerinden beslenmektedir. Şebekede yaşanabilecek bir kesinti durumunda devreye girmek üzere yine hem Anadolu hem de Avrupa'da olmak üzere iki adet de jeneratör bulunmaktadır. Şebeke ve jeneratör sisteminden oluşan Marmaray'ın enerji besleme sistemi Şekil 4.1'deki gibidir. Şebeke ve jeneratör sistemi hata ağaçları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki gibidir.



Şekil 4. 1 Enerji sistemi için hata ağacı



Şekil 4. 2 Şebeke sistemi için hata ağacı

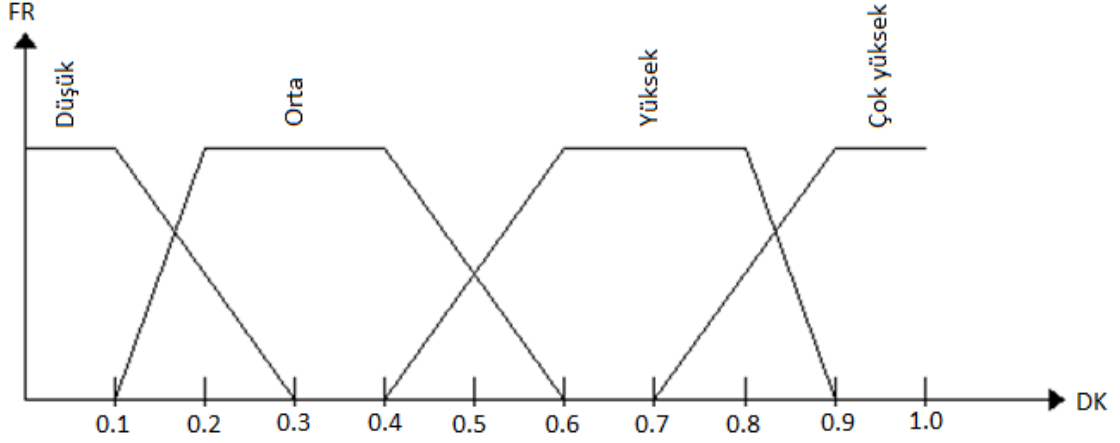


Şekil 4. 3 Jeneratör sistemi için hata ağacı

Marmaray projesinde hava akışını yönlendirmek amacı ile kullanılan damperlerin, istasyon yangın bölgelerinde ve tünel içerisinde fanların çalışması için açık konumda olması gerekmektedir. Damperlerin kapalı olması durumunda yangın alarmı gelse bile fanlar devreye girmemektedir. Bu nedenle güvenilirlik analizi yapılırken damperlerin kapalı olma durumu da değerlendirilecektir. Damperlerin kapalılık durumu bulanık mantık yöntemi ile incelenecektir. Konunun uzmanı kişilerden alınan bilgilere göre damperin kapalılık durumu ve hata oranı ilişkileri Şekil 4.4'deki gibidir.

Şekil 4.4'deki hata oranı damper kapalılığı grafiğine göre;

- Damper çok açık ise sistemin hata oranı düşüktür.
- Damper açık ise sistemin hata oranı ortadır.
- Damper az kapalı ise sistemin hata oranı yüksektir.
- Damper kapalı ise sistemin hata oranı çok yüksektir.



Şekil 4. 4 Damper kapalılık-hata oranı ilişkisi

Grafik yardımı ile (2.34) denkleminde göre (4.1), (4.2), (4.3) ve (4.4) fonksiyonları elde edilir [39],[40],[41].

$$f_d(x) = \begin{cases} 1 & (0 < x \leq 0,1) \\ \frac{0,3-x}{0,2} & (0,1 < x \leq 0,3) \\ 0 & \text{diğerleri} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$f_o(x) = \begin{cases} \frac{x-0,1}{0,1} & (0,1 < x \leq 0,2) \\ 1 & (0,2 < x \leq 0,4) \\ \frac{0,6-x}{0,2} & (0,4 < x \leq 0,6) \\ 0 & \text{diğerleri} \end{cases} \quad (4.2)$$

$$f_y(x) = \begin{cases} \frac{x-0,4}{0,2} & (0,4 < x \leq 0,6) \\ 1 & (0,6 < x \leq 0,8) \\ \frac{0,9-x}{0,1} & (0,8 < x \leq 0,9) \\ 0 & \text{diğerleri} \end{cases} \quad (4.3)$$

$$f_{cy}(x) = \begin{cases} \frac{x-0,7}{0,2} & (0,7 < x \leq 0,9) \\ 1 & (0,9 < x \leq 1,0) \\ 0 & \text{diğerleri} \end{cases} \quad (4.4)$$

Gerekli matematiksel işlemlerden sonra (4.5) elde edilir.

$$f_w(z) = \begin{cases} \frac{z-0,3}{0,125} & (0,3 < z \leq 0,175) \\ 1 & (0,175 < z \leq 0,325) \\ \frac{0,45-z}{0,125} & (0,325 < z \leq 0,45) \\ 0 & \text{diğerleri} \end{cases} \quad (4.5)$$

(2.38), (2.39) ve (2.40)'da yerine konulan sayısal değerler sonucu (4.6) elde edilir.

$$FFR = 2,12 \times 10^{-3} \quad (4.6)$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen bulanık mantık hata oranı (FFR) değeri, sistemde damperin açıklığının istenen değerde olmamasından kaynaklanacak bir hata durumunun olasılığıdır.

Çizelge 4. 4 Hata ağaçları temel olay tablosu

Hata Ağacı	Anlamı
Şebeke	şebekeden enerji besleme arızası
Jeneratör	jeneratör arızası
Motor	motor arızası
İnverter	inverter arızası
Basınç sensörü	sensör arızası
Batarya	batarya arızası
Eğitimli personel-personel hatası-PH	eğitimli personelden kaynaklı arıza
Damper	damper arızası
İnsan hatası	yolcu-insandan kaynaklı hata
UPS	ups arızası
Enerji	enerji kesintisi
Yangın ihbar santrali-YİS	yangın ihbar santrali geneli arızası
Yangın ihbar paneli-YİP	yangın ihbar paneli geneli arızası

Hata ağaçlarında kullanılan temel olaylar ve anlamları Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda hesaplamalarda kullanılacak PFDavg değerleri Çizelge 4.5'deki gibi hesaplanmıştır. PFDavg-(β) değeri CCF etkisi göz önüne alındıktan sonra elde edilen değerdir.

Çizelge 4. 5 Hesaplamalar sonucu elde edilen PFDavg değerleri

Sistem	PFDavg	CCF kullanılan	PFDavg-(β)
P şebeke	0,0843758	Pşebekesistem	0,00795702
P jeneratör	0,780482	Pjeneratörsistem	0,6122026
P motor	0,233185		
P inverter	0,000999334		
P basınçsensörü	0,0118626		
P batarya	0,00458493		
P eğitilmiş personel	0,001934		
P insan hatası	0,000134988		
P ups	0,034236		
P damperaçıklığı	0,00212		
P dedektör	0,004367239		
P siren	0,01087		
P modül	0,0000175		
P yangın butonu	0,03422		
P kontrol paneli	0,6785		
ccf değeri (β)	0,01		

Hesaplamalar sırasında kullanılacak enerji, YİS ve YİP için hata oranı değerleri Çizelge 4.6'da hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 6 Hesaplamalarda kullanılacak sistemlerin PFDavg değerleri

Durum	Hata ağacı	PFDavg
Enerji	Şebeke \wedge Jeneratör	0,004871308
Yangın ihbar santrali	Yangın ihbar santrali elemanları \vee (Enerji \wedge UPS)	0,688552
Yangın ihbar paneli	Yangın ihbar paneli elemanları \vee (Enerji \wedge UPS)	0,70935

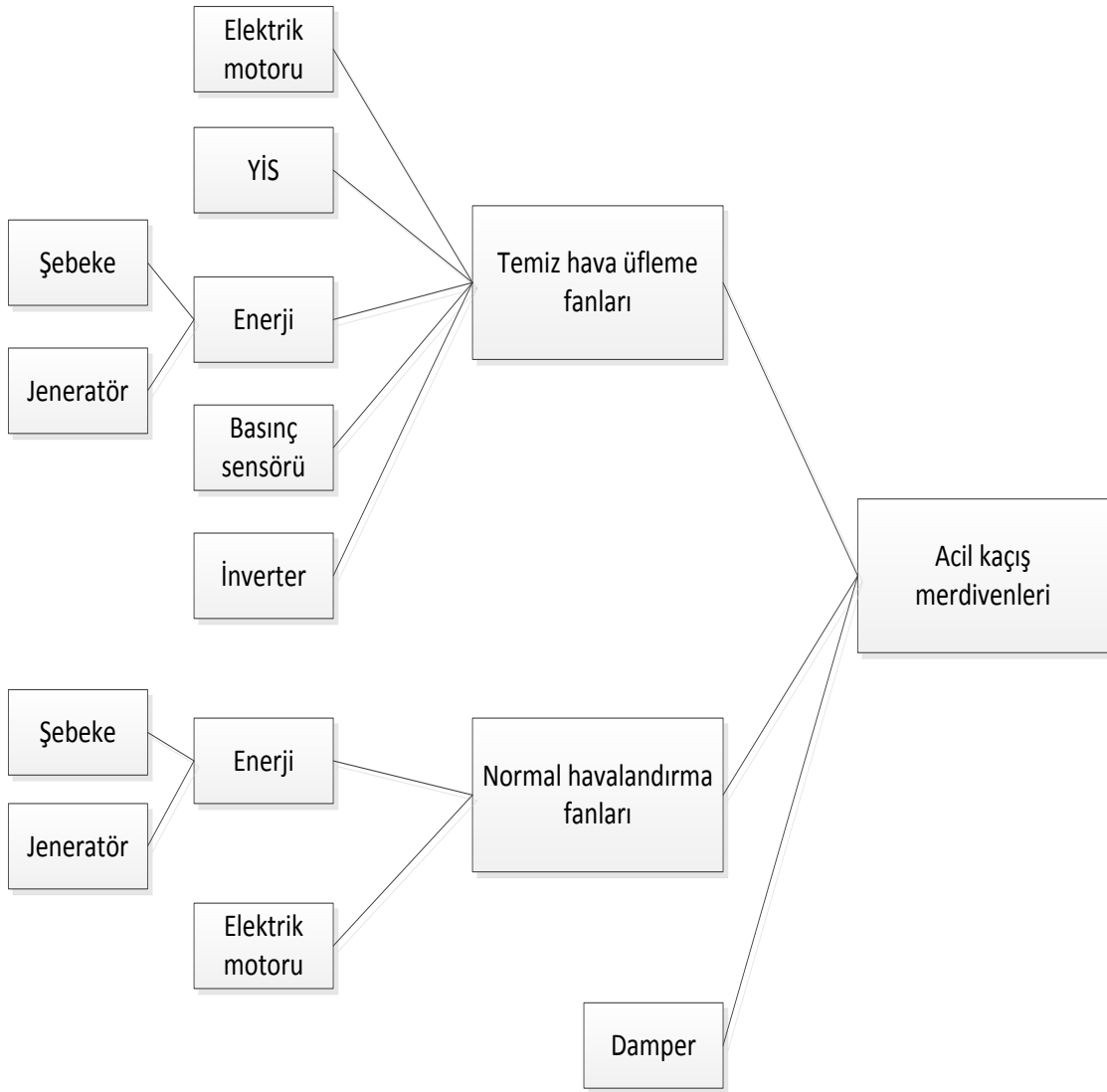
4.1 Acil Kaçış Merdivenleri Duman Kontrol Sistemleri

Acil kaçış merdivenleri yaşanacak bir yangın durumunda, yolcuların güvenli olarak istasyonlardan tahliyesini sağlamak amacıyla yapılmış, tehlike durumları dışında kullanılmayan merdivenlerdir. Merdivenlerin teknik özellikleri Marmaray'da baz alınan yangın standartlarına göre projelendirilmiştir. Merdivenler tehlike anında yaşanabilecek her türlü olumsuzluğa karşı yolcuların mümkün olan en kısa sürede binayı terketmelerini sağlamak amacıyla planlanmıştır.

Acil kaçış merdivenlerindeki yangın algılama sistemleri, yangın senaryosuna bağımlı olarak yangın ihbar sisteminden kontrol edilmektedir. Acil kaçış merdivenlerinde yangın senaryosunun genelinde beklenen iki dedektörün yangını algılama sinyali beklenmez. Yolcuların can güvenliği için önem taşıyan bu mahallerde yangın sinyalinin yalnızca bir dedektör tarafından algılanması ile yangın senaryosu devreye girer. İstasyon veya tünelin herhangi bir yerinde bir dedektörün vermiş olduğu yangın sinyali ile acil kaçış merdivenlerinde normalde sürekli çalışan havalandırma fanları devreden çıkar ve temiz hava üfleme fanları çalışmaya başlar. Bu merdivenlerin amacı merdiveni kullanarak tahliye edilecek yolculara temiz hava sağlamaktır. Eğer yangın bu merdivenlerde çıktı ise hiçbir fan çalışmaz. Merdivenlerdeki fanların önünde konumlanmış damperler bu mahallerde sabit olarak açık konumda durmaktadır. Damperden kaynaklanabilecek bir hata ancak dışardan gelecek bir müdahale ile olacağından bu çalışmada damper hatası insanlardan kaynaklanabilecek bir hata olarak ele alınmıştır. Temiz hava üfleme fanları, herhangi birinde yaşanabilecek bir arıza göz önüne alınarak yedekli planlanmıştır. Mahallerdeki basınç sensörleri ile fanların çalışma

durumları, sistemdeki inverter ile de fanların çalışma hızları kontrol edilmektedir. Normal havalandırma fanları bir elektrik motoru ve mekanik aksamdan oluşan temiz hava üfleme fanlarından daha küçük kapasiteli fanlardır.

Üsküdar istasyonunda batı ve doğu olmak üzere iki adet acil kaçış merdiveni bulunmaktadır.

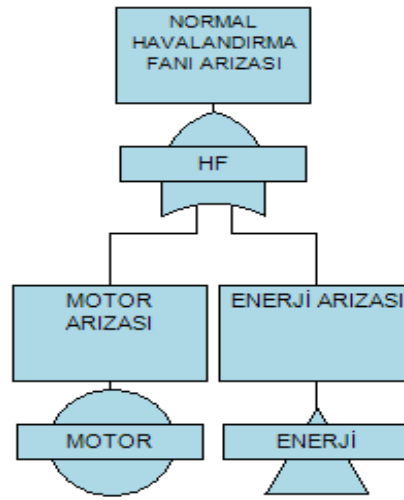


Şekil 4. 5 Acil kaçış merdivenleri sistem diyagramı

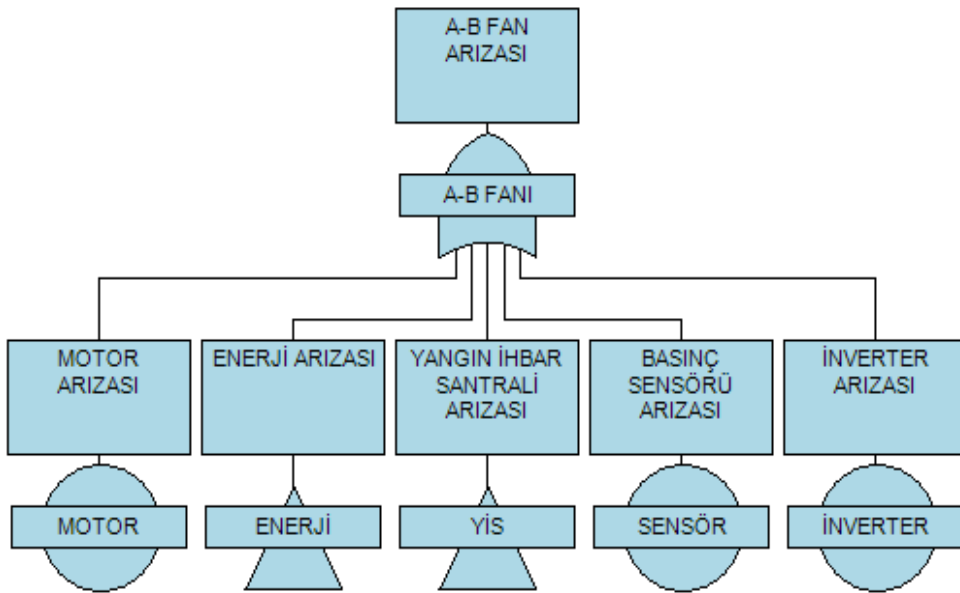
Çizelge 4.7'de batı ve doğu acil çıkış merdivenlerindeki fanların listesi görülmektedir [13].

Çizelge 4. 7 Üsküdar istasyonu acil kaçış merdiveni fanları

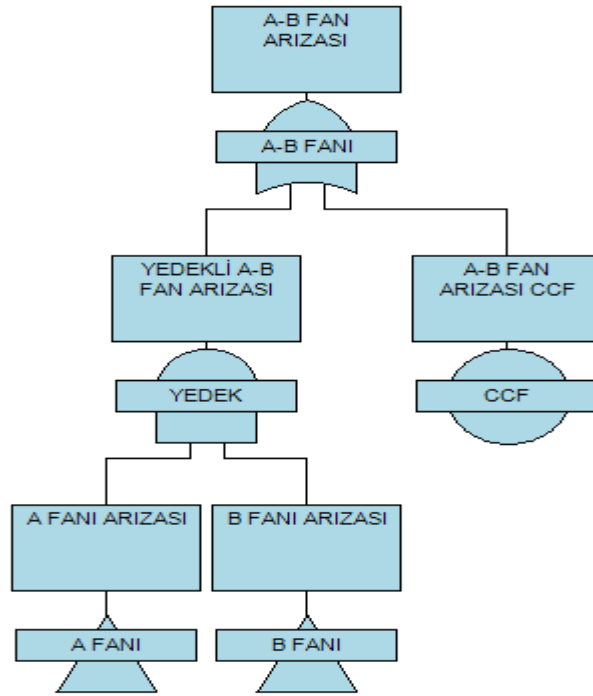
Mahal	Normal havalandırma fanları	Temiz hava üfleme fanları
Batı merdiveni	UK-SAF-ST 01 UK-SAF-ST 02	UK-SAF-ST 03A UK-SAF-ST 03B
Doğu merdiveni	UK-SAF-ST 04	UK-SAF-ST 05A UK-SAF-ST 05B



Şekil 4. 6 Normal havalandırma fanları hata ağacı

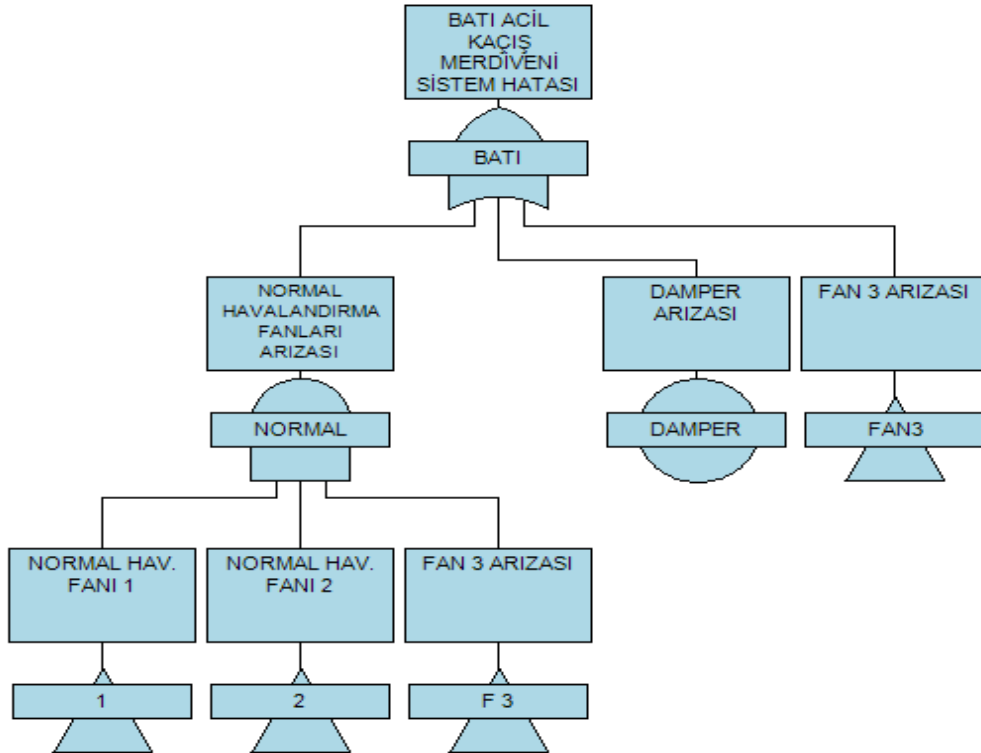


Şekil 4. 7 Yedekli A ve B fanları hata ağacı



Şekil 4. 8 A-B yedekli fanları CCF hata ağacı

4.1.1 Batı Merdiveni Duman Kontrol Sistemi



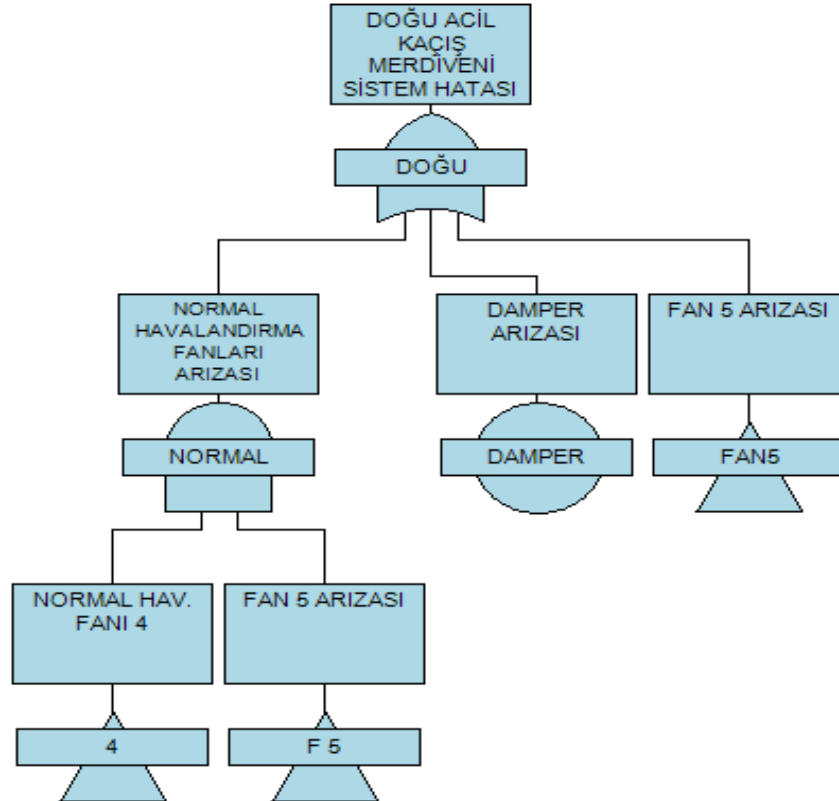
Şekil 4. 9 Batı acil kaçış merdiveni hata ağacı

Çizelge 4. 8 Batı merdiveni PFDavg hesabı

Batı merdiveni		P
03A=03B fanı	Enerji V Motor V YİS V Basınç sensörü V İnverter	0,765394
Fan03 (Yedekli A-B fan arızası)	(A fanı \wedge B fanı) V CCF	0,588998
Fan 01 =Fan 02	Enerji V Motor	0,2369204
Normal hav. fan arızası	Fan01 \wedge Fan02 \wedge Fan 03	0,0330612
Batı merdiveni sistem	Normal hav. V Fan 03 V İnsan hatası(damper)	0,724917
PFDavg		$7,24 \times 10^{-1}$

SIL 1

4.1.2 Doğu Merdiveni Duman Kontrol Sistemi



Şekil 4. 10 Doğu acil kaçış merdiveni hata ağacı

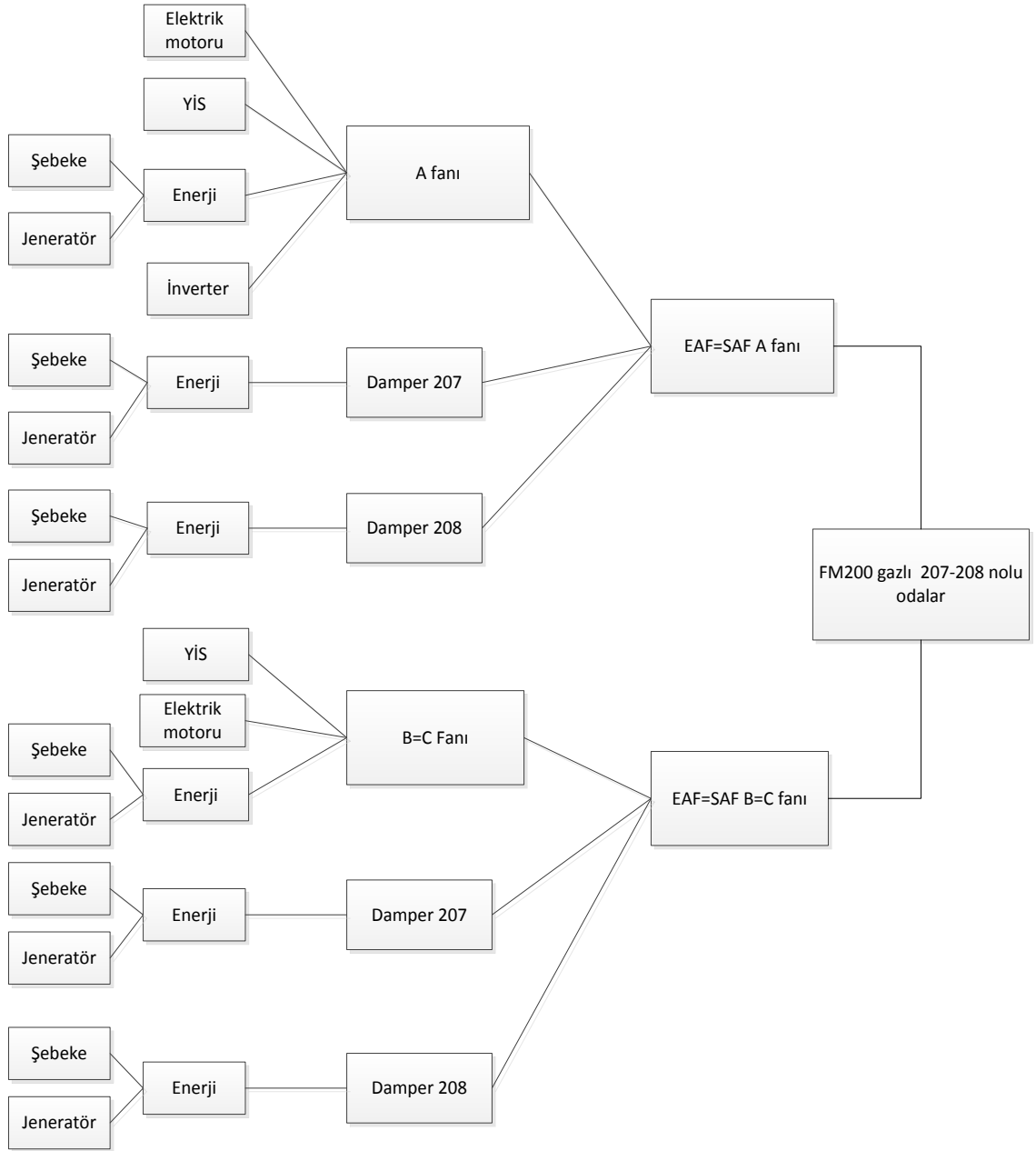
Çizelge 4. 9 Doğu merdiveni PFDavg hesabı

Doğu merdiveni		P
05A=05B fanı	Enerji V Motor V YİS V Basınç sensörü V İnverter	0,765394
Fan05 (Yedekli A-B fan arızası)	(A fanı \wedge B fanı) V CCF	0,588998
Fan 04	Enerji V Motor	0,2369204
Normal hav. fan arızası	Fan04 \wedge Fan 05	0,139545
Doğu merdiveni sistem	Normal hav. V Fan 05 V İnsan hatası(damper)	0,646399
PFDavg		$6,46 \times 10^{-1}$
		SIL 1

4.2 FM 200 Gazlı Söndürme Sistemli Odalar Duman Kontrol Fanları

Marmaray projesinde emniyet açısından önem arz eden, kontrol odaları, trafo odaları, elektrik odaları gibi mahallerde FM 200 gazlı söndürme sistemi mevcuttur. Bu sistem proje genelindeki yangın sistemine bağımlı ancak kendi içinde bağımsız çalışmaktadır. Bu kısımda emniyet açısından önem taşıyan bu mahallerden TR-HV-LV Room 208 ve Transformer and LV Room 207 odalarının yangın durumundaki emniyet seviyesi incelenecektir. 207 ve 208 numaralı odalar aynı fanlar ile kontrol edilmektedir. Odaları her iki odada kanal uçlarında bulunan damperler ayırmaktadır. Tehlike anında fanların çalışması devam etmekte, yangın senaryosuna göre damperlerin açıklık, kapalılık durumları değiştirilerek hava akışı düzenlenmektedir. FM 200 gazlı odalarda yangın çıkması durumunda oda içerisindeki dedektörlerin iki tanesinin dumanı algılaması gerekmektedir. Yangın diğer mahallerde çıkar ise bu odadaki sistemin çalışması aynen devam eder. Yangın durumu dışındaki zamanlarda hem temiz hava hem emiş fanları çalışmaktadır. Eğer yangın bu odanın içerisinde ise bu odalardaki damperler kapanıp diğer mahallere yayılmasını engeller. Diğer kritik odalardaki sistemin devamlılığı için fanlar hiç durmamaktadır. Bu mahallerdeki hava akışı damperlerin kapanıp açılması ile

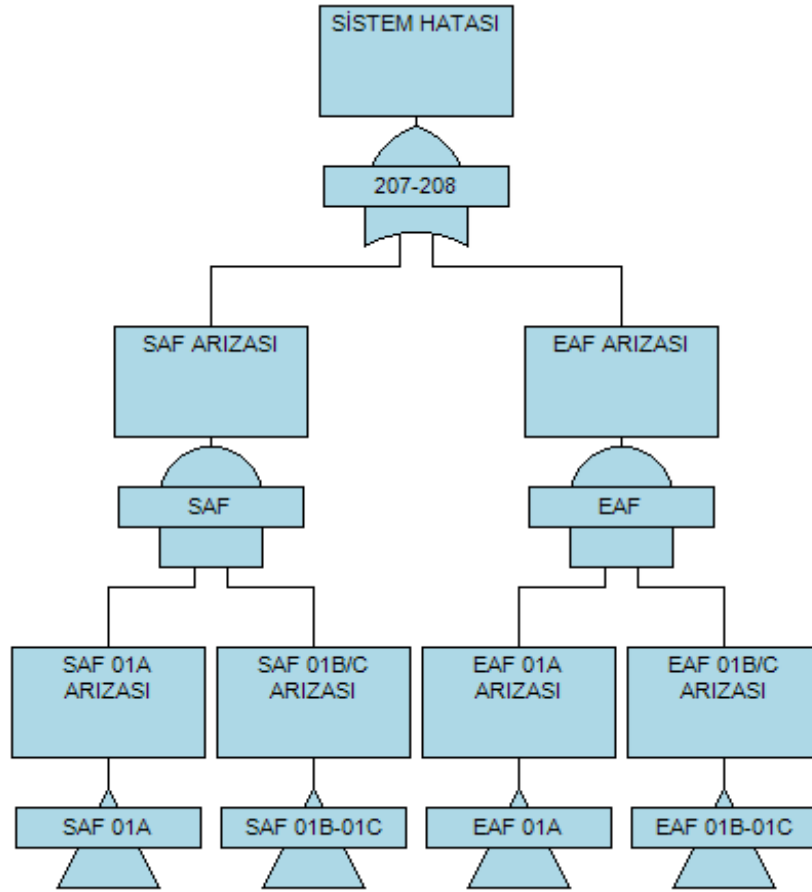
kontrol edilmektedir. Bu sistemlerde yaşanabilecek bir tehlike anında emniyeti artırmak amacıyla B ve C fanları birbirine yedekli olarak çalışmaktadır. A fanı, B ve C fanları ile aynı görevi yapmakta olup emniyeti artırmak amacı ile farklı teknik özelliklerde seçilmiş bir fanıdır. Bu üç fan gerektiğinde aynı anda gerektiğinde ise birbirine yedekli olarak çalışabilmektedir. Bu mahallerdeki damperler elektrik ile doğrudan çalışan mekanik yapılardır. Bu mahallerdeki ekipman listesi Çizelge 4.10'daki gibidir[13].



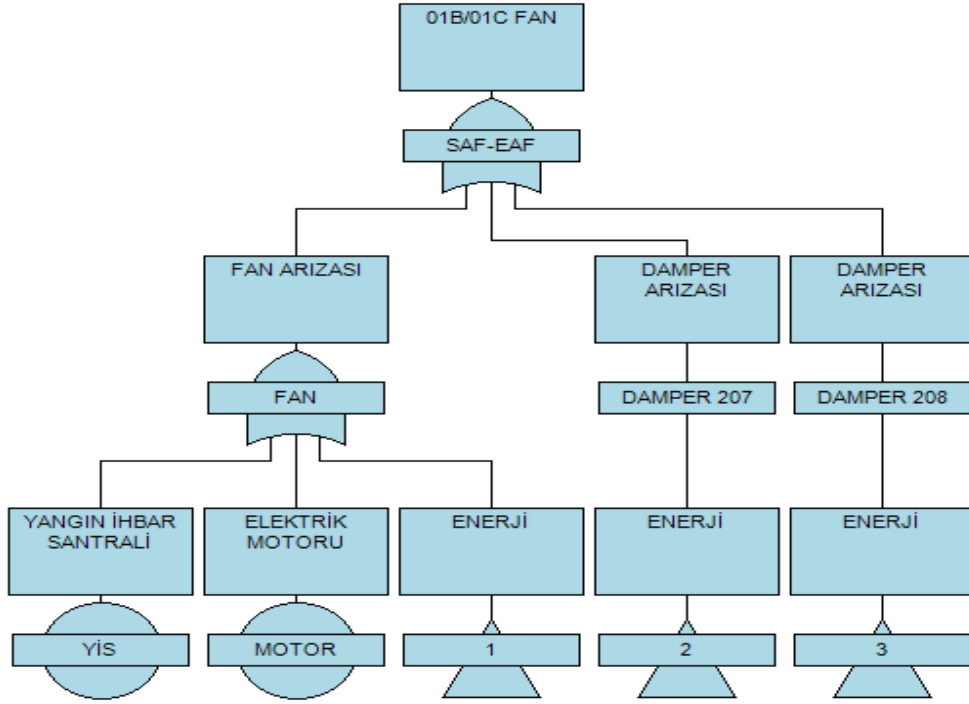
Şekil 4. 11 207-208 nolu mahaller sistem diyagramı

Çizelge 4. 10 207-208 nolu mahaller sistem elemanları

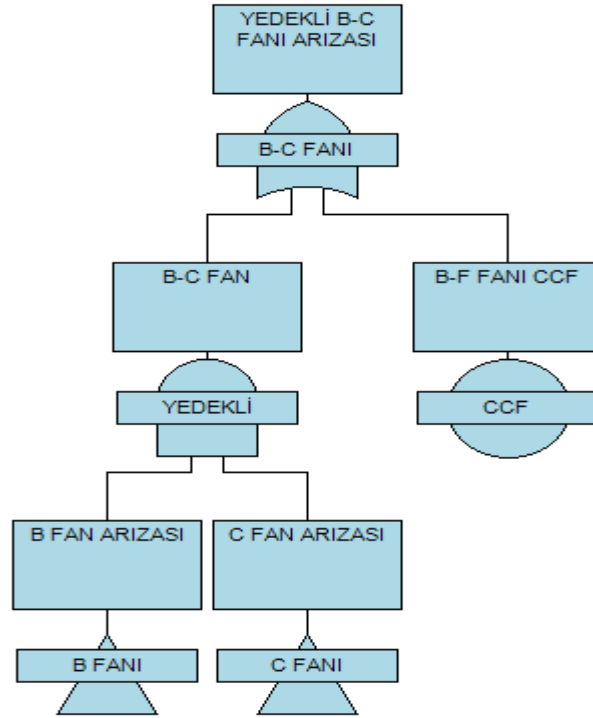
Temiz hava üfleme fanları	207 mahali damperi	208 mahali damperi
UK-SAF-HV-01A	UK-EL-MD 01	UL-EL-MD 03
UK-SAF-HV-01B	UK-EL-MD 02	UL-EL-MD 04
UK-SAF-HV-01C	UK-EL-MD 02a	UL-EL-MD 04a
Duman emiş fanları	207 mahali damperi	208 mahali damperi
UK-EAF-HV-01A	UK-EL-MD 05	UK-EL-MD 08
UK-EAF-HV-01B	UK-EL-MD 06	UK-EL-MD 09
UK-EAF-HV-01C	UK-EL-MD 07	UK-EL-MD 10



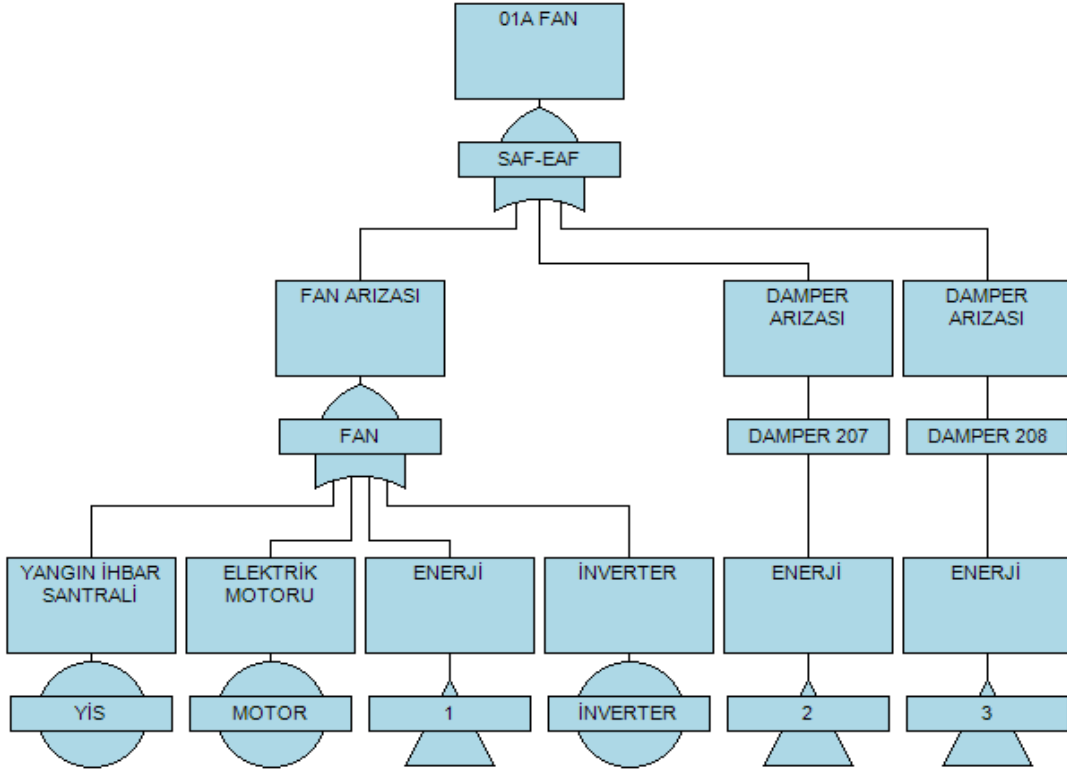
Şekil 4. 12 207-208 mahalleri için hata ağacı



Şekil 4. 13 Yedekli 01B-01C fanları hata ağacı



Şekil 4. 14 B-C yedekli fanları CCF hata ağacı



Şekil 4. 15 01A fanı hata ağacı

Çizelge 4. 11 207-208 nolu mahaller PFDavg hesabı

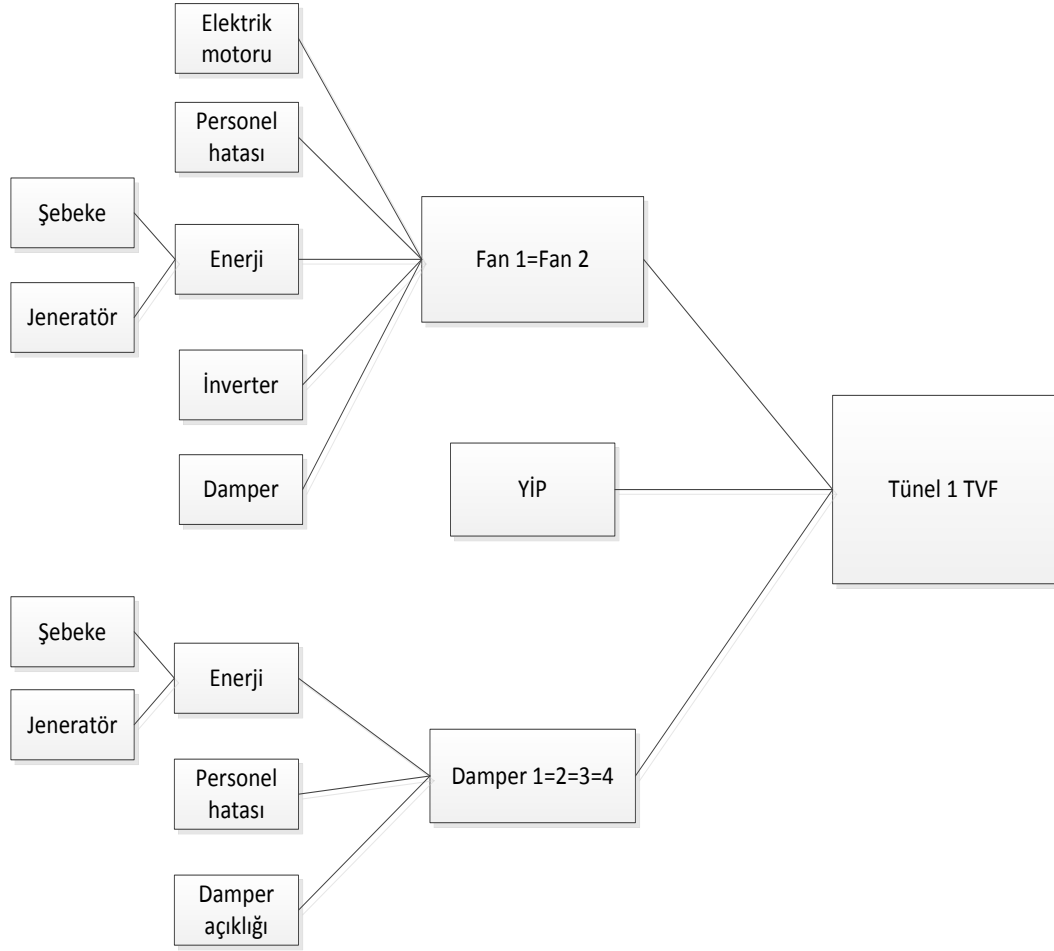
FM 200 gazlı 207-208 nolu odalar		P
Damper	Enerji	0,004871308
B=C fanı arızası	Enerji V Motor V YİS	0,761926
B=C fanı sistem	B/C fanı V Damper207 V Damper208	0,76424
Yedekli B-C fan arızası	(B fanı sys \wedge C fanı sys) V CCF	0,587241
A fan arızası	Enerji V Motor V YİS V İnverter	0,762164
A fanı sistem	A fanı V Damper207 V Damper208	0,764475
SAF arızası	SAFA \wedge SAFB-SAFC CCF	0,448931
EAF arızası	EAFA \wedge EAFB-EAFC CCF	0,448931
Sistem hatası	SAF V EAF	0,696322
PFDavg		$6,96 \times 10^{-1}$

SIL 1

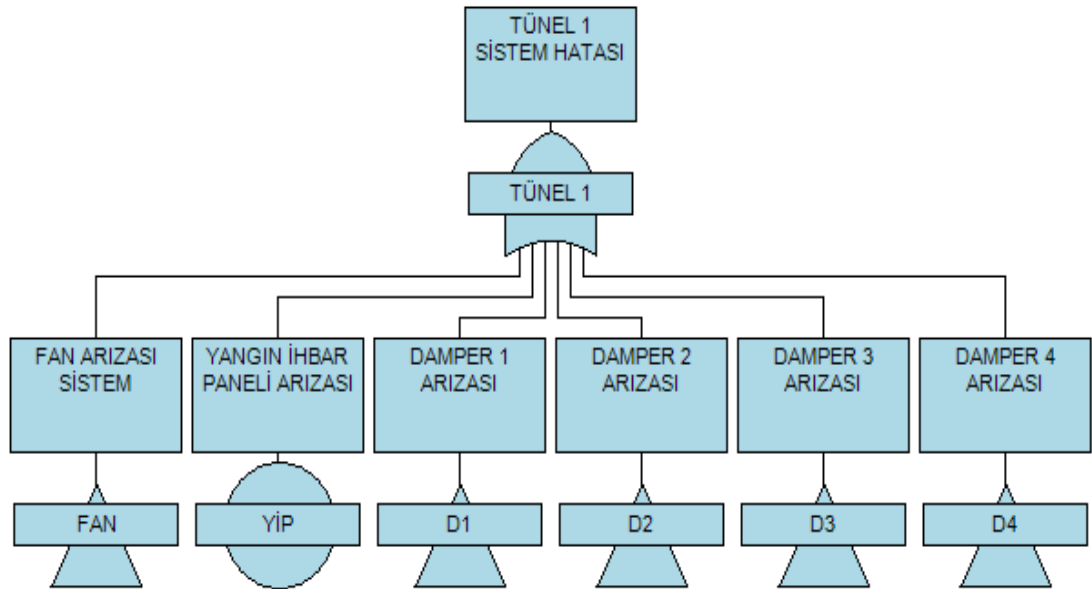
4.3 Tünel İçi Duman Kontrol Fanları

Tünel içi yangın algılama sistemi, tünel içerisinde bir yangın çıkması sonucu yolcuların güvenli şekilde tahliyesinin zorluğu göz önüne alındığında ciddi önem arz eder. Marmaray projesinde raylı sistemin bulunduğu tünellerde, dedektörlü yangın algılama ve yangını söndürmek için sprinkler sistemi yoktur. Bu sistemler yerine istasyonlarda bulunan yangın sistemine bağımlı ancak algılamayı dedektör yerine raylar boyunca devam eden fiber optik kablo ile yapan yangın ihbar paneli bulunmaktadır. Söndürme sistemi için de yalnızca yangın dolapları bulunmaktadır.

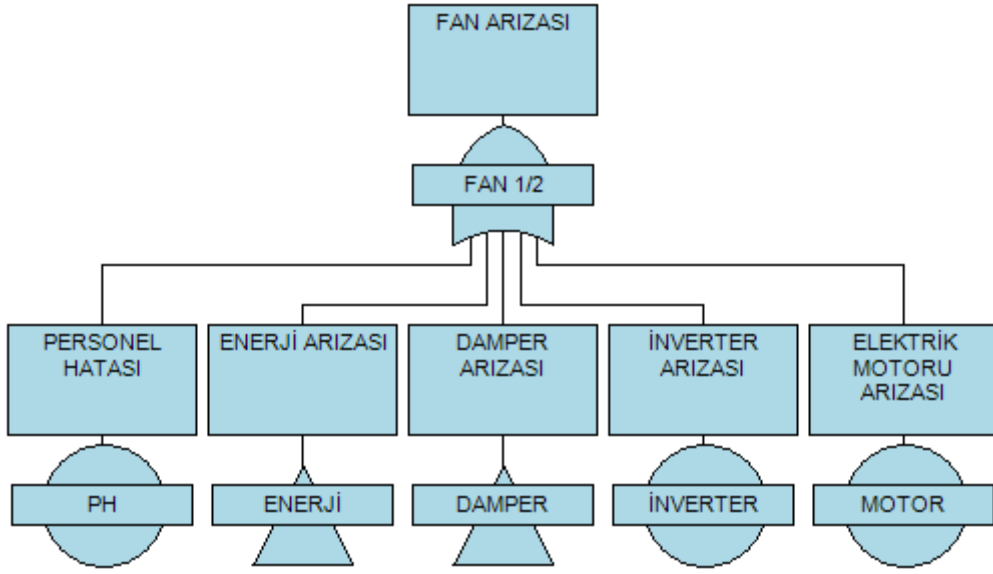
Tünel içerisinde algılamayı sağlayan fiber optik kablo, linear heat dedection (LHD) olarak adlandırılmaktadır. Yangın söndürme sistemi fiber optik kablonun ısı artışı ile 65°C set sıcaklığı aşılmaya girecek şekilde programlanmıştır. Yangın durumunda tünel içerisinde alınan sinyal önce tünel içerisindeki modüllere daha sonra yangın algılama paneline ve son olarak da tüm sistemin kontrol edildiği yangın ihbar santraline gitmektedir. Sinyalin yangın ihbar sistemine ulaşması sonrasında kontrol panelini yönetmek üzere sürekli olarak bulunan eğitimli personelin müdahalesi gerekir. Tünel içerisindeki fanlar ve damperler manuel olarak eğitimli personelin kontrolünde devreye alınmaktadır. Eğitimli personelin zamanında olaya müdahale etmemesi, yanlış komut vermesi vb. durumlar sistemin hataya düşmesine sebep olabilir [42]. Yaşanabilecek bir tehlikenin engellenmesi amacıyla damperlerden biri sürekli açık konumda bekletilmektedir. Damperlerin kapalı olması durumunda fanlar devreye girmez. Gidiş-dönüş yönleri için ikişer adet olmak üzere toplam dört adet TVF bulunmaktadır. Bu iki fan birbirine yedekli olarak; gerektiğinde ikisi aynı anda, arıza durumunda ise teki çalışacak şekilde planlanmıştır. Bu fanlar tüm damperlerin konumlandırıldığı bir odaya açılmakta, hangi alana yönelik çalışacağı damperlerin kapanıp açılması ile kontrol edilmektedir. Sistemde her tünel için dört adet damper bulunmaktadır.



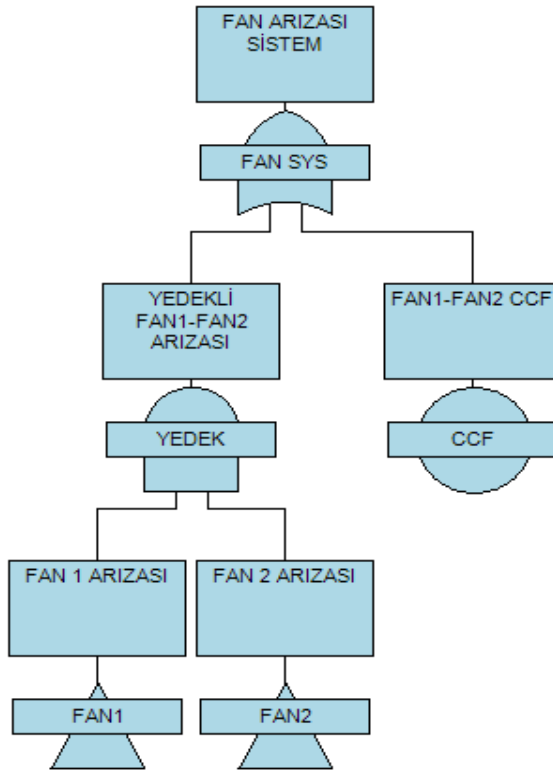
Şekil 4. 16 Tünel içi sistem diyagramı



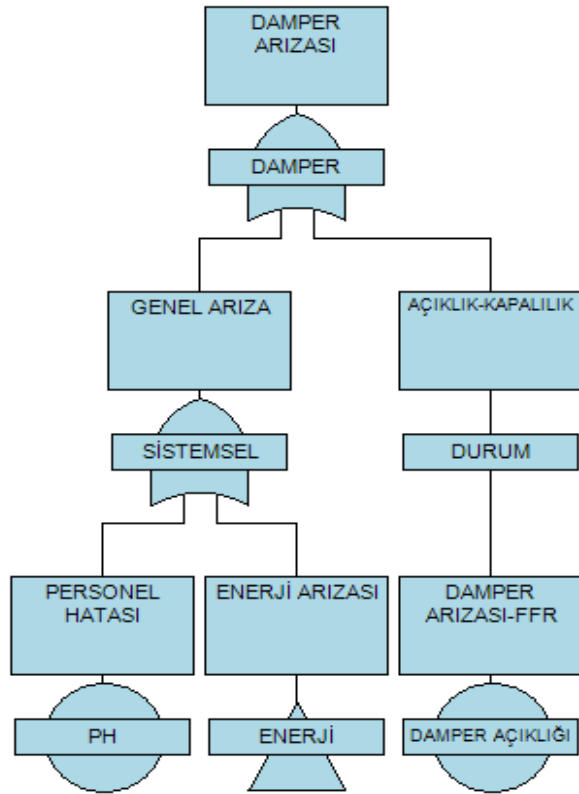
Şekil 4. 17 Tünel 1 hata ağacı



Şekil 4. 18 Fan arızası için hata ağacı



Şekil 4. 19 Yedekli fan CCF hata ağacı



Şekil 4. 20 Damper arızası hata ağacı

Çizelge 4. 12 Tünel 1 PFDavg hesabı

	Tünel 1	P
Damper	(Enerji V Personel hatası) V Damper açıklığı	0,00890148
Fan1=Fan2	Enerji V Personel hatası V Damper V İnverter V Motor	0,2459299
Fan1=Fan2 sistem	(Fan1 \wedge Fan2) V Fan1-2 CCF	0,0627925
Tünel 1 sistem hatası	Fan sistem V YİP V Damper01 V Damper02 V Damper03 V Damper04	0,89277
	PFDavg	$8,92 \times 10^{-1}$

SIL 1

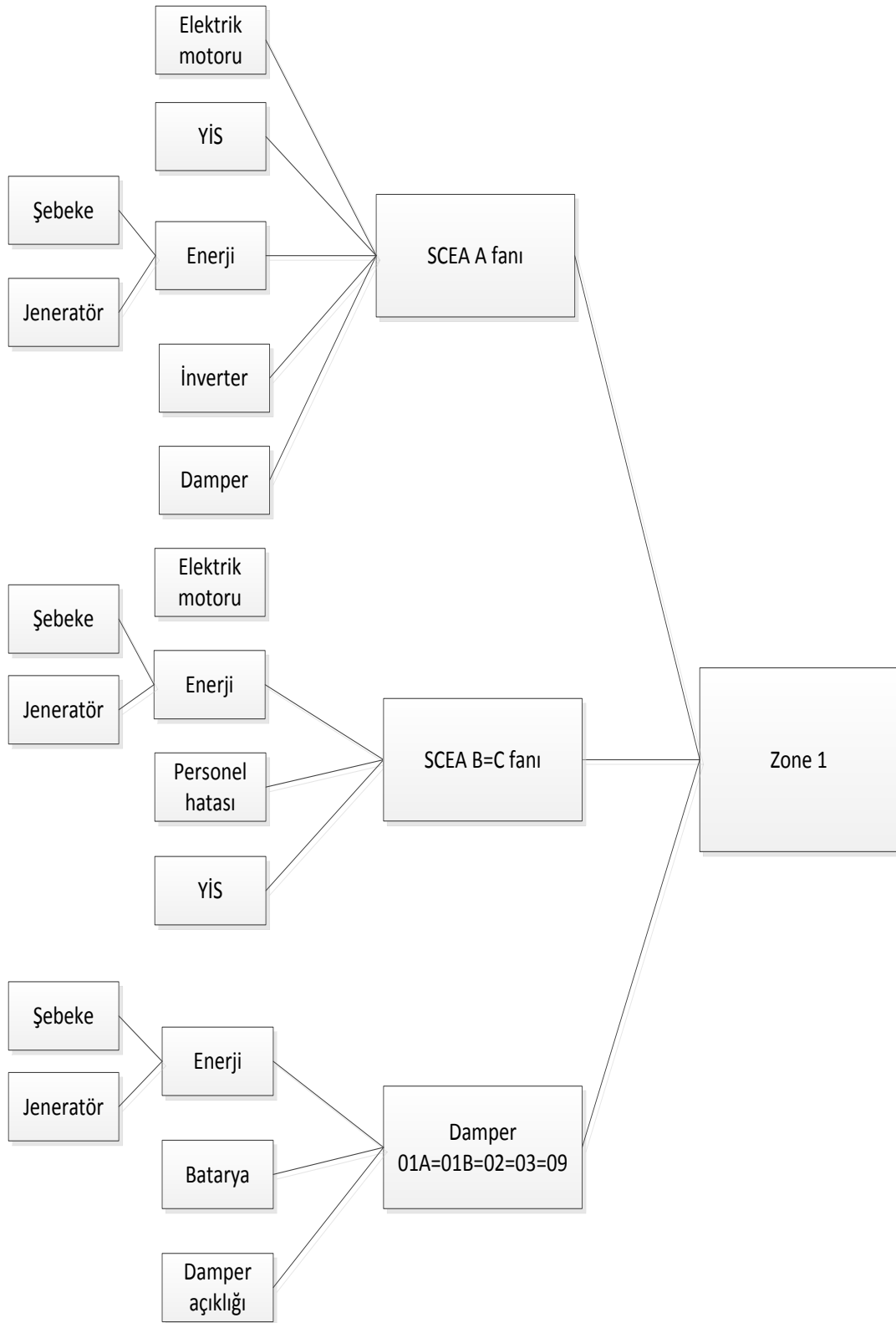
4.4 İstasyon Duman Kontrol Fanları

Marmaray istasyonları, yangın ihbar sisteminin kontrolü ve tehlike anında müdahalesi kolay olması açısından bölgelere ayrılmıştır. Her bölge için ayrı duman kontrol fanları ya da aynı fanları bölgelerden ayıran damperler bulunmakta, fan ve damperler yangın anında yangın senaryosuna göre çalışmaktadır. Toplamda 9 adet bölgeye ayrılmış olan yangın sistemi için bu kısımda zone 1 bölgesinde bir yangın çıkma durumu incelenecektir. Zone 1 ve Zone 6 aynı fanlar tarafından beslenmektedir. Zone 1 ve Zone 6'da hem fanların önünde hem de kanalların sonunda damperler bulunmaktadır. Zone 1 mahalinden yangın alarmı geldiğinde Zone 1 alanına açılan tüm damperler açılmaktadır. Diğer mekanlardaki damperler fanların tek alan üzerinde daha etkin olması amacıyla kapanmaktadır. Genel havalandırma fanları devreden çıkar ve duman emiş fanları devreye girer. Fanların önünde konumlanmış olan damperler açılmaz ise fanlar çalışmamaktadır. B ve C fanı birbirlerine yedekli olarak planlanmış aynı teknik özelliklere sahip, A fanı ise B ve C fanı ile aynı işlevde farklı teknik özelliklere sahip bir fanıdır. A, B ve C fanları gerektiğinde aynı anda, arıza durumunda ise teki çalışarak sistemin çalışmasını sürdürebilirler. Bu çalışmada Zone 6'nın Zone 1 üzerindeki etkisi ile emiş fanları yangın sinyali gelen her durumda devreye girdiğinden normal havalandırma fanlarının sistem üzerine etkisi ihmal edilmiştir.

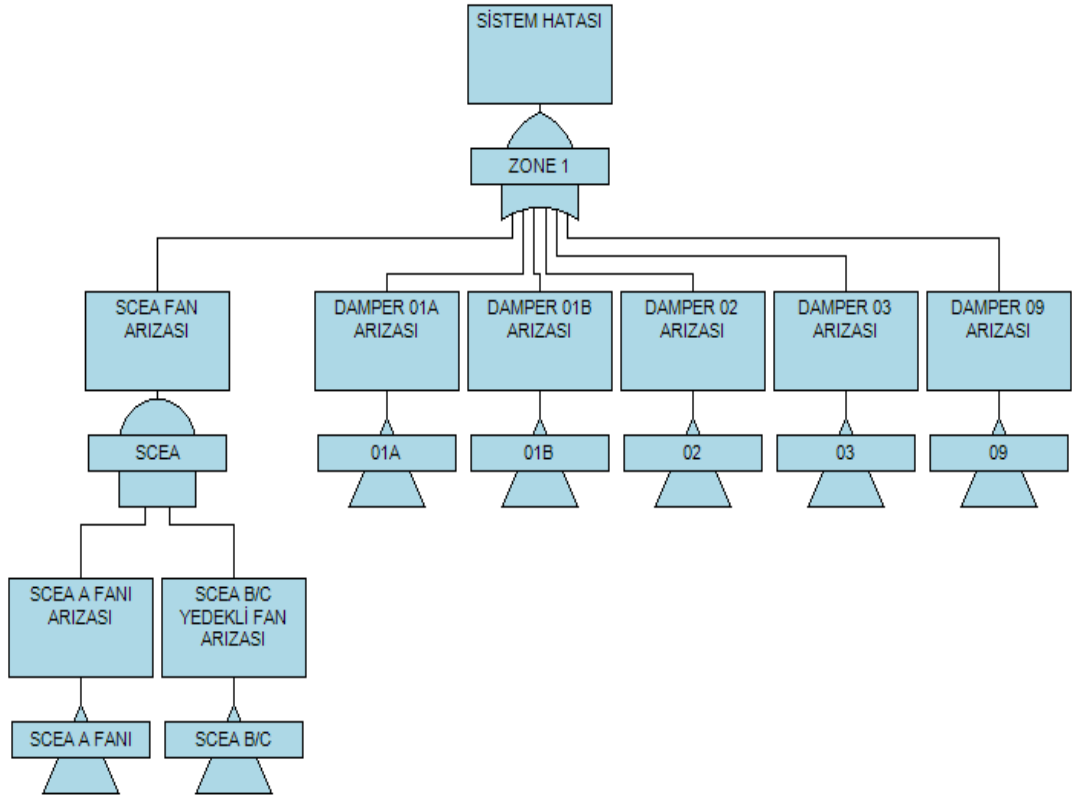
Çizelge 4. 13 Zone 1'de bulunan sistem elemanları

Zone 1 fanlar	Fanların önündeki damperler
UK-SCEA-01A	UK-MD 02
UK-SCEA-01B	UK-MD 03
UK-SCEA-01C	UK-MD 09
Zone 1 mahaline açılan kanal ucu damperler	
UK-SCEA -MD 01a	
UK-SCEA -MD 01b	

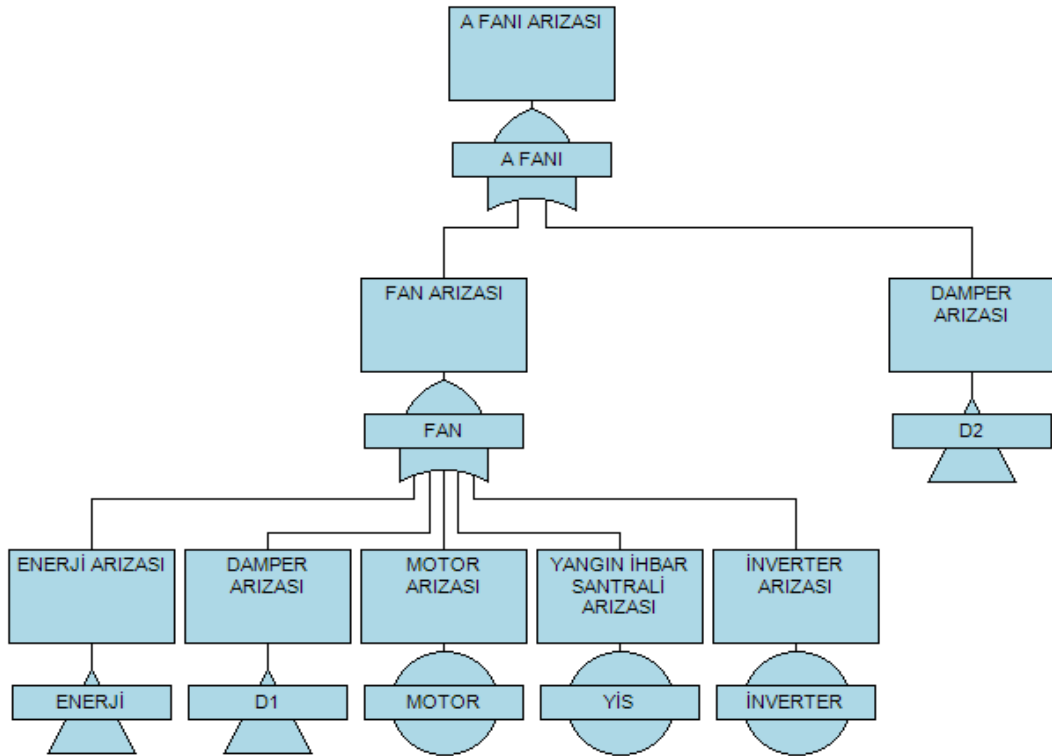
Zone 1 sistem elemanları Çizelge 4.13’de gösterilmiştir [13].



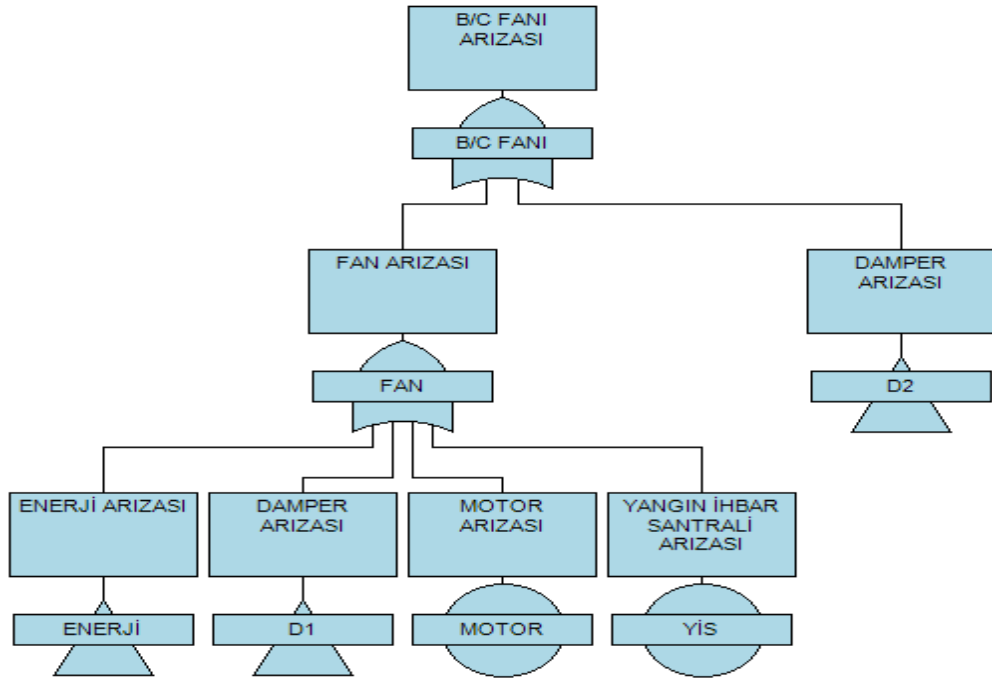
Şekil 4. 21 Zone 1 sistem diyagramı



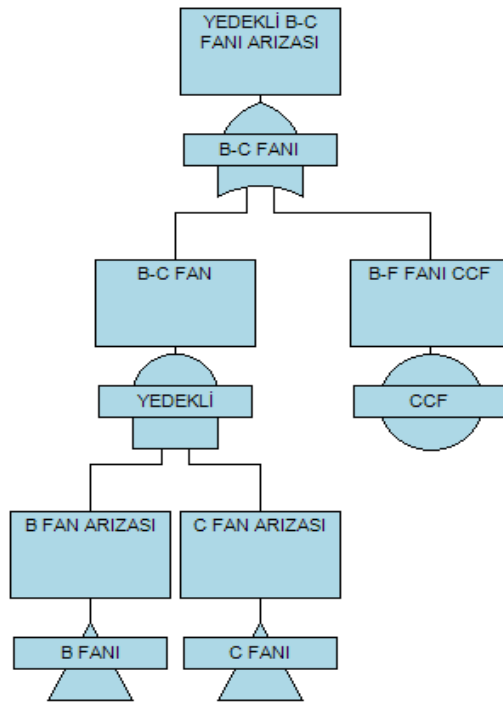
Şekil 4. 22 Zone 1 hata ağacı



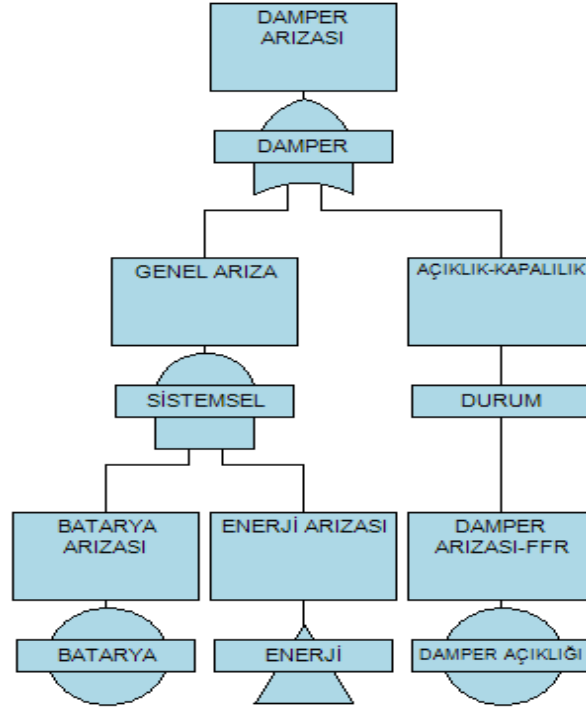
Şekil 4. 23 A fanı hata ağacı



Şekil 4. 24 Yedekli 01B-01C fanları hata ağacı



Şekil 4. 25 B-C yedekli fanları CCF hata ağacı



Şekil 4. 26 Damper arızası hata ağacı

Çizelge 4. 14 Zone 1 PFDavg hesabı

ZONE 1		P
Damper	(Enerji \wedge Batarya) \vee Damper Açıklığı	0,00214229
B=C fanı	Enerji \vee Motor \vee YİS \vee Damper(fö)	0,7628495
B=C fanı sistem	B/C fanı \vee Damper(fö)	0,76335226
Yedekli B-C fan arızası	(B fanı \wedge C fanı) \vee CCF	0,5858914
A fanı	Enerji \vee Motor \vee YİS \vee İnverter \vee Damper(fö)	0,763086
A fanı sistem	A fanı \vee Damper(fö)	0,7635935
SCEA sistem	A fanı sistem \vee Yedekli B-C fan	0,902102
Zone 1	SCEA sistem \vee D01a \vee D01b \vee D02 \vee D03 \vee D09	0,903146
		PFDavg $9,03 \times 10^{-1}$
damper(fö)=fanın önündeki damper (D02-D03-D09)		SIL 1
damper(kö)=kanalın önündeki damper (D01A-D01B)		

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda Marmaray projesi yangın emniyet sisteminin güvenilirlik seviyesi incelenmiş, bu incelemelere göre batı acil kaçış merdiveni PFDavg değerinin $7,24 \times 10^{-1}$, doğu acil kaçış merdiveni PFDavg değerinin $6,46 \times 10^{-1}$, 207 ve 208 nolu FM 200 gazlı odaların PFDavg değerinin $6,96 \times 10^{-1}$, tünel içi yangın sistemi PFDavg değerinin $8,92 \times 10^{-1}$ ve Zone 1 PFDavg değerinin $9,03 \times 10^{-1}$ olduğu görülmüştür. Analizi yapılan acil kaçış merdivenleri, FM 200 gazlı söndürme sistemine sahip olan 207 ve 208 nolu mahaller, tünel içi yangın sistemi ve Zone 1 hesaplamalara göre SIL1 emniyet seviyesindedir.

Yangın algılama ve söndürme sistemleri insan hayatı üzerinde önem taşıyan kritik sistemlerdir. Marmaray projesi için NFPA ve TS-EN 54 yangın standartları temel alınarak projelendirme yapılmış ancak herhangi bir fonksiyonel emniyet standardına göre planlama yapılmamıştır. Çalışmalar sonucu elde edilen verilere göre, her gün 75000 yolcu taşıma hedefi ile yola çıkılan Marmaray projesinde yaşanabilecek bir yangın durumunda, tehlikeyi en az kayıpla atlatmasını sağlayacak yangın emniyet sisteminin IEC 61508 standardına göre yeterli olmadığı görülmektedir.

IEC 61508 standardına göre yüksek güvenlik sınıfında olması gereken tesislerin SIL4 seviyesinde olması hedeflenir, nükleer santraller güvenlik seviyesi en yüksek olması hedeflenen tesislere örnek gösterilebilir. Ancak pratikte SIL4 seviyesine ulaşmak neredeyse imkansızdır. Yolcu yoğunluğu ve risk düzeyi göz önüne alındığında Marmaray yangın emniyet sisteminin SIL3 seviyesinde olması ideal olup, emniyet

seviyesinin yükseltilmesi için sistemlerin yedekli planlanması, hata oranı düşük ekipmanlardan oluşturulması ve proje öncesi yapılması gereken risk analizlerinin göz önüne alınarak sistemlerin projelendirilmesi gerekmektedir.

Genel olarak incelenen alt sistemlerin emniyet seviyelerini artırmak amacı ile yedekli olarak tasarlandığı ve elektrik motoru gibi kritik cihazların farklı model ve tiplerde seçilerek hata olasılığının düşürülmek istendiği görülmektedir. Ancak çıkan matematiksel verilere göre mevcuttaki sistemlerin istenilen emniyet seviyesinde olmadığı görülmektedir. Sistemlerin yangın durumu için fonksiyonel emniyet sistemine göre projelendirilmesi ve sistemdeki kritik eleman ve sistemlerin güvenilirliklerinin artırılması gerekmektedir.

Endüstride, raylı sistemlerde, insan yoğunluğunun yüksek olduğu kritik mahallerde, maden ocaklarında, elektrik santralleri ve nükleer santrallerde fonksiyonel emniyetin daha çok yer alması, kurulacak alt yapı ile tehlike seviyesinin mümkün olduğunca düşük tutulması gerekmektedir. Henüz ülkemizde fonksiyonel emniyet alanında yapılan çalışmalar gereken seviyeye gelememiş olduğundan fonksiyonel emniyetin yaygınlaştırılması ve sistemlerin emniyetinin artırılması için gerekli yasal düzenlemelerin de hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Kritik öneme sahip bir çok sektörde fonksiyonel emniyet standartlarının varolması ancak yangın emniyet sistemleri ile ilgili henüz bir fonksiyonel emniyet standardının oluşturulamamış olması bu alandaki en önemli eksiklerden biridir. Yangın emniyet sistemleri ile ilgili bir standardın oluşturulması ve bu konuda çalışmaların hızlandırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Warrington Fire Research, (1996). Probablistic Risk Assessment Data-Delphi Exercise, Warrington UK.
- [2] Bukowski, R. W., Budnick, E. K. ve Scheme, C.F., Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems, <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire02/PDF/f02035.pdf?referer=www.clickfind.com.au>, 08 Haziran 2014.
- [3] Sintef Industrial Management, (2002). OREDA Offshore Realibility Data Handbook, 4th Edition, Norway.
- [4] Nyyssönen, T., Rajakko, J. ve Keski-Rahkonen, O., (2005). On The Reliability Of Fire Detection and Alarm Systems;Exploration and Analysis Of Data From Nuclear and Non-nuclear Installations, VTT Building and Transport, Finland.
- [5] Ramachandran, G. ve Charters, D. (2011). Quantitative Risk Assessment in Fire Safety, First Edition, Spon Press, USA.
- [6] Rausand, M. ve Hoyland, A. (2004). System Reliability Theory; Models and Statistical Methods, Second Edition, Canada.
- [7] Böröcsök, J., (2004). Electronic Safety Systems: Hardware Concepts, Models, and Calculations, Hüthig, Germany.
- [8] IEC 61025, (2006). Fault tree analysis (FTA), IEC, Second Edition 2006-12, Switzerland.
- [9] Kaymakçı, Ö. ve Üstoğlu, İ., (2013). Functional Safety and Industrial Applications, YTÜ Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Lisansüstü Fonksiyonel Emniyet Dersi Ders Notları, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] O'Brien, B.C. ve Bredemeyer, L., (2009). Final Elements & the IEC 61508 and IEC 61511 Functional Safety Standarts, exida.com L.L.C., Signature Book, USA.
- [11] Robinson, S., Functional Safety of Machinery: EN ISO 13849-1, <http://www.tuv-sud.co.uk/uploads/images/1379673832283654260118/functional-safety-of-machinery-stewart-robinson.pdf>, 10 Şubat 2014.
- [12] DLH Marmaray Bölge Müdürlüğü, Marmaray Hakkında Teknik Bilgiler, www.marmaray.com, 20 Eylül 2013.

- [13] Avrasya Consult, (2004-2014). Marmaray Teknik Belge ve Dökümanları, İstanbul.
- [14] Goble, W. M. ve Cheddie, H., (2005). Safety Instrumented Systems Verification: Practical Probabilistic Calculations, ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society, USA.
- [15] Medoff, M., ve Faller, R., (2010). Functional Safety, exida.com L.L.C., Signature Book, USA.
- [16] BS EN 61508-6:2010, (2010). Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems, BSI, UK.
- [17] Varan, S.E. (2007), Sistem Güvenilirliği Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] U.S.Nuclear Regulatory Commision, (1981). Fault Tree Handbook, Nureg-0492, Washington.
- [19] Ringdahl, L. H. (2001). Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety, Second Ed., Taylor and Francis, London / Newyork.
- [20] Ultratech, (2007). Introduction to FBD and FTA, <http://www.ultratech.com>, 09 Ocak 2014.
- [21] Ilavski, J., Rastocny, K. ve Zdansky, J.,(2013). "Common-cause Failures As Major Issue In Safety of Control Systems", Information and Safety-Related Systems, Volume 11, Number 2, Slovakia.
- [22] Vesely, B. ve NASA, Fault Tree Analysis(FTA):Concepts and Applications Mission Success Starts With Safety, <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/risk/docs/ftacourse.pdf>, 08 Aralık 2013.
- [23] Hokstad, P., Habrekke, S., Lundteigen, M.A. (NTNU) ve Onshus, T., (2009). "Use of the PDS Method for Railway Applications", Sintef Technology and Society, Norway.
- [24] NASA, (2002). Fault Tree Handbook with Aerospace Applications', Version 1.1, USA.
- [25] Işıklı, Ş., Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler, <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/34/923/11510.pdf>, 04 Aralık 2013.
- [26] Alıcı, M. ve Karatepe, E., (2002). Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları, Birinci Baskı, İzmir.
- [27] Ruan, D., Li T., Xu, Y., Chen, G. ve Kerre, E. E., (2010). "Computational Intelligence Foundations and Applications, Proceeding of the 9th International FLINS Conference", World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science – Vol.4, USA.
- [28] TS CEN/TS 54-14, (2008). Yangın Algılama ve Yangın Alarm Sistemleri-Bölüm 14: Planlama, Tasarım, Montaj, İşletmeye Alma, Kullanım ve Bakım İçin Klavuz Bilgiler, TSE, Ankara.

- [29] NFPA 72, (2013). National Fire Alarm and Signaling Code, NFPA, USA.
- [30] NFPA 130, (2003). Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, NFPA, USA.
- [31] Solar Bridge, PV Inverter Reliability, <http://solarbridgetech.com/pv-inverter-reliability>, 10 Şubat 2014.
- [32] Carnegie Mellon University, (1999). Human Interface/Human Error, http://www.ece.cmu.edu/~koopman/des_s99/human, 20 Şubat 2014.
- [33] HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012), <http://www.hse.gov.uk/landuseplanning/failure-rates.pdf>, 20 Şubat 2014.
- [34] Rittal UPS, Reliability of Uninterruptible Power Supplies PMC, <http://www.rittal.de/downloads/rimatrix5/power/White%20Paper%20Reliability%20of%20UPS.pdf>, 05 Ocak 2014.
- [35] Arthur, E. Cote, Operation of Fire Protection System, A Special Edition of the Fire Protection Handbook, 2003.
- [36] Coto Technology, Testing Reed Switches and Relays for Reliability, http://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Coto_306/PDF/Coto_Testing_Reed_Reliability.pdf?redirected=1, 01 Mart 2014.
- [37] Ayers, M. L. ve P.E., (2012), Telecommunications System Reliability Engineering, Theory and Practice, IEEE Press, Canada.
- [38] Rockwell Automation, System Design According to IEC/EN 62061, <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7555771/Common-Cause-Failure-CCF.html>, 18 Şubat 2014.
- [39] Tyagi, S.K., Pandey, D., ve Tyagi, R. "Fuzzy set theoretic approach to fault tree analysis, International Journal of Engineering", Science and Technology Vol. 2, No. 5, 2010, pp. 276-283.
- [40] Tian, H., Huang, Y., He, J., Liu, P. ve Qu, W., (2012), Application of Fault Tree Analysis in the Reliability Analysis of Oil-Gas Long Pipeline, ICPTT 2012- ASCE 2013, 1436.
- [41] Purpa, J. H., Ruan, L. D. ve Zhang, G., A Hybrid Approach for Fault Tree Analysis Combining Probabilistic Method with Fuzzy Numbers, Australian Research Council (ARC) Discovery Grant PD0880739, Sydney.
- [42] Harrison, M., DIRC, Human error analysis and reliability assessment, <http://webhost.laas.fr/TSF/IFIPWG/Workshops&Meetings/46/05-Harrison.pdf>, 15 Şubat 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gözde YETKİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 29.03.1989 / Karabük
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gzdytkn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	YTÜ	2011
Lise	Fen Bilimleri	Alanya A.M.E. Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Akser Elektrik Ltd. Şti.	Proje Yöneticisi
2014	EKO FMS / Süzer Holding	Elektrik Grup Şefi