

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METROLARDA YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabia Sinem FAZİLET

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METROLARDA YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Rabia Sinem FAZİLET
501111049**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111049 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Rabia Sinem FAZİLET**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**METROLARDA YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sıddık ŞENER**
İstanbul Bilgi Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **15 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **21 Ocak 2015**

Biricik eşim Mustafa Barış FAZİLET'e ,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam süresince özverili bir şekilde bana yol gösteren ve tezimin her aşamasında desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam saygıdeğer büyüğüm Sn. Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan biricik annem Vildan ÖZCAN, canım kardeşim Makine Müh. Özge ÖZCAN, öğrenim hayatım boyunca beni her konuda destekleyen ve yol gösteren sevgili babam, ailemizin çınarı İnşaat Müh. Önder ÖZCAN' a, Çalışmalarım sırasında değerli fikir ve tecrübelerinden faydalandığım Makine Müh. Mustafa ÖZDÖNER'e,

Ve tezimin her aşamasında emeği ve katkısı bulunan ve hayatımın her anını anlamlı kılan sevgili eşim İnşaat Yük. Müh. Mustafa Barış FAZİLET'e sonsuz teşekkür ederim.

Ocak 2015

Rabia Sinem FAZİLET
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
2. YANGIN VE YANMA İLE İLGİLİ GENEL KAVRAMLAR.....	3
2.1 Yanma	3
2.1.1 Yanıcı maddeler	3
2.1.2 Yanmanın çeşitleri.....	4
2.1.2.1 Yavaş yanma	4
2.1.2.2 Hızlı yanma	5
2.1.2.3 Parlama patlama şeklinde yanma	5
2.1.2.4 Kendi kendine yanma.....	5
2.1.3 Yanma ürünleri.....	5
2.1.3.1 Isı.....	5
2.1.3.2 Işık.....	6
2.1.3.3 Duman	6
2.1.3.4 Yangın gazları	6
2.2 Yangın	6
2.2.1 Yangın söndürücü maddeler.....	6
2.2.2 Yangın söndürme yöntemleri	9
2.2.3 Yangının çeşitleri ve sınıflandırılması	10
2.2.4 Yangının insan vücuduna etkileri.....	11
2.2.4.1 Duman etkisi	11
2.2.4.2 Yanma etkisi.....	13
2.2.5 Yangın yerindeki tehlikeler	14
2.2.5.1 Yangının büyüme hızı	14
2.2.5.2 Yüksek sıcaklık tehlikesi.....	15
2.2.5.3 Yangın bileşenlerinin yangının yayılmasına etkileri.....	16
2.2.5.4 Yangın safhalarındaki tehlikeler	17
2.2.5.5 Zehirli gazların oluşturduğu solunum zorluğu tehlikesi	19
2.2.5.6 Patlama tehlikesi	20
2.2.5.7 Çökme tehlikesi.....	21
2.2.5.8 Elektrik tehlikesi	22
2.2.5.9 Kimyasal tehlike.....	23
3. TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ YANGIN GÜVENLİĞİ.....	25

3.1 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Yangın Dayanımı ve Alınacak Önlemler	25
3.1.1 Yüksek sıcaklığın betonarme çeliğine etkileri	28
3.1.2 Yüksek sıcaklığın betona etkileri	29
3.2 Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Yangın Dayanımı ve Alınacak Önlemler	30
3.2.1 Püskürtülerek uygulanan sistemler	33
3.2.2 Plakalı sistemler	34
3.2.3 Prefabrik sistemler (Kutuya Alma)	35
3.2.4 İntumesan (kabaran) yangın geciktirici boya	36
3.2.5 Beton ile doldurmak	37
3.2.6 Su ile doldurmak	37
4. METROLAR	41
4.1 Metrolar Hakkında Genel Bilgi ve Tarihçe	41
4.2 Metrolarda Yangın Güvenlik Önlemleri	43
4.2.1 Vagonlarda yangın güvenlik önlemleri	46
4.2.2 Tünelde yangın güvenlik önlemleri	47
4.2.2.1 Havalandırma ve duman tahliye sistemleri	47
4.2.2.2 Yangın simülasyon programı sonucu havalandırma kriterleri	51
4.2.3 İstasyonda yangın güvenlik önlemleri	58
4.3 Metrolarda Yangın Senaryoları ve Acil Durum Eylem Planları	59
4.3.1 Tünelde yangın senaryoları ve acil durum eylem planları	60
4.3.2 İstasyonda yangın senaryoları ve acil durum eylem planları	68
4.3.3 Trende yangın senaryoları ve acil durum eylem planları	76
4.4 Dünyada Meydana Gelen Büyük Metro Yangınları	83
4.4.1 Paris metrosu yangını(Couronnes felaketi)	83
4.4.2 Londra metrosu yangını(King's Cross)	84
4.4.3 Bakü metrosu yangını	87
4.4.4 Euro Channel (Manş tüneli) yangını	90
4.4.5 Kore metrosu yangını	91
5. SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR

ADMB	: Acil durum müdahale birimleri
AKOM	: Afet Koordinasyon Merkezi
BR	: Building Regulation
BS	: British Standarts
BYKH	: Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik
CBTC	: İletişim Temelinde Tren Kontrolü
CCR	: Kumanda merkezi
CER	: Kontrol ekipman odası
ECS	: Çevresel kontrol sistemi
EN	: European Standarts
EXF	: İstasyon havalandırma fanı
FAP	: Fire alarm panel
FDS	: Fire Dynamics Simulator
ITC	: Bilgi ve haberleşme teknolojileri
İSG	: İş Sağlığı Güvenliği
KKT	: Kuru kimyevi toz
LCP	: Lokol kontrol panosu
LHD	: Linear heat detection
MFAP	: Main fire alarm panel
NFPA	: National Fire Protection Association
PLC	: Programlanabilir lojik kontrolörler
SCADA	: Denetleme kontrol ve veri toplama sistemi
SIMS	: Station Information Management System
SOR	: Station Organization Room
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TVF	: Tünel havalandırma fanı
VIMS	: Ventilation Information Management System

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yanıcı madde örnekleri	4
Çizelge 2.2 : Söndürme maddelerinin yangın türlerine göre kullanım şeması.....	8
Çizelge 2.3 : Havadaki oksijene bağlı zehirlenme belirtileri.....	12
Çizelge 4.1 : Yangının tren üstündeki konumuna göre havalandırma tipleri	50
Çizelge 4.2 : Fan çalışma senaryosu 1	61
Çizelge 4.3 : Fan çalışma senaryosu 2	61
Çizelge 4.4 : Fan çalışma senaryosu 3	62
Çizelge 4.5 : Fan çalışma senaryosu 4	63
Çizelge 4.6 : Fan çalışma senaryosu 5	63
Çizelge 4.7 : Fan çalışma senaryosu 6	64
Çizelge 4.8 : Fan çalışma senaryosu 7	65
Çizelge 4.9 : Fan çalışma senaryosu 8	65
Çizelge 4.10 : Fan çalışma senaryosu 9	66
Çizelge 4.11 : Fan çalışma senaryosu 10	67

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Yangın üçgeni	3
Şekil 2.2 : Yangın söndürme yöntemleri	9
Şekil 2.3 : Yanma sürecinde sıcaklık-zaman ilişkisi	18
Şekil 3.1 : Beton ve çelik için gerilme-sıcaklık ilişkisi	26
Şekil 3.2 : Çelik yapı bileşenlerinin yangın sırasındaki davranışı.....	31
Şekil 3.3 : Püskürtme sistemlerin çelik kirişe uygulanması	34
Şekil 3.4 : Çelik kolonların plakalarla kapla	35
Şekil 3.5 : Çelik yapı bileşenlerine uygulanan yalıtım türleri	36
Şekil 3.6 : Kendiliğinden şişen boya ile korumanın yangın dayanımına etkisi.....	36
Şekil 3.7 : Su dolaşımıyla yapılan korumada sudaki ve çelikteki sıcaklık eğrileri ...	38
Şekil 3.8 : Su dolaşımıyla yalıtımın çalışma prensibi	39
Şekil 4.1 : Acil durum havalandırma sisteminin şematik gösterimi.....	49
Şekil 4.2 : Tüneldeki trenin vagonlarının gösterimi	49
Şekil 4.3 : Tüneldeki trende yangın durumunda uygulanacak temel strateji.....	51
Şekil 4.4 : Yeteri kadar havalandırılmış tünel yangını-ters katmanlaşma yok.	52
Şekil 4.5 : Havalandırılmanın yetersiz kaldığı tünel yangını-ters katmanlaşma var .	52
Şekil 4.6 : En kötü durum senaryosu	57
Şekil 4.7 : Senaryo 1 fan çalışma durumları şematik gösterimi	60
Şekil 4.8 : Senaryo 2 fan çalışma durumları şematik gösterimi	61
Şekil 4.9 : Senaryo 3 fan çalışma durumları şematik gösterimi	62
Şekil 4.10 : Senaryo 4 fan çalışma durumları şematik gösterimi	62
Şekil 4.11 : Senaryo 5 fan çalışma durumları şematik gösterimi	63
Şekil 4.12 : Senaryo 6 fan çalışma durumları şematik gösterimi	64
Şekil 4.13 : Senaryo 7 fan çalışma durumları şematik gösterimi	64
Şekil 4.14 : Senaryo 8 fan çalışma durumları şematik gösterimi	65
Şekil 4.15 : Senaryo 9 fan çalışma durumları şematik gösterimi	66
Şekil 4.16 : Senaryo 10 fan çalışma durumları şematik gösterimi	66
Şekil 4.17 : Başak Konutları-Siteler-Turgut Özal arası fanların çalışma şekilleri	67
Şekil 4.18 : İstanbul metrosu FAP-ESC-SCADA sistemlerinin halka açık alanda sebeb-sonuç diyagramı.....	70
Şekil 4.19 : İstanbul metrosu SCADA ekran görüntüsü.....	71
Şekil 4.20 : İstasyonda yangın durumunda eylem planı	75
Şekil 4.21 : Trende yangın durumunda eylem planı.....	77
Şekil 4.22 : Tüneldeki trende yangın durumunda eylem planı.....	79
Şekil 4.23 : Trende yangın eylem akış şeması.....	82
Şekil 4.24 : Paris metrosu yangını	83
Şekil 4.25 : Londra metrosu yangın sonrası bilet holü	85
Şekil 4.26 : Londra metrosu yürüyen ahşap merdivende yangının başladığı yer.....	85
Şekil 4.27 : Londra metrosu yangın sonrası yürüyen merdivenlerin görüntüsü.....	86
Şekil 4.28 : Londra metrosu yangın yerinin vaziyet planı.....	86
Şekil 4.29 : Bakü metrosu metro güzergahı	87
Şekil 4.30 : Bakü metrosu yangın sonrası görünüm.....	87

Şekil 4.31 : Bakü metrosu yangın sonrası vagonun iç görünümü	88
Şekil 4.32 : Bakü metrosu yangın sonrası vagonun dış görünümü.....	89
Şekil 4.33 : Bakü metrosu yangın sonrası vagonun iç görünümü 2	90
Şekil 4.34 : Euro channel güzergah ve tünel görüntüsü	90
Şekil 4.35 : Kore metrosu yangın sonrası vagon iç görünümü.....	91
Şekil 4.36 : Kore metrosu yangın sonrası vagon dış görünümü	92

METROLARDA YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

ÖZET

Dünyanın en büyük buluşlarından biri olan ateş pek çok yerde hayatımızı kolaylaştırdığı gibi kontrol edilmediğinde sonuçları felaketlere neden olan yangınlara yol açabilmektedir. Zamanla medeniyetin ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan yangınlar, deprem gibi gerek insan hayatı açısından gerekse maddi açıdan ülkenin gelişimini etkiler duruma gelmiştir.

Tarih boyunca meydana gelen yangınlar çok büyük can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Bunun nedeni olarak en başta yangın güvenliği bilincinin yeterince yerleşmemiş olması ve yönetmeliklerin tam anlamıyla uygulanmıyor olması gelmektedir. Yangının oluşumu kesin olarak önlenemese de alınacak önlemler ile vereceği zarar en aza indirilebilir. Yangının vereceği zarardan korunmak amacıyla yapının tasarım, yapım, işletme, kullanım süreci ve bakım süreçleri boyunca yangın güvenliği adına tüm önlemler alınmak zorundadır.

Yangın da aynı deprem gibi nerde ve ne zaman olacağı belli olmayan ve sonuçları felaketle sonuçlanan ve genellikle ihmaller zinciriyle oluşan bir olaydır. Fakat ülkemizde yangına deprem kadar önem verilmemekte, tedbirler genellikle üstünkörü alınmaktadır. Başta Soma maden faciası olmak üzere ülkemizde son yıllarda görülen felaketler yangın esnasında yapılması gerekenler hakkında yeterli bilğimiz ve tecrübeli elemanımızın olmayışını ortaya koymaktadır. Yönetmeliklerin yangın için uyarlanması ve daha kapsamlı bir yangın yönetmeliği oluşturulması gerekmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında; BYKHY (Binalarının Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik) kapsamında öncelikle yanma ve yangın kavramlarından bahsedilmiş temel bilgilerin oluşması sağlanmıştır. Dünyada meydana gelmiş olan büyük metro yangınlarının nedenleri ve sonuçlarına değinilmiştir. Metrolarda meydana gelebilecek olan yangın olaylarına karşı alınması gereken önlemlerden söz edilmiştir. Bu bağlamda İstanbul metrosunda kullanılan yangın senaryoları, nasıl oluşturuldukları, istasyon ve vagonlarda kullanılan malzeme özellikleri ve hangi yönetmeliklerden yararlandığı anlatılmıştır.

Metrolarda yangın güvenliği bilincinin oluşturulması doğrultusunda hazırlanan tez çalışması, beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konuya giriş yapılmış, metrolarda yangın güvenliği konusunda yapılmış olan çalışmalar ve tezler araştırılıp konunun geçmişten bugüne gelişimi ele alınmış ve tezin amacı ortaya konulmuştur.

İkinci bölümde yanma ve yangın ile ilgili genel kavramlar detayları ile anlatılmıştır. Ayrıca yangın çeşitleri, söndürme yöntemleri, yangın safhasındaki tehlikeler ve yangının insan vücuduna etkileri bu bölümde ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde taşıyıcı sistem elemanlarının yangın güvenliği kapsamında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlerde yangın güvenliği anlatılarak yangın yalıtımı yöntemleri ortaya konulmuştur.

Dördüncü bölümde metrolar başlığı altında metrolarla ilgili genel bilgi verilmiş ve metroların tarihçesinden bahsedilmiştir. Ayrıca metrolarda yangın güvenliği kapsamında alınması gereken önlemler, havalandırma ve duman tahliye sistemleri hesapları, metrolarda simülasyon programı sonucu yapılmış olan senaryolar ve son olarak da dünyada meydana gelen büyük metro yangınlarından bahsedilmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise metrolarda yangın güvenliği için yapılması gerekenlerden ve ülkemizde bu konudaki yetersizliklerden bahsedilmiştir. Ayrıca büyük felaketlerin devamı gelmemesi için alınması gereken önlemlere değinilmiş ve bulgular tavsiye niteliğinde ele alınarak konu ile ilgili oluşturulacak olan yasal düzenlemelere kaynak teşkil edilmiştir.

FIRE SAFETY MEASURES in SUBWAYS

SUMMARY

Fire is the one of the greatest inventions in the world that make our lives easier but if it can not be controlled can lead to terrible disaster. Fire, increasing with the development of civilization and technology, such as earthquakes, cause bad effect of development of the country. Fires through the history has been the cause of the huge loss of life and property. The reason for this is the lack of established primarily for fire safety awareness and comes to have not fully implemented the directive. If the damage is prevented, with measures to be taken as conclusive formation of the fire can be minimized. Building design in order to avoid the damage from the fire, construction, operation, and maintenance of process on behalf of fire safety during use processes must take all precautions.

In this thesis study; BYKHY is provided to occur basic information mentioned in the concept of burning and fire. Large underground fires that have occurred in the world, has cause and results. In this context, the Istanbul subway fire scenarios used in, how they are created, and materials used in the station, wagon and was told that benefited from which regulations. Finally, so far rarely been the subject of a thesis in the metro are given information about the studies that have been made about fire safety.

Unwanted fire is a destructive force that causes many thousands of deaths and billions of dollars of property loss each year. People around the world expect that their homes and workplaces will be safe from the ravages of an unwanted fire. Unfortunately, fires can occur in almost any kind of building. The safety of occupants depends on many factors in the design and construction of buildings, including the expectation that certain buildings and parts of buildings will not collapse in a fire or allow the fire spread.

Fire deaths and property losses could be eliminated if all fires were prevented, or if all fires were extinguished at the flame. Fire can be reduce the probability of occurrence, but it is impossible to prevent all major fires. Given that some fires will always occur, there are many strategies for reducing their impact, and some combination of these will generally be used.

Although tunnel fires are not a common case, "Ground the public transportation systems" to be used by the crowded masses, requires special measures in this regard. Turned into a disaster of the many results of the causes of fires occurring in Metro reveals the lack of fire safety precautions need to be taken first. The use of smoking materials, such as flammable and toxic plastic lights, and deficiency of help devices and lack of fire resistant of electrical cables used in railway cars are caused a fire disaster. As in most of the disastrous fire occurred in metro is not the cause of death from fire, carbon monoxide and cyanide gas in the smoke are known to be toxic poisoning.

The first thing to be done is get rid of toxic fumes. The lack of smoke evacuation systems in case of a fire in the subway tunnel is the most important reason that converts the results of the subway fire disaster occurred in the past. Besides, lack of the active safety fire extinguisher tubes, sprinklers and other fighting equipment occurred terrible results.

These results clearly indicate that the lack of precautions cause fire in the world in the past year. Many studies have been done in the world on fire, regulations and arranged a separate regulation was made especially for the subway. Compared with the developed countries, subway tunnel in fire safety we have a long way to cross in our country. There are no regulation in Turkey except building of Fire Protection (BYKHY) and TSE Regulation.

Especially metro transport network of Istanbul Metropolitan Municipality which will spread to every place within the working target of 776 km of metro network will arise due to the underground fire safety and smoke evacuation system should give more importance. For the moment in the subway and other underground structures NFPA and BS (British Standard) was used to as well.

Not only in the subway but also all businesses operating underground fire and smoke evacuation systems security is of the most importance. May 13, 2014 date as a result of the fire that occurred in the coal mine in Soma 301 people dead because of smoke poisoning is the most concrete examples. In this case show that the country has not enough precision about safety.

As a result of the statistics conducted by Istanbul Metropolitan Municipality, there are about 10,000 residential building fires every year. When the fire occurs unclear like earthquake. Therefore, it is necessary to take lots of measures to fire as the measures taken for the earthquake. Fire disaster occurs much more frequently than earthquake. Therefore, the fire regulation must be regulated or produce new fire regulations.

Thesis prepared in accordance with the creation of fire safety awareness in metro consists of five main sections. In the first part made introduction to the topic, studies and dissertations that have been made about fire safety in underground researched the subject deal with in the past development has been demonstrated to date and purpose of the thesis.

General concepts related to the second part, burning and fire is described in detail. In addition, types of fire extinguishing methods, the effects of fire hazards in the fire phase and the human body are discussed in this section. Therefore, the growth rate of fire, high temperature, respiratory distress caused by toxic gases, collapse, electrical and chemical hazard are the other hazards in the fire place.

The third chapter in the context of fire safety in concrete and steel structure structural elements explaining fire safety fire insulation methods are put forward. In this section is mention about the fire resistance of reinforced concrete system including the effects of high-temperature in steel and concrete. In addition, fire resistance of steel structural systems and measures to be taken are also included in this section. These measures are; spray-applied systems, plate systems, prefabricated systems, painting with intumescent paint, fill with concrete and fill with water. So that, the supporting elements can provide resistance to fire.

Fourth section is mentioned about general information about the underground subways and a short history of the subway. In addition, measures should be taken in context of the subway fire safety, ventilation and smoke extraction systems, accounts, scenarios

that have been made as a result of the simulation program in the subway and finally the world were mentioned in a large underground fire occurred. Fire safety measures in the metro are analyzed in three categories; wagons, tunnels and stations. Finally, we focused on large underground fire that occurred in the world in this section. Paris(Couroness), Londra (King's Cross), Baku, Eurochannel (Mans Tunnel) and Korean underground fires are the most important fires in the world. This fire of the reasons given in detail and describe the measures taken afterwards in this part.

The fifth and final section is mentioned about measures to be taken for fire safety in our country. Therefore in our country must have been a new regulations about this issue. As mentioned in the previous section, fire occurs too often and time is not clear. Compared with the earthquake, the incidence of the measures taken are very rare earthquake is much more than measures to fire. This contrasts situation must be resolve and make modifications in the regulations about fire.

Outside America, Canada and other developed european country, there is no measures about fire. Moreover, we need to rise above world standard about fire safety in subway tunnels. We will expect legal arrangements and lots of developments about fire safety in our country.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

“Metrolarda Yangın Güvenliği” başlıklı tez çalışması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalında yapılmıştır.

Bu çalışma ile inşaat mühendisi ve mimarların metroların tasarım ve yapım aşamalarında yangın güvenliği konusunda yapılması gerekenler genel bir çerçevede ele almış olup, belli bir yönetmeliği olmayan metrolar için yangın güvenliği konularında yapılması gerekenler açısından yol gösterici olması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Yangın güvenlik önlemleri adı altında pek çok ulusal ve uluslararası bilimsel çalışma, makale, standart ve yönetmelik bulunmaktadır. Ülkemizde yangınla ilgili ilk taslak İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından yapılmıştır. Bu taslak yurtiçi ve yurtdışında yayınlanmış olan ilgili mevzuatlar ve Türkiye’de yangın güvenliğini ele almış kanun, tüzük ve yönetmelikler incelenerek hazırlanmış olup, geliştirilme aşamasında çeşitli meslek dallarını ve belediye başkanlıklarının görüşleri alınmıştır. Çeşitli meslek dallarına mensup kişilerin birçok tartışma yaparak geliştirmiş olduğu yönetmelik 16 Ocak 1992 yılında son şeklini alarak “İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yangından Korunma Yönetmeliği” isminde yayımlanmış ve ülkemizde yayımlanan ilk yönetmelik olarak yürürlüğe konmuştur.

Bu yönetmelik sadece İstanbul için geçerli olmuş dolayısı ile yetersiz kalmıştır. Ülke genelinde yapılan ilk yönetmelik ise 26.07.2002 yılında 24827 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “ Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik” dir. Bu yönetmeliğin amacı; kamu kurum ve kuruluşları, özel kuruluşlar ve gerçek kişilerce kullanılan her türlü yapı, bina, tesis ve işletmenin, tasarımı, yapımı, işletimi, bakımı ve kullanımı safhalarında çıkabilecek yangınların en aza indirilmesidir. Ayrıca herhangi bir şekilde çıkabilecek yangının can ve mal kaybını en aza indirmek temel amaçlardandır. Bunlara ek olarak yangının söndürülmesini sağlamak üzere, yangın

öncesinde ve sırasında alınacak tedbirlerin, organizasyonun, eğitimin ve denetimin usul ve esaslarını belirlemektir. Bu yönetmeliğin 140.maddesinde; "26.10.1995 tarihli ve 95/7477 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe konulan Kamu Binalarının Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik yürürlükten kaldırılmıştır. Belediyeler tarafından çıkarılmış bütün yangından korunma yönetmelikleri ve talimatları yürürlükten kaldırılmıştır." maddesi yer almaktadır. Böylece 27.11.2007 tarihinde Bakanlar Kurulunca uygulamaya konulması kararlaştırılan, 19 Aralık 2007 tarihli ve 26735 sayılı resmi gazetede yayımlanan yeni yönetmelik yürürlüğe konmuştur. Bu yönetmelikteki eksiklik ve yanlışlıklar ise Bayındırlık ve İskân Bakanlığının 08.07.2009 tarihli ve 2313 sayılı yazısı üzerine, 7126 sayılı Sivil Savunma Kanununun ek 9 uncu maddesine göre, Bakanlar Kurulu'nca 10.08.2009 15316 tarihinde değiştirilerek yönetmeliğin son hali oluşturulmuştur.

Gelişmiş ülkelerdeki mevzuatlara bakıldığında, Amerika'da NFPA (National Fire Protection Association- Ulusal Yangından Korunma Derneği), İngiltere'de BS(British Standards- İngiliz Standartları) ve BR (Building Regulation- Bina Yönetmeliği), Avrupa Birliği ülkelerinde ise EN (European Standards- Avrupa Normları) uygulanmaktadır. Ülkemizde ise 2007 yılında yürürlüğe giren BYKHY (Binalarının Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik) ve TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından yayımlanan ve çoğunlukla NFPA ve EN' lerden çeviri yapılarak hazırlanan standartlar kullanılmaktadır.

2. YANGIN VE YANMA İLE İLGİLİ GENEL KAVRAMLAR

2.1 Yanma

Yanma; yanıcı maddenin ısı yardımı ile oksijenle birleşmesi sonucu ortaya çıkan kimyasal olay olarak tanımlanır. Yanma olayının meydana gelmesi için yanıcı madde, ısı ve oksijenin bir arada ve yeterli şekilde bulunması gerekir. Bu üç bileşenin bir araya gelmesi ile yangın üçgeni oluşur.



Şekil 2.1: Yangın üçgeni.

Bu bileşenlerden herhangi biri bulunmadığı ya da yetersiz bulunması halinde yanma olayı meydana gelmez. Oksijen kokusuz, tatsız ve renksiz bir gazdır. Herhangi bir şey havada yandığı zaman oksijen ile birleşmektedir. Yanma sınırlı bölgede ilerlerken, atmosferdeki oksijen ise yavaş yavaş tükenir. Bu durum; yangına maruz kalanlar ve yangına müdahale edenler için ciddi tehlike oluşturmaktadır [1].

Enerjinin ısı şeklinde dışarı çıktığı bu reaksiyon yavaş ya da hızlı gelişebilir. Yavaş reaksiyon olarak oksidasyon yani metalde paslanma örnek verilebilir. Bu reaksiyon çok yavaş gerçekleştiği için insanlar tarafından hissedilmez. Fakat yanma reaksiyonunda ısı üretimi çok hızlı olarak gerçekleştiğinden büyük sıcaklık artışları ve ışık oluşumu meydana gelir.

2.1.1 Yanıcı maddeler

Yanıcı diye adlandırılan maddeler, ısı karşısında yanıcı buhar veya gaz yada sıvı çıkartabilen kolaylıkla korlaşabilen maddelerdir. Yanıcı maddelerin çoğunun

birleşiminde Karbon, Hidrojen, Kükürt, Fosfor vardır. Yanıcı maddeler katı, sıvı ve gaz olmak üzere doğada üç halde bulunurlar.

Katı Yanıcı maddeler: Bu maddeler genel olarak ısıнын etkisi ile yanıcı buhar ve gaz çıkartmakta ve oksijenle birleştiklerinde yanma olayı gerçekleşmektedir. Bu grupta bazı yanıcı maddeler önce eriyerek sıvı hale gelir ve daha sonra buhar haline gelerek yanarlar. (Parafin, mum, katı yağlar.) Bazıları ise doğrudan buhar haline geçerek yanarlar (Naftalin) .

Sıvı Yanıcı maddeler: Bu tip yanıcı maddeler genelde buharlaştıktan sonra yanarlar. Bunların çoğu normal hava ısısında buharlaşırlar. (Benzin, tiner). Sıvı yanıcı maddelerin çıkarmış oldukları buharların çoğu havadan ağırdır.

Gaz Yanıcı Maddeler: Diğer yanıcı maddelere nazaran daha kolay ve daha hızlı yanarlar. Oksijenle temasa getirilmeleri belirli oranlarda olmalıdır. Alt patlama sınırı kadar biriktiklerinde en küçük bir ısı kaynağı ile patlama meydana gelir.

Yanıcı madde örnekleri tablosu;

Çizelge 2.1: Yanıcı madde örnekleri.

KATI	Kömür	Ahşap	Kağıt	Plastik	Tekstil
SIVI	Benzin	Mazot	Alkol	Boya	Gazyağı
GAZ	Propan	Hidrojen	Doğalgaz	Bütan	Asetilen

2.1.2 Yanmanın Çeşitleri

Yanma; yavaş yanma, hızlı yanma, parlama- patlama şeklinde yanma ve kendi kendine yanma olmak üzere dört çeşittir.

2.1.2.1 Yavaş yanma

Yavaş Oksidasyon (Oksitlenme): Yavaş yanma yanıcı maddenin yanıcı buhar veya gaz meydana getiremediği durumda, yeterli ısıнын olmaması veya yeterli oksijen olmaması durumunda meydana gelmektedir. Demir (F), bakır (Cu) gibi metallerin havadaki oksijen ve hava ısısı ile oksitlenmesi ve hücre solunumu olayı da yavaş yanma olayına örnektir.

Oksidasyon yanma tarifinin içine girmez ama yavaş oksidasyon zamanla hızlı oksidasyona dönüşebilir. Örneğin, bezir yağına bulaştırılmış bir bez parçası, normal şartlar altında kolaylıkla oksitlenebilir ve bu oksitlenme sırasında açığa çıkan ısı ile

sıcaklığı tutuşma derecesine kadar zamanla yükselerek kendiliğinden alevlenme meydana getirebilir.

2.1.2.2 Hızlı yanma

Yanmanın bütün belirtilerinin olduğu alev, ısı, ışık ve korlaşmanın olduğu olaydır. Yandıklarında doğrudan doğruya yanabilen gazlar çıkarırlar. Meydana gelen bu yanıcı buhar veya gazlar oksijenle birleşirken alev meydana gelir.

2.1.2.3 Parlama patlama şeklinde yanma

Parlama kolayca ateş alan maddelerde görülen bir olaydır. (Benzin) Patlama ise; tamamen bir yanma olayıdır. Burada önemli olan husus maddenin tamamının bir anda yanmasıdır. Burada maddenin cinsi, birleşimi, şekli, büyüklüğü ve nihai oksijen oranının rolü büyüktür. Patlamada; yanan madde bir anda parlayarak çeşitli gazlar haline gelmekte ve son derece büyük bir hacim genişlemesine uğrayarak etrafını zorlamakta ve patlamalar olmaktadır.

2.1.2.4 Kendi kendine yanma

Yavaş yanmanın zamanla hızlı yanmaya dönüşmesi olayıdır. Özellikle bitkisel kökenli yağlı maddeler normal hava ısısı ve oksijeni içinde kolaylıkla oksitlenmekte, bu oksitlenme sırasında ise gittikçe artan bir ısı çıkmaktadır. Zamanla doğru orantılı olarak artan bu ısı, bir süre sonra alevlenmeye yetecek dereceyi bularak maddenin kendiliğinden tutuşmasına neden olmaktadır.

2.1.3 Yanma ürünleri

2.1.3.1 Isı

Yangınlarda meydana gelen ölümlerin çoğu duman içerisinde bulunan zehirli gazlardan ve yangın esnasında oluşan yüksek harareten (ısı enerjisinin sonucu olarak) meydana gelmektedir [2].

Ani parlama ve patlamalar haricinde direk olarak yanarak hayatını kaybeden vakalarla nadiren karşılaşmaktadır.

2.1.3.2 Işık

Serbestçe yanan maddelerde alev normal olarak vardır. İnsan vücudunda 1., 2. ve 3. derecede yanıklara neden olur. İnsanların alevden etkilenmesi aleve olan uzaklığına bağlıdır. Yanığın derecesi, yeri ve büyüklüğü önemlidir.

2.1.3.3 Duman

Tamamlanmamış bir yanma olayında açığa çıkan karbon ve katran taneciklerinin havada oluşturduğu bulut kütesidir. Karbonmonoksit, karbondioksit, kükürt ve azotoksitler ile su buharından oluşur.

2.1.3.4 Yangın gazları

Karbonmonoksit (CO), kükürt dioksit(SO₂), kükürtlü Hidrojen(H₂S), Amonyak(NH₃), Hidrojen Siyanür(HCN) ve Akralin (Akrilik Aldehit) (C₃H₄O) gibi gazlar yangın esnasında ortaya çıkmaktadır. Bu gazların insan sağlığına etkileri 2.2.4.1 bölümünde ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

2.2 Yangın

Katı, sıvı veya gaz halindeki yanıcı maddelerin kontrol dışı yanma olayıdır.

2.2.1 Yangın söndürücü maddeler

Su, köpük, kuru kimyevi tozlar, BC tozları(Sodyum Bikarbonat, Potasyum Bikarbonat ve Potasyum Klorür), ABC tozu, D Tipi Yangın Söndürme Tozları, Karbondioksit (CO₂), Halon Alternatifi Söndürücüler yangın söndürücü maddeler olarak kullanılmaktadır.

Su

Günümüzde en çok kullanılan söndürme maddesi olarak görülmektedir. Özel söndürme maddelerinin çok çeşitli olmasına rağmen su her zaman ana söndürme maddesi olarak kalacaktır.

Çünkü oluşan yangınların % 90 ı A türü (katı) yangınlardır.

Suyun söndürme etkisi yangının merkezindeki ısıyı ortadan kaldırarak yani soğutarak gerçekleşir.

Suyun avantajları;

- Su, yangın söndürme maddelerinin en ucuz olanıdır.
- Su, zehirleyici olmayan, kimyasal olarak nötr bir maddedir.
- Su, ahşap, tekstil, kâğıt vs. yangınlarında etkili bir söndürme maddesidir.
- Su, viskozitesi düşük olduğundan çok akıcıdır. Bu özelliği dolayısıyla büyük uzaklıklara kolaylıkla atılabilir.
- Su, genelde kentlerde, sanayi bölgelerinde yeterli miktarlarda bulunur.

Köpük

Basınçlı su + deterjan + hava karışımından mekanik olarak elde edilen, yağ veya sudan daha düşük yoğunlukta, düşey veya yatay yüzeylere yapışabilen, yanan sıvının üzerinde bir örtü meydana getirerek havanın içeri girmesini, bu özelliklerini uzun süre devam ettiren, küçük kabarcıklardan meydana gelen kararlı bir kütledir.

Köpük; Sıvı madde yangınlarının en ideal söndürme maddesidir.

Suya katılması gereken köpük yoğunluğunun % olarak oranına karışım oranı denir. Bu oran genellikle % 1 - % 6 arasında değişmektedir [2].

Yanan bir sıvıya köpük uygulandığında; Köpük yanıcıyı kaplar, bastırır, ayırır ve soğutur.

Kuru kimyevi tozlar

Kuru kimyevi tozlar ABC, BC, D tozu olarak üç sınıfa ayrılırlar. ABC Tozu: A (katı), B (sıvı), C (gaz) yangınlarında etkilidir. Yüzeysel kor yangınları ile alevli yangınları kolayca söndürür. Mono amonyum fosfat (MAP) veya amonyum sülfat içeriklidir. ABC tozu katı madde yüzeyinde eriyerek tabaka oluşturur. Ayırma etkisi ile kısmen boğma ve soğutma, en önemli olarak engelleme etkisini gerçekleştirir. Sıvı yangınlarında yangın sönene kadar toz bulutu devam etmeli, katı yangınlarında kontrollü olarak kesikli şekilde işlenmelidir. ABC tozu TS EN 615 standardına uygun olmalıdır.

Kuru kimyevi tozun avantajları;

- ABC tozu çok maksatlı olarak kullanılabilir.
- Büyük sıvı yangınlarında dahi kuru toz ani söndürme etkisi oluşturur.
- Köpükle unlaşan kuru tozlar köpükle müşterek olarak kullanılabilir.
- Kuru toz söndürücüleri - 50 °C ile + 60 °C arasında kullanılabilir.
- Kuru toz genelde sağlığa zarar vermez.

- NaHCO₃ temelli kuru tozlar asitlerin nötrleşmesinde kullanılabilir.

Kuru kimyevi tozun dezavantajları;

- Kuru toz kullanımı özellikle kapalı yerlerde toz ve kirlenmeye sebep olur.
- Kuru toz bulutu yanıcı tozları havalandırabilir.
- Kuru toz seyyar söndürücülerde yalnız kısıtlı miktarlarda bulunur.
- Kuru toz müdahalesinde geri ateşleme dikkate alınmalıdır.

Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksitli yangın söndürücüler B ve C sınıfı yangınlarda daha uygundur.

Karbondioksit, gaz veya çok katı parçacıklar halinde iken (kuru buz) elektriği iletmez. Bu yüzden elektrik akımı bulunan yangınlarda kullanılabilirler.

Yüksek gerilim hatlarında küplerin üzerinde belirtilen voltajlara kadar yangın ile aradaki mesafeyi göz önünde bulundurarak müdahale edilmelidir.

Karbondioksit yangın söndürme işleminden sonra herhangi bir artık bırakmaz. Ortamdan gazlaşarak uzaklaşır. Böylece elektrik ve elektronik devrelerin temizlenmesi daha kolay olur [2].

Halon Alternatifi Söndürücüler

Yangın söndürücü olarak kullanılan halon alternatifi halojenli hidrokarbonlar, flor, klor veya brom elementlerinin birini veya birkaçını ihtiva eden, bir veya birkaç organik bileşiğin ana bileşen olarak kullanıldığı elektrik iletkenliği olmayan, kapalı mekânlarda yangın mahallindeki hacmin tamamen doldurulması sureti ile yangını söndüren gazlardır.

Çizelge 2.2: Söndürme maddelerinin yangın türlerine göre kullanım şeması.

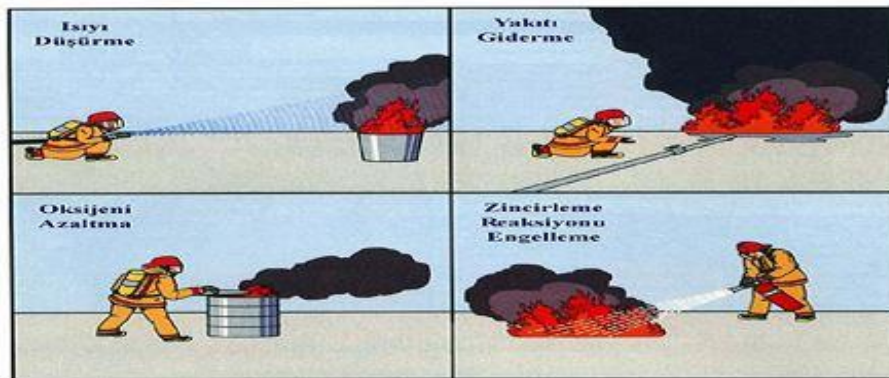
SÖNDÜRME MADDESİ	A	B	C	D	E
Su	X	--	--	--	--
Köpük	X	X	--	--	--
ABC Tozu	X	X	X	--	--
BC Tozu	--	X	X	--	X
CO ₂	--	X	X	--	X
Halon ve Alternatifleri	--	X	X	--	--
D Tozu	--	--	--	X	--

2.2.2 Yangın söndürme yöntemleri

Yanma olayını duraklatıp durdurma işlemine söndürme denir. Söndürme yangın üçgeninin bozulmasıdır. Yanmayı meydana getiren unsurlardan en az bir tanesi saf dışı edilerek söndürme gerçekleştirilir.

Söndürme Yöntemleri;

- Soğutma: Maddeden ısı alınarak, sıcaklığını tutuşma derecesinin altına düşürmektir. Örneğin yünün tutuşma sıcaklığı 600 °C dır. Yanmakta olan yün 550 °C ye soğutulduğunda sönmektedir [2].
- Boğma: Oksijen yoğunluğunu yanma için gerekli oranın altına indirmektir. Oksijenin sıfırlanması gerekmez. Oksijen oranı % 16 nın altına indiğinde yangın sönmektedir [2].
- Yakıtı Giderme: Bazı durumlarda, yakıt kaynağını ortadan kaldırarak yangın etkin şekilde söndürülür. Yakıt kaynağını yok etmek için sıvı ya da gaz akışı durdurulur. Orman yangınlarındaki karşı ateş metodu bu yöntemle dayanır. Ya da yanıcı maddenin yüzeyi kaplanarak yanıcı buhar çıkışı engellenir. ABC tozu eriyerek katının gözeneklerini örter ve yanıcı gaz çıkışını engeller. Köpük boğma ve soğutmanın yanı sıra sıvı üzerinde su filmi oluşturarak yanıcı gazların buharlaşmasını engeller. Dolayısıyla yangın devam edemez.
- Zincirleme Reaksiyonu Durdurarak: KKT (kuru kimyevi toz) ve halojenli hidrokarbonlar gibi bazı söndürme maddeleri yanıcı madde ile ısı üretmeyen reaksiyonlar meydana getirerek, alev üreten kimyasal reaksiyonu keserler, alevlenmeyi durdururlar. Halon gazı uygulandığında halojenlerle reaksiyon oluşur ve oksidasyon ani olarak durur [2].



Şekil 2.2: Yangın söndürme yöntemleri.

2.2.3 Yangının çeşitleri ve sınıflandırılması

Yangınları çeşitli gruplar altında toplamak için yapılan çalışmalar neticesinde en uygun ayırım yanıcı madde cinslerine göre yapılmıştır. Bu sınıflama aşağıda belirtildiği gibi dört ana grupta belirlenmiştir.

A Tipi Yangınlar

Organik kökenli olup yanıcı basit katı maddelerin yanması sonucu kül bırakan maddelerin oluşturduğu yangınlardır. Kömür, ağaç, selüloz, kâğıt, ot, kauçuk, plastik, tekstil ürünleri, vs. maddelerin oluşturduğu yangınlardır. Bu tip A sınıfı yangınlar, soğutucu etki yaratan maddeler ile söndürülmektedir. Temel söndürme maddesi sudur. Kor bütün A sınıfı yangınlarda ısı vericidir. Bu yangınlara müdahale daha kolaydır. Yanan yüzeyin söndürücü madde ile kaplanması ve oksijenle ilişkisinin kesilmesi yeterli olabilir. Yangınların bazılarında kalan atık pamuk ve kömürde olduğu gibi içten yanmada olabilir. Bu tür yangınların söndürülmesinde en etkili ve en çok kullanılan söndürücü sudur. Bununla birlikte yangının özelliğine göre soğutma etkisi yanında yüzeyi saracak oksitleyici ortamla ilişkiyi kesmek oksijen konsantrasyonunu düşürmek ve zincir reaksiyonlarını kırmak şeklinde etki eden söndürücüler kullanılmaktadır.

B Tipi Yangınlar (Akaryakıt Yangınları)

Sıvı yanıcı maddelerin (akaryakıt) oluşturduğu yangınlardır. Temel özellikleri korsuz, alevli yanmalarıdır. Benzin, benzol, mazot, fuel-oil, madeni yağlar, vernik, boya, tiner, alkol, parafin, aseton, asfalt, tutkal vs. maddelerin yanması sonucu olurlar. B sınıfı yangınlar, oksijen ile yanan maddenin teması kesilerek (boğmak) söndürülür. Temel söndürme maddesi köpük ve BC tipi Kuru Kimyevi Tozdur.

Sıvı yanıcı maddeleri üç sınıfa ayırmak mümkündür.

Su ile karışmayan sıvı yakıtlar petrol, benzin, yağlar, boyalar vb. Bunların özgül kütleleri sudan hafif olduğu için devamlı suyun üstüne çıkarlar ve yanmaları suyun üzerindedir. Bu tür yangınlarda zincirleme reaksiyonların kırılması ve yüzeyin oksitleyici ortamla ilişkisinin kesilmesi ya da seyreltme önemlidir.

Ağır Yağlar katran, asfalt, gres gibi ağır yağların sebep olduğu yangınları içerir. Bunlarda da soğutma, boğma ve zincir reaksiyonlarının kırılması yönünde etkili söndürücüler kullanılır.

Su ile karışabilen sıvı yakıtlardır, alkoller gibi. Bunların sebep olduğu yangınları içerir. Bunlarda da soğutma, boğma, yoğunluğunu düşürme, zincir reaksiyonları kırmak için etkili söndürücüler kullanılır. Sıvı yangınlar için en ideal söndürücü köpüktür. Fakat başlangıç ve küçük çaplı yangınlarda CO₂ ve yangın söndürücü tüpler kullanılabilir

C Tipi Yangınlar (Gaz Yangınları)

Yanıcı gaz ve basınç altında sıvılaştırılmış gaz halindeki maddelerin oluşturduğu yangınlardır. Temel özellikleri patlamadır. Metan, hidrojen, asetilen, LPG, propan doğal gaz, vs. maddelerin yanması sonucu oluşur. C sınıfı yangınlar, genel kural olarak, yangın kaynağı kesilerek ve boğma işlemi yapılarak söndürülür. Temel söndürme maddesi BC tipi Kuru Kimyevi tozudur.

D Tipi Yangınlar (Metal Yangınları)

Hafif metallerin oluşturdukları yangınlarıdır. Temel özellikleri korlu, alevsiz ve yüksek sıcaklıkta yanmalarıdır. Titanyum, uranyum, fosfor, sodyum, potasyum, alüminyum, magnezyum vs. maddelerin yanması sonucu oluşurlar. Temel söndürme prensibi boğmadır. D sınıfı yangınlar, özel amaçla üretilmiş kuru tozlu yangın söndürücülerle söndürülür. D tozu bulunamadığında kuru kum ile örtülerek söndürülür. Su kesinlikle kullanılmamalıdır. D türü yanıcı maddelerin toz hali daha tehlikelidir. Yanıcı metal tozlarının hava ile uygun karışımları tutuşma sıcaklığını yakaladığında güçlü patlamalara yol açabilir. D sınıfı yangınlar için genel bir söndürme maddesi yoktur. Yanıcı metallerin her biri ile ilgili yangını kontrol edebilecek özel söndürücüler vardır ve bunların işaretini taşır. Bu söndürücü maddeler yanan metali örtmeye ve yangını boğmaya yarar.

2.2.4 Yangının insan vücuduna etklileri

2.2.4.1 Duman etkisi

Taşıyıcı sistemde kullanılan yapı malzemeleri sağlam inşaat malzemelerinden yapılmış olduğundan, yanan bir binada, nadiren çok az insan çökme veya direkt yangın nedeniyle ölmekte ya da yaralanmaktadır. Ölüm ve yaralanmaların esas nedeni, yangından yayılan son derece zehirli gazlar olmaktadır. İstatistiki çalışmalarda; ölümlerin % 90'ından fazlasına zehirli dumanın neden olduğu görülmüştür[3].

Oksijen kokusuz, tatsız ve renksiz bir gazdır. Herhangi bir şey havada yandığı zaman oksijen ile birleşmektedir. Yanma sınırlı bölgede ilerlerken, atmosferdeki oksijen ise yavaş yavaş tükenir. Bu durum; yangına maruz kalanlar ve yangına müdahale edenler için ciddi tehlike oluşturmaktadır [1].

Çizelge 2.3: Havadaki oksijene bağlı belirtiler

Yanma sırasında havadaki oksijenin yüzdelik oranı	Yanma sırasındaki oksijen azalmasının zehirlilik belirtisi ve bulguları
20 (veya yukarısı)	Normal
12-15	Kas hareketlerinin koordinasyonunun azalması
10-14	Bilinçlilik devam eder, fakat aşırı bitkinlik vardır.
6-8	Baygınlık meydana gelebilir, fakat hızlı bir tedavi ile öldürtücü sonuç önlenabilir
6 (veya aşağısı)	6 veya 8 dakika içerisinde ölüm gerçekleşir.

Zehirlenme çoğunlukla solunum, nadiren de deriden soğurma yoluyla olur. Dumandaki karbon monoksit, kükürt dioksit, kükürtlü hidrojen, amonyak, hidrojen siyanür ve akralin gibi toksik maddelerin solunum yolu ile (inhalasyonu) en sık görülen zehirlenme nedenidir.

Karbonmonoksit (CO):

Karbonmonoksit renksiz ve kokusuz bir gazdır. Kimyasal boğucu bir etkisi vardır. Karbonmonoksit gazı karbon, hidrojen ve oksijen ihtiva eden organik maddelerin eksik yanması sonucu meydana gelmektedir.

Kanda bulunan hemoglobin moleküllerine bağlanma isteği oksijenden 200-300 kat daha fazladır, bu yüzden hemoglobinden oksijeni uzaklaştırarak dokuları oksijensiz bırakır (doku hipoksisi). Ayrıca, kas güçsüzlüğü ve halsizliğe sebep olur. Çok tehlikeli olan bu etki sonucunda şahıs zehirlendiğinin farkında olsa bile, bu ortamdan kendini uzaklaştıracak gücü bulamaz. Yangınlar, bacasız sobalar, mangal, ocak, kömür sobaları, banyo ve mutfakta kullanılan gazların yersiz yanımları veya baca sistemlerinin olmaması ya da baca tıkanıklıkları sonucu sık sık CO zehirlenmesi karşımıza çıkmaktadır. Havada 5000’de 1 oranında CO bulunduğunda 5-6 saatte ölüm

meydana gelmekteyken, 500'de 1 oranında CO bulunduğunda birkaç dakikada ölüm meydana gelmektedir. Kanda CO ile doymuş hemoglobin düzeyine göre farklı klinik evreler oluşur. % 10 düzeyinde CO ile doymuş hemoglobin varsa, baş ağrısı, baş dönmesi, kulak çınlaması gibi belirtiler çıkar. CO düzeyi arttıkça kusma, bulantı, uykuya meyil ve takatsizlik gelişir. Kan düzeyi % 50'yi bulduğunda artık bilinç kaybı ve koma meydana gelir. CO düzeyi, % 60-75'e ulaştıktan sonra çoğunlukla ölüm meydana gelmekte, bu düzeyde iken kurtarılan kişilerde ciddi nörolojik arızalar kalmaktadır. Çocuklarda, yaşlılarda, akciğer ve kalp hastalığı olanlarda ve anemiklerde CO'nin öldürücü düzeyi, %25-30'lara kadar düşebilmektedir [4].

Kükürtdioksit (SO₂):

Yanmaz, zehirli ve tahriş edici bir gazdır. Yoğunluğu 2.364'tür. Kuvvetli sülfür kokusu olduğundan solunmamalıdır. Bronşitlerden başlayıp akciğerlere yayılan iltihaplanmaya ve çabuk ölüme neden olabilmektedir.

Kükürtlü Hidrojen (H₂S): Karbonmonoksitten daha zehirli bir gazdır. Havadan daha ağırdır. Karakteristik tanınması çürük yumurta kokusu ile olur. Konsantrasyonu 0.04-0.07 iken baş ağrısı, solunum rahatsızlıkları ile konsantrasyonlarda merkezi sinir sistemini etkileyerek felce neden olur.

Amonyak (NH₃):

Yanıcı, renksiz, çok keskin kokulu, zehirli, havadan hafif olan bir gazdır. % 15-26 oranında havada yanmakta ve burun, boğaz tahrişleri yapmaktadır. Suyu eğilimi fazla olduğundan amonyak buharları su spreyi ile atmosferden emilir.

Hidrojen Siyanür(HCN):

Çok zehirli, yanabilen ve havadan hafif olan bir gazdır. Yanabilme oranı havada %5 ile 40 dır. % 0.3 konsantrasyonu öldürücüdür.

Akralin (Akrilik Aldehit) (C₃H₄O): Petrol ürünlerinin yanması sırasında çıkan zehirli gazdır. Havadan ağır olup yanabilme sınırı havada % 2,8-31 dir. Bir milyonda on konsantrasyonda öldürücü olabilir [4].

2.2.4.2 Yanma etkisi

Her ne şekilde olursa olsun, 44 °C'nin üstündeki ısı, insan vücudunda çeşitli derecelerde yanıklar meydana getirir. Yanık lezyonun ağırlığı, uygulanan sıcaklığın

derecesine ve uygulama süresine bağlıdır. 33° C' deki ısı ile 5 saatlik bir temas hasara neden olurken, 60 °C' lik ısı ile 3 saniyelik bir temas hasar oluşturmaktadır. Yanıklar, ağırlık derecesine göre 4 aşamada gösterilmektedir:

1.Derece (Yüzeysel) Yanıklar: Derinin en üst tabakasında yanma meydana gelen yanıklardır. Örnek olarak güneş yanığı verilebilir.

2.Derece Yanıklar: Derinin alt tabakasında meydana gelen yanıklardır. Nemli ve kızarıklık görünümündedirler. Genellikle tamamen iyileşirler.

3.Derece Yanıklar: Derinin en alt tabakasında yanma meydana gelen yanıklardır. Başlangıçta kuru, beyaz, kösele görünümündedirler. Daha sonra rengi kahverengi veya siyahlaşır. Şekil ve fonksiyon bozuklukları meydana getirirler. Ter bezleri, kıl dipleri, sinirler tamamen harap olmaktadır. Ağrı hissedilmez ve kalıcı izler bırakırlar.

4. Derece Yanıklar: Kömürleşme olarak da adlandırılır. Tüm deri ve deri altı dokusunun yanı sıra adaleler de harap olmaktadır. Hatta kemikler bile yanmıştır. Yanan uzuvlar gövdeye doğru çekilir, vücut su kaybeder ve % 60'ına kadar kilo kaybına uğrar. Erişkinlerde en az 2. dereceden olmak kaydıyla vücudun % 30'undan fazlasını kaplayan yanıklar hayati tehlike oluştururken, yeni doğan bebeklerde ile küçük yaştaki çocuklarda bu oran % 10 olmaktadır [4].

2.2.5 Yangın yerindeki tehlikeler

Yangın yerinde canlıları ve itfaiyecileri tehdit eden çok çeşitli ve büyük tehlikeler oluşur. Yangını birincil afet yapan ve itfaiyeciliği en riskli ve stresli meslek haline getiren bu tehlikelerdir. Yangın yerindeki tehlikeleri dokuz başlık altında inceleyebiliriz.

2.2.5.1 Yangının büyüme hızı

Yangın geometrik olarak büyür. Başlangıcında bir bardak su ile söndürülebilecek bir yangın, ikinci dakikada bir kova su ile üçüncü dakikada bir fıçı su ile ancak söndürülebilir. Buna karşılık itfaiyeci de çok hızlı olmak zorundadır. İtfaiyeci, meşguliyeti ne olursa olsun ihbardan bir dakika sonra hareket eden aracın içinde olmalı, dünya standartlarına göre en geç beş dakika sonra yangın yerine varmış ve hortum sermiş olmalıdır. Yangın yerinde de ani ve isabetli kararlar alabilecek ve çok seri hareket etmelidir.

Yangın için alınan bütün güvenlik önlemleri sürekli kontrol edilmeli ve her an kullanıma hazır tutulmalıdır. Yangın çıkışları ve merdivenleri her zaman açık olmalıdır. Hortumlar takılı ve kullanıma hazır, sulu sistemde her an basınçlı suyu mevcut ve bakımlı olmalıdır. Yangın söndürme tüpleri dirsek hizasına ve kaçış yolları üzerine, kolayca alınabilecek şekilde asılmalı, arabalarda hemen torpido altına takılmalıdır. Yangın yerinde saniyelerle yarışıldığı hiçbir zaman unutulmamalıdır.

İtfaiye araçlarının birinci derecede geçiş üstünlüğüne sahip olmasının en önemli nedeni budur. Diğer araçlar itfaiye araçlarına hemen yol vermeli, itfaiye araçlarının geçişini zorlaştıracak şekilde araç park edilmemelidir.

2.2.5.2 Yüksek sıcaklık tehlikesi

Yangın yerinde sıcaklık çok hızlı bir şekilde yükselir. Sıcaklık 5 dakika sonra 555 °C, 10 dakika sonra 660 °C, 15 dakika sonra 720 °C, yarım saat sonra 820 °C olmakta, bir saat sonra 927 °C' a yükselmektedir. Görüldüğü gibi en büyük sıcaklık artışı ilk beş dakikada olmaktadır. Bunun için yangınlarda ilk dakikalar hatta saniyeler çok önemlidir [5].

Yüksek sıcaklık ve alev insan vücudunda onarılmaz yaralar açmaktadır. Derinin yanması ile derinin altında bulunan ter bezleri tahrip olur. Vücutta bulunan toksin maddeler ter bezleri yoluyla dışarı atılmazsa kan zehirlenmesi yapar ve hayat sona erer.

Yüksek sıcaklık dolayısıyla

- 1- Proteinler pıhtılaşmaya başlar,
- 2- Kan basıncının artmasıyla hayati organlarda iç kanamalar oluşabilir,
- 3- Kalbin ritmik temposu bozulur. Aşırı su kaybı, solunum sıkışması ve zorluğu meydana gelir. Bunların sonucu yine ölümdür.

İnsan vücudu ve solunum sistemleri 65 °C sıcaklığa sınırlı bir süre, 120 °C sıcaklığa 15 dakika, 143 °C sıcaklığa 5 dakika, 177 °C sıcaklığa ise 1 dakika dayanabilir [5].

Isının ışıınımı olan alev, insan vücudunda 1., 2., ve 3. derece yanıklara sebep olur. Isı kaynağı ve alevle olan mesafe ve muhatap olma süresi önemli etkindir. Yanığın yeri, büyüklüğü ve derinliği de önemlidir.

Yangın yerinde oluşan yüksek sıcaklık ve alev tehlikesine karşı yanmaya dayanıklı elbise, başlık ve eldiven giyilmelidir. Ayrıca hava tüplü solunum cihazı ve maskesi; yüz, göz yanıklarına ve iç yanığa karşı son derece önemli koruyucu görev yapmaktadır.

2.2.5.3 Yangın bileşenlerinin yangının yayılmasına etkileri

Yangın bileşenleri olan yanıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı, oksijen veya havanın oranı, hava büyüklüğü, rüzgarın olup olmayışı ve ısı transferi gibi faktörler yangının yayılmasını etkilemektedirler.

Yanıcı Madde

Yanıcı maddenin cinsine bağlı olarak; alevlenme kabiliyeti, tutuşma sıcaklığı, nem oranı, yüzey kütle oranı, ısı değeri gibi karakteristik özellikleri yangının büyümesini ve yayılmasını etkileyen faktörlerdir.

Yanıcı maddenin miktarına bağlı olarak; yangın potansiyeli, yangın yükü ve yangın yükü indeksi gibi parametreler; yanıcı maddenin dağılımı ile alakalı olarak; imar sıklığı, yangın bölmeleri, yangına karşı bırakılacak boşluk gibi faktörler yayılmayı etkilemektedirler.

Oksijen veya hava

Beşte biri oksijen olan hava, yangının büyümesini ve yayılmasını etkileyen en önemli faktördür.

Yangın yerindeki hava büyüklüğü, tabii rüzgâr ve şiddetli rüzgâr varlığı, oksijen üreten kimyasal reaksiyonların olması, yanıcı madde - oksijen oranı gibi faktörler etkindir.

Oksijenin oranı yükseldikçe yanma hızı ve ısı artar. Birine normal hava diğerine saf oksijen verilen iki odun yığını karşılaştırılırsa yanma hızının ve yanma ısısının değiştiğini görebiliriz. Rüzgâr belirli bir zaman biriminde ateşe daha fazla oksijen verdiğinden körükleyici etki yapar. Şiddetli rüzgârla yayılan yangınlar çok zor kontrol altına alınabilir. Yangının yayılmasında yangın odasının büyüklüğü de önem taşır. Oda büyüdükçe oksijen oranı da artar. Büyük odalarda (bodrum yangını-tiyatroda sahne yangını) yangın daha çabuk yayılır.

Isı transferi

Ekzotermik bir kimyasal reaksiyon olan yangın, sürekli ısı üretmekte ve zincirleme şekilde bitişikteki maddeleri tutuşma sıcaklığına ulaştırarak büyümekte ve

yayılmaktadır. Bu herkes tarafından kolayca anlaşılmaktadır. Ayrıca bitişik olmayan maddelerin tutuşma sıcaklığına ulaşarak yanmaya başlaması söz konusudur ki bu ancak tecrübeli itfaiyecilerce veya ısı transferi bilgisi ile anlaşılır.

İletimle Isı Transferinde arada iletken vardır. Örneğin kötü bir iletken olan "beton duvar" yangın odasındaki ısıyı diğer odaya iletir. Duvarın diğer tarafındaki duvar kâğıdı, yaslanmış dolap, sandalye gibi yanıcı maddeler tutuşma sıcaklığına ısınır ve yanar. İtfaiyeci bunu bildiği için henüz hiçbir yanma belirtisi olmayan duvara su sıkarak soğutma yapar.

Taşınım ile Isı Transferinde arada gaz ya da sıvı akışkan vardır. Mesela yangın ürünü olan kızgın duman, baca etkisi ile yükselerek üst katlara ısı aktarmakta ve yangını taşımaktadır. Bu durumda akışkan tahliyesi (ventilasyon) gerekir.

Işınım ile Isı Transferinde arada iletken veya akışkan olmadığı halde güneş örneğinde olduğu gibi ısı ışın olarak yayılmakta ve karşısındaki maddeyi tutuşma sıcaklığına yükseltmektedir. Işınım bütün istikametlere doğru, mesafenin karesiyle ters orantılı olarak yayılır.

Rüzgâr ters yönden esse dahi yangın, ısı ile etraftaki binalara ısı aktarır. Bu durumda etraftaki binaları soğutmak gerekir.

2.2.5.4 Yangın safhalarındaki tehlikeler

Yangının başlangıç, gelişme ve sonuç safhalarında ayrı ayrı davranış biçimleri ve tehlikeler oluşmaktadır.

Başlangıç safhasında alev dili tehlikesi (Flame-over)

Başlangıç safhasında oksijen yeterli ama ısı yetersiz olduğundan tam yanma olmamaktadır. Yarım yanmış gazlar sıcaklıklarından dolayı yükselip dolaşırken, uygun oksijen + sıcaklık oranını buldukları yerde kısa süreli olarak alev dili şeklinde yanmaktadır(Flame-over). Başlangıç evresinde itfaiyecilerin müdahale ederken eğilerek çalışmaları gerekmektedir çünkü yukarılarda her an bir alev dili şeklinde yanabilecek yarım yanmış gazlardan oluşan duman dolaşmaktadır. Böyle durumlarda da hava tüplü solunum cihazı koruyucu görev yapmaktadır.

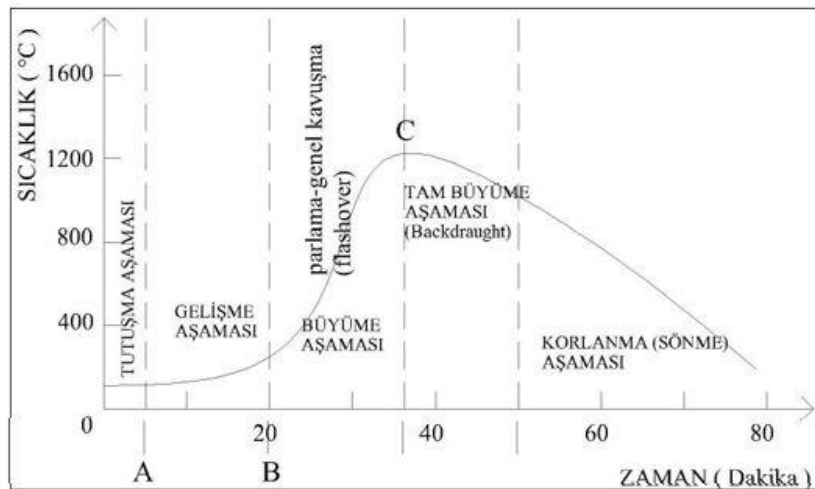
Denge safhasında bütün eşyaların birden tutuşması tehlikesi (Flash-over); Denge safhasında ısı yeterli, oksijen yeterli, duman az ve hemen hemen tam yanma olmaktadır. Yükselen sıcak hava konveksiyonla odada dolaşarak bütün yanıcı

maddeleri tutuşma sıcaklığına yükseltmekte ve bir anda tüm maddeler tutuşmaktadır. (Flash-over). İtfaiyecinin birden alevlerin ortasında kalma tehlikesi olduğundan temkinli ve soğutarak ilerleme veya dışarıdan müdahale gerekmektedir.

Sıcak tütme safhasında yangın patlaması tehlikesi (Backdraft); Sobanın gece uyutulmasına benzeyen ve korlaşma safhası da denilen bu safhada ısı yüksek seyretmekte, yangın oksijeni azalttığından oksijen yetersiz ve yarım yanma yani sıcak tütme devam etmektedir. Odayı basınçlı bir şekilde bu yarım yanmış gazlar doldurmakta ve kapı pencere açıldığında oksijen içeri girerek patlamaya neden olmaktadır. (Backdraft). Bu İtfaiyeciler için en büyük tehlikedir.

İşlerden kararmış camlar, alev azlığı, duman çokluğu, kapının çok sıcak olması, aralıklardan puflayan duman ve homurtular backdraftın habercisidir. İtfaiyeciler backdraft öncesini tespit etmeli, kapı ve pencereden direk girmemeli, önce çatıdan gaz tahliyesi (Ventilasyon) yapmalıdırlar.

Zaman-sıcaklık artışına bağlı olarak yangın gelişimi şekil 2.6'de gösterilmiştir. Grafikte A noktasına kadarki zaman tutuşma zamanını gösterir. A-B arası yangının gelişme aşaması olarak bilinmektedir. Büyüme (flashover) aşaması öncesindeki bu asama sırasında mekân içindeki sıcaklık, büyüme aşamasına oranla daha azdır. Buna ilave olarak insanların tahliyesi için gerekli zaman daha çoktur. Büyüme aşamasının başlangıcından (B) tam büyüme aşamasına (C) geçişe kadarki zamanda yangın hızla gelişmektedir. B-C arası zaman yangının büyüme aşamasıdır. Büyüme aşamasında mekân içindeki tüm yanabilir malzemeler yanmış ve sıcaklık bitişikteki mekânda da ani bir şekilde artmaktadır [6].



Şekil 2.3: Yanma sürecinde sıcaklık-zaman ilişkisi.

Şekil 2.6'daki C noktasında; büyüme aşaması sona ermiş, yanma süreci oksijenin azalmasıyla son bulmuş ve tam büyüme aşamasına geçiş başlamıştır. Tam büyüme aşamasında ortamda henüz yanmamış sıcak gazlar bulunmaktadır. Sıcaklığın azalmaya başlamasıyla, yangın korlanma (sönme) aşamasına doğru ilerlemektedir. Korlanma aşaması sürecindeki sıcaklık diğer mekânlar içindeki yapısal bileşenlere tasınım ve ısınım yoluyla yayılması açısından tehlike oluşturmaktadır. Şekil 2.6'daki grafikte mekan içindeki malzemelerin sıcaklığının ve formlarının aynı özellikte olduğu farz edilmektedir. Gerçekte, yangın sırasında mekân içindeki sıcaklık değişken olmaktadır. Aynı zamanda, yapı elemanlarının çevresini saran malzemelerin özellikleri de farklılık gösterecektir [6].

2.2.5.5 Zehirli gazların oluşturduğu solunum zorluğu tehlikesi

Yangın yerinde meydana gelen ölüm olaylarının çoğu zehirli gazlar sebebiyle olmaktadır. Zehirlenme çoğunlukla soluma, nadiren de deriden soğurma yoluyla olur.

Zehirli gazları tesirlerine göre üç gruba ayırabiliriz;

1. Grup zehirli gazlar; Kendisi zehirli olmadığı halde bulundukları yerlerde oksijeni ittikleri için boğulmaya neden olurlar. Oksijen oranı % 16' nın altındaki hava, insan vücudu için yetersizdir. Oksijenin dışındaki bütün gazlar bu açıdan zehirli kabul edilir. Bu gruba giren gazlar: Su Buharı, Azot, Asal Gazlar (Helyum, Neon, Argon, Kripton, Xenon), Hidrojen, Metan, Etan, Propan v.b.

1. grup zehirli gazların bulunduğu yangın yerlerine ancak ağır solunum cihazları (Hava tüplü) ile girilmelidir. Hafif solunum cihazlarının (filtreli maske) oksijen olmayan yerde hiçbir anlamı olmayacaktır.

Boğucu gazların tesiri altındaki odalar derhal havalandırılmalı, tesir altında kalan kazazedeler derhal temiz havaya çıkarılmalı, Rahat nefes alabilmeleri için yatırılmalı, kolu ve yakası gevşetilmeli ve oksijen verilmelidir. Hayat belirtisi görülmeyen kazazedeye suni teneffüs yaptırılmalı, vücut ısını kaybetmemesi için üzeri örtülmelidir.

2. Grup zehirli gazlar; nefes yollarını tahriş ederler, göz ve deriye de zarar verirler. Bunlar asidik ve bazik gazlardır; Hidroklorik Asit (HCl), Nitrik Asit (HNO₃), Formik Asit (HCOOH), Asetik Asit (CH₃COOH), Propiyonik Asit (CH₃CH₂COOH), Klor

(Cl₂), Kızgın hava, Amonyak (NH₃), Aminler (R-NH₂), Hidrazin (H₂N-NH₂), Azot dioksit (NO₂), Azot Monoksit (N₂O), Kükürt dioksit (SO₂) v.b.

2. grup zehirli gazların bulunduğu yangın yerlerine de her ihtimale karşı yine hava tüplü solunum cihazları ile girilmelidir.

Aynı ilkyardım işlemlerine ilaveten kazazedenin yüzü gözü yıkanmalıdır. Tıbbi tedaviye gönderilmelidir.

3.Grup zehirli gazlar; kana, sinir sistemine ve hücrelere tesir ederler. Bu gruba giren gazlardan karbon monoksit (CO) hemen her yangında ortaya çıkar ve kan zehiri olarak da nitelendirilebilir.

3.grup zehirli gazların bulunduğu yangın yerlerinde düşük dozajlarda özel filtreli maskeler kullanılabilirse de her ihtimale karşı hava tüplü solunum cihazları kullanılmalıdır. .

2.2.5.6 Patlama tehlikesi

Yangın yerindeki en büyük tehlikelerden biri de patlama tehlikesidir.

Fiziksel patlama; Yangın yerinde içinde yanıcı gaz olsun olmasın bütün basınçlı kaplar fiziksel patlama tehlikesi oluştururlar. Yangın söndürme tüpleri, deodorantlar, düdüklü tencere, LPG tüpleri içlerindeki gazın artan sıcaklıkla genişmesi sonucu, çeperlerin taşıyabileceği basıncı aştığında en zayıf yerinden, genellikle ısındığı taraftan patlar. Dış kabı aksi istikamete doğru şarapnel tesiri ile fırlar. Tüpler soğutulduktan sonra yangın mahallinden çıkartılmalıdır.

Kimyasal patlama;

a- Patlayıcı Maddelerin patlaması; Yangın yerinde patlayıcı maddeler olabilir. Isı ve ateşin ulaşması sonucu patlama meydana gelir.

b- Oda patlaması; Yanıcı gazların alt ve üst patlama sınırları vardır. Kapalı hacimde var olan veya açığa çıkan yanıcı gazların konsantrasyonu bu patlama sınırları arasına ulaşırsa en ufak bir kıvılcımla bile oda patlaması meydana gelir.

c-Yangın patlaması; Oda içindeki yarım yanmış, basınçlı ve yüksek sıcaklıktaki gazların odaya oksijen girmesi sonucu patlaması (backdraft) bölüm 2.2.5.4 'de yangın safhalarındaki tehlikelerde anlatılmıştı.

2.2.5.7 Çökme tehlikesi

Yangın yerinde çökme tehlikesi ile sık karşılaşılır. Çökmeyi, kullanılan malzeme ve yapı cinsi önemli ölçüde belirler. Yapı malzemeleri olarak; ağaç, döküm, çelik, taş ve tuğlayı inceleyebiliriz.

Ağaç; esnekliği, çekme mukavemeti, ısı yalıtkanlığı ve yüksek basınç dayanıklılığı nedeniyle avantajlıdır. Ayrıca çökme öncesinde çatırdaması itfaiyeciler için uyarı niteliği taşır. Yalnız yanıcı olması nedeniyle taşıma gücünü tehlikeli bir şekilde kaybeder. Özellikle çatılarda, bağlantı noktalarında yanma olursa çökme oluşur.

Döküm; sıcaklığa karşı çok ılımlı davranır. 400 °C sıcaklıktan sonra döküm çeliğe nazaran daha az olarak taşıma gücünü kaybetmeye başlar. 1100 °C sıcaklıkta ise herhangi bir dış değişiklik göstermeden taşıma gücü tamamen ve ani bir şekilde kaybolur. Bu olay ısınmış yapı malzemelerinin ani soğumasına neden olabilecek şekilde su sıkılması durumunda daha düşük derecelerde de gerçekleşir [5].

Çelik; çok yüksek ısı iletimine sahiptir. Isınma durumunda gerilme sınırını çok kolay aşabilir. Gerilme sınırı aşıldığında gerilme esnekliği kaybolur. Ve kalıcı şekil değişimleri meydana gelir. Çok zayıf olan ve basınç altında bulunan yapı kısımları yüksek sıcaklıklarda ortadan katlanır. Basınç altındaki parçalar ise uzar ve birleşim noktalarında değişiklikler meydana getirir. Bu durumda bütün konstrüksiyonu ve çevirme duvarlarını yıkabilecek güçte kuvvet meydana gelir. Çelik, sıcaklık yükseldikçe dayanımını kaybeder.

Taş; yangın durumunda çok olumsuz davranır. Tabii taşlar serttir. Yüksek basınç mukavemetine sahiptir. Isı iletim oranları çok düşüktür. Isınan taşların içinde bulunan Kuvars(SiO₂) kristalleri diğer parçalar gibi genleşmediği için özellikle ani soğumalarda maddenin değişikliğine yol açar. Granit soğutma suyu ile karşılaştığında cam gibi çatlar.

Tuğla ve Briket; Sıcaklığa karşı tutumları daha iyidir. Bu malzemeler imal edilirken yüksek sıcaklık altında pişirildiklerinden ısıya karşı mukavemetlidirler. Bu suni taşlar ateşe dayanıklı yapı malzemeleri olarak kullanım alanları bulur. Ayrıca ateşe çok dayanıklı refrakter tuğlalar yüksek sıcaklık işlemleri için kullanılmaktadır.

Dört türlü yapı şekli vardır.

- Ahşap yapılar

- Bağdadi yapılar
- Kâgir yapılar(yığma)
- Ateşe dayanıklı, betonarme yapılar.

Bazı tarihi binalar, kulübe ve yazlıklar ahşap yapı türünün kullanıldığı yapılardır ve özellikle tek katlı olarak yapılanlar için çökme tehlikesi çok azdır.

Bağdadi yapı şekli aslen ahşap olup duvarları ve bazı aksamı sıvalarla takviye edilmiştir. Şehirlerde ve taşralarda üç ile dört kat yüksekliğinde sık sık rastlanır. Çökme tehlikesi çok yüksektir.

Kâgir yapı türleri ikinci dünya savaşına kadar sıkça kullanılmıştır. Bu yapıların özellikleri; duvarlarının ateşe dayanıklı tuğladan; yer, tavan, merdiven ve çatısının ağaçtan yapılmış olmasıdır. Çökme tehlikesi çok fazladır.

Betonarme binalarda duvarlar tuğla veya betondan, tavanlar ise çelik veya betondan yapılmıştır. Bazı binalarda çatılar dahi çelik veya çelik beton konstrüksiyondan yapılmıştır. Bu binaların merdivenleri de kaçma ve müdahale yolu olarak ateşe dayanıklıdır.

Çökmenin birinci sebebi, yüksek sıcaklıktan dolayı yapı malzemelerinin taşıma gücünün zayıflamasıdır; Ahşap binalarda; direk, bağlantı ve kirişlerin yanması sonucu, betonarme binalarda kolan ve kirişlerdeki demirin yumuşaması ve taşıyıcı özelliğini kaybetmesi ile betonun 500 °C sıcaklıktan sonra tozlaşması ve ayrışması ile çökme oluşur.

Çökmenin diğer sebebi ise çeşitli nedenlerle oluşan basınç ve kuvvetlerdir. Taşların iç gerginlik sonucu çatlaması ile ısıdan dolayı oda hacminin genişlemesi basınç nedeniyle gerçekleşir. Patlamadan dolayı gelen yüksek basınç ile uzun süre sıkılan söndürme suyunun oluşturduğu fazla ağırlık ve su emici maddelerin şişerek oluşturduğu kuvvetlerin yan duvarları yıkması sonucu çökme oluşur.

İtfaiye erinin çökmeye karşı kişisel koruma tedbiri itfaiye miğferidir. Tehlikede bulunan ekipler derhal geri çekilmelidir.

2.2.5.8 Elektrik tehlikesi

Yangın yerindeki elektrik kaçağı itfaiyeciyi tehdit eden en büyük tehlikelerdendir. İtfaiyecinin en büyük silahı sudur ve su da elektriği iletir. Dolayısıyla su sıkarken çarpılma ve ayrıca dokunarak çarpılma tehlikesi vardır. Elektrik kurumu tarafından

aksi belirtilmedikçe tüm teller ve metal kısımlar elektrikli olarak kabul edilmelidir. Sarkan kablo, metal gaz, su ve kalorifer boruları ve demir çitlerden uzak durulmalıdır.

Yangın yerinde önce elektrik şalteri indirilerek veya sigorta sökülerek, mümkün değilse elektrik kurumundan yardım istenerek elektrik kesilmelidir.

Bu arada elektrik kesildiği için gündüz penceresiz odalarda ve zemin altındaki katlarda, gece tüm yangın yerinde gizli karanlık tehlikesi oluşur. Elektrik tehlikesi tehdidi altındaki yangın yerlerinde kuru elbise ve yalıtkan eldiven ile çalışılmalıdır. Kazazedeye dokunmak hatta yaklaşmak bile tehlikeli olabilir. Önce elektrik kesilmeli, kesilemiyorsa kuru odun, kuru elbise gibi tamponlar aracılığıyla kazazede elektrikli kısımdan uzaklaştırılmalıdır.

2.2.5.9 Kimyasal tehlike

Yangın yerinde tehlikeli kimyasal maddeler bulunabilir. Tehlikeli kimyasal maddelerin çoğunluğunu tahriş edici kimyasal maddeler oluşturur. Bunlardan gaz olanlar 2.2.5.6 bölümünde kimyasal patlama kısmında anlatılmıştı.

Su ile reaksiyona girerek yanıcı gaz üreten maddeler

Sodyum, Potasyum, Kalsiyum metalleri, bu metallerin peroksitleri ve karpit gibi maddeler su ile temas ettiklerinde hidrojen gazı oluştururlar. Yanma patlama şeklinde olur. Bu nedenle yangında bu maddelere kesinlikle su sıkılmamalıdır. Bu maddeler tamamen havasız ortamda saklanmalıdır.

Zehirleyici kimyasal maddeler

Kurşun tozu (Pb), Cıva (Hg) ve Fosfor (P) açık yaralardan ve mide bağırsak yolu ile insan vücuduna girip zehirleyebilirler. PVC yandığı zaman Hidroklorik Asit (HCl) çıkarır. Hidrojen Siyanür (HCN), Metil Bromür (CH₃Br) ve Karbon Tetraklorür (CCl₄) deri yolu ile vücuda girebilen zehirli maddelerdir.

Radyoaktif maddeler

Atomların parçalanması esnasında çekirdeklerinden çeşitli ışınlar yayılır. Bu ışınlar alfa (α), beta (β) ve gama (γ) ışınlarıdır. Alfa ve beta ışınları, yüklü partiküllerdir. Gama ışınları ise röntgen ışınlarına benzeyen kısa dalgalı ve giriş (yarma, nüfuz) gücü yüksek ve uzun menzilli elektromanyetik dalgalarıdır.

Gama kaynağı olarak Kobalt (Co-60), İridyum (Ir-192) ve Sezyum (Cs-137) kullanılmaktadır.

Alfa, beta ve gama ışınlarına iyonize ışınlar denir. Bu ışınlar insan vücudundan geçerlerken atom ve moleküllerdeki elektronları yerinden koparmak suretiyle iyonize ettikleri için ışın hastalıklarına yol açar.

Alfa ışınları ancak deriyle direkt temas halinde tehlike oluşturur. Beta ışınları çok yakın mesafede tesir edebilir. Ancak gama ışınları uzak mesafelere de tesir eder. "İyonize hava" elektriği ilettiği için Radyakmetreler veya Otomatik İyonize Yangın İkaz Sistemleri tarafından kolayca algılanır. Etkilenmeyi ve korunmayı uzaklık, zaman ve zırh faktörleri belirlemektedir. Alfa, beta ve gama ışınları ile karşılaşma ihtimali varsa uzaktan müdahale en iyi korunma tedbiridir. Alfa ve beta ışınlarına karşı korunmak kolaydır. Ancak bu ışınları yayan kaynakların yani radyoaktif maddelerin teneffüs edilmemeleri gerekir. Normal elbise bile alfa ışınları için iyi, beta ışınları için kısmi koruyucudur. Gama ışınları için kurşuna batırılmış veya kurşunla kaplı elbiseler bile çok az koruyucu görev yapar. Gama ışınlarının oluşabileceği yerlerde koruyucu duvar örebilmek için kurşunlu tuğla bulundurmak gerekir. Radyoaktif maddelerin sindirim ve solunum yolu ile vücuda girmemeleri için hava tüplü solunum cihazları mutlaka kullanılmalıdır.

Tahriş edici sıvı kimyasal maddeler

Tahriş edici maddeler arasında sıvılar deriye daha derinden nüfuz edebildiklerinden daha tehlikelidirler. Bunlar çoğunlukla kuvvetli asitler ve kuvvetli bazlardır; Nitrik Asit (HNO_3), Hidroklorik Asit (HCl), Sulfirik Asit (H_2SO_4), Hidroflorik Asit (HF), Sodyum Hidroksit (NaOH) v.b.

Tahriş Edici Katı Kimyasal Maddeler de uzun süre aynı yerde kaldıklarında hücrelerin salgıladıkları sıvılarla çözünerek tahriş etkisi gösterirler. Katı olarak; Hidroksitli Kireç (KOH), Katı Sodyum Hidroksit [Südkostik] (NaOH), Söndürülmemiş Kireç (CaO), Toz halinde Kalsiyum Karpit (CaC_2) v.b.

Tahriş edici kimyasal maddeler göz için en büyük tehlikeyi teşkil eder. Bir damlası dahi gözü kör edebilir. Bu yüzden bu tür tehlikelerin tehdidi altındaki yangın yerlerinde; gözleri korumak için maske, elleri ve ayakları korumak için lastik veya plastik eldiven ve çizme kullanılmalı, deri eldiven ve ayakkabı kullanılmamalıdır.

3. TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ YANGIN GÜVENLİĞİ

Yapıya ve malzemeye zarar veren sıcaklık kaynaklarının başında yangın gelmektedir. Beton ve çelik hiç yanmaz malzemeler olmasına karşın yüksek sıcaklık etkisinde fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Yüksek sıcaklık, kalıcı hasarlar oluşturarak yapının servis dışı kalmasına hatta can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Yüksek sıcaklığın kaynaklarından biri olan yangının betonarme yapılara etkisi araştırılmakta, yapılan araştırmalarda yangın sırasında ve sonrasında malzemenin karmaşık davranışı, yapısal güvenlik ve yapının bütünlüğüne etkisi ortaya konulmuştur.

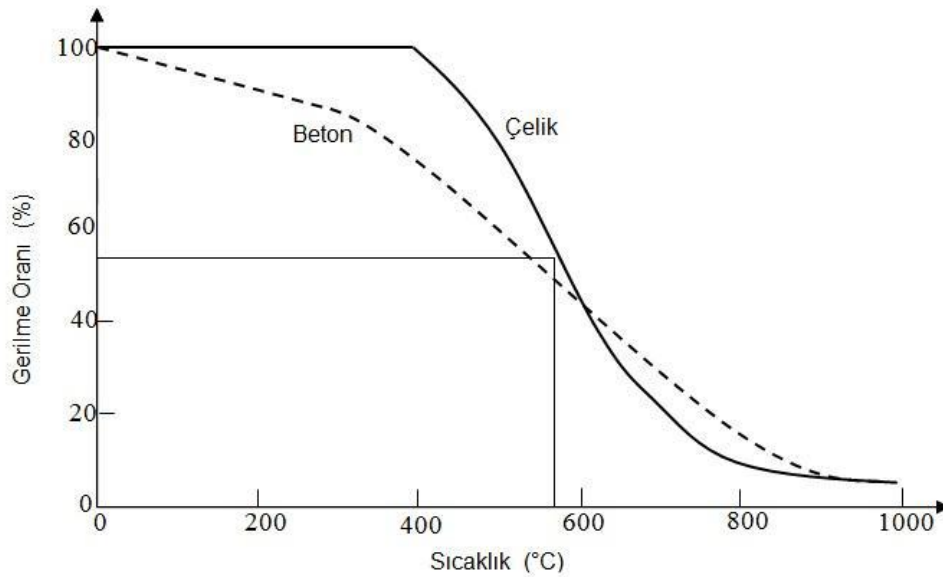
İnşaat Mühendisliğinde yapıların boyutlandırılmasında genellikle göz önüne alınan yükler: Düşey yükler (sabit ve hareketli), Yatay yükler (deprem ve rüzgâr) ve Diğer yüklerdir (dinamik etkiler, çarpma, patlama vb.). Gelişmiş ülkelerde bu yüklere ilaveten yangın yükleri de dikkate alınmaktadır. Örneğin bir yapının depreme karşı dayanıklılığı nasıl isteniyorsa, benzer şekilde yangına karşı dayanıklılığı da istenmektedir. Başta ABD, Kanada olmak üzere pek çok ülke bina yönetmeliklerini yangın dayanımına göre yeniden gözden geçirmekte ve düzenlemektedir [7]. Ülkemizde de Avrupa Birliği normlarına göre hazırlanan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik esasları uygulanmaktadır.

3.1 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Yangın Dayanımı ve Alınacak Önlemler

Betonarme yapıların maruz kalacağı çevresel etkilerden biri de yangın ve çeşitli etkenlerle oluşabilecek yüksek sıcaklıktır. Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton ve çelik, yanmaz malzemeler grubuna girmesine rağmen, yüksek sıcaklık etkisi ile fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde ciddi değişiklikler meydana gelmektedir. Yapılmış olan bazı deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre; yüksek sıcaklık sonrasında çelik çubukların fiziko-mekanik özellikleri, yüksek sıcaklık anındaki durumundan farklı olduğu görülmüş ve donatı çeliklerinde belirgin kalıcı değişimler, 800 °C ve üstü sıcaklıklar sonrası ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonarme yapının göçmesinde en etkin faktör kolonlardaki ve düğüm noktalarındaki çeliğin hasar görmesidir. Çeliğin ısı iletkenlik katsayısı büyük olduğundan çelikteki sıcaklık artışı dakikada 40 °C den fazladır. Yangının başlamasının ardından ortam sıcaklığı 10 dakika gibi kısa bir zamanda 600 °C ye ulaşmaktadır. Ancak donatı üzerindeki beton örtüsü çelikte sıcaklığın yükselme hızını engellemektedir [8]. Betonarme veya betonarme-çelik kompozit elemanların yangına karşı dayanıklı olabilmesi için, içindeki çelik profil veya donatının en dışta kalan kısımları olan pas payının, kolonlarda en az 4 cm ve döşemelerde en az 2.5 cm kalınlığında beton ile kaplanmış olması gerekir [9].

Yapılan deneysel çalışmalar, yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonarme elemanların aderans dayanımının azaldığını ve betonarme yapıların yüksek sıcaklığa karşı davranışını belirlemedeki temel değişkenin aderans dayanımı olduğunu ortaya koymaktadır. Çünkü kritik beton sıcaklıkları, her zaman kritik aderans sıcaklığından daha büyük olmaktadır [10]. Tüm çelikler artan sıcaklık ile mukavemet kaybeder. Şekil 3.1’de tipik bir beton ve yapısal çelik için sıcaklık ve gerilme arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Beton ve çelik için gerilme sıcaklık ilişkisi.

Genellikle, bir yapıdaki çelik eleman üzerindeki statik yük tasarımda akma dayanımının yaklaşık %55'i olur. 550°C'de çeliğin mukavemeti oda sıcaklığındaki akma dayanımının % 55 i civarındadır. Bundan dolayı betonarme yapılarda genel olarak yüklemeler 550 °C'de stabil kalmaktadır. Bu durum kritik sıcaklık olarak

tanımlanır. Eğer statik yükleme azaltılırsa, kritik sıcaklık yükselir ve yapılar 550 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda stabil olabilirler. Bu sıcaklıklar çeliğin erime noktasından (~1450 °C) oldukça düşük olmalı ve çeliğin önemli derecede dayanımını yitirmesi önlenmeli veya yavaşlatılmalıdır. Bu noktada da temel yardımcı beton olacaktır [11].

Betonarme bir döşemenin yangın hesabı örneği;

Basit mesnetli, tek doğrultuda çalışan döşemede 15 cm aralıklı, 12mm çapında BÇ III donatısı vardır. Silis agregalı betonun birim ağırlığı 25kN/m³, beton kalitesi C30, beton örtüsü (paspayı) 25mm, döşeme açıklığı 4,5m, döşeme kalınlığı 15cm, hareketli yük 5kN/m² dir. Bu döşemenin hangi sıcaklığa kadar dayanabileceğini bulalım.

$\theta=600$ °C kabul edelim:

$$A_s = \frac{1000}{150} \times 113,1 = 754 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

$$g = \frac{150}{1000} \times 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2)$$

$$w = 3,75 + 5 = 8,75 \text{ kN/m}^2 \quad (3.3)$$

1m şerit için:

$$M = \frac{wl^2}{8} \quad (3.4)$$

Yükten dolayı kesit zoru $M=22,15$ kNm/m

Kesitin taşıyabileceği moment M_n :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \quad (3.5)$$

$$a = 12,42 \text{ mm}$$

$$d = h - d^l = 150 - 25 = 125 \text{ mm} \quad (3.6)$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \quad (3.7)$$

$$M_n = 37,62 \text{ kNm/m}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \quad (3.8)$$

$$\omega = \frac{A_s \times f_y}{b \times d \times f_c} \quad (3.9)$$

$$\omega = 0,084 < 0,3$$

Dayanım kaybı grafiğinden $\theta=600$ 0C için donatıdaki mukavemet kaybı bulunur.

$$f_{y\theta} = 0,50 \times f_y = 0,50 \times 420 = 210 \text{ N/mm}^2 \quad (3.10)$$

$$f_{c\theta} \cong f_c \text{ alınabilir.}$$

$$a = \frac{A_s \times f_{y\theta}}{0,85 \times f_{c\theta} \times b} \quad (3.11)$$

$$M_{n\theta} = A_s \times f_{y\theta} \times (d - \frac{a_{\theta}}{2}) \quad (3.12)$$

$$a_{\theta} = 6,21 \text{ mm}$$

$$M_{n\theta} = 19,30 \text{ kNm/m} < M = 22,15 \text{ kNm/m}$$

Kesit 600 0C sıcaklığa uygun değil.

Hesaplar $\theta=550$ 0C için tekrarlanırsa:

$$f_{y\theta} = 0,61 \times f_y = 0,61 \times 420 = 256,2 \text{ N/mm}^2$$

$$a_{\theta} = 7,58 \text{ mm}$$

$$M_{n\theta} = 23,41 \text{ kNm/m} > M = 22,15 \text{ kNm/m}$$

Kesit $\theta=550$ 0C sıcaklığa uygundur.

3.1.1 Yüksek sıcaklığın betonarme çeliğine etkileri

Betonarme elemanlardaki çelik donatı çevresel faktörlerden beton örtü ile korunmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde çeliğin davranışı incelendiğinde 200°C’de dislokasyonların yoğun olduğu tane sınırlarına azot atomlarının difüzyonu sonucu, çeliğin çekme dayanımında artış görülür. Fakat 300°C’de çekme ve akma sınırlarının düşeceği, 600°C’de çekme dayanımının güvenlik bölgesinin de altına ineceği, yangın

esnasında ulaşılabilcek 600-1200°C’de ise plastik deformasyon yapacağı bilinmektedir [12].

Yüksek sıcaklığa maruz kalan yapı elemanlarında, gerilme altında bulunan çeliğin elastisite modülünde de düşmeler görülmektedir. Çeliğin elastisite modülü, 400°C’de %15, 600°C’de ise %40 mertebelerinde azalmaktadır. Bu azalma termik genleşme ve plastik deformasyonların başlaması sonucu çeliğin aşırı uzamasına sebep olacaktır. Yüksek sıcaklık etkisinden korunması gerekliliği göz önüne alındığında betonun çelik donatıyı yüksek sıcaklık etkisinden de koruduğu görülmektedir. Bu durumda betonun, örtü kalınlığı (pas payı) ve gerekli termik izolasyonu sağlaması önem kazanmaktadır [12,14]. Yüksek sıcaklık etkisinde maksimum sıcaklık, soğuk işlem görmüş çeliklerde 450°C’den ve sıcak haddelenmiş çeliklerde 600°C’den az ise akma dayanımı soğumanın ardından tekrar kazanılır. Ön gerilmeli çelikler daha hızlı zarar görürler ve çekme dayanımında büyük azalmalar görülür [13].

3.1.2 Yüksek sıcaklığın betona etkileri

Beton yanmaz, yangını iletmez ve duman oluşturmaz. Bu nedenle beton yangına karşı A tipi yani “hiç yanmaz” malzeme grubuna girmektedir. Beton ısıyı yavaş iletir, böylece bir kalkan vazifesi görür ve yangın sırasında dayanımının büyük kısmını muhafaza eder. Beton yanmayan madde olması, uzun süre önemli bir zarar görmemesi ve zehirli duman çıkarmaması ile yangına dirençli bir malzemedir. Fakat kalker tipi agregaların kullanılması silisli agregalara göre dayanımını artırır. Hafif agrega kullanımı performansını artırır. Hafif agregalar suya doymun halde ise performansını da kötü hale getirebilir.

Betonu yangından etkileyen en büyük husus yüzey atmalarıdır. 300 °C’de başlar ve en fazla 500C’de görülür. Betondaki yavaş ısı iletiminden dolayı yüksek sıcaklık yüzeyde kalır ve yüzeyde su buharına dönüşerek yüzey atmalarına sebep olur. Yüzey atmaları beton dayanımı yükseldikçe artar, betonun nem oranı arttıkça artar. Betonun içindeki suyun kaybı ile oluşacak büzülme ve beton içinde beliren buhar basıncı, donatı beton örtüsünün (pas payı) çatlamasına ve parçalanarak kopmasına yol açmaktadır. Böylece çelik daha yangının basında ısıyla doğrudan temasa geçmektedir [15, 16]. Son yıllarda süper akışkanlaştırıcı katkıları sayesinde dayanımları ve durabiliteleri çok yüksek, “yüksek performanslı betonlar” üretilmekte ve bunlar gökdelen inşaatlarında tercih edilmektedir. Üstün nitelikleri yanında bu betonların yüksek sıcaklıklara

dayanıklılıkları istenilen düzeye kavuşturulamamıştır. 250 °C sıcaklığa kadar bu betonların davranışları olumludur. Soğumadan sonraki dayanımları normal betonlarınkine oranla yüksektir. Hatta silis dumanı içerenlerde dayanımlarda bir artış dahi gözlenmiştir [17, 16]. Betona polipropilen lifler katılmaktadır. Bu lifler, çatlak gelişimini yavaşlatmaları yanında, eriyerek beton içinde boşluklar yaratmakta, böylece yüksek basınçlı su buharının iletimini de sağlamaktadır. Bu çözüm, yüksek performanslı betonların yangın riskini bir oranda sınırlayan bir önlem olarak sayılmaktadır. [18, 19, 16].

3.2 Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Yangın Dayanımı ve Alınacak Önlemler

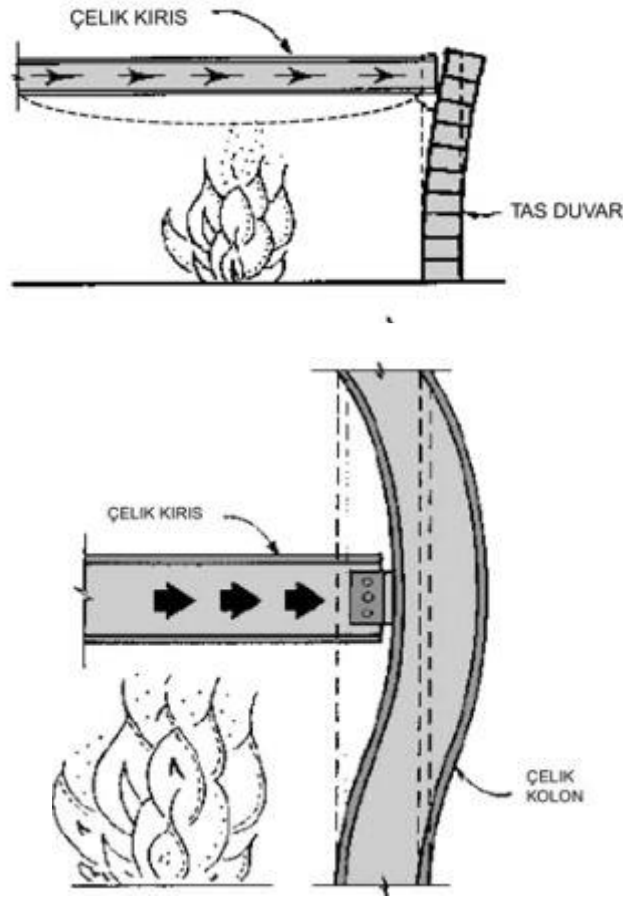
Dünyada çeşitli ülkelerde çelik yapılar uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ülkemizde ise daha çok endüstri yapılarında kendini göstermektedir. Gün geçtikçe de binalarda çeşitli nedenlerle tercih edilmeye başlanmıştır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi çeliğin yüksek sıcaklıklarda yumuşayarak mukavemetini yitirmesi ve plastikleşmesi malzemenin olumsuz yönünü göstermektedir.

Çelik, yapı malzemeleri içinde en yüksek dayanımlı olanıdır. Ancak, 500 °C ısıda çeliğin dayanımı yarıya, 700 °C de ise dörtte birine iner ve bu özellik çeliğin yangından korunmasını elzem kılmaktadır. Çelik yapılarda yangından koruma daha tasarım safhasında başlamaktadır. Yangın bariyerleri, yangından kaçma yolları, yanan yapıya yardım için kolay ulaşım sağlama, tasarımda düşünülmesi gereken hususlardır.

Öte yandan, odalarda duman alarmları, otomatik fiske sistemleri, çeliği kaplama özel boyalar, püskürtme ile kaplama, betona gömme, kolonları su ile doldurma gibi teknikler çıkabilecek yangın sırasında güvenliği sağlayabilecek, yeterli zamanı kazandıracak yöntemlerdir.

Çeliğin Şekil 3.2’de görüldüğü gibi çelik korunmasız olduğunda yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya başlayarak mukavemetini yitirmesi ve plastikleşmesi, malzemenin olumsuz yönünü ortaya koymaktadır [20, 21]

Çelik taşıyıcılar; özellikle deprem güvenliği ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle yüksek binalarda tercih edilmektedir. Son yıllarda sadece yüksek yapılarda değil aynı zamanda düşük katlı binalarda da çelik konstrüksiyonun tercih edilmeye başlanmıştır.



Şekil 3.2: Çelik yapı bileşenlerinin yangın sırasında davranışı.

Yangın dayanımı; bir yapı bölümünün belirli bir yangın yükü altında, kendisinden beklenen görevleri hala yerine getirmeye devam ettiği zaman süresidir. Burada sözü edilen görevler; yüke dayanım, hacim örtme ve ısı difüzyonu sınırlama fonksiyonlarıdır. Hacim örten yapı elemanlarında, ateşe bakmayan arka yüzlerde sıcaklık artmasının 140°C 'u aşmaması ve buralarda kendiliğinden yanabilir gazlar oluşmaması istenir. Eğilmeye çalışan elemanlarda ise sehimlerin artma hızının belirli sınırları aşmaması gerekir. Çelik iskeletli yapıların yangın bakımından özel önemi vardır. Bunlarda, yanmazlıktan çok ısıl şekil değiştirmelerin oluşumu göz önüne alınır. Birçok standart çelik yapıları özel bir sınıf olarak ele almıştır. Eurocode 3 (EN 1993) Çelik Yapıların Tasarımını vermektedir ve ikinci bölümü çelik taşıyıcıların yalıtımına ayrılmıştır.

Yangınlarda karşılaşılan yüksek sıcaklıklar, metal yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinde önemli değişmelere ve bu malzemelerde önemli genleşmelere yol açar. Deneyler, sıcaklık arttıkça karbon çeliğinde akma sınırının düştüğünü ve belirli bir sıcaklıktan sonra artık akma sınırı oluşmadığını göstermiştir. Bunun anlamı, normal

sıcaklıklara kıyasla plastik şekil değiştirmelerin daha düşük gerilmeler altında yer almaya başladığı ve aynı gerilme altında toplam şekil değiştirmenin daha büyük olduğudur.

Çeliğin çekme mukavemeti başlangıçta 150~300 °C değerlerinde biraz arttıktan sonra, daha yüksek sıcaklıklarda hızla azalır ve yangınlarda kolayca erişilen 600 °C sıcaklığında emniyet gerilmesinin altına düşer. Yüksek sıcaklıklarda bağ kuvvetlerinin azalması, çeliğin elastisite modülünün azalmasına neden olur. Elastisite modülünün değeri 20 °C'dakine kıyasla, 400 °C de % 15 ve 600 °C de ise % 40 kadar azalır. Sıcaklığı 700°C olduğunda çevre sıcaklığına göre mukavemeti % 23'e düşer, 800°C mukavemeti % 11 ve 900°C da % 6'ya düşer. Yaklaşık 1500°C sıcaklıkta erir. Uzun süreli ısı gerilmelerin oluşmasına ve normal olarak yüksek sıcaklıklarda burkulma yapmayan kolonun burkulmasına ve daha düşük taşıma gücü göstermesine neden olabilir. Çelik profillerin ısınma problemindeki en önemli faktörlerden biri de “F/V profil faktörü” adı verilen ve alev maruz kalacak alanın ısınacak kütleyle oranıdır. F/V oranı ile yangına dayanım süresi ters orantılı olarak değişir ve F/V oranı küçüldükçe yangına dayanım süresi artar [22].

Yapısal İçi Boş Çelik Taşıyıcıların (SHS), açık profilli elemanlara oranla birçok yapısal ve mimari avantajları bulunmaktadır. Bu tür taşıyıcılar bükme gücüne karşı yüksek, eksenel yüke karşı da düşük esneme özellikleri taşırlar. Böylece, bu elemanlar yanal bükücü kararsızlığa ve sıkıştırma güçlerine karşı koyma konusunda çok etkili olmaktadır. İçi boş çelik taşıyıcılar, estetik çekicilikleri ve kullanışlılıkları sayesinde mimarlar tarafından da tercih edilmektedirler. Dikdörtgen ve dairesel içi boş elemanlar yangına karşı çok iyi dayanma özellikleri ihtiva etmektedirler. Bunun nedeni, elemanın yüzey elemanlarının sadece bir tarafının ısıya maruz kalması ve bunun sonucu olarak yapısal açıdan eşdeğer bir putrelere oranla göreceli olarak daha düşük bir profil faktörlerinin olmasıdır. Ayrıca, bir yapısal içi boş elemanın çevre uzunluğunun kesit alanına oranı, aynı çevresel uzunluğa sahip bir I veya profile kıyasla daha küçük olmakta, böylece açık kısım profiller ile kıyaslandığında daha az yangından korunma malzemesi gerektirmektedir. Daha başka bir deyişle, yapısal içi boş elemanlar, söz konusu olan çeliğin hacmi aynı olduğunda, açık kısımlardan gözle görülebilecek kadar daha az yüzey alanını yangına maruz bırakarak, daha iyi bir yangın performansına sebebiyet vermektedirler.

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi çeliğin yangından korunması için yapılan yalıtım genelde; kütsel, çevreyi sarma, kutuya alma (çerçeveleme) ve çelik bileşenlerin su dolaşımıyla soğutulması, şeklinde yapılmaktadır [23,24]. Bununla birlikte, Eurocode’lar tarafından en etkin yangından koruma önleminin erken uyarı sistemleri, etkin itfaiye birlikleri ve otomatik söndürücüler olduğu ve bu durumun sağlanması halinde, yalıtımın büyük ölçüde azaltılması gerektiği de vurgulanmaktadır [25].

Çelik taşıyıcılarda uygulanacak korunma sistemi seçimi, başta görünüm, dayanıklılık, çevre ile uyum, korozyona dayanıklılık, yer gereksinimi, inşaat programı, uygulama fiyatı ve maliyet olmak üzere birçok unsura bağlıdır. Yangından korunma sisteminin, hem mimar hem de inşaat mühendisi tarafından kavramsal ve ön tasarım aşamalarında dikkatli bir şekilde göz önüne alınması elzemdir.

Çelik taşıyıcıları korumaya yönelik geniş bir ürün yelpazesi mevcuttur. Bunlar aşağıda belirtildiği gibi altı ana kategoriye bölünmektedirler:

- Püskürtülenler (Sprays)
- Plakalar (Boards)
- Prefabrik Levhalar (Pre-formed Casings)
- Kabaran Boya (Intumescent Coatings)
- Beton ile Doldurmak (Concrete Filling)
- Su ile Doldurmak (Water Filling)

Ülkemizde tescilsiz ürünlerin yanı sıra onlarca tescilli ürün de bulunmaktadır. Performansları ve maliyetleri ciddi farklılıklar arz etmesine rağmen, birçoğu ucuz olmanın yanı sıra, kullanım açısından güvenilir olduklarını kanıtlamışlardır.

3.2.1 Püskürtülerek uygulanan sistemler

Bu tip koruma yöntemlerinde, elde edilen karışım, çelik yüzeyine özel aletlerle Şekil 3.3’de görüldüğü gibi püskürtülmektedir. Bu malzemeler; çimento esaslı karışımlar ve mineral lifli malzemeler (vermükulit, perlit, mineral ya da cüruf lifler) olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Bu malzemelerin çelik yüzeyine tutunabilmeleri için yüzeyin zımparalanmış ya da kumlanmış olması gerekmektedir. Ayrıca, kiriş ve kolonun biçimine ve boyutlarına göre püskürtülen malzemenin kalınlığı da değişmektedir. Bu tür uygulamalar genelde estetiğin çok ön planda olmadığı yapılarda, örneğin otopark, endüstriyel tesisler ya da asma tavan altında kalan bölümlerde tercih

edilmektedir. Bu uygulamanın en büyük avantajı ise karmaşık detaylarda kolayca kullanılabilir olmasıdır.



Şekil 3.3: Püskürtme sistemlerin çelik kirişe uygulanması.

Püskürtülerek uygulanan yangından korunma malzemelerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu malzemelerin formülasyonları genellikle vermikülit ve çoğunlukla çimento olmak üzere bir bağlayıcı ve mineral fiber tabanlı diğerleri olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilirler. Bu yangından korunma yöntemi genellikle çelik yüzeye doğrudan uygulanır. Ancak, çeliğe yeterli düzeyde korozyon korumasını temin edebilmenin gerekli olduğu yerlerde, sadece birkaç ürün dış etkenlere maruz kalan çelik üzerinde kullanılabilir. Bazıları daha uzun süreli yangına dayanıklılık için tel örgü ile sağlamlaştırılmak gerektirse de, malzemelerin çoğu 4 saate varan düzeylerde yangına dayanıklılık sağlayabilir. Bu malzemeler, genellikle asma tavanların üzerinde görünmeyen kısımlardaki kirişlerin korunması konusunda özellikle uygulanmakta olup en ucuz ve en süratli koruma yöntemlerinden biridir. Kolonlarda uygulanması durumunda üzeri alçıpan veya benzeri malzemelerle kaplanarak düzgün görünüm sağlanabilir.

3.2.2 Plakalı sistemler

Çerçeveleme sistemler olarak da ifade edilen bu yöntemde çelik yapı bileşenleri Şekil 3.4'de görüldüğü gibi plaka halindeki yalıtım malzemeleri ile kaplanmaktadır. Uygulamalar, yapı bileşeninin türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Plakaların birkaç kat uygulanmasıyla yangın dayanım süresi artırılabilir. Uygulama sırasında plakalar arasındaki birleşim yerleri çok önemlidir, birleşim yerlerinin üst üste gelmemesi için plakalar şaşırtılarak yerleştirilmelidir. Ayrıca ek yerlerinin de aynı cins malzeme ile sıva yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.4: Çelik kolonların plakalarla kaplanması

Yapısal çeliği yarım saat ila 4 saat arasında bir süre için yangından koruyabilmek amacı ile değişik yangına dayanıklı plaka çeşitleri mevcuttur. Bunlar, vida, bağlama kayışları ve/veya galvanizli profil gibi mekanik yöntemler kullanılarak çelik üzerine tespit edilebilir veya yapıştırılabilir ve pimler ile tutturulabilir. Bu yöntemde genellikle bir kutu konfigürasyonu kullanılır. Kalınlıklar ürüne göre değişiklik gösterse de, 6 mm ila 80 mm arasındadır. Genellikle ya mineral fiberlerden ya da doğal bir şekilde meydana gelen vermikülit ve mika gibi plakamsı malzemelerden çimento ve/veya silikat bağlayıcılar kullanılarak, birçok farklı formülasyon kullanılmaktadır. Plakalı sistemler, özellikle daha sonraki dekorasyon aşaması için yüzeylerinin pürüzsüz olması gereken kolonların korunması için uygundur. Bu malzemeler, inşaat yöntemi olarak hazır birimler kullanılması gereken durumlar için de en uygun çözümdür.

3.2.3 Prefabrik sistemler (Kutuya Alma)

Prefabrike yangından korunma sistemleri 4 saate varan sürelerde yangına dayanıklılık sağlayabilmek amacı ile çelik sac mahfaza veya vermikülit esaslı tarzları mevcuttur. Çelik sac mahfazaların yüzeyleri, herhangi bir çelik elemanın korunması veya yangına dayanıklılık süresinin sadece plakanın kendi performansı ile belirlendiği geleneksel yangından korunma plaka malzemeleri ile kaplanır. Çelik sac plakaların yapının yangına dayanıklılığı konusunda ilave katkıları yapılan hesaba dahil edilmez. Bu sistemler oldukça çekici bir dekoratif görünüm arz ederler ve her ne kadar kiriş mahfazaları da imal edilmekte olsa da, kullanımları çoğunlukla kolon

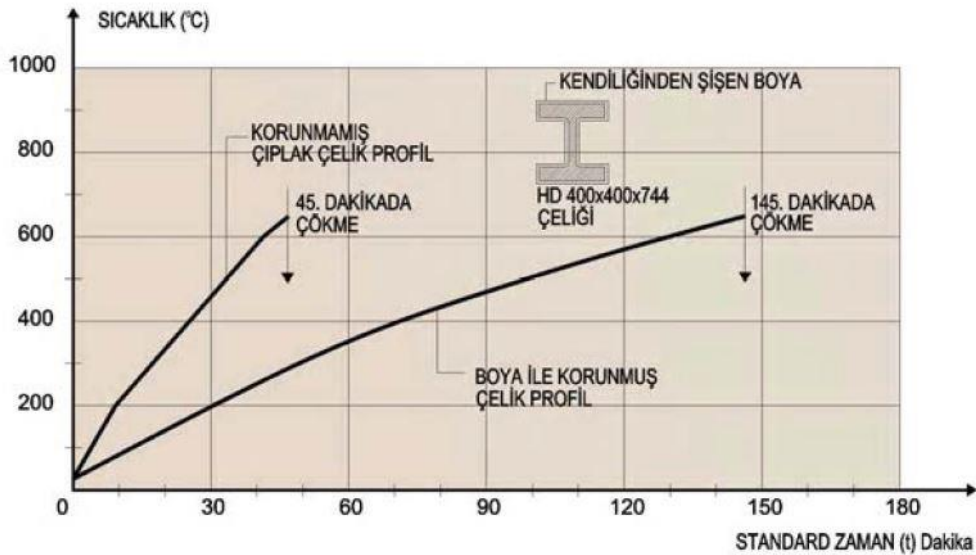
uygulamalarından ibaret olmaktadır. Diğer ana avantajları da dayanıklılıkları ve süratli bir şekilde uygulanabilir olmalarıdır. Mahfazaların ebatlarının doğru olmasını temin etmek amacı ile gerekli özen gösterilmelidir. Kolon mahfazasının baş kısmı ile giriş yangından korunma sistemlerinin bağlantı noktaları özel itina gerektirir.



Şekil 3.5: Çelik yapı bileşenlerine uygulanan yalıtım türleri.

3.2.4 İntumesan (kabaran) yangın geciktirici boya

Kendiliğinden şişen boya ile yangından korunma sisteminde boya olarak kullanılan malzeme, yüksek sıcaklık ile karşılaştığı zaman şişmekte ve şişen gözenekli bölüm izolasyon görevini yerine getirmektedir [26]. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi bu yöntem genellikle, çelik iskeletin görünmesinin istenildiği durumlarda tercih edilen pasif koruma yöntemidir.



Şekil 3.6: Kendiliğinden şişen boya ile korumanın yangın dayanımına etkisi.

İntumesan malzemeler 2 saate varan sürelerde yangına dayanıklılık sağlayabilmektedirler. İnce bir tabaka halindeki boya katları veya macun ısı ve alevlerin etkisi ile köpürüp kabarmak sureti ile bazen özgün kalınlıklarının 50 katına ulaşan boyutlarda kömürleşmiş bir yalıtım katmanı oluştururlar. Bu ürünler, fırça,

püskürtme veya mala ile uygulanabilir. Nemli ortamlarda sadece kısıtlı sayıda boya çeşitleri uygulanabilir olup, spesifik uygulamalar konusunda imalatçıların fikirlerine başvurulmalıdır. Intumesan tabakalar, maliyeti düşürmek ve yangından korunma malzemelerini inşaatın dışında şantiye haricinde de uygulanabilir. Yapısal içi boş elemanların beton ile doldurulması işlemi ile birleştirildiği zaman bu metot ciddi anlamda kaplama ağırlığı tasarrufu sağlamaktadır.

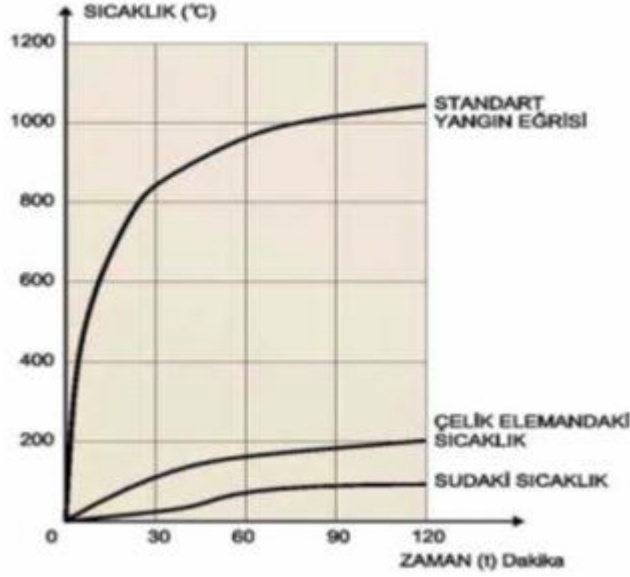
3.2.5 Beton ile doldurmak

Aslında yük taşıma kapasitesini yükseltmek amacı içi boş taşıyıcıların beton ile doldurulması işlemi, yangına dayanıklılık özelliklerini de artırmaktadır. Betona güçlendirici çelik ilave etmek de, ilave avantajlar sunmaktadır. Bu tür konstrüksiyonun ana avantajlarından bir tanesi de, çelik kısımların kalınlıklarını, çelik ve betonun malzeme özelliklerini ve güçlendirme miktarını değiştirmek suretiyle, kolon kesiti dış boyutlarında önemli bir değişiklik yapılmaksızın artan yükleri taşınabilir. Beton ile doldurulmuş yapısal içi boş elemanlar yangın koşullarında geleneksel güçlendirilmiş betonarme kolonlara nazaran, çelik mahfazanın betonun pul pul dökülmesini önleyip dolayısıyla yangına karşı daha iyi bir şekilde korunmuş durumda kalmasını sağladıkları için çok daha iyi dayanıklılık özelliğine sahiptir.

3.2.6 Su ile doldurmak

Yalıtılmamış çelik taşıyıcı elemanların kullanımı, mimari açıdan arzu edilen bir durumdur. Bu isteğin, günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan boru ya da kutu en kesitli içi boş elemanlarda değişik bir yöntemle karşılanması mümkündür. Bu tür elemanların içinde bir su dolaşımının sağlanması halinde, yangında çeliğe gelen ısı elemanın içindeki suyu ısıtarak, dolaşımla çelik elemandan uzaklaştırılmaktadır. Su kaynama sıcaklığına ulaşsa bile Şekil 3.7’de görüldüğü gibi çelik elemanın sıcaklığı 100 - 200°C’yi aşamaz.

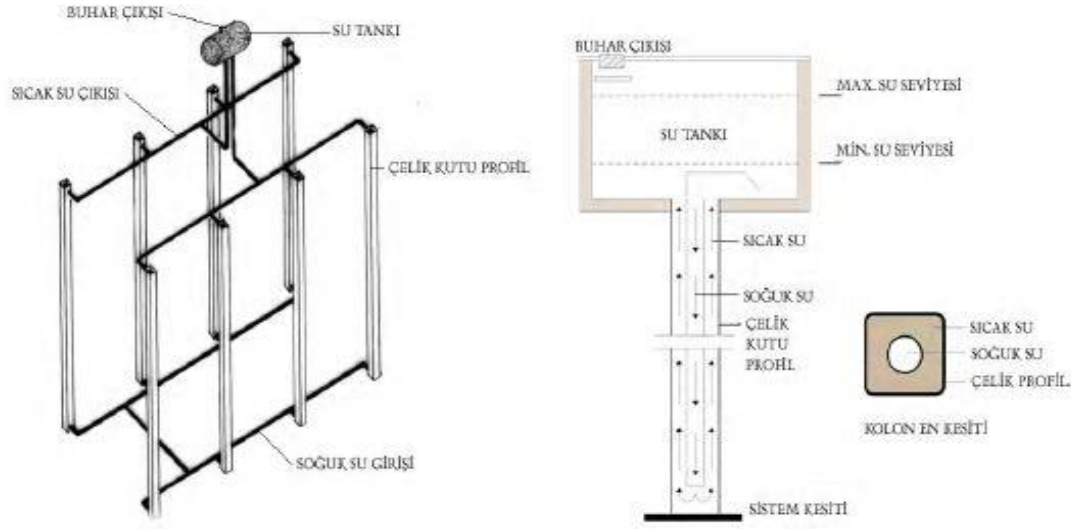
Bu sıcaklıklarda ise, çeliğin mekanik özelliklerinde bir düşme görülmemektedir [25]. Su dolaşımı ile soğutma, yalnız yangına daha hassas olan düşey konumlu kolonlara uygulanabileceği gibi, tüm kiriş ve kolonları kapsayacak şekilde taşıyıcı sistemin tamamına da uygulanabilir. Yalnız kolonların su dolaşımı ile soğutulması durumunda, uygulama çok basit olup, doğal dolaşım yeterlidir.



Şekil 3.7: Su dolaşımıyla yapılan korumada sudaki ve çelikteki sıcaklık eğrileri.

Bu tür kullanımlarda sistemin üst kısmında Şekil 3.8’de görüldüğü gibi su deposu bulunmaktadır. Yangın sırasında kolon içindeki su ısınmakta ve bu nedenle yoğunluğu azalarak, doğal olarak yükselmektedir. Depodaki soğuk su orta borudan inerek kolonların alt kısımlarından sisteme tekrar kapatılmakta ve ısınan suyun yerini almaktadır. Çalışma mekanizması Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Suyun buharlaşması durumunda ise buhar, deponun üstünde bulunan tahliye borusundan dışarı atılmaktadır. Yalnız kolonların bu sistemle korunması durumunda su, genelde, sürekli dolu olduğundan, içine potasyum karbonat ya da benzeri bir anti jel katılarak donmaya karşı önlem alınmalıdır. Bu sistem kullanılarak alınan yangın güvenlik önlemlerinde, yangın olmadıkça korozyondan korkulmamalıdır. Su değişmediği için, içerdiği sınırlı oksijen korozyonu sürdüremez. Gerekirse, (özellikle su değiştiriliyorsa), potasyum nitrat gibi korozyon önleyici katkıları kullanılabilir [25]. Tüm taşıyıcı sistemin su dolaşımı sağlanarak yangından korunmasının planlanması halinde ise, kolon ve kirişler birbirlerine bir su şebekesi oluşturacak şekilde birleştirilirler. Bu durumda su sızdırmazlığının sağlanması, özellikle birleşimlerde zorlaştığı için, suyun şebekeye verilmesi otomatik bir yangın alarm sistemine bağlı olarak gerçekleştirilir. Ayrıca su dolaşımının sağlanması için bir motor gücüne (pompa) gereksinim duyulmaktadır [25]. Su dolaşımı ile alınan bu yangın güvenlik önleminde, çelik taşıyıcı elemanlar, yangının neden olduğu mukavemet azalmasından çok iyi bir şekilde korunabilmekte olup, tüm yangın dayanım sürelerini sağlamaktadır. Ancak, çelik elemanların hesabında, hidrostatik iç su basıncının da dikkate alınması gerekmektedir [26].

Yangına maruz kalan yapısal bir elemanın içerisindeki su, ısıyı emerek çeliğin sıcaklığını kritik düzeylerin altında tutacaktır. Bu ısı, taşınım yolu ile sistemin yangına maruz kalmayan alanlarına ve suyun havalandırma yöntemi ile atılan buharlaşması ile dağıtılır. Gereken su miktarı yangına maruz kalan çeliğin yüzey alanına, yangının süresine ve şiddetine bağlıdır. İçi boş elemanların içinde bulunan su miktarı muhtemelen yeterli gelmeyeceğinden dolayı, normalde buharlaşma yolu ile kaybolan suyu tazelemek için bir su deposu gereklidir.



Şekil 3.8: Su dolaşımıyla yalıtımın çalışma prensibi.

İçi boş kısımlar devrenin tamamlanması için borular ile birbirlerine bağlanırlar ve sistem hidrostatik basıncı en aza indirmek amacıyla zon seviyelerine bölünür. Su, donmayı önlemek ve korozyonu durdurmak için işleminden geçirilir. Yatay elemanlar münferit buhar konsantrasyonlarının oluşmasından dolayı etkilenebileceği için su doldurma işleminin kolonlar ve eğimli elemanlar ile sınırlandırılması ise normaldir.

Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmeliği 23.maddesinin 5.fıkrasına göre; çevreye yangın yayma tehlikesi olmayan ve yangın sırasında içindeki yanıcı maddeler çelik elemanlarında 540 °C üzerinde bir sıcaklık artışına sebep olmayacaksa çelik yapıların yalıtılması gerekli değildir. Belirtilen sıcaklığa çıkıp çıkmayacağı çelik taşıyıcının profil faktörüne, taşıdığı yüke, ortamdaki yanıcı maddenin yangın yüküne, taşıyıcının kullanıldığı mahallin yüksekliğine bağlıdır. Uygulanacak korunma sistemi ise estetik görünüm, dayanıklılık, çevre ile uyum, korozyona dayanıklılık, yer gereksinimi ve maliyeti gibi çok sayıda faktöre bağlıdır.

4. METROLAR

4.1 Metrolar Hakkında Genel Bilgi ve Tarihçe

Yeraltı metro sistemlerinin tanımı ve kavramları

Sanayi devriminden sonra artan kentleşme olgusuna göre kent içi ulaşım gündeme gelmiştir. Kent içi ulaşım problemlerinin çözümünde hızlı, güvenli, konforlu olma gibi üstün özelliklere sahip raylı sistemlerden biri olan metro sistemi çözüm olarak geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Dünyadaki birçok metropolde kent içi ulaşımın omurgasını oluşturan metrolar gelişmiş ve çağdaş sistemlerdir. Ayrıca taşıdığı yolcu sayıları yüksek kapasiteye sahip olması nedeniyle diğer toplu taşıma sistemleri tarafından beslenmesi gereklidir.

Kentteki önemli yapılar ve yerlerle entegre olması proje aşamasında dikkat edilmesi gereken unsurlar içinde yer almaktadır. Kent merkezlerinde yer üstünde yapılaşmanın getirdiği alan sıkıntısı olduğundan dolayı yeraltında, kendi özel yolunda hızlı bir şekilde ulaşımı sağlaması en büyük avantajlarından biridir.

Yeraltı metro istasyonlarının tarihi

İstasyon müşteri servis alanları ve aynı yapıyla ilişkili yardımcı alanlar dahil olmak üzere, yolcu yükleme ve boşaltma için kullanılan yerdir [27].

1843'te İlk yeraltı treni, yakıt olarak kömürün kullanıldığı lokomotiflerle çekilen bir sistemdi. Söz konusu sistem Charles Pearson tarafından ortaya atılmıştı. Böylelikle Pearson Londra ulaşımını düzenlemeyi amaçlamaktaydı. Dünyanın ilk metrosu 6 km olarak Londra'da yapılmıştır. Bu metronun inşası 1860'ta başlamış ve 1863 senesinde tamamlanmıştır. Metro inşasından sonra metro üzerine gelen yollar yeniden düzenlenmiştir. İnşa tekniği olarak şehir zemini kazılıp metro düzenlendikten sonra tekrar üzeri kapatılıyordu. 1866 senesinde şehrin güneyinde inşası başlayan metroda ise 3,2 m çapındaki çelik borular yer altından hidrolik krikolar yardımıyla yatay olarak ileri doğru itilip, içerisi, basınçlı su ve hava ile boşaltılıyordu. Londra'nın toprak yapısı

killi olduğundan bu metot başarılı oldu. İlk tasarıya göre bu tünellerde kablolu işletme uygulanacaktı. Açılıştan önce bu karar değiştirilerek elektrikli çalışma yöntemine geçildi. 1900'de Londra'ya gelen Charles Tyson Yerkes adlı ABD'li bir demiryolu yapımcısı, şehrin tünel ağını genişletme ve daha önceki buharlı bölümleri de elektrikliye dönüştürmeyi üstlendi. Bu çalışmalar sonunda buharlı lokomotifler 1905 yılında yerini tamamen elektrikli lokomotiflere bıraktı. Bugün Londra metrosunda toplam demiryolu 400 kilometreye ulaşmıştır. Londra Metrosunun İkinci Dünya Savaşında Alman hava hücumlarındaki sığınak görevi çok büyük olmuştur. Glasgow Metrosu 10,4 km boyunda olup, önceleri İstanbul Metrosuna (Tünel) benzer halat sistemiyle çalışıyordu. 1935 senesinde elektrikli trenlere çevrildi. Budapeşte Metrosu yine kazarak açma metodu ile yapılmıştır. 1896 senesinde işletmeye açılan metronun boyu 4 km'dir. Metronun yan tarafları duvar, üst tarafı çelik kolonlarla örtülüdür. Paris Metrosu, dünyanın üçüncü büyük yer altı demiryoludur. Paris Metrosunun en büyük özelliği dairesel ve radyal ulaşım ile şehrin her noktasının metrodan istifade edebilmesidir. Paris Metrosu dünya metroları içinde en kalabalık olanıdır. Metro inşası 1898'de başlamış ve 1900'de 14 kilometresi tamamlanmıştır. New York Metrosu dünyanın en geniş ve teferruatlı metrosudur. İnşası 1870'te başlamış, 1966 senesinde 390 kilometreye ulaşmıştır. New York metrosu Paris Metrosu yapısındadır. Kabloları, metro içinde kanallardan gider. Trenler 550 volt doğru akımla çalışır. Trenlerin metro seferleri elektronik sinyal sistemleriyle elde edilir. Herhangi bir tehlike durumunda trenler sinyal sistemleri aracılığıyla otomatik olarak durdurulabilir. San Fransisco Metrosu şehir altında ve tüp boruları halinde San Fransisco Körfezinde yer alır. Tren programları bilgisayarlar ile yönetilir. Yolcu miktarına göre tren seferleri otomatik olarak artar ve azalır. Moskova Metrosu 1931-1935 seneleri arası kadın erkek 75.000 işçinin çalışmasıyla yapılmıştır. Metro inşa tekniği Paris Metrosunda olduğu gibidir. 1970'lerde toplam demiryolu uzunluğu 127 kilometreye ulaşmıştır. Dünya üzerinde faaliyette bulunan diğer metrolar Berlin, Rotterdam, Boston Washington, Toronto, Montreal, Tokyo, Kyoto, Osaka, Nagaya şehirlerindedir. Küçük çaplı metrolar Avrupa şehirlerinin hemen hepsinde mevcuttur. İstanbul'da Beyoğlu ile Galata'yı birbirine bağlayan Tünel, Abdülaziz Han zamanında yaptırılmış olan Türkiye'nin ilk metrosudur. 1874 yılında kazısı biten tünel 17 Ocak 1875'te törenle hizmete açılmıştır. 626 m uzunluğunda 6,60 m genişliğinde olan Tünel, elektrik kullanılmaya başlandığı zamana kadar gaz lambaları ile aydınlatılırdı.

Galata'dan Beyoğlu'na Tünelden çıkmak bir buçuk dakika sürer. Günde 174 sefer yapılır ve vagonların sürati 21 kilometredir. Vagonlara binebilen en çok yolcu sayısı ise 150'dir. İstanbul'un metroya olan ihtiyacı devamlı ifade edilmesine rağmen, ancak 22 Haziran 1986'da yapımına başlandı. Toplam uzunluğu 25 km olarak planlanan ve Yenikapı'dan başlayıp Vatan Caddesi, Bayrampaşa, Sağmalcılar, Ferhatpaşa, Esenler, Bağcılar, Yenibosna, Havalimanı ve Ataköy'e kadar geniş bir güzergâhı takip edecek olan metronun Aksaray-Ferhatpaşa arasındaki yedi kilometrelik ilk bölümü Mart 1989'da ulaşımına açıldı.

Metroyu birkaç kat yaparak kapasitesini arttırmak mümkündür. Paris, Londra, New York, Tokyo metroları bu tiptir. Gürültüyü azaltmak için, ilk olarak 1956'da Paris'te denenen lastik tekerlekli metro, daha sonra Avrupa ve Amerika'da bulunan birçok şehirde kullanılmaktadır.

Metro, trafikten kurtulmak için semtler arasında yer altında düzenlenen çağdaş toplu taşıma sistemidir. İlk defa 1863 yılında Londra'da buharla çalışan metro sistemi yapılmış ve yine ilk defa Londra'da 1890 yılında elektrikle işleyen sisteme çevrilmiştir. Daha sonraları 1900 de Paris, 1902 de Berlin ve 1935 de Moskova metroları hizmete girmiştir. Metrolar, günümüzde birçok büyük yerleşim merkezinin vazgeçilmez toplu taşıma aracı haline gelmiştir [28].

4.2 Metrolarda Yangın Güvenlik Önlemleri

Ülkemizde, metro ve tünellerdeki yangın güvenliği ile ilgili kaynak oldukça azdır. Bu konudaki en önemli uluslararası kaynak ise NFPA (National Fire Protection Association) kodlarıdır. Yer altı yapılarındaki çıkış özellikleri NFPA 101'de verilmiştir. Bu tavsiyelerde; dışarı doğrudan çıkış, havalandırma ve itfaiyecilerin ulaşmasına imkân veren pencereler olmadığında oluşabilecek paniği önleme dikkate alınmaktadır. NFPA 130 raylı taşıma tünelleriyle ilgili yangın güvenlik önlemlerini içermektedir. Bu kaynaklar, bu konudaki genel standartları içermekte ve birçok konuda NFPA' in diğer kodlarını kaynak göstermektedir. İstanbul Metrosu Yangın Algılama ve İhbar Sisteminde, İngiliz standartlarından (BS: British Standard) azami ölçüde faydalanılmıştır. Yangından Korunma, Yangın Söndürme ve Kurtarma Sistemlerinde ise NFPA standartlarından faydalanılmıştır.

Metrolarda yangın güvenlik önlemleri kapsamında;

Yangın algılama sistemleri, yangın ihbar sistemleri ve yangın söndürme sistemleri, bulunmaktadır. Yangın algılama sistemleri; ana yangın algılama paneli MFAP(Main Fire Alarm Panel), yangın izleme paneli, optik ve iyonize duman dedektörleri, lineer artışlı ısı algılama kablolu dedektörü LHD (Linear Heat Detection), sabit değerli ısı dedektörü, ışın dedektörü, karbon monoksit dedektörü ve yangın ihbar butonlarını kapsamaktadır. Metrolardaki tüm yürüyen merdivenler, yürüyen bantlar, kablo tavalarının altı ve içi yangını erken algılamak için LHD (Linear Heat Detection) sistemi ile donatılmış olup bu sistem ana yangın algılama ve ihbar sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır.

Yangın ihbar sistemi, yangın algılama sistemi panelleri olan FAP'lara bağlı korna ve flaşörler yangın esnasında çalışanları ve yolcuları tahliye için uyaracak olan sistemdir. Bunun yanı sıra yangın senaryosunun bir parçası olan otomatik acil anons sistemi devreye girecektir.

Yangın söndürme sistemleri, genel olarak otomatik gazlı söndürme sistemleri, otomatik sprinkler sistemi, hidrant sistemi, hose-reel sistemi, kuru tip elle söndürme sistemlerinden oluşmaktadır.

Gazlı söndürme sistemleri: Bu gazların genel özelliği, söndürme sırasında elektronik sistemlere oksitlenme ve buzlanma yapmaması, ortamın oksijenini yaşam seviyesinin altına düşürmemesi, ozon tabakasına zarar vermemesidir. Sistem tam otomatiktir, sistem kendisi ilk yangını algılamasına müteakip ikinci bir detektörden de aynı yönde teyit almasından sonra boşalmak için 120 saniye (süre 0-120 saniye arasında ayarlanabilmektedir) geri saymaya başlar, sürenin bitiminde gaz otomatik olarak boşalır. Manuel durdurma butonu; yanlış alarm durumunda gazın gereksiz boşalmasını önlemek için kullanılır. Manuel boşaltma butonları ise yangın gözle görülmüş olup zaman kaybetmeksizin gazı boşaltmak için kullanılır.

Sprinkler sistemi: Yangın Kontrol Panellerine bağlı olan sprinkler sistemi, metroda her istasyonun geniş perspektifinde kullanılmıştır. Halka açık kısımlarda kullanılmamış olup istasyon içindeki halka kapalı alanlarda sulu sistemin kullanılabileceği kısımlarda mevcuttur. Aynı bölgedeki iki farklı yangın algılama detektöründen ihbar aldıktan sonra tam otomatik olarak sprinkler sulu söndürme sistemi aktif olur. Sprinkler sisteminin yerleştirilişinde NFPA 13 esas alınmıştır.

Hidrant sistemi: Sabit boru sistemi olan hidrant kuru tipte olup tünel ve peron boyunca kullanılmaktadır. Elli metre aralıklarla yerleştirilen hidrant başlıklarına yirmişer metrelik yangın hortumları bağlanarak peron ve tünellerdeki tüm noktalara ulaşılabilmektedir.

Hose-Reel (Hortum Makara) sistemi: İstasyon içinde peron hariç tüm katlarda belirli bölgelerde hortum-makara sistemi bulunmaktadır. İçinde hazır vaziyette basıncılı su bulunduran yangın söndürme sistemidir. Su kesilmesi durumunda her bir istasyonda 80-110 ton aralığında değişen su depoları mevcuttur.

İtfaiye kuru ve ıslak kolon hatları: Yangın durumunda su tankındaki suyun bitmesi ve şehir şebeke suyunun kesilmesi durumunda itfaiye aracı ile getirilen su, istasyon içerisindeki su tankına veya su tankına hiç uğramadan hidrant hattına aktarır. Aynı zamanda istasyonda muhtelif yerlere yerleştirilmiş ağızlara su basılacak şekilde itfaiye kuru ve ıslak kolon hatları mevcuttur. Bu hat vanaları, her istasyonda cadde seviyesinde ve itfaiye aracının kolayca erişebileceği şekilde konumlandırılmıştır.

Portatif yangın söndürme tüpleri: Kullanım yerlerine göre kuru kimyevi tozlu, Hidrokarbonlu, Köpüklü ve CO₂ gazlı olmak üzere dört eşitir.

Duman tahliyesi için istasyonlarda EXF fanları, tünellerde ise TVF fanları kullanılmıştır.

İstasyonlarda oluşan dumanın ve kirli havanın tahliyesi için istasyonlarda bulunan EXF fanlarının tamamı çift yönlü (fleme ve çekme) alışabilmekte olup saniyede 55m³ dumanı dışarı atabilecek kapasitedir

Tünellerde oluşan dumanın ve kirli havanın tahliyesi için her istasyonda tünellerin başı ve sonunda TVF fanları bulunmalıdır. Bu fanlar çift yönlü (fleme ve çekme) alışabilmekte olup saniyede 80 m³ dumanı dışarı atabilecek kapasitedir.

İstasyonlarda kullanılan malzemeler ve yer altı hızlı ulaşım istasyonları, NFPA 220'de belirtilen yangın yükü düşük olan, yangını yürütmeyen, zehirli gaz çıkartmayan ve yangına karşı dayanıklı malzemelerden yapılmıştır. Kullanılan tüm kablolar 750 °C sıcaklığa en az 3 saat dayanabilecek seviyededir. Araç vagonlarında kullanılan malzemeler de yanıcı değildir. Böylece, vagonların içinde bir yangının kendiliğinden başlayıp büyümesi önlendiği gibi herhangi bir sabotaj durumunda da yangının yayılması ve büyümesi engellenir. Vagonların içinde yangın söndürme için portatif tüpler kullanılmıştır.

Sistemlerin yangın güvenliği, yangının etkilerine karşı can ve mal koruması amacıyla entegre edilen tesis tasarımı, işletme ekipmanları, donanım, prosedürler ve yazılım alt sistemleri ile, sistemin tamamı için istenen yangın güvenlik düzeyi her bir alt sistem için gereken düzeylerin entegrasyonu ile sağlanmaktadır [29].

Günümüzde birçok büyük yerleşim merkezinin vazgeçilmez toplu taşıma aracı haline gelen metrolarda yangın güvenlik önlemlerini üç başlıkta değerlendirilebilir.

- Vagonlarda Yangın Güvenlik Önlemleri
- Tünelde Yangın Güvenlik Önlemleri
- İstasyonda Yangın Güvenlik Önlemleri

4.2.1 Vagonlarda yangın güvenlik önlemleri

Vagonlardaki yangın güvenlik önlemleri en başta vagonun dizaynı aşamasında seçilecek malzemenin yangına dayanıklı olup olmamasına, aynı zamanda söndürme araçlarının ve algılama sistemlerinin bulunup bulunmamasına dayanmaktadır.

- Vagonların yapımında yanıcı olmayan malzemelerin kullanılması çok önemlidir. Özellikle plastik esaslı, yanınca zehirli gaz çıkaran malzeme kullanımından kaçınılmalıdır.
- Elektrik kablolarının yangına dirençli olması herhangi bir elektrik kaçağı olduğu durumda yanmaması ve daha büyük zararlara yol açmaması açısından çok önemlidir. Vagon içindeki yolcu koltuklarının yanmaz veya yangına dirençli malzemeden yapılması gerekmektedir. Böylece hem vagonlar içinde oluşan bir yangının büyümesi önleneceği gibi olası bir sabotaj durumunda da yangının yayılması kontrol altına alınmış olur.
- Vagonların içerisinde yangın algılama sistemi olması gerekmekte, olası yangın anında uyarıyı alan makinistin istasyonlar arasında durmayıp söndürme ve kurtarma çalışmalarını kolaylaştırması için istasyona kadar gidebilmesi sağlanmalıdır.
- Vagon içinde yangın söndürme araçlarının yanında otomatik söndürme sistemlerinin olması oluşabilecek felaketlerin en az zararla atlatılmasını sağlayacaktır.
- Kablo bağlantı gereklilikleri; çekiş gücü, yol tarafındaki kablo başlığını, kablo başlığı ve kontak (üçüncü) ray arasındaki kabloyu veya havai kabloyu, kontak rayı desteklerini ve özel uyarı ve tanımlama işaretlerini kapsamaktadır. Çekiş

gücü için kullanılanlar dışındaki tüm kablo malzeme ve tesisatları, NFPA 70 gerekliliklerine uygun olmaktadır [30].

4.2.2 Tünelde yangın güvenlik önlemleri

Yeraltı toplu taşıma sistemlerinde oluşan yangınlarda insan hayatını esas tehdit eden yangına direkt maruz kalmak değildir. Yangınlarda ölümlerin büyük bölümü duman solunması sonucudur. Yangından oluşan zehirli gazlar hem insanların solunumunu etkilemekte hem de görüş mesafesini düşürmektedir. İnsanların yeraltı toplu taşıma sistemlerini (metroları) güvenli bir şekilde kullanabilmeleri için havalandırma sistemlerinin ayrıntılı ve dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Acil durum havalandırma sisteminin amacı insanlar için gerekli kaçış süresini sağlamanın yanı sıra itfaiye personelinin yangına müdahale etmesini de kolaylaştırmaktır. Sıcaklığın havalandırma sistemi sayesinde düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir. Böylelikle insanlar kaçış süresince herhangi bir tehdit ile karşılaşmayacaklardır [31].

4.2.2.1 Havalandırma ve duman tahliye sistemleri

Havalandırma sistemi istasyonlarda ve tünellerde hem normal, hem de kalabalık zamanlarda uygun koşulların temin edilmesini ve yangın çıkması durumunda yolcuların ve personelin güvenli bir şekilde tahliye edilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmış ve monte edilmiştir.

Acil durum havalandırması acil durum havalandırmasının ana amacını başarmak için birlikte çalışmaları gereken aşağıdaki sistemlerden oluşur:

- Tünel havalandırması
- İstasyon yolcu kısmı havalandırma sistemi

Hem tünel, hem de halka açık alan havalandırma sistemleri bütün kontrol ve izleme fonksiyonlarını yerine getirmek için her bir tünel havalandırmasında ve halka açık alan, fan odasında bulunan PLC tarafından temin edilir.

Duman kontrolü, dumanın mekan dışına çıkarılmasını veya seyreltilmesini kontrol etme metodu olarak tanımlanır. En çok kullanılan metotlar aşağıda sıralanmıştır. Dumanın yayılmasını durdurmak, seyreltmek, temizlemek, havalandırmak, basınçlandırmak ve basınç düşürmektir. Bu hareketliliği fanlar ve menfezler sağlamaktadır ve yönetmeliğe uygun şekilde olması gerekmektedir [32].

Tünelde yangın durumunda acil durum havalandırması

Tünel havalandırma sistemi normal, sıkışık ve acil durumlarda tünel ortamını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Sistemin normal etkinliği sırasında havalandırma, trenin piston etkisi vasıtasıyla temin edilecek ve sıra dışı koşullarda ve sıkışık durumlarda tünel havalandırması zorlanmış havalandırma vasıtasıyla temin edilecektir.

Tünel havalandırma sistemi şunları içerir:

- İstasyonların her iki uçlarında havalandırma şaftları
- Her bir şafta tamamen ters çevrilebilir 2 fan, kısa devre ve yalıtım damperi, havalandırma panjuru ve ses emici ünitesi,
- Tünelin hava sıcaklığını tespit etmek için tünel ısı sensörleri ve duman detektörleri.

Trenlerin önceden planlanmış ya da planlanmamış bir süre boyunca durma durumuna girmeleri halinde normalde tren piston etkisiyle elde edilen hava akışını sağlamak amacıyla tünel havalandırma fanları aktifleştirilecektir.

Acil durum koşulları sırasında tünel havalandırma sistemi, yanma sonucu ürünleri ortadan kaldırmak ve hava sıcaklığını düşürmek için yangın alanına taze ve soğuk hava verecektir. Sistem ayrıca tahliye operasyonlarını temin etmek ve kurtarma ekibine daha kolay yaklaşılmasına olanak sağlamak için tünellerde ve istasyonlarda hava akışlarını da kontrol edecektir.

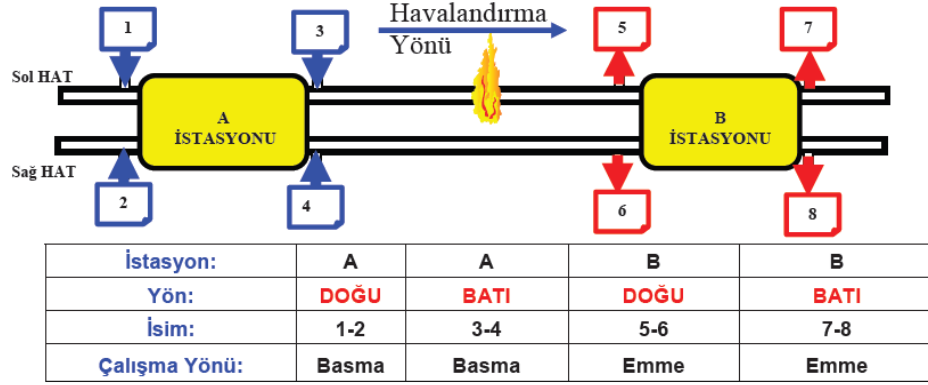
Acil durum tünel havalandırması SCADA sistemi vasıtasıyla Kontrol Merkezinden işletilmektedir.

Tünel havalandırma ekipmanının aktifleştirilme felsefesi (havalandırma konsepti) bölüm 4.2.2.2’de ele alınmıştır.

Tünellerdeki acil durum, trenin tünelde yanıp, hareket edemez konumda kalmasıdır. Tünel yangınlarında dumanı istenen yönde tahliye edebilmek ve insanlara güvenli bir kaçış yönü sağlamak amacıyla genel olarak istasyonların etrafında yer alan, acil durum havalandırma fanları kullanılmaktadır. Bu fanların, yangının tren ve tünel üzerindeki pozisyonuna göre emme veya basma çalışması gerekmektedir.

Tünel acil durum havalandırma sistemi genellikle basma çekme prensibi kullanılarak duman tahliyesi sağlamaktadır. Şekil 4.1’de acil durumda oluşacak havalandırma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Basma çekme prensibi gereği, yangının bir

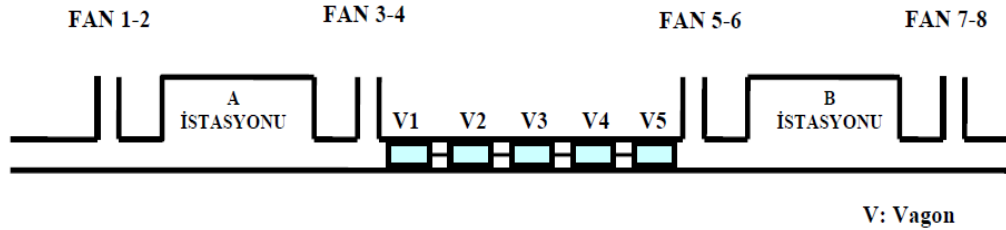
tarafındaki istasyonda veya tünelde bulunan acil durum havalandırma fanları emme diğer taraftaki fanlar basma durumunda çalıştırılır.



Şekil 4.1: Acil durum havalandırma sisteminin şematik gösterimi.

Bu fanların, emme ve basma durumunda aynı aerodinamik performansa sahip olması (tersinir-reversible) gerekmektedir.

Tünel acil durum havalandırma sistemlerinde havalandırmanın yönüne karar verirken kullanılan önemli kriter yangının trenin hangi kısmında çıktığıdır.



Şekil 4.2: Tüneldeki trenin vagonlarının gösterimi.

Şekil 4.2’de tüneldeki trenin vagonları görünmektedir. Eğer yangın trenin baş kısmında (Vagon 1) çıktıysa havalandırma B İstasyonundan A İstasyonuna doğru olmalıdır. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere bu durumda yolcu tahliyesi B istasyonu yönünde olmalıdır.

Eğer yangın trenin orta kısmında (Vagon 3) çıktıysa havalandırma iki yönlü de olabilir. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere yolcu tahliyesi havalandırma fanlarının basma çalıştırıldığı istasyon yönüne doğru olmalıdır.

Eğer yangın trenin son kısmında (Vagon 5) çıktıysa havalandırma A İstasyonundan B İstasyonuna doğru olmalıdır. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere yolcu tahliyesi A istasyonu yönünde olmalıdır.

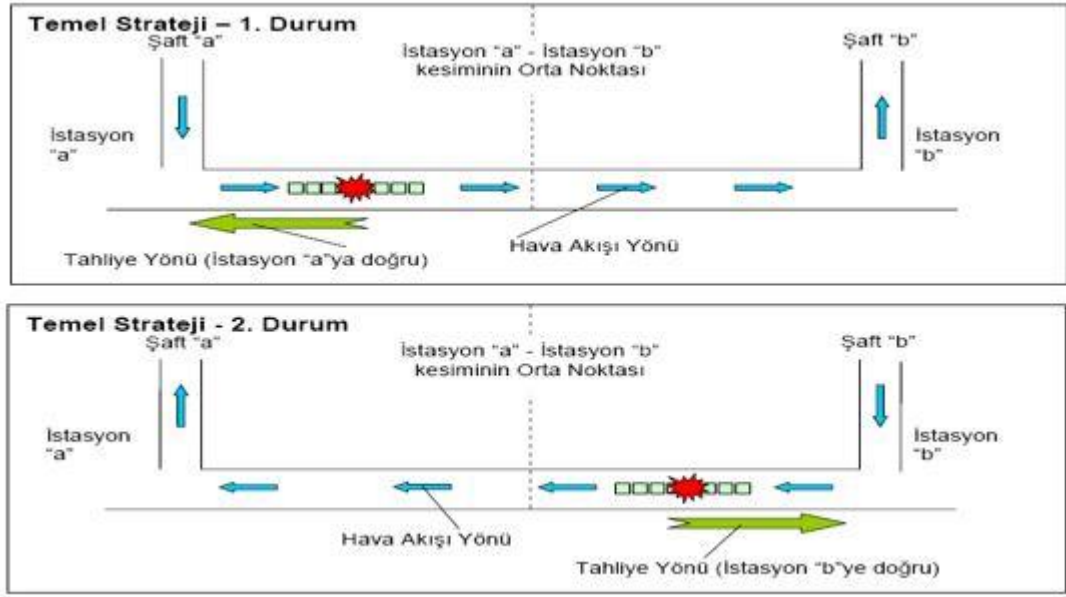
Çizelge 4.1: Yangının tren üstündeki konumuna göre uygulanacak havalandırma tipleri.

Yangın Vagonu	A İSTASYONU		B İSTASYONU	
	1-2	3-4	5-6	7-8
V1	Emme	Emme	Basma	Basma
V3	Emme/Basma		Basma/Emme	
V5	Basma	Basma	Emme	Emme

Tünel yangınlarında havalandırma esnasında istasyonlarda bulunan havanın yönlendirilmesi de önem arz etmektedir. Bu yönlendirilme sayesinde havalandırma hızının istenilen düzeyde olmadığı alanlarda da (makas bölgeleri ve diğer geniş yapılar) havalandırma hızı yükseltilebilir [33].

Yangın acil durumu olması halinde tünel havalandırmasının nasıl yönlendirildiği en kötü yangın senaryosu üzerinden değerlendirilecek olursa, metro için en fazla tehdit barındıran tehlikeli senaryo yanan bir tren bir tünelin içinde durmasıdır. Bu durumda yolcular güvenli bir alana (bir istasyona) erişmek için tahliye olmak zorundadır. Yapılacak ilk şey tahliye olan yolcuların kaçış güzergahının taze hava ile beslenmesidir. Eğer yangın trenin arka ucunun altında olduğuna, ya da bir başka trenin yanan trenin önünde yolda kaldığına ilişkin belirli kesin göstergeler varsa, havalandırma stratejisi yani tahliye stratejisi o anki koşullara bağlı olarak Kontrol Merkezi tarafından değiştirilebilir.

Temel strateji trenin hat üzerindeki konumuna dayalı olarak uygulanacaktır. Fakat Kontrol Merkezi Operatörünün temel havalandırma stratejisini değiştirmesi ve mevcut bilgilere ve beklenmedik duruma göre akışı en uygun yöne doğru yönlendirmesi mümkündür.



Şekil 4.3: Tüneldeki trende yangın durumunda uygulanacak temel strateji.

Tüneldeki olay için temel havalandırma stratejisi geniş anlamda en yakın iki havalandırma istasyonunda bulunan havalandırma ekipmanının çalıştırılmasıyla uygulanır: İstasyon “a” ve istasyon “b” havalandırma ekipmanları buna örnek verilebilir. Şekil 4.3’de istasyonda tren içindeki yangın durumundaki temel strateji gösterilmiştir.

Temel havalandırma stratejisi Kontrol Merkezindeki Operatörün uygulanan Sinyalizasyon Sistemi vasıtasıyla (bütün işletim modlarında, CBTC ve ITC) iki istasyon arasındaki her bir hat kesiminin orta noktasını göz önünde bulundurarak her bir trenin gerçek konumunu tanımlayabildiği varsayılarak gerçekleştirilmiştir.

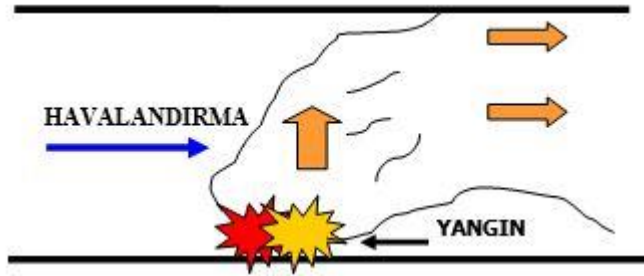
4.2.2.2 Yangın simülasyon programı sonucu havalandırma kriterleri

Havalandırma stratejilerinin ve her bir havalandırma senaryosuyla ilgili komşu fan sayısının “Tünel Acil Durum Havalandırması ve İstasyon Konfor Havalandırması Simülasyonu Çalışması” Simülasyon Raporu dâhilinde analiz edilmektedir. Bu raporun kapsamı yolcuların tahliyesi için bir yolu temizlemek amacıyla dumanı ve sıcak gazları arzu edilen bir yöne zorlamak için doğru havalandırma manevralarını tanımlamaktan oluşmaktadır. Bunun ışığında, Şekil 4.4’de görüldüğü gibi benimsenen tasarım kıstası ısınmış havanın üst katmanının zorlanmış havalandırmanın tersi yönünde akmasını önlemek için tünel boyunca boyuna hava akışını korumak

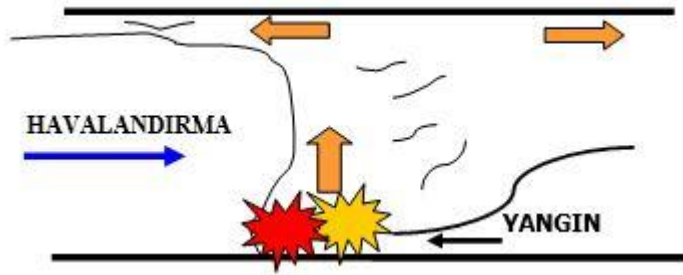
olmaktadır. Havanın tersi yönde akmasına geri katmanlaşma denmektedir. Şekil 4.5’de geri katmanlaşma görülmektedir.

“Tünel Acil Durum Havalandırması ve İstasyon Konfor Havalandırması Simülasyon Çalışması” Raporunda bildirilenlere göre analitik olarak, her bir hat kesimi için geri katmanlaştırmının yokluğunu garantileyecek en düşük hız hesaplanır. Yangın yerinde geri püskürmenin önlenmesi için gereken, bir tünel veya geçit içinde yangına doğru hareket eden hava akımının minimum dengeli hızına Kritik Hız denir [34]. CFD kuralı “Metro Çevresel Simülasyonu” vasıtasıyla kritik hız gereksiniminin her bir hat kesiminde karşılandığı doğrulanarak bu amaca erişilmiştir.

$$V_{kritik} \leq V_{havalandırma} \quad (4.1)$$



Şekil 4.4: Yeteri kadar havalandırılmış tünel yangını-ters katmanlaşma yok.



Şekil 4.5: Havalandırılmanın yetersiz kaldığı tünel yangını-ters katmanlaşma var

Kritik hız denklemi

$$V_c = K \cdot K_g^3 \sqrt{\frac{gHQ}{\rho c_p A T_f}} \quad (4.2)$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho c_p A V_c} + T \quad (4.3)$$

$$K_g = 1 + 0.0374(Eğim)^{0.8} \quad (4.4)$$

V_c = Kritik Hız (m/s)

H = Tünel Yüksekliği (m)

Q = Yangın Isısal Gücü (W)

g = Dünya çekim ivmesi (m/s^2)

ρ = Dış havanın özkütlesi (kg/m^3)

C_p = Havanın sabit basıncındaki ısı sıhası ($J/kg.K$)

A = Tünel Kesit Alanı- Tren kesit Alanı (m^2)

T_f = Duman Sıcaklığı (K)

$K = 0.61$

K_g = Eğim doğrulama faktörü

T_a = Dış Hava Sıcaklığı (K^o)

Grade = % Eğim değerinin mutlak değeri

Hava Hızı Kriterleri

Yeraltı toplu taşıma sistemlerinde, olası bir yangın durumunda tünel içerisinde olması gereken hava hızı değerleri, NFPA (National Fire Protection Association) 130 kurallarına bağlı olarak belirlenir. NFPA-130 kurallarına göre olası bir yangın durumunda tünel içerisinde olması beklenen en düşük hava hızı değeri 2.5 m/s'dir. Bu değer yapılan çalışmalar ışığında, insanların hava akımını hissedebileceği en düşük hava hızı olarak belirlenmesi sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca insanların, hızı en fazla 11 m/s olan hava akımına karşı yürüyecek olmalarından dolayı, acil bir durumda tünel içerisinde olması gereken en yüksek hava hızı değeri 11 m/s olarak tayin edilmiştir.

Tünel acil durum havalandırma sistemlerinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer etken ise "Kritik Hız"dır. Tünel içerisinde hareketsiz kalmış, yanmakta olan bir trenden sıcak ve zehirli gazlar tüm tünele yayılacak şekilde açığa çıkmaktadır. Eğer tünel acil durum havalandırması bu sıcak ve zehirli gazları, tünel içerisinde bir yöne doğru yönlendirmedi yeterli olamazsa bu gazlar tüm tüneli sararak yolcuların güvenliği tehdit edebilmektedir. Kritik hız, trenden yayılmakta olan sıcak ve zehirli gazları, tünel içerisinde bir yöne doğru yönlendirmek için, dolayısıyla diğer yönde

yolcular için güvenli bir kaçış yolu sağlamak için, gerekli olan en düşük hava hızı değeridir. Kritik hız değeri, yangın yükü, ortam sıcaklığı, tünel kesit alanı, tünel eğimi, tünel yüksekliği gibi birçok parametreye bağlıdır. Kritik hız değeri, kritik hız ve yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığı 4.2, 4.3 ve 4.4 denklemlerinin iteratif bir biçimde çözülmesi sonucunda elde edilir:

Yangın Isısal Gücü (W)	$Q = 18 \times 10^6 \text{ W}$
Tünel Kesit Alanı - Tren kesit Alanı (m^2)	$A = 53,9 - 9 = 44,9 \text{ m}^2$
Tünel Yüksekliği (m)	$H = 5,6 \text{ m}$
Dış Hava Sıcaklığı (K^0)	$T_a = 307 \text{ K}^0$
Dış havanın özkütlesi (kg/m^3)	$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$
Havanın sabit basıncındaki ısı sıhası ($J/kg.K$)	$C_p = 1005 \text{ J/kg.K}$
Dünya çekim ivmesi (m/s^2)	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Birimsiz sabit	$K = 0,61$
Eğim (%)	$\Phi = 2,22$

$$K_g = 1 + 0.0374(Eğim)^{0.8} = 1 + 0.0374(2,22)^{0.8} = 1,07$$

Yukarıdaki veriler aşağıdaki denklemlerde yerine konulup her iki denklem sonucunda elde edilen değerler değişmeyene kadar yapılan denemeler sonucunda (iteratif bir şekilde çözüldüğünde) $V_c = 2,3 \text{ m/s}$ ve $T_f = 461 \text{ K}$ bulunur.

Bu denklemlerde; V_c kritik hızı (m/s), Q yangın yükünü (W), T_f yangın bölgesi sıcak hava sıcaklığını (K), T ortam sıcaklığını (K), A tünel kesit alanını (m^2), ρ havanın yoğunluğunu (kg/m^3), C_p sabit basınçlı havanın özgül ısı katsayısını ($J/kg.K$), H tünel yüksekliğini (m) göstermektedir. K birimsiz sabit = 0.61, K_g ise eğim düzeltme katsayısını göstermektedir. “ α ” yüzde cinsinden tünelin eğimi olduğunda K_g denklemden elde edilmektedir.

K_g değerinin kullanılması ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken nokta, eğer tünel içerisinde yangın olan bölgede havalandırma yönü yokuş yukarı veya düz ise K_g değeri 1 olarak alınır, eğer havalandırma yönü yokuş aşağı ise K_g için verilen denklem kullanılarak değer birden büyük bulunur. Bunun gerekçesi, sıcak gazların tünelin tavanına doğru yükselecek olması, hatta eğimli olan tünellerde daha fazla yükselecek

şekilde eğimi kullanarak yayılmasıdır. Dolayısıyla yokuş aşağı yapılacak olan havalandırma durumunda, yükselen sıcak gazları da yokuş aşağı süpürmek için daha yüksek havalandırma hızına ihtiyaç duyulmaktadır, bu da kritik hız için daha yüksek bir değer hesaplanmasını açıklamaktadır.

Kritik hız değeri, iki farklı kesit alana baz alınarak hesaplanabilir. Bunlardan ilki tünelin boş kesit alanına göre, ikincisi ise tünelin kesitinde trenin de var olduğu düşünülerek, tünel kesit alanından tren kesit alanının çıkarılması ile elde edilen net alan baz alınarak hesaplama yapılmasıdır.

“Fire Simulation Program” ile farklı tünel kesit alanlarında, tünel eğimlerinde, yangın yüklerinde ve ortam sıcaklıklarında iki farklı kesit alanı baz alınarak da birçok kritik hız değeri hesaplanabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

İki farklı uygulamada ortam sıcaklığı aynı kabul edilirse, yangın yükü daha fazla olan uygulamada, kritik hız değeri diğer uygulamaya göre daha yüksek çıkmaktadır. Özetle daha yüksek yangın yükü değeri için, daha yüksek kritik hız değeri hesaplanmaktadır.

İki farklı uygulama için yangın yükü değerleri sabit kabul edilirse, ortam sıcaklığı daha yüksek seçilen uygulamada kritik hız değeri, diğer uygulamaya göre çok az farkla daha düşük çıkmaktadır. Fakat yangın bölgesinde hava sıcaklığında bir artış olduğundan, genellikle kritik olan durumun yüksek ortam sıcaklığı olan uygulama olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yokuş aşağı yapılan havalandırma ile düz seviyede veya yokuş yukarı yapılan havalandırma durumları karşılaştırıldığında, daha önceden belirtildiği gibi, yokuş aşağı yapılacak olan havalandırma durumunda kritik hız değeri daha yüksek çıkmaktadır.

İki farklı uygulamada baz alınan kesit alanları farklı olarak düşünüldüğünde, net alan ile yapılan hesaplamalarda, tünelin kesit alanının tamamının alındığı çalışmaya göre daha yüksek kritik hız değerleri elde edilmektedir.

Bu bilgiler ışığında, tünel acil durum havalandırma sistemi, hareketsiz yanmakta olan trenin yer aldığı tünel için gerekli olan en düşük hava hızı kriterini; 2.5 m/s veya daha büyükse kritik hız olarak sağlamak zorundadır.

Acil durum havalandırma sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler:

$$V_{kritik} \leq V_{havalandırma} \leq 11 \text{ m/s} \quad (4.5)$$

$$T_{tahliye \text{ yolu}} \leq 50 \quad (4.6)$$

Yer altı Toplu Taşıma Sistemlerinde acil durum havalandırma simülasyon çalışmaları dünyaca kabul edilmiş bazı yazılımlar aracılığı ile yapılmaktadır.

SES : Tünel Yangını ve Konfor Havalandırması Simülasyon Çalışmaları (Dünyada en yaygın olarak kullanılan ve önerilen programdır)

FDS : Mekanlarda yangın simülasyonu ve yangının detaylı incelemesi (istasyon ve tren içi yangınları)

Genel Amaçlı CFD Programları : İstasyonlarda 3 boyutlu zamana bağlı yangın simülasyonları için.

Ayrıca ODTÜ – TARU’ da geliştirilen çeşitli özel amaçlı programlar mevcuttur.

SES ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. SES Tünel yangını simülasyonu programı acil durum havalandırma sisteminin tasarımında ve yeterliliğinde kullanılmaktadır.

FDS programı yangın yükünün tespitinde, istasyon yangınları sırasında oluşan sıcaklık, duman hava hızı dağılımlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

CFD programları ise istasyon yangınlarında, yangının üç boyutlu gelişimi ve sıcaklık, hava ve duman hareketlerinin zamana bağlı olarak değişiminin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Acil durum havalandırmasının simülasyonu, yangının üzerinden geçen hava akımının hızını belirlemek ve bunu hesaplanan kritik hız ile karşılaştırmak için yapılmaktadır.

Dumanı bir yöne iterek, diğer yönde duman ve sıcak gazdan arınmış bir kaçış yolu yaratmak için gerekli olan en düşük hava hızı “Kritik Hız” olarak tanımlanmaktadır.

Bir tünel havalandırma sistemi tasarlanırken, tünellerin herhangi bir noktasında bir tren yangını çıkma olasılığı göz önüne alınmalıdır.

Bir tünelde yangın çıkması durumunda acil durum fanları mümkün olduğu kadar çabuk devreye girmeli ve hava akımı yolcular için güvenli bir kaçış yolunu garanti etmelidir.

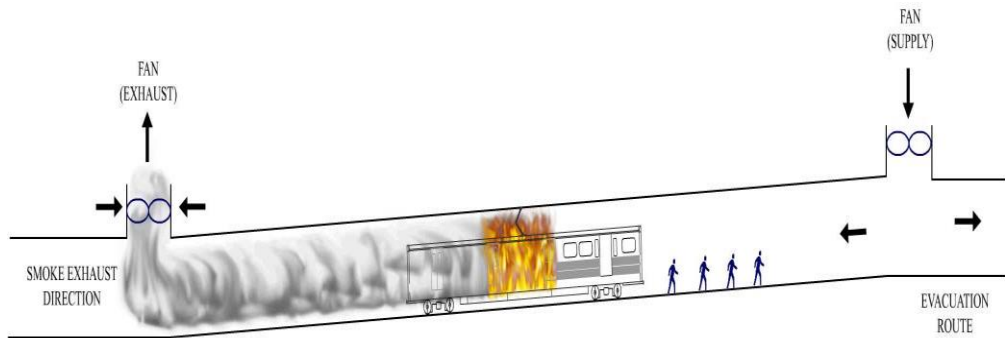
Acil durum havalandırma senaryolarında genelde istasyonlarda her iki tarafına yerleştirilen acil durum havalandırma fanları kullanılmaktadır.

İstasyonlarda bulunan platform üstü ve altı havalandırma sistemleri yapılan simülasyonlarda en kritik durumu yansıtmak amacıyla genelde kullanılmamaktadır.

Sonuç olarak, Fire Simulation Program kullanılarak yeraltı toplu taşıma tünellerinde çıkabilecek bir yangın durumunda;

- Yangının çıkış noktasına ve yerine bağlı olarak yangın evrelerinin süreleri ve açığa çıkması beklenen ısı güçleri hesaplanabilmektedir;
- Kritik hız değeri hesaplanarak gerekli olan en düşük hava hızı kriteri belirlenebilmektedir;
- Hava hızı kriterine bağlı olarak havalandırma ve tünel sistemi için acil durum fan sisteminin yeterliliğine karar verilebilmekte, ve tünel içerisinde sıcaklık dağılımı bulunabilmektedir;
- Tünel içerisinde bulunan sıcaklık dağılımına bağlı olarak insanların güvenliği (kaçış yolu boyunca en yüksek sıcaklığın 60°C olması gerekliliği–NFPA130) ve fanların dayanıklılığı (1 saat boyunca 250°C'ye dayanıklı olması) konusunda karar verilebilmektedir.

En kötü durum senaryosu: Şekil 4.6'da görüldüğü gibi fanlar arasında tünelin maksimum eğimli bölümünde durmuş, yanmakta olan bir tren modeli düşünülmekte ve tünel içinde yükselen dumana karşı havalandırma yapılacağı göz önüne alınmaktadır. Yangının trenin ortasındaki vagona çıktığı varsayılmaktadır.



Şekil 4.6: En kötü durum senaryosu.

Teknik şartnamede belirlenen hava hızı kriterlerine göre, yolcu tahliyesini kolaylaştırmak için, tünel içerisindeki minimum hava hızının 0,82 m/s'den ve kritik

hava hızından büyük maksimum hava hızının ise 11 m/s'den küçük olması koşullarının da sağlanıp sağlanmadığının simülasyon programı tarafından gösterilmesi amaçlanmaktadır. Tünel içindeki yangın bölgeleri belirlenirken, en kritik bölgeler; hattın eğimine, tren pozisyonuna, tünel alanına bağlı olarak belirlenir.

Tünel havalandırma sisteminin belirlenen bölgelerdeki yangın senaryolarında her iki yönde de duman tahliyesini sağladığı kontrol edilmelidir.

Yapılacak çalışmalarda trenden kaynaklanan, tünel kesitindeki alan daralması etkisi de dikkate alınmalıdır.

4.2.3 İstasyonda yangın güvenlik önlemleri

Tünelde yanmaya başlayan ve hareket edebilen tren en yakın istasyona çekilir. Bu nedenle istasyon içinde tahliye için güvenli bir ortam sağlanmalıdır.

Tasarım gereksinimleri

Kaçış yönü boyunca sıcaklık 50 °C yi geçmemelidir.

Görüş mesafesi 10 m'den daha fazla olmalıdır.

Kaçış yolu tamamen dumandan arındırılmış olmalıdır.

İstasyonda yangın durumu göz önüne alındığında, platformun boşaltılma süresi 6 dakika, istasyonun tahliye süresi ise 10 dakika olmalıdır.

İstasyonda olay olması halinde acil durum havalandırması

Yanan bir aracın bir istasyonun peronunda durmasını içeren acil durum senaryosunda acil durum havalandırma sistemi yolcular için dumansız bir tahliye yolunu garanti etmelidir.

Havalandırma kısımları kanallar, hava tahliyeleri, fanlar, hava filtreleri, kontrol damperleri dizileri, motor kontrol paneli, programlanabilir kontrolör (PLC), duman ve ısı tespit sistemleri, elektrik ve kontrol ağları dizilerinden oluşur.

Yer altı istasyonunda aşağıdaki fonksiyonları yerine getirmek üzere bir peron altı boşaltma sistemi (Peron altı kirlenmiş hava boşaltma sistemi) kurulmuştur:

- İstasyon ekipmanının, yolcuların ve normal faaliyetteki trenlerin neden olduğu ısının giderilmesi.
- Yangın çıkması halinde duman kontrolü.

İstasyonun diğer bölümleriyle ilgili yangın durumlarına ve tahliye ilkelerine Yangın Senaryoları başlığı altında değinilecektir.

4.3 Metrolarda Yangın Senaryoları ve Acil Durum Eylem Planları

Metrolarda yangın senaryoları, olası bir yangın durumunda yangına ne şekilde müdahale edilmesi, duman ve insan tahliyesinin ne şekilde yapılması gerektiği, kısaca en çabuk şekilde tahliye olunmasını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli sistemlerle yapılmış hem otomatik hem de manuel çalışabilen kurtarma ilkelerinden oluşmaktadır. Asansörler, yürüyen merdivenler, tünel havalandırma fanları, tünel havalandırma fanlarına ait damperler, tünel havalandırma fan odalarında bulunan By-Pass damperleri, duman atım fanları, konfor havalandırması egzoz fanları, motorlu yangın damperleri ve merdiven basınçlandırma fanları olası bir yangın durumunda bulunmaktadır. Ayrıca yangın pompaları, kompresör, sesli ve ışıklı uyarı cihazları, turnikeler, ışıklı tehlike girilmez levhaları, acil durum anonsu, tünel acil durum aydınlatma armatürleri, istasyon acil durum aydınlatma armatürleri ve manyetik tutuculu yangın kapıları tünel yangın senaryoları kapsamında değerlendirilmiştir.

Otomatik Yangın Senaryosu: Herhangi bir noktadan yangın ihbarını, yangın algılama panelleri olan FAP' ların algılamasına müteakip eş zamanlı olarak yangının geldiği istasyonun kontrol odasındaki MFAP paneline, SIMS ve VIMS bilgisayarlarına ve ana kontrol merkezindeki SCADA ve ECS bilgisayarlarına yangın bilgisi gelmektedir. Bunun üzerine ilgili istasyondaki görevliler olay yerini kontrol ettirmelidirler. Şayet gerçekten yangın varsa otomatik olarak tavsiye edilen yangın senaryosunu başlat onayı ana kontrol merkezi CCR (Central Control Room) tarafından verilir. Bu senaryoya göre otomatik olarak;

- Dumanın tahliyesi için uygun yönde TVF ve EXF fanları çalışır. Temiz hava veren INF fanları kapanmaktadır,
- Turnikeler serbest kalır,
- Girilmez levhaları aktif hale gelir,
- Acil çıkış kapıları serbest kalır,
- İlgili yürüyen merdivenler durur,
- İlgili asansörler senaryoya uygun olarak davranır,
- Acil anons devreye girer,

- Sprinkler sistemi aktif olur.

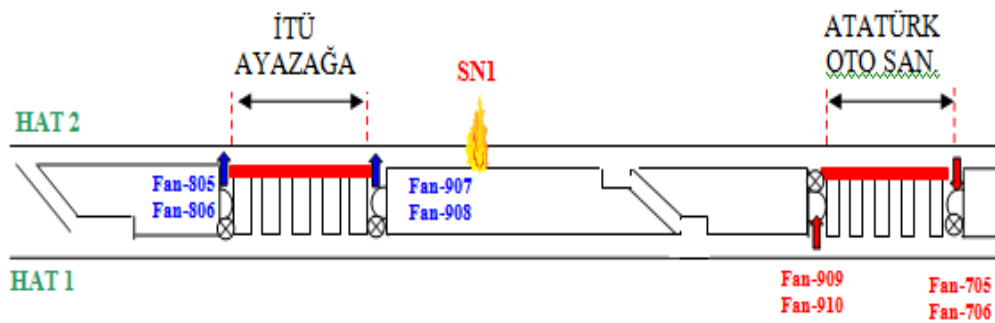
Alternatif Yangın Senaryoları: Yukarıda belirtilen senaryolar, Ana Kontrol Merkezi CCR tarafından manuel olarak da başlatılabilecek özelliğe sahiptir. Aynı senaryolar Kumanda Merkezi tarafından yapılamaması durumunda, İstasyon İşletme Odalarından SOR (Station Operation Room) çalıştırabilir. İstasyon İşletme Odalarındaki sistemlerin çalışmaması durumunda, Lokal Kontrol Panellerinden LCP (Local Control Panel) duman tahliyesi yapılabilir. Yukarıda sistemlerin arıza ve bakımlarını yapan birimler bunların testlerini belli periyotlarla yapmaktadır.

Senaryo Testleri ve Tatbikatlar: Sistem Emniyet Şeflikleri koordinesiyle tüm birimler belli periyotlarda tünelde yangın, araçta yangın, istasyonda yangınların farklı simülasyon, tatbikat ve eğitimlerini yapmaktadır. Gerekli durumlarda; İtfaiye, Emniyet, Akom, Sivil Savunma, Hızır Acil vb. kurumlar da testlere katılmaktadır. Böylelikle, metro acil durum sistemleri ve çalışanları bir yangın durumuna her zaman hazır tutulmaktadır.

4.3.1 Tünelde yangın senaryoları ve acil durum eylem planları

Tünelde algılama/ihbar sistemi olmadığı için SOR ve CCR' a bilgi gelmez. Tüneldeki bilgi kaynağı makinistlerdir. Makinistlerin verdiği bilgiler doğrultusunda yangın /duman tahliye senaryosu başlatılır ve buna bağlı olarak bir acil durum planı uygulanır. Aşağıda İstanbul Metrosunda İtü Ayazağa-Atatürk Oto sanayi arasında tünelde meydana gelebilecek 10 adet senaryo bulunmaktadır [33].

Senaryo 1



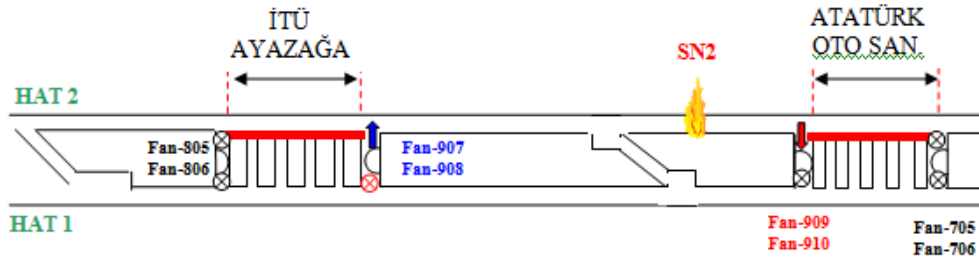
Şekil 4.7: Senaryo 1 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.2: Fan Çalışma Senaryosu 1.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	Basma	Basma	Emme	Emme
Çalıştığı Hat:	Hat-2	Hat-2	Hat-1	Hat-2

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki arka vagonda çıktığı varsayılmıştır. Yolcular en yakın olan İTÜ İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere 805-806-907-908 nolu fanlar basma yönünde 909-910-705-706 nolu fanlar emmeye çalışarak duman tahliyesinin Atatürk Oto Sanayiye doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 3,1 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 2



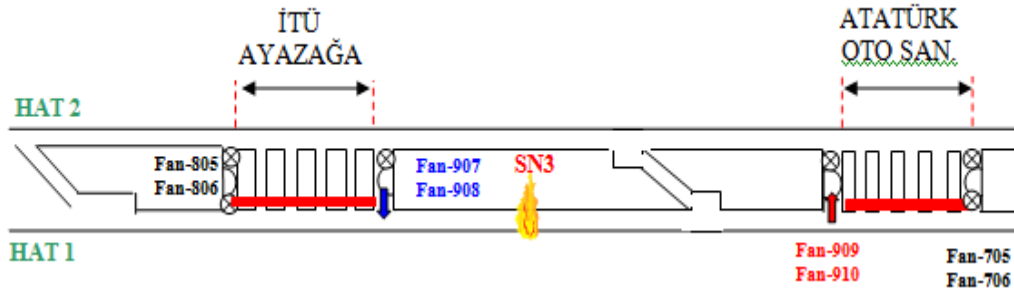
Şekil 4.8: Senaryo 2 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.3: Fan Çalışma Senaryosu 2.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Emme	Emme	KAPALI
Çalıştığı Hat:		Hat-2	Hat-2	

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki arka vagonda çıktığı varsayılmıştır. Yolcular İTÜ İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere 907-908 nolu fanlar basma yönünde 909-910 nolu fanlar emmeye çalışarak duman tahliyesinin Atatürk Oto Sanayiye doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 4,2 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 3



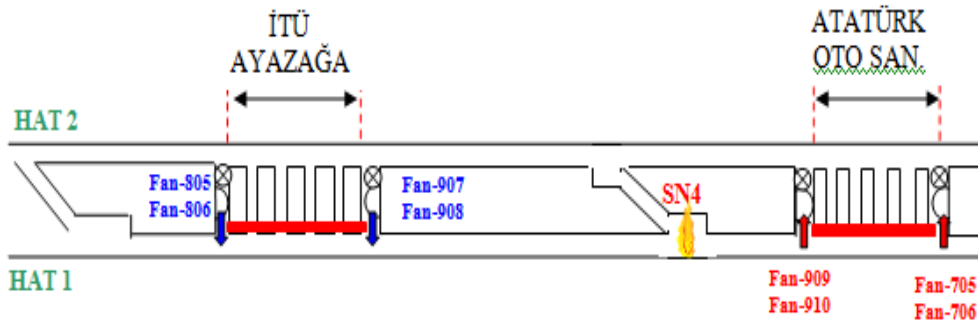
Şekil 4.9: Senaryo 3 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.4: Fan Çalışma Senaryosu 3.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Basma	Emme	KAPALI
Çalıştığı Hat:		Hat-1	Hat-1	

Şekil 4.9'de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki arka vagonunda çıktığı varsayılmıştır. Yolcular İTÜ İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.4'de görüldüğü üzere 907-908 nolu fanlar basma yönünde 909-910 nolu fanlar emmeye çalışarak duman tahliyesinin Atatürk Oto Sanayiye doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 4,1 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 4



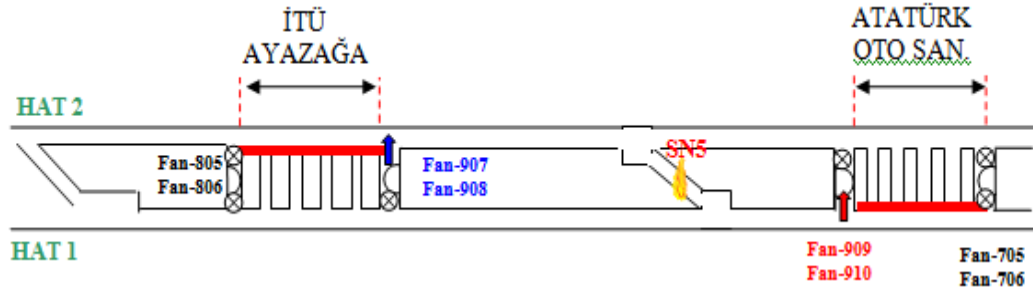
Şekil 4.10: Senaryo 4 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.5 : Fan çalışma senaryosu 4.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	Basma	Basma	Emme	Emme
Çalıştığı Hat:	Hat-1	Hat-1	Hat-1	Hat-1

Şekil 4.10’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki arka vagona çıktığı varsayılmıştır. gerçekleştiği varsayılmıştır. Yolcular İTÜ İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.5’de görüldüğü üzere 805-806-907-908 nolu fanlar basma yönünde 909-910-705-706 nolu fanlar emmeye çalışarak duman tahliyesinin Atatürk Oto Sanayiye doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 3,5 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 5



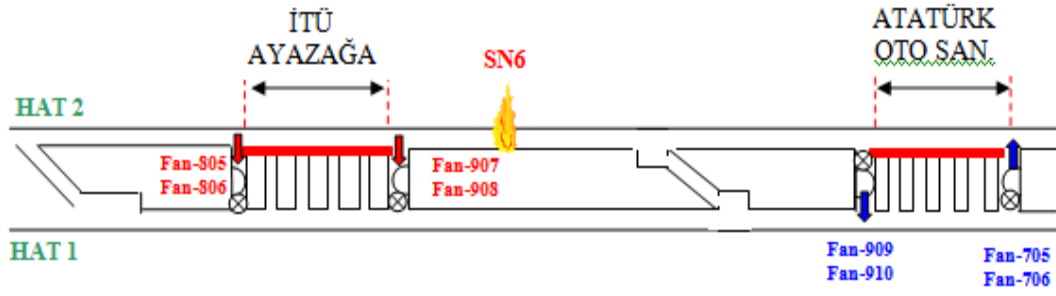
Şekil 4.11: Senaryo 5 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.6: Fan Çalışma Senaryosu 5.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Basma	Emme	KAPALI
Çalıştığı Hat:		Hat-2	Hat-1	

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki makas bölgesinde, yangının da trenin İTÜ yönündeki arka vagona çıktığı varsayılmıştır. Yolcular İTÜ İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.6’de görüldüğü üzere 907-908 nolu fanlar basma yönünde 909-910 nolu fanlar emmeye çalışarak duman tahliyesinin Atatürk Oto Sanayiye doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 4,8 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 6



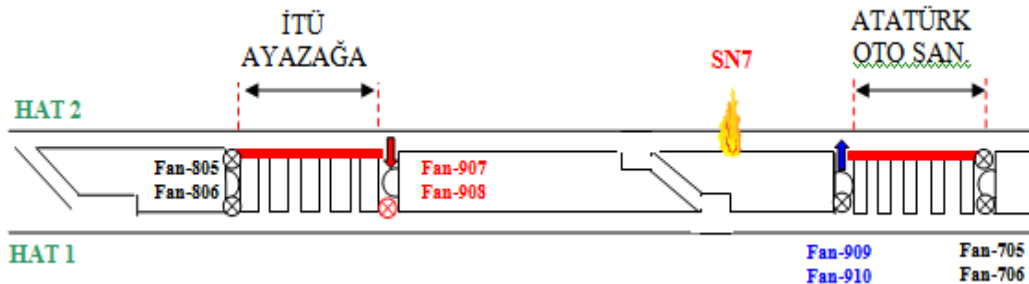
Şekil 4.12: Senaryo 6 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.7: Fan çalışma senaryosu 6.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Basma	Emme	KAPALI
Çalıştığı Hat:	Hat-2	Hat-2	Hat-1	Hat-2

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki ön vagonunda çıktığı varsayılmıştır. Yolcular Atatürk Oto Sanayi İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere 805-806-907-908 nolu fanlar emme yönünde 909-910-705-706 nolu fanlar basma yönünde çalışarak duman tahliyesinin İTÜ İstasyonuna doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 3,1 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 7



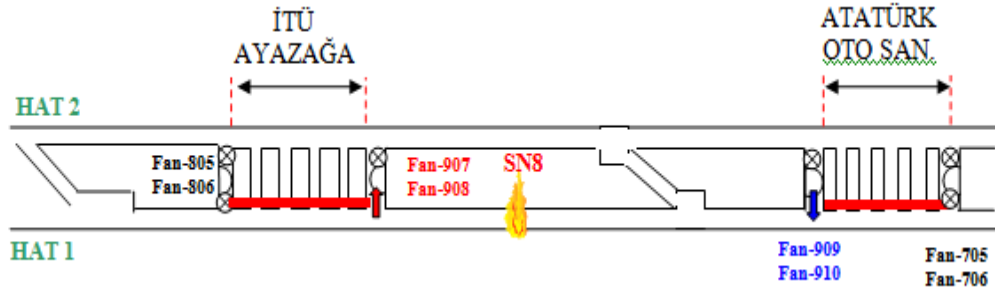
Şekil 4.13: Senaryo 7 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.8: Fan çalışma senaryosu 7.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Emme	Basma	KAPALI
Çalıştığı Hat:		Hat-2	Hat-2	

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki ön vagona çıktığı varsayılmıştır. Yolcular Atatürk Oto Sanayi İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere 907-908 nolu fanlar emme yönünde 909-910 nolu fanlar basma yönünde çalışarak duman tahliyesinin Atatürk Oto Sanayi İstasyonuna doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 3,8 m/s olması gerekmektedir.

Senaryo 8



Şekil 4.14: Senaryo 8 fan çalışma durumları şematik gösterimi.

Çizelge 4.9: Fan çalışma senaryosu 8.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Emme	Basma	KAPALI
Çalıştığı Hat:		Hat-1	Hat-1	

Şekil 4.14’de görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki tünelde, yangının da trenin İTÜ yönündeki ön vagona çıktığı varsayılmıştır. Yolcular Atatürk Oto Sanayi İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere 907-908 nolu fanlar emme yönünde 909-910 nolu fanlar basma yönünde çalışarak duman tahliyesinin İTÜ İstasyonuna doğru

Çizelge 4.11: Fan çalışma senaryosu 10.

İstasyon:	İTÜ AYAZAĞA	İTÜ AYAZAĞA	OTO SANAYİ	OTO SANAYİ
İsim:	805-806	907-908	909-910	705-706
Kapasite:	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s	80 m ³ /s
Çalışma Yönü:	KAPALI	Emme	Basma	KAPALI
Çalıştığı Hat:		Hat-2	Hat-1	

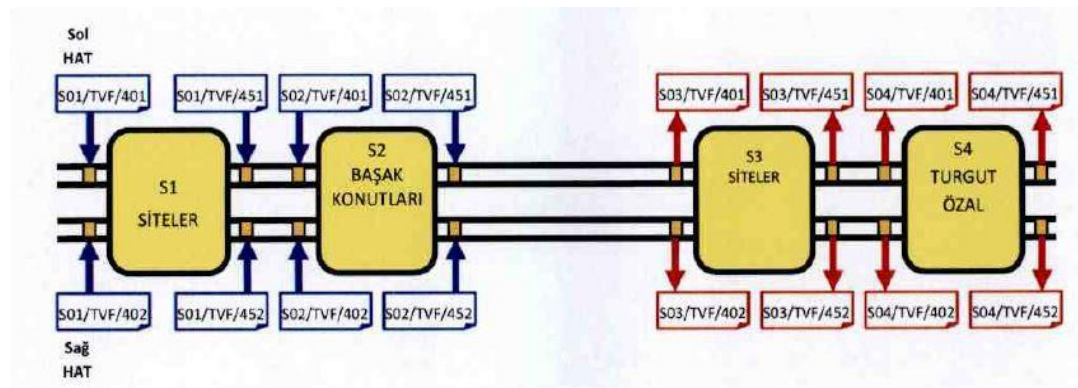
Şekil 4.16’da görüldüğü üzere bu senaryonun İTÜ Ayazağa- Atatürk Oto Sanayi İstasyonları arasındaki makas bölgesinde, yangının da trenin İTÜ yönündeki ön vagona çıktığı varsayılmıştır. Yolcular Atatürk Oto Sanayi İstasyonundan tahliye olacaklardır. Böylece Çizelge 4.11’de görüldüğü üzere 907-908 nolu fanlar emme yönünde 909-910 nolu fanlar basma yönünde çalışarak duman tahliyesinin İTÜ İstasyonuna doğru yapılması sağlanacaktır. Bu senaryoda hesaplamalar sonucu havalandırma hızının 4,1 m/s olması gerekmektedir.

Başak Konutları- Siteler Arası Tünel Yangın Senaryoları

Başak Konutları ve Siteler arasının tamamında, kaçış yönü Başak Konutları ise Metrokent ve Başak Konutlarına İstasyonlarına ait tüm TVF ve OTE fanları basma modunda, Siteler ve Turgut Özal İstasyonlarında tüm TVF ve OTE fanları emme modunda çalışacaktır. Şekil 4.17’de fanların çalışma yönleri gösterilmiştir.

Başak Konutları ve Siteler arasının tamamında, kaçış yönü Siteler ise Başak Konutlarına ait tüm TVF ve OTE fanları emme modunda, Siteler İstasyonlarının tüm TVF ve OTE fanları basma modunda çalışacaktır.

Başak Konutları ve Siteler arasındaki tüm senaryolarda TVF leri çalışan istasyonların by-pass damperleri kapalı pozisyonda, TVF fanlarına air damperler ise açık konumda olacaktır.



Şekil 4.17: Başak Konutları-Siteler-Turgut Özal arası fanların çalışma şekilleri

Tünelde yangın durumunda acil durum eylem planları

Tüneldeki acil durumlarda özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- ✓ Acil durumlar İletişim Operatörüne bildirilir. Bir istisna olarak makinist acil durumları Trafik Operatörüne bildirir.
- ✓ Tren tünende kalmışsa yolcular duman tahliyesinin aksi istikametindeki istasyona tahliye edilir.
- ✓ Tünelde yolcu kalmışsa, tahliye ekibi, dumanın tahliye edildiği yönün aksi istikametindeki istasyondan, 3.Ray Enerjisi kesildikten ve duman tahliyesi başladıktan sonra tünele giriş yaparak yolcu tahliyesine başlar.
- ✓ Müdahale Ekibi ve ADMB dumanın tahliye edildiği yönün aksi istikametindeki istasyondan, 3.Ray enerjisi kesildikten ve duman tahliyesi başladıktan sonra tünele giriş yapar.
- ✓ Yapılan tüm müdahale ve uygulamalar iletişim araçları kullanılarak (telsiz, acil durum diyafonu, acil telefon) ve teyitleşerek yapılır.
- ✓ Ray hattına girmeden önce Scada Operatöründen 3.Ray Enerjisinin kesildiği teyidi alınır.
- ✓ Bu alanda yangına hidrant sistemi ve yangın tüpüyle müdahale edilir.

4.3.2 İstasyonda yangın senaryoları ve acil durum eylem planları

İstasyonda halka açık alanda yangın

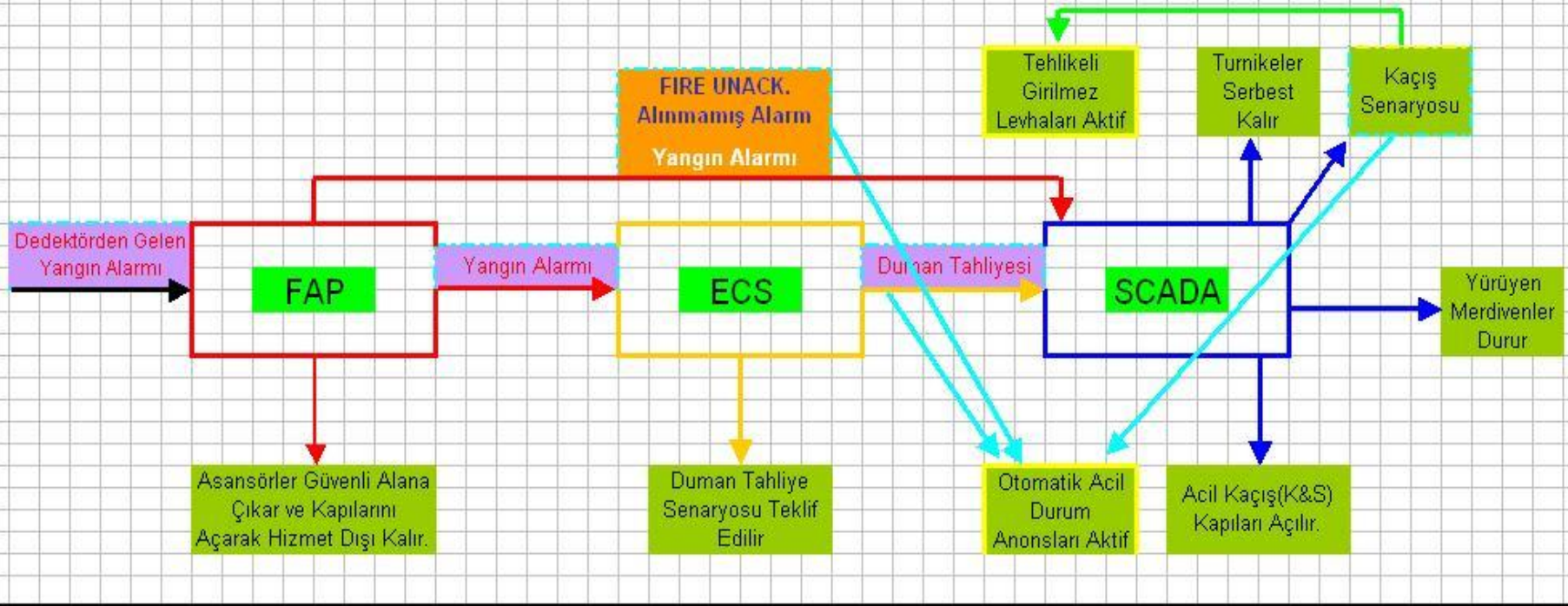
İstasyonlarda algılama/ihbar sistemi mevcut olduğu için SOR ve CCR' a bilgi gelir. İstasyonlardaki bilgi kaynakları algılama/ihbar sistemi, yolcular, personel ve kameralardır. Bu bilgi kaynaklarından birinin doğrulanması durumunda yangın/duman tahliye senaryosu başlatılır ve buna bağlı olarak bir acil durum planı uygulanır.

İstasyonlar mimari yapı olarak güney ve kuzey olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. İstasyonların halka açık alanlarındaki acil durumlarda özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

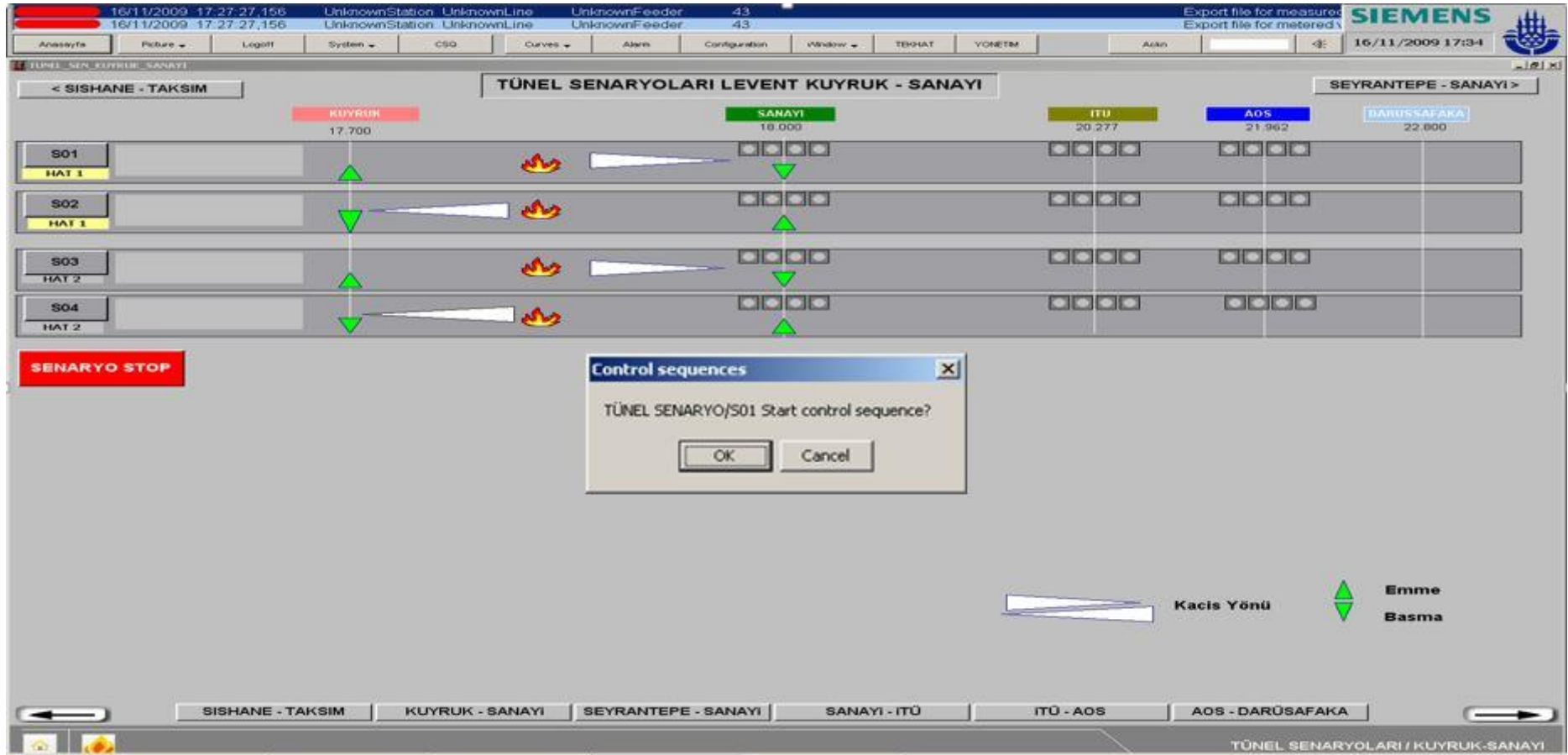
- Acil durumlar İletişim Operatörüne bildirilir.
- Acil durum mahallinde kalan yolcular güvenli mahalle (diğer konkers, cadde seviyesi, peron, diğer istasyon) tahliye edilir ve acil durum mahalli güvenlik kordonuna altına alınır.

- Acil durum peronda ise 3.Ray Enerjisi kesildikten hortum makara sistemi, itfaiye bağlantı ağızları ve/veya yangın tüpleriyle müdahale edilir.
- Acil durum peron dışındaki yolcu alanlarında ise hortum makara sistemi, itfaiye bağlantı ağızları ve/veya yangın tüpleriyle müdahale edilir.
- Yapılan tüm müdahale ve uygulamalar iletişim araçları kullanılarak (telsiz, acil durum diyafonu, acil telefon) ve teyitleşerek yapılır.
- Bu alanda yangına hortum makara sistemi ve yangın tüpüyle müdahale edilir.

**İSTANBUL METROSU FAP-ECS-SCADA
SİSTEMLERİNİN (H.AÇIK ALAN)
SEBEP & SONUÇ DİYAGRAMI**



Şekil 4.18: İstanbul metrosu FAP-ESC-SCADA sistemlerinin halka açık alanda sebep-sonuç diyagramı



Şekil 4.19: İstanbul metrosu SCADA ekran görüntüsü

İstasyonda halka kapalı alanda yangın

İstasyonlarda algılama/ihbar sistemi mevcut olduğu için SOR ve CCR' a bilgi gelir. İstasyonların halka kapalı alanlarında bilgi kaynakları algılama/ihbar sistemi, personel ve kameralar. Bu bilgi kaynaklarından birinin doğrulanması durumunda yangın senaryosu başlatılır ve buna bağlı olarak bir acil durum planı uygulanır. İstasyonlar mimari yapı olarak güney ve kuzey olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. İstasyonların halka kapalı alanlarındaki acil durumlarda özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- Acil durumlar İletişim Operatörüne bildirilir.
- Acil durum mahallinin etrafındaki halka açık alanlar yolcu girişine kapatılır, emniyet şeridi çekilerek güvenlik kordonuna altına alınır.
- Kapalı alana girmeden önce kapı, kapı kolu ve duvarın sıcaklığı kontrol edilir, eğer sıcaksa kapı açılmaz ve içeri girilmez. İtfaiye beklenir.
- Kapı altları kontrol edilir aralık varsa hava emmesi ya da kapı altından çıkan ve hemen kapalı alana geri dönen duman/hava hareketleri gibi durumlar varsa kapı açılmaz ve içeri girilmez. İtfaiye beklenir.
- Kapalı alana girmek için şartlar uygunsa kapalı olan kontrol edilir.
- Kapalı alanın bir otomatik söndürme sistemi yoksa, kapalı alandaki ekipman ve sistemlerin enerjileri kesildikten (açıldıktan) sonra uygun yangın tüpüyle müdahale edilir.
- Yapılan tüm müdahale ve uygulamalar iletişim araçları kullanılarak (telsiz, acil durum diyafonu, acil telefon) ve teyitleşerek yapılır.

Kapalı İstasyonda Küçük Çaplı Yangın

- Bu plan, kapalı bir istasyonda duman veya yangın tespit edildiği ve tahliye gerektirmeyen durumlarda uygulanır.
- İstasyonda duman veya yangın olduğunu gören kişi en yakın görevliye durumu bildirir.
- Görevli telsiz veya diafon/telefon ile KIRMIZI YOZGAT anonsu geçerek durumu iletişim operatörüne bildirir.
- Scada operatörü acil durum senaryosunu başlatır.

- İstasyon amiri tahliye ve müdahale ekiplerini oluşturur.

Tahliye Ekibi : Temizlik Görevlileri ; Müdahale Ekibi : Güvenlik Görevlileri

- Tahliye ekibi etkilenen alana yolcuların girmesinin engeller, alanın etrafına emniyet şeridi çeker ve yolcuları emniyetli bölgeye alır.
- Müdahale ekibi yangın söndürme ekipmanları ile yangına müdahale eder.
- YEŞİL YOZGAT anonsu yapılarak acil durum sona erer.
- Bakım ekibi araç ve ekipmanlarda zarar tespiti yapar.
- İstasyon amiri Kaza / Olay raporu hazırlar.
- Scada operatörü olayı kayda alır.

Kapalı İstasyonda Büyük Çaplı Yangın

- Bu plan, kapalı bir istasyonda duman veya yangın tespit edildiği, kısmi yada komple tahliye gerektiren durumlarda uygulanır.
- İstasyonda duman veya yangın olduğunu gören kişi en yakın görevliye durumu bildirir.
- Görevli telsiz veya diafon/telefon ile KIRMIZI YOZGAT anonsu geçerek durumu iletişim operatörüne bildirir.
- Scada operatörü acil durum senaryolarını başlatır. Gerekirse hattın enerjisini keser.
- İstasyon amiri tahliye ve müdahale ekiplerini oluşturur.

Tahliye Ekibi : Temizlik Görevlileri ; Müdahale Ekibi : Güvenlik Görevlileri

- İstasyon amiri tahliye ekibinden yolcuların istasyon dışarısına çıkarılmasını ve istasyon giriş çıkışlarının kapatılmasını ister.
- Trafik operatörü makinistleri bilgilendirir, istasyona tren girişini durdurur.
- İstasyona gelen trenlerin durmadan ileri istasyona devam etmesini sağlar.
- İletişim operatörü ilgili ADMB ile iletişim kurar ve olay yerine çağırır.
- Müdahale ekibinden bir personel istasyon girişinde ADMB' lerini bekler ve olay bölgesine ivedi bir şekilde gidilmesini sağlar.
- ADMB yangına müdahale eder, söndürülmesini sağlar.

- YEŞİL YOZGAT anonsu yapılarak acil durum sona erer.
- Bakım ekibi araç ve ekipmanlarda zarar tespiti yapar.
- İstasyon amiri Kaza / Olay raporu hazırlar.

Scada operatörü olayı kayda alır.

Açık İstasyonda Yangın

- Bu plan, açık bir istasyonda duman veya yangın tespit edildiği, kısmi yada komple tahliye gerektiren durumlarda uygulanır.
- İstasyonda duman veya yangın olduğunu gören kişi en yakın görevliye durumu bildirir.
- Görevli telsiz ile KIRMIZI YOZGAT anonsu geçerek durumu iletişim operatörüne bildirir.
- İstasyon Güvenlik Görevlisi yolcuların istasyona dışarısına çıkarılmasını ve istasyon giriş çıkışlarının kapatılmasını sağlar.
- Trafik operatörü makinistleri bilgilendirir, istasyona tren girişini durdurur.
- İletişim operatörü ilgili ADMB ile iletişim kurar ve olay yerine çağırır.
- Müdahale ekibinden bir personel istasyon girişinde ADMB' lerini bekler ve olay bölgesine ivedi bir şekilde gidilmesini sağlar.
- ADMB yangına müdahale eder, söndürülmesini sağlar.
- YEŞİL YOZGAT anonsu yapılarak acil durum sona erer.

Bakım ekibi araç ve ekipmanlarda zarar tespiti yapar.

İSTASYONDA YANGIN							
Bu kısımda bir istasyonda duman veya yangın tespit edildiğinde uygulanması gereken hususlar verilmiştir. İstasyon için KIRMIZI YOZGAT durumu ilan edilir ve CCR'dan istasyon'a yangın senaryosu başlatılır.							
Operasyon Sorumlusu (İstasyon Amiri)	Kumanda Merkezi			İstasyon			
	Trafik operatörü	Scada Operatörü	İletişim Operatörü	Tahliye Sorumlusu	Müdahale Sorumlusu	Acil Durum Yön.	İstasyon Amiri
Tahliye ve Müdahale Ekiplerini oluşturur. ↓ Toplanma Alanına gider. ↓ Sayım yapar ve eksik personeli tespit eder. ↓ Toplanma Alanının Düzenini Sağlar Bilgileri Güncel Tutar.	Yangın olduğu alana yaklaşan makinistleri uyarır istasyona tren girişini durdurur.	Bölgedeki 3. rayın enerjisi keser. ↓ Duman ve yolcu tahliye senaryolarını başlatır.	Derhal KIRMIZI YOZGAT durumu ilan eder. ↓ İlgili istasyon Amirlerine bilgi verir. ↓ ADMB ile irtibata geçer ve durum hakkında bilgi verir ↓ İtfaiyeyi ve gerekiyorsa ilkyardım ekiplerini arar ↓ İstasyona ilgili anonsları yapar.	Yangın sırasında olay bölgesine gider ve tahliye süresince tüm yolcuların koşma- dan ve panikleme- dan tahliye olmalarını sağlar. ↓ Yaralıların dışarı taşınması ve hastaneye ulaştırılmasına ilkyardım ekibi gelinceye kadar yardımcı olur. ↓ İlkyardım ekibi gelince bilgi vererek, komutayı devreder ↓ Tahliye ekibi girişleri kapatır.	ADME giyerek olay bölgesine gider. ADMB'leri karşılar ve olay mahalline götürür. ↓ Yangın küçük çaplı ise, itfaiye ekibi olay yerine varana kadar yangın söndürücüler ile gerekli müdahaleyi yapar. Yangın büyük çaplı ise, anında geri dönmelidir. ↓ K.Merkezi ile sürekli temas halinde olur.	Toplanma Alanına Gider. ↓ Durum ile ilgili Bilgileri Toplar. ↓ Basın Açıklaması Yapar. ↓ İşletmenin durdurulup durdurulma- yacağına karar verir.	İstasyon amiri olay yerine gider. İstasyonun tahliye edilemeyeceğine karar verilir. ↓ Tahliye edilecek ise; K.Merkezi bildirilir ve istasyonda yangın alarmı verilir. ↓ Yangın pompa odasına giderek ilgili hidrant vanasını açar. ↓ ADMB'nin gelişi için hazırlık yapar.

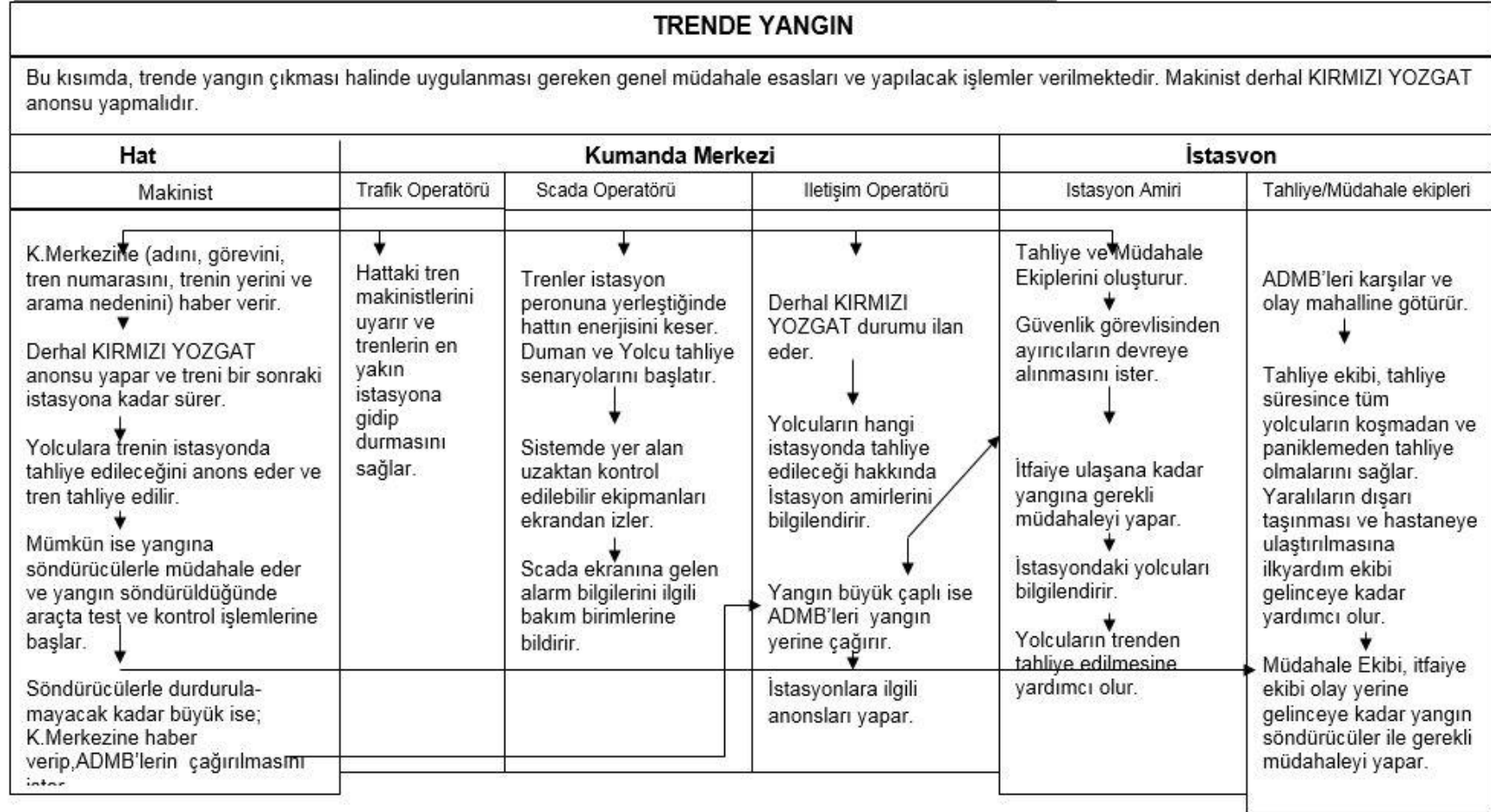
Şekil 4.20: İstasyonda yangın durumunda eylem planı

4.3.3 Trende yangın senaryoları ve acil durum eylem planları

- Bu plan Hat içerisinde hareket halindeki veya istasyonda duran trende yangın olduğu durumlarda uygulanır.
- Hatta hareket halindeki trende yangın gözlemlendiği zaman makinist treni en yakın istasyona götürür ve durur.
- Makinist KIRMIZI YOZGAT anonsu yapar.
- Makinist durumunu ve konumunu Trafik operatörüne bildirir.
- Makinist enerjinin kesilmesini ister. Scada operatörü hattın enerjisini keser.
- Scada operatörü acil durum senaryolarını başlatır.
- Trafik operatörü hatta bulunan trenlerin en yakın istasyona gidip durmasını sağlar.
- İletişim operatörü komşu istasyon amirlerine bilgi verir.
- İstasyon amiri tahliye ve müdahale ekiplerini oluşturur.

Tahliye Ekibi : Temizlik Görevlileri ; Müdahale Ekibi : Güvenlik Görevlileri

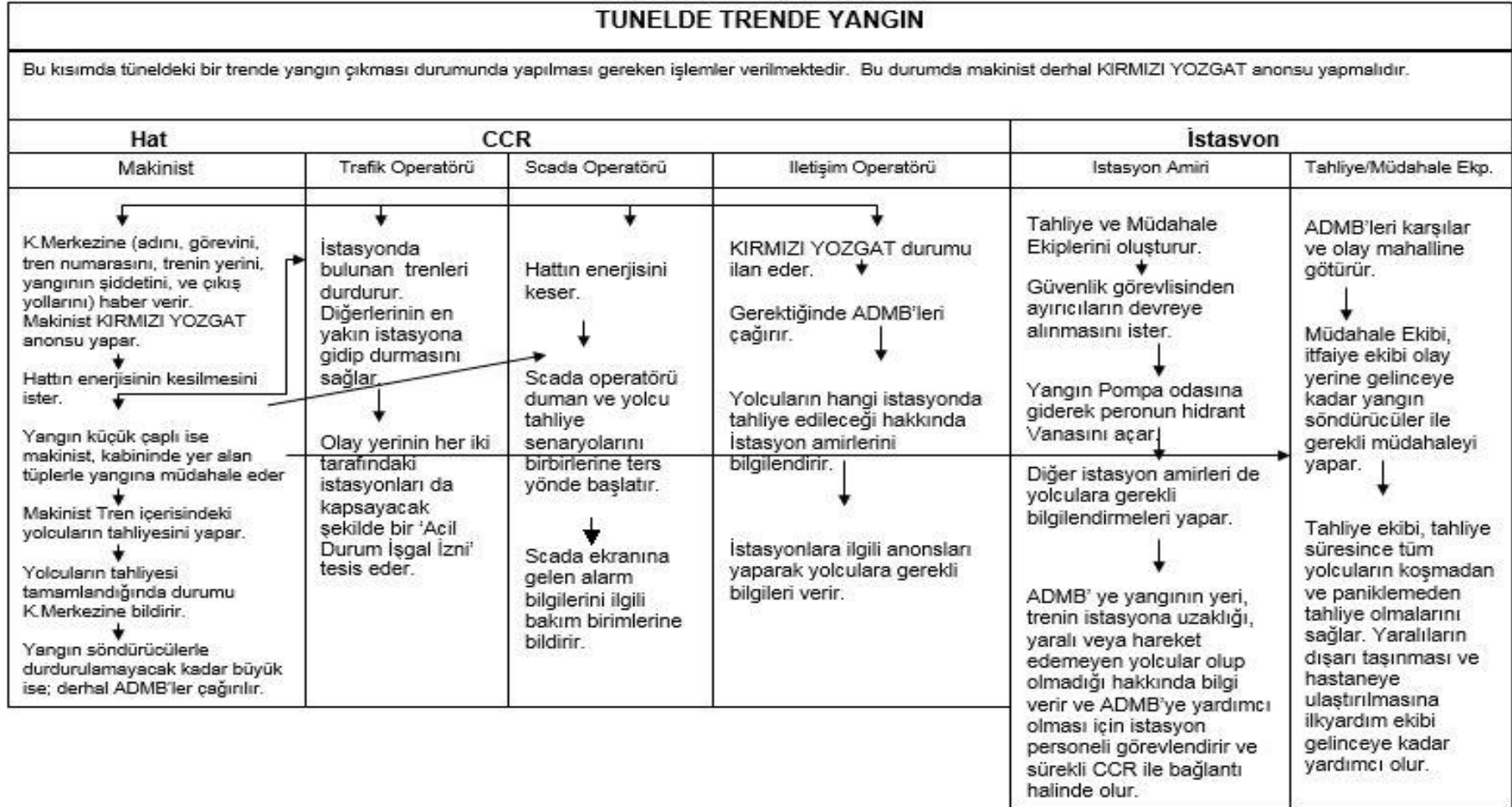
- Tahliye ekibi istasyonların boşaltılmasını sağlar ve yolcu girişini durdurur.
- Tahliye ekibi istasyona gelen trendeki yolcuların tahliyesini yapar.
- İstasyon amiri güvenlik görevlisinden ayırıcıların devreye alınmasını ister.
- Yangın küçük çaplı ise makinist ve müdahale ekibi söndürme ekipmanlarıyla yangına müdahale eder. Aksi taktirde;
- İletişim operatörü ilgili ADMB ile iletişim kurar ve olay yerine çağırır.
- Müdahale ekibinden bir personel istasyon girişinde ADMB' lerini bekler ve olay bölgesine ivedi bir şekilde gidilmesini sağlar.
- ADMB yangına müdahale eder, söndürülmesini sağlar.
- YEŞİL YOZGAT anonsu yapılarak acil durum sona erer.



Şekil 4.21: Trende yangın durumunda eylem planı

Tüneldeki trende yangın

- Bu plan trende yangın olduğunda ve trenin hareket edemeyip tünel içerisinde kaldığı durumlarda uygulanır.
- Makinist enerjinin kesilmesini ister. Scada Operatörü hattın enerjisini keser.
- Yangın küçük çaplı ise makinist araçta yer alan tüplerle yangına müdahale eder.
- Yolcu tahliye ve duman tahliye yönünü Scada operatörüne bildirir.
- Scada operatörü duman ve yolcu tahliye senaryolarını birbirlerine ters yönde başlatır.
- İstasyon amiri tahliye ve müdahale ekiplerini oluşturur.
- İstasyondan gelecek tahliye ekibi önde, makinist arkada tren içerisindeki yolcuların yürüme yolundan tahliyesi yapılır.
- Tahliye ekibi istasyonların boşaltılmasını sağlar ve yolcu girişini durdurur.
- İletişim operatörü ilgili ADMB ile iletişim kurar ve olay yerine çağırır.
- Müdahale ekibinden bir personel istasyon girişinde ADMB' leri bekler ve olay bölgesine ivedi bir şekilde gidilmesini sağlar.
- ADMB yangına müdahale eder, söndürülmesini sağlar.
- YEŞİL YOZGAT anonsu yapılır ve acil durum sonlandırılır.



Şekil 4.22: Tüneldeki trende yangın durumunda eylem planı

Hattın açık bölgesindeki trende yangın

- Bu plan, hattın açık bir noktasında kalan trende duman veya yangın tespit edildiği durumlarda uygulanır.
- Makinist telsiz ile KIRMIZI YOZGAT anonsu geçerek durumu iletişim operatörüne bildirir.
- Makinist durumunu ve konumunu Trafik operatörüne bildirir.
- Trafik operatörü hatta bulunan trenlerin en yakın istasyona gidip durmasını sağlar.
- Makinist enerjinin kesilmesini ister. Scada Operatörü hattın enerjisini keser.
- Makinist araç kapılarını açar. En yakın istasyona tahliyeyi başlatır.
- İletişim operatörü ilgili istasyon amirlerine bilgi verir.
- Yangın küçük çaplı ise makinist araçta yer alan tüplerle yangına müdahale eder. Aksi takdirde;
- İletişim operatörü ilgili ADMB ile iletişim kurar ve olay yerine çağırır.
- İstasyon amiri tahliye ve müdahale ekiplerini oluşturur.

Tahliye Ekibi : Temizlik Görevlileri ; Müdahale Ekibi : Güvenlik Görevlileri

- Tahliye ekibi istasyonların boşaltılmasını sağlar ve yolcu girişini durdurur.
- Müdahale ekibinden bir personel istasyon girişinde ADMB' leri bekler ve olay bölgesine ivedi bir şekilde gidilmesini sağlar.
- ADMB yangına müdahale eder, söndürülmesini sağlar.
- YEŞİL YOZGAT anonsu yapılır ve acil durum sonlandırılır.

Peron katı tren yangın senaryosu

Bu yangın senaryosunda istasyon peron katında trenin durarak yandığı bir tren yangını çıktığı varsayılmıştır.

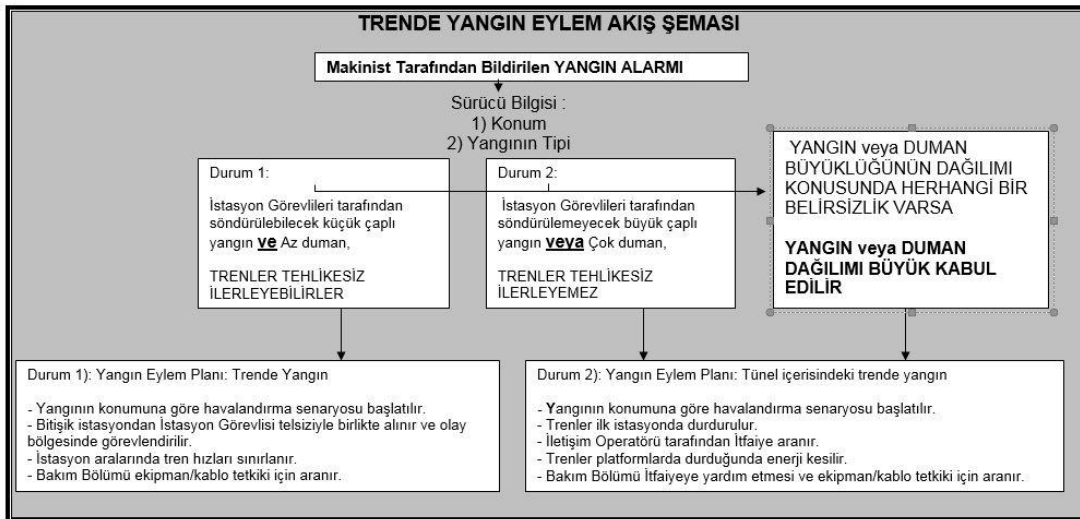
Bu durumda;

- Asansörler, hizmet verdikleri en üst kata çıkıp kapılarını açacaktır. Teyitli yangın alarmından sonra asansörlerin yolcular tarafından kullanımı mümkün olmayacaktır.

- Yürüyen merdivenler, teyitli yangın alarmı alındığında yukarı çıkıyorsa yukarı çıkmaya devam edecek, aşağı iniyorsa duracak ve yukarı yönde hareket edecektir.
- Tünel Havalandırma Fanları (TVF), tam kapasite emiş modunda çalıştırılacaktır.
- Tünel Havalandırma Fanlarına ait Damperler (Fan Damperi) açılacaktır.
- Tünel Havalandırma Fan Odalarında bulunan By-Pass Damperleri, TVF fanlarının etkili emiş yapabilmesi amacıyla kapatılacaktır.
- Duman Atım Fanlarının tümü, yangın anında oluşacak duman ve sıcak havayı perondan uzaklaştırmak amacıyla tam kapasitede emiş modunda çalıştırılacaktır.
- Konfor Havalandırması Egzoz Fanları, CER Gücü odasına hizmet veren egzoz fanı haricinde kapatılacaktır. CER Gücü Odasına hizmet veren egzoz fanı ise, odadaki cihazların işletme koşullarında yüksek ısı üretmeleri sebebiyle normal işletme modunda bırakılacaktır.
- Konfor Havalandırması Taze hava Fanları, CER Gücü Odasına hizmet veren egzoz fanı haricinde kapatılacaktır. CER Gücü Odasına hizmet veren taze hava fanı ise, odadaki cihazların işletme koşullarında yüksek ısı üretmeleri sebebiyle normal işletme modunda bırakılacaktır.
- Motorlu Yangın Damperleri ise aşağıdaki gibi çalışacaktır;
 - ✓ Duman atım fanlarına bağlı ve peron üstü havalandırma kanallarına ait Motorlu Yangın Damperleri açılarak duman atımına olanak sağlayacaktır.
 - ✓ Duman atım fanlarına bağlı ve peron altı ile bilet holü katına ait Motorlu Yangın damperleri kapanacaktır.
 - ✓ CER Odasına hizmet veren Motorlu Yangın damperleri normal işletme modunda (açık) kalacaktır.
 - ✓ Diğer tüm Motorlu Yangın damperleri kapatılacaktır.
- Merdiven Basınçlandırma Fanlarının tümü, yangın anında acil durum kaçış merdivenlerinde dumansız bir kaçış yolu oluşturulabilmesi amacıyla çalıştırılacaktır.
- Yangın Pompaları, yangın alarm ve kontrol panelinden alacakları sinyalle değil, pompaların kendi kontrol panellerinden gelecek “ düşük basınç uyarı

sinyali” ile çalışacaklardır. Dolayısı ile Yangın Pompaları, normal işletme modunda çalışacaktır.

- Kompresör(Alarm Vanalarına bağlı basınçlı hava kompresörü), normal işletme modunda çalışacaktır.
- Sesli ve Işıklı Uyarı Cihazları, teyitli yangın alarmının alınması sonrasında tüm katlarda aynı anda devreye girecektir.
- Turnikeler, teyitli yangın alarmının alınması sonrasında serbest kalarak kaçışa engel teşkil etmeyecektir.
- Işıklı Tehlike Girilmez Levhaları, İstasyon genelinde devreye girecektir.
- Acil Durum Anonsu-1 devreye girerek, yolcuların tüm kaçış yollarını (yangın merdivenleri, yürüyen merdivenler ve diğer merdivenler) kullanarak istasyonu tahliye etmesi gerektiğini duyurur.
- Acil Durum Anonsu-2 devreye girmez.
- Tünel Acil Durum Aydınlatma Armatürleri, İstasyona bağlı her iki Tünelde de devreye girer.
- İstasyon Acil Durum Aydınlatma Armatürleri, İstasyon genelinde devreye girer.
- Manyetik Tutuculu Yangın Kapıları (Ara Bağlantı Tünellerindeki), serbest kalır. (kapanır)



Şekil 4.23: Trende yangın eylem akış şeması

4.4 Dünyada Meydana Gelen Büyük Metro Yangınları

Metro, trafikten kurtulmak için semtler arasında yer altında düzenlenen çağdaş toplu taşıma sistemidir. İlk defa 1863 yılında Londra’da buharla çalışan metro sistemi yapılmış ve yine ilk defa Londra’da 1890 yılında elektrikle işleyen sisteme çevrilmiştir. Daha sonraları 1900 de Paris, 1902 de Berlin ve 1935 de Moskova metroları hizmete girmiştir. Metrolar, günümüzde birçok büyük yerleşim merkezinin vazgeçilmez toplu taşıma aracı haline gelmiştir.

4.4.1 Paris metrosu yangını(Couronnes felaketi)

Paris metrosundaki felaket 10 Ağustos 1903 de meydana gelmiş olup 84 kişinin hayatını kaybetmesine, birçok kişinin de yaralanmasına yol açmıştır [35]. Ölümünün çoğu Couronnes istasyonunda meydana geldiği için olay Couronnes felaketi olarak da bilinir.



Şekil 4.24: Paris metrosu yangını

Paris Metrosu 14 hat, 300 istasyon ve 201,8 km uzunluğunda bir platformdan oluşmaktadır. Paris metrosu trafiği çok olan fakat en güvenli taşıma sistemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. 1903 yılında işletmeye açılan 2. metro hattındaki 4 ünite şeklinde işletilen trenlerin büyük kısmı ahşaptan yapılmıştı. Trafiğin çok yoğun olduğu zamanlarda 2 tane olan 4’lü araç ünitesi birleştirilip 8’li araç ünitesi haline getirilebiliyordu. Trendeki elektrik kablolarındaki kısa devreden dolayı olduğu bilinen

bu kaza büyük bir felaketle sonuçlandı ve kazadan 8 gün sonra metro sisteminin düzenlenmesi ve birçok önlem alınması için çalışmalar başlatıldı [36].

Hemen yapılan uygulamalar;

- Sorumlu yöneticiler herhangi bir olayda görev almaya hazır olarak atanmalıdır.
- Sürücü kısa devre motorunun güç kaynağından izole edildiğini söylemek zorundadır.
- Çıkışlar aydınlatılmalıdır.
- Hidrantlar doldurulana kadar geçici söndürme istasyonu sağlanmalıdır.
- İstasyonlar engelsiz çıkış güzergahına sahip olmalıdır.

15 gün içinde;

- Elektrik bileşenleri tamamen izole edilmelidir.
- Özellikle sürücü kabinlerinden yanıcı maddeler kaldırılmalıdır.
- İkinci bir korumalı aydınlatma güç kaynağı olmalıdır.

1 Kasım itibariyle;

- Her hat elektriksel olarak yalıtılmış bölümlere ayrılmalıdır.
- İstasyon çıkışları genişletilmelidir.

4.4.2 Londra metrosu yangını(King's Cross)

King's Cross yangını 18 Kasım 1987 tarihinde, 19:30 St. Pancras istasyonunda meydana gelmiş olup 31 kişinin ölümüyle sonuçlanmıştır [37]. Yangın Piccadilly hattında hizmet veren ahşaptan yapılmış bir yürüyen merdivende başlamış, itfaiye ekiplerine haber verilmesini takip eden 15 dakika sonunda artan ısı nedeniyle bilet dolum ofisinde parlama evresine geçerek büyük bir felaketle sonuçlanmasına neden olmuştur.

Olay düşen kibritin, yağ ve toz birikintisini ateşledikten sonra merdivenin hareketiyle birlikte gresi eritip yukarı ve yanlardaki gres ve birikintilere doğru yayılmasıyla başlamıştır.

19:30 da bir yolcunun alarmı üzerine harekete geçen polis amirleri 19:34 de itfaiyeye haber vermişlerdir. İtfaiye alarmı aldıktan sonra 19:43 de bilet holüne su teminini sağlamış olsa da müdahale için artık çok geç kalınmıştır.



Şekil 4.25: Londra metrosu yangın sonrası bilet holü

Artan ısınn da etkisiyle 19:45 de, yani itfaiyenin gelişinden iki dakika sonra, siper etkisinin bir sonucu olarak yürüyen merdiven tavana yaklaştıkça tavan boyasıyla birlikte panolar, reklamlar ve tavan siyah bir duman çıkararak parlamaya neden olmuştur. Siyah duman bilet holünü kaplamış, 31 kişi acı şekilde ölmüş bir çok kişi de ciddi şekilde yaralanmıştır [38].



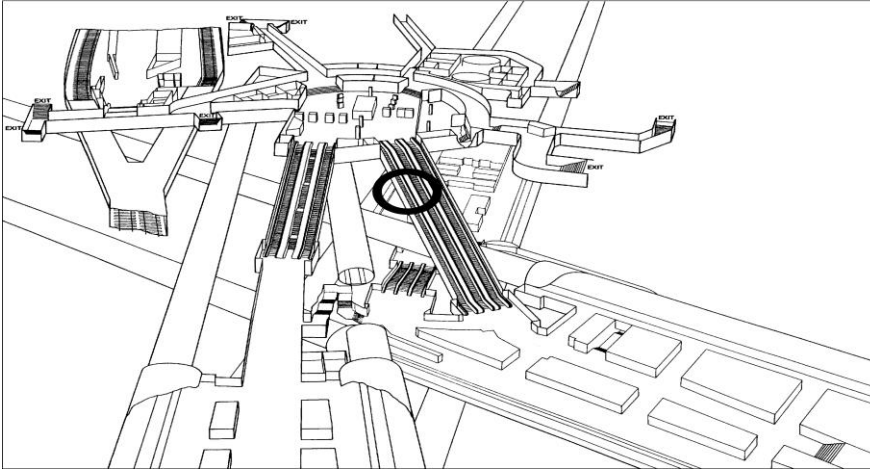
Şekil 4.26: Londra metrosu yürüyen ahşap merdivende yangının başladığı yer

Olayın başlamasının ve bu derece büyük bir felakete dönüşmesinin altında şüphesiz ki birçok ihmal yatmaktadır. Şubat 1985 de sigara içme yasağı konulmasına rağmen insanların bu yasağa uymamaları, bu büyük felaketten önce de ufak çapta birkaç yangın çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.27: Londra metrosu yangın sonrası yürüyen merdivenlerin görüntüsü

Daha sonra yapılan soruşturmanın sonucunda yayınlanan raporda, yürüyen merdivenin üzerine yukarıdan atılan bir kibritin o zamana kadar bilinmeyen bir siper etkisi yaratarak (‘‘ trench effect’’) birdenbire yangının yoğunluğunu arttırdığı, ısıyı ve dumanı hapsedip eğimin de etkisiyle yukarılara doğru çıkmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Basamakların altındaki yürüyen pistin temizlenmiş ve yağlanmış olması gerekirken bakımlarının yapılmaması pistte yağ ile birlikte toz birikintileri oluşmasına ve yangının çok çabuk bir şekilde ilerlemesine neden teşkil etmiştir.



Şekil 4.28: Londra metrosu yangın yerinin vaziyet planı

Yangının böyle bir felaketle sonuçlanmasının en önemli sebebi Londra Metrosu ve onun holding şirketi olan Londra Bölge Ulaşım, yangın olma riskine karşın yürüyen merdivenleri ahşap yapmış olmasıdır. Yangın çıktıktan sonraki müdahale de ihmallerle doludur. Personelin gerekli eğitimi almamış olması ve yangın devam ederken herhangi bir söndürme müdahalesinde bulunulmayışı ve de istasyonun hiçbir tahliye planı olmayışı felaketin boyutunu arttırmıştır.

meydana gelmiştir. Olayın meydana gelmesinden hemen sonra Ulduz istasyonu kondüktörü koşarak elektriği kesmiş ve elektriğin kesilmesi ile en çok iki dakika içinde Nerimanov istasyonuna ulaşacak olan vagonlar tünel içerisinde iki istasyon arasında kalmıştır. Bakü metrosunda çıkan yangının nedeni yetkililerce başlangıçta yüksek gerilim hattında meydana gelen kopma ile başladığı belirtilmiş, daha sonra vagonlar altındaki delikler görüldükten sonra sabotaj olduğu, daha sonra içeriye siyanür gazı verildiği ve daha sonra da ölümlerin sinir gazından olduğu iddia edilmiştir. Ölümlerin sinir gazından olduğu iddiası sağlık bakanlığınca yalanlanmış, fakat diğer iddialar konusunda ise kesin bir karara varılamamıştır [39].



Şekil 4.31: Bakü metrosu yangın sonrası vagonun iç görünümü 1

Bununla beraber, tesisatların eski olmasının teknik arızadan kaynaklanma olasılığını artırmaktadır. Nitekim, 31 Ekim 1995 günü Bakü metrosunun Karakereyev istasyonunda bir vagona kıvılcımla başlayan yangın ikinci vagona da sıçramış, kısa sürede vagonlar alev içinde kalmış ve yolcular büyük panik yaşamıştır. Vagonlar istasyonda bulunduğu kısa sürede söndürülmüş ve ikinci bir facia önlenmiştir. Bakü metrosunda meydana gelen yangının çıkış sebebinde öncelikli, neden çok sayıda kişinin öldüğüdür. Yangının teknik arızadan çıkması veya sabotaj nedeniyle başlaması da önemli değildir. Metro gibi müdahale güçlüğü zor olan yerlerde sabotaj yapılabildiği gibi teknik arızanın olması da mümkündür. Bakü metrosu yangınında, yangın çıkmasından sonra kontrol merkezinden yangının çıktığı haber alındığında ve katarların istasyonlar arasında kalmayarak bir sonraki istasyona kadar devam etmesi gerekirdi. Elektriğin kesilmesi ve vagonların iki istasyon arasında bırakılması büyük hatadır. Yetkililerce iki dakika içinde Nerimanov istasyonuna ulaşacağı belirtilen vagonların elektriğinin kesilmeden istasyona ulaşması sağlanması durumunda facia

daha ucuz atlatılabilirdi. Eğer vagonlar içinde yanıcı malzeme kullanılmazsa, bir patlayıcı madde kullanılmadan yangın çıkarmak çok zordur. Çıksa bile yangından dolayı ölüm ve yaralanmalar fazla olmayacaktır. Plastik esaslı malzemeler kullanılması çok tehlikelidir. Plastik esaslı malzemeler yandığı zaman siyanür gazı çıkarır ve çoğu zaman yangındaki ölümlerin nedeni duman içerisindeki siyanür gazı ve karbonmonoksit zehirlenmesi ile olur. Ölen kişilerde siyanür zehirlenmesinin olması plastik esaslı malzemelerin kullanıldığını göstermektedir. Başka bir husus da tünel içinde duman tahliye sistemlerinin olmamasıdır. Yangın sonucu ortaya çıkan duman gazları dışarı atılmadığı için bütün katarları ve tüneli kaplamış, vagonlardan çıkan kişiler tünelde duman içerisinde kalmıştır. Yangın sonrasında Bakü itfaiyesinin yetersiz kaldığı ve saatlerce dışarıda beklediği görülmüştür. Ülkemizdeki itfaiyeler gibi çağdaş araçlara sahip olmadığı için müdahalede gecikilmiştir. Sonuç olarak, Bakü metrosunda meydana gelen olayın sebebi sabotaj olsa da teknik arıza olsa da, faciaya dönüşmesinin nedeni önlemlerin yeterli olmamasıdır. Elektriğin kesilerek vagonların iki istasyon arasında kalması, vagonların plastik malzemelerin kullanıldığı eski tip vagonların olması, vagon içinde söndürme sistemlerinin yeterli olmaması, tünel içinde duman tahliye sistemi bulunmaması, söndürme ve kurtarma ekiplerinin yeterli olmaması olayın faciaya dönüşmesine neden olmuştur.



Şekil 4.32: Bakü metrosu yangın sonrası vagonun dış görünümü

İsveçli uzmanlara göre yangın vagonlardan birinin altında vites yakınındaki bir kablunun kaçak yapan elektrik kıvılcımı şeklinde çıkmıştır. Azerbaycan metrosu yaklaşık 30 yıllık olduğu için vagonlar yandığında %90 ı zehirli gazlar üreten malzemeden imal edilmiştir. Kesinlikle bu trajedi kapsamlı bir bütün olarak taşımacılık sisteminin incelenmesi ihtiyacını doğurmuştur [40].

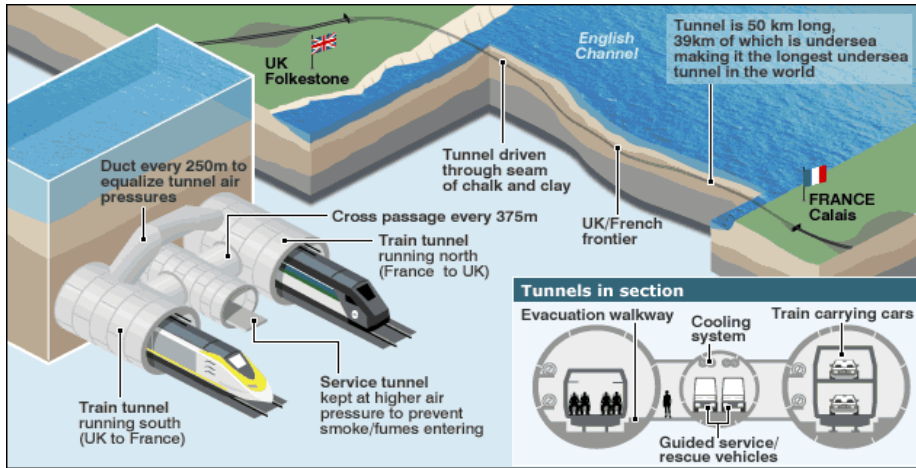
Bu kaza «Ginnes Rekorlar Kitabına en dehşetli metro kazası olarak geçmiştir. Böylelikle ilk kez 1967 yılında Ginnes Rekorlar Kitabına şarkta ilk metro olarak geçen Bakü metrosu, bu defa facianın büyüklüğüne göre tarihe geçmiştir [41].



Şekil 4.33: Bakü metrosu yangın sonrası vagonun iç görünümü 2

4.4.4 Euro Channel (Manş tüneli) yangını

Manş Tüneli, inşaatı 1987 yılında başlayan ve 7 ayda tamamlanan, Fransa ve İngiltere'yi birbirine deniz altı tünel yoluyla bağlayan bir yapıdır. Tünel toplamda 50 km olup 37 km lik kısmı denizin altındadır. Manş Tüneli, birbirine paralel üç tünelden oluşmaktadır. Biri geliş biri gidiş hattı, biri de ikisinin ortasında olan servis tünelidir.



Şekil 4.34: Euro channel güzergah ve tünel görüntüsü

18 kasım 1996 tarihinde saat 9.48 de, Fransa'dan İngiltere'ye gitmekte olan tren tünelde 3 kilometre yol almıştı ki, 24. vagondaki tırdaki parlayıcı madde tutuştu. Kimsenin tahmin edemediği büyüklükte ve hızda bir yangın çıktı. 400 metre uzunluğundaki tren

sadece tır ve 30 yolcu taşıyordu. Yolcular dumandan boğulmak üzere kurtarıldılar. Maalesef yangın anında, devreye girmesi beklenen önlemler gecikmişti. Açığa çıkan ısıyla o çok kalın beton duvarlar çatladı. Raylar eğilip büküldü. Kablolar yandı. TIR'lar demir yığınınna döndü. Fakat servis tünelinden itfaiye ve kurtarma ekipleri son anda yetişerek 30 kişinin hayatını kurtardılar.

Eurochannel metrosundaki yangında hayatını kaybeden kimse olmayışı, tünelin tasarım aşamasında olağanüstü durumlar için inşa edilen servis tünelinin gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur.

4.4.5 Kore metrosu yangını

18 Şubat 2003 yılında Güney Kore'nin Daegu şehrindeki metroda meydana gelen yangın felaketi 198 kişinin ölmesine 147 kişinin de yaralanmasına yol açmıştır.



Şekil 4.35: Kore metrosu yangın sonrası vagon iç görünümü

Olay 56 yaşında akli dengesi bozuk bir kişinin sabah metronun en yoğun olduğu sırada elinde bulunan patlayıcıyı ateşe vermesiyle başlamış olup 2 dakika içerisinde 6 vagona birden yayılmasıyla büyük bir faciaya dönüşmüştür. Fiberoptik kabloların ve vagonlardaki kolayca yanabilen kaplamaların yanması sonucu çıkan zehirli duman birçok kişinin dumandan zehirlenip hayatını kaybetmesine neden olmuştur. O sırada diğer yönden gelen bir başka metro treni olaydan habersiz bir biçimde yanan trene yaklaşmış istasyonda durmuştur. Tam o sırada merkezi elektrik sistemi devreden çıkmış ve yeni gelen tren de hareket edemez durumda kalmıştır. Yeni gelen trenin makinisti paniğe kapılmış ve ikinci bir emre kadar yolcuların yerlerinde olmalarını söylemiştir. Bu sırada ne yazık ki alevler bu trene de sıçramış ve yanmaya başlamıştır. Üstlerinden haber alamayan makinist herkese kaçmaları gerektiğini anons etmiş, ancak trenden

ayrılırken acil durum güç ünitesini açık tutan anahtarını da çekip çıkardığı için kapılar otomatik olarak kapalı kalmıştır. 79 yolcu trende hapsolmuş ve çok acı şekilde hayatlarını kaybetmiştir.



Şekil 4.36: Kore metrosu yangın sonrası vagon dış görünümü

Bu olaydan sonra Daegu metrosunun yangın söndürücüler, sprinkler, acil aydınlatmalar ve acil havalandırma sistemlerinden yoksun olduğu sonucuna varılmıştır. Mağdurların çoğu karanlık ve aşırı dumandan dolayı yolunu kaybedip çıkışları ararlarken dumandan dolayı ölmüşlerdir. Acil ekipman yetersizliği felaketin boyutunun büyümesine yol açmıştır. Suçlu ve tren operatörleri hapis cezaları almış, yetkililer metro istasyonlarını daha iyi güvenlik ekipmanlarıyla donatmaya, vagonların içinin yangına dayanıklı malzemelerle kaplanması çalışmalarına başlamışlardır [42].

5. SONUÇLAR

Bu bölüm, konu hakkındaki bütün bulgular ve sonuçları özetleyerek sonraki çalışmalara ve ilgili yasal düzenlemelere tavsiyeler sunmaktadır.

Tünel yangınları sık görülen bir vaka olmamakla birlikte," Yer altı Toplu Taşıma Sistemleri" nin kalabalık kitleler tarafından kullanılıyor olması, bu konuda özel önlemler alınmasını gerektirmektedir. Metrolarda meydana gelen yangınların nedenlerinden çok sonuçlarının faciaya dönüşmesi öncelikle alınması gereken yangın güvenlik önlemlerinin eksikliğini ortaya koymaktadır. Bu eksikliklerden en önemlisi vagon içerisinde yanıcı ve plastik gibi yanınca zehirli duman çıkaran malzemelerin kullanılması ve vagonda kullanılan elektrik kablolarının yangına dirençli olmamasıdır. Metrolarda olduğu gibi meydana gelen yangın felaketlerinin çoğunda ölümlerin nedeni yangından değil, karbonmonoksit gazı ve zehirli duman içerisindeki siyanür gazı zehirlenmesinden olduğu bilinmektedir. Bu durumda yapılması gereken en önemli iş, ortaya çıkan zehirli dumanı tahliye etmektir. Metrolarda olası bir yangın durumunda tünelde duman tahliye sistemlerinin olmayışı geçmişte meydana gelen metro yangınlarının sonucunu felakete çeviren en önemli nedendir. Bunun yanında aktif güvenlik önlemlerinden olan yangın söndürücü tüplerin, sprinkler ve diğer söndürme ekipmanlarının eksikliği, itfaiyenin ve kurtarma ekiplerinin zamanında müdahale edemeyişleri ve kurtarma ekiplerinin acil durum ile ilgili eğitimlerinin yetersiz oluşu yüzlerce kişinin hayatına mal olmuş ve felaketlerin boyutunun katlanmasına sebebiyet vermiştir. Bu sonuçlar geçmiş yıllarda dünyada yangın için yeterli önlemlerin alınmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Akabinde dünyada yangın üzerine birçok çalışmalar yapılmış, yönetmelikler düzenlenmiş ve özellikle metrolar için ayrı bir yönetmelik yapılmıştır. Ülkemizde metro ve tünellerdeki yangın güvenliği ile ilgili kaynak oldukça az olmakla birlikte yangın güvenliğine verilen önem gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında katedecek uzun bir yolumuz olduğu görülmektedir. Nitekim yangından korunma ile ilgili TSE ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) dışında herhangi bir yönetmeliğimiz bulunmamaktadır.

Özellikle İstanbul Büyük Şehir Belediyesinin her yere metro ulaşım ağı çalışması hedefi kapsamında yaygınlaşacak olan 776 km lik metro ağının ortaya çıkacak olmasından dolayı yeraltı yangın güvenlik ve duman tahliye sistemlerine daha çok önem vermek gerekmektedir. Şu an için yapılan metrolarda ve diğer yeraltı yapılarında NFPA ve BS(British Standart) den yararlanılmıştır.

Sadece metrolarda değil, yeraltında faaliyet gösteren tüm işletmelerde yangın güvenlik önlemleri ve duman tahliye sistemleri büyük önem arz etmektedir. 13 Mayıs 2014 tarihinde Soma'da kömür madeninde meydana gelen yangın sonucunda 301 kişinin dumandan zehirlenerek hayatını kaybetmesi bunun en somut örneğidir. Bu durum ülke olarak yangın güvenliğine, dolayısı ile iş güvenliğine yeteri kadar hassasiyet gösterilmediğini ortaya koymaktadır.

Tezin 4.2.2.2. bölümünde de bahsettiğimiz üzere tünelde olası bir yangın durumunda trenden başka yanacak malzeme bulunmadığından kritik havalandırma hızını bulmamızı sağlayan yangın yükü, trenin yangın yüküdür. Bu denli hayati önem arz eden trenin yanması durumunda dünyada henüz tren içinde algılama sistemleri ve otomatik yangın söndürücü sistemler kullanılmamaktadır. Bu durum son zamanlarda bir eksiklik olarak düşünülmüş ve üzerinde çalışmalara başlansa da henüz sonuca ulaşamamıştır. Amerika'da yapılan araştırmalarda vagonlara kendi içerisinde paneller koyularak otomatik algılama sağlanıp aracın sprinkler sisteminin çalışma prensibine benzer bir şekilde water mist yani sis buharı ile söndürülmesi, böylece insanların da hayatını tehlikeye sokmadan tahliye edilmesi öngörülmektedir. Bu konuda ülkemizde de çalışmalar yapılmalı ve dünyanın da örnek alacağı ve yararlanacağı bir yönetmeliğimiz olması için araştırmalar devlet tarafından teşvik edilmelidir. Nitekim ülkemizde son yıllarda yangın güvenliği ile ilgili değerli hocalarımız çalışmalar yapmakta olup bazı firmalar tarafından simulasyon çalışmaları sonucu senaryolar yapıp bu senaryolar hali hazırdaki yapılmış ve yapılmakta olan metrolarımızda uygulanmaktadır. Yeterli bilgi birikimimiz olması dolayısıyla kendi yönetmeliğimizi çıkarmamız ve dünya standartlarına örnek olur seviyeye gelmemiz gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Eugene, M.**, (1997) *Chemistry of Hazardous Materials*, Lewis University, New Jersey, 6-10, Sf. 100-103.
- [2]<<http://www.zirveosgb.com.tr>>, Zirve ortak sağlık ve g#venlik birimleri eğitim notları, (2014).
- [3]<http://www.tibder.org.tr/makaleler/duman_kontrol_gerekliligi.pdf>, alındığı tarih: 10.12.2014
- [4] <<http://itfaiyecilik.com/yanginin-insan-vucudu-uzerindeki-etkileri>>, alındığı tarih: 10.12.2014.
- [5] <<http://iys.inonu.edu.tr/index.php?web=sivilsavunma&mw=125>>, alındığı tarih: 10.12.2024.
- [6] **Shields, T. J. , Silcock, G. W. H. ,** (1987) *Buildings and Fire*, Longman Scientific & Technical, England, Sf. 64-110, 290-295.
- [7] **Eren İ. ,** 2002, *Yapıların Yangın Güvenliği*, İMO İstanbul B#lteni, sayı:63.
- [8] **Akman M.S. ,** (1992), *Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığının Belirlenmesi*, Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu, İstanbul.
- [9] Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Y#netmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı,(2009), Ankara.
- [10] **CHIANG C. and Tsai C. ,** (2003),*Time-Temperature Analysis of Bond Strength of a Rebar after Fire Exposure*, Cement and Concrete Research, sayı 33, Sf. 1651-1654.
- [11] **Cather B. ,** (2003), *Concrete and Fire Exposure*, Advanced Concrete Technology 2, Elsevier Ltd., pp. 10/1-10/11.
- [12] **Akman M.S. ,** (2000), *Yapısal Hasarlar ve Onarım İlkeleri*, İnşaat M#hendisleri Odası İstanbul.
- [13] **Alonso C. , Andrade C. , Castellote M. and Khoury G.A.,** (2003), *Microstructure-Solid Phases*, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine, Italy.
- [14] **BARADAN B. , Yazıcı H. , #n H. ,**(2002), *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*, Dokuz Eyl#l #niversitesi M#hendislik Fak#ltesi Yayınları, yayın no: 298, İzmir.
- [15] **Perkins, P. H. ,**(1987), *Concrete Structures; Water Proofing and Protection*, Applied Science Public, London, Sf. 99-135.
- [16] **Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi**, (2000)
<http://www.sika.com.tr/images/Bet.YangınHasar.pdf>

- [17] **Özturan, T. , Cülfik, M. S. ,** (2000) *Residual Strenght and Elastic Properties of Normal and High Strenght Concrete Subjected to High Temperature*, Proc, Cement and Concrete Technology in the 2000, İstanbul, Sf. 97-106
- [18] **Breitenbücker, R. ,** (1996), *High Strength Concrete C105 With Increased Fire Resistance Due to Polypropylene Fibers*, Utillization of High Strenght/High Performance Concete, Paris, Sf. 571-578.
- [19] **Noumowe, A. , Duval, R. , Lefeure, A. ,** (2000), *Microstructure of Polypropylene High Strength Concrete Exposed to Elevated Temperature*, Proc, Cement and Concrete Technology in the 2000, İstanbul, Sf. 107- 114.
- [20] **Thomas, G. , Langdon, J. ,** (1998), *Fire Safety in Buildings, Principles and Practise*.
- [21] **Demirel, F. , Özkan, E. ,** (2003), *Çelik Yapı Bilesenleri ve Yangın Güvenlik Önlemleri*, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , Ankara, 18(4).
- [22] **Abdurrahman Kılıç, Çelik Taşıyıcıların Yangın Yalıtımı**
- [23] **Özkan, E. ,** (2002), *Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri Ve Bir Uygulama Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Sf. 37-80.
- [24] **Demirel, F. ,** (2005), *Binalarda Yangın Güvenliği*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ankara.
- [25] **Arda, T.S. , Yardımcı, N. ,** (1995), *Çelik Yapı Elemanlarının Yangın Mukavemeti*, Yayınlanmamış Ders Notları, İTÜ.
- [26] **ANON. ,** (1993), *International Fire Engineering Design for Steel Structures*, State of the Art. International Iron and Steel Institute, Brussels.
- [27] National Fire Protection Association (NFPA), (2010), 3.3.42.
- [28] **Ana Britanica**, (1989), Metro, 16.5.
- [29] National Fire Protection Association (NFPA), (2010), Bölüm 4.
- [30] National Fire Protection Association (NFPA), (2010), 6.3.3.
- [31] Serkan Kayılı, Cahit Eralp, Yangın simülasyonu
- [32] **Wild, J. A. ,** (1998), *Basınçlandırma ve Havalandırma ile Duman Kontrolü*, TTMO III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, Sf. 565-577.
- [33] Serkan Kayılı, Taru Mühendislik Sunum Kataloğu
- [34] National Fire Protection Association (NFPA), 3.3.12.
- [35] <www.theparisblog.com/the-metro-fire-of-1903/>, alındığı tarih: 10.12.2014.
- [36] <http://en.wikipedia.org/wiki/Paris_Metro_train_fire>, alındığı tarih: 10.12.2014.
- [37] <http://en.wikipedia.org/wiki/King%27s_Cross_fire>, alındığı tarih: 10.12.2014.
- [38] <www.bbc.com/news/uk-20383222>, alındığı tarih: 10.12.2014.

- [39]<www.azer.com/aiweb/categories/magazine/34_folder/34_articles/34_metro.html>
alındığı tarih: 10.12.2014.
- [40] <www.tibder.org.tr/makaleler/metrolarda_yangin_guvenligi.pdf>, alındığı
tarih:10.12.2014.
- [41] <www.azerbaijans.com/centent_789_tr.html>, alındığı tarih: 10.12.2014.
- [42] <En.wikipedia.org/wiki/Daegu>, alındığı tarih: 10.12.2014.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Rabia Sinem FAZİLET
Doğum Yeri ve Tarihi: Elazığ 02/01/1987
Adres: Soğuksu Mahallesi Kardelen Konutları
Beykoz/İSTANBUL
E-Posta: snemozcan@yahoo.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi (2006-2011)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

09/ 2012- 10 / 2013 tarihleri arasında Doğu İnşaat AŞ. 'de merkez ofiste Maliyet Kontrol departmanında uzun dönem stajyer olarak çalışmıştır.

07 / 2013- 04/2014/ tarihleri arasında ise Gülsan Holding AŞ.' de merkez ofiste Teklif-İhale departmanında Teknik Ofis Mühendisi olarak görev yapmıştır.