

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER ALTI ARAÇ OTOYARKLARINDA JET FAN HAVALANDIRMA
SİSTEMLERİNİN VE FAN YERLEŞİM OPTİMİZASYONUN HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Sinan BAKIR

Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı

AĞUSTOS 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YER ALTI ARAÇ OTOYARKLARINDA JET FAN HAVALANDIRMA
SİSTEMLERİNİN VE FAN YERLEŞİM OPTİMİZASYONUN HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Sinan BAKIR
(141080105)**

Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kemal Furkan SÖKMEN

AĞUSTOS 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141080105 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Adı SOYADI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TEZ BAŞLIĞI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Kemal Furkan SÖKMEN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI**
Bursa Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Osman TURAN
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 5 Ağustos 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mustafa Sinan BAKIR

İmzası :

X X X X



Aileme ve eşime,

ÖNSÖZ

Tez çalışma süresince, yaşadığım aksaklık ve gecikmelere rağmen ilgi alakasını eksiltmeyen danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Kemal Furkan SÖKMEN'e, sonlu elemanlar analizlerinde bilgisiyle verdiği sayısız desteklerden ötürü Sn. Makine Yüksek Mühendisi Aykut BACAĞ'a, mesleki tecrübelerinden faydalandığım Sn. Makine Yüksek Mühendisi Yunus Emre ÖZPOLAT'a, manevi anlamda her zaman yanımda olan eşim Büşra BAKIR'a, Annem'e, Babam'a ve Bursa Büyükşehir Belediyesindeki çalışma arkadaşlarıma sabırlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2019

Mustafa Sinan BAKIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ...	1
2. MATERYAL	9
2.1 Fan Çalışma İlkesi ve Fan Kanunları	9
2.2 Otopark Hacim Hesabı ve Debilerinin Belirlenmesi.....	15
2.3 Bacalardaki Fanların Seçimi ve Hesabı	15
2.4 Jet Fanların Seçimi ve Yerleşimi	16
2.5 Bacaların Boyutlandırılması ve Hesabı.....	17
2.6 Baca Damperi Boyutlandırılması ve Hesabı	17
2.7 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi ve Matematiksel Model.....	18
2.8 Yangın Analizinin Amacı.....	20
3. YÖNTEM.....	21
3.1 Kapalı Otoparkın Teknik Verileri ve Hesaplamalar	21
3.1.1 Otopark hacim hesabı ve debilerinin belirlenmesi.....	23
3.1.2 Bacalardaki fanların seçimi ve hesabı.....	24
3.1.3 Jet fan seçimi ve yerleşimi	25
3.1.4 Baca boyutlandırması ve hesabı.....	26
3.1.5 Baca damperi boyutlandırması ve hesabı.....	27
3.2 Yangın Sayısal Modelinin Oluşturulması	27
3.2.1 Kapalı Otoparkın Katı Modeli	27
3.2.2 Hava bacalarına sınır şartı tanımlanması	28
3.2.2.1 Taze hava besleme bacasının tanımlanması.....	28
3.2.2.2 Duman atış bacasının tanımlanması.....	29
3.2.3 Yanma Modeli.....	30
3.2.3.1 Yanma eğrisi	33
3.2.3.3 Yanma sınır şartının tanımlanması	36
3.2.4 Jet fan tasarımı	36
3.2.4.1 Radyal jet fan oluşturulması	37
3.2.4.2 Eksenel jet fan oluşturulması	38
3.2.4.3 Jet fanların konumları	39
3.2.5 Sayısal ağ oluşturma	40
3.2.6 Dilimler	44
3.2.7 Değişkenler	45

3.2.8 Senaryolar	46
4. SONUÇLAR	47
4.1 Hız Sonuçları.....	47
4.2 Sıcaklık Dağılımı.....	49
4.3 Görüş Mesafesi.....	52
4.4 Karbonmonoksit Seviyeleri.....	54
5. YORUMLAR.....	60
KAYNAKLAR	62
EKLER.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	72



KISALTMALAR

ARBED	: Aciéries Réunies de Burbach-Eich-Dudelange
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BRE	: Building Research Establishment
BS	: British Standard
CTICM	: Centre Technique Industriel de la Construction métallique
DA	: Duman Atış
DIAHS	: Duman Isı Atış Havalandırma Sistemi
DIK	: Duman ve Isı Kontrol
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ISO	: Isı Salınım Oranı
İHS	: İtkili Havalandırma Sistemi
LES	: Large Eddy Simulation
LPG	: Liquefied Petroleum Gases
NFPA	: National Fire Protection Association
NIST	: National Institute of Standards and Technology
ppm	: Parts per million
RAM	: Random Access Memory
RANS	: Reynolds-averaged Navier–Stokes Equations
TH	: Taze Hava
TNO	: Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
YDS	: Yangın Dinamiği Simülatörü

SEMBOLLER

A	: Alan
CO	: Karbonmonoksit gazı
CO₂	: Karbondioksit gazı
F_i	: İtme kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Entalpi
H	: Pnömatik enerji
H	: Yükseklik
H_c	: Yanma özgül ısısı
H_p	: Fan güç girdisi
N	: Fan devri
P	: Akışkanın statik basıncı
P	: Toplam/Statik basınç
P₂	: Çıkış basıncı
P₀	: Giriş basıncı
Q	: Hava debisi
Φ	: Disipasyon fonksiyonu
ρ	: Özgül Kütle
S	: Giriş alanı
V	: Akışkanın ortalama akış hızı
V₀	: Giriş hızı
V_s	: Eksenel jet fan hızı
V	: Hacim
V_f	: Fan çıkışındaki hız
y_s	: İS üretim oranı
y_{CO}	: Karbonmonoksit gazı üretim oranı
Z	: Referans düzleme göre bir akışkanın konumu
γ	: Akışkanın özgül ağırlığı
τ	: Kayma Gerilmesi
u	: Hızın üç bileşeni

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : TS/EN 12101-3 standardına göre yangın dayanım sınıfları.....	16
Çizelge 3.1 : Hacim hesabı ve on hava değişimi durumu.	24
Çizelge 3.2 : On hava değişimi durumunda eksenel fanların debileri.....	24
Çizelge 3.3 : Hacim hesabı ve on beş hava değişimi durumu.....	25
Çizelge 3.4 : On beş hava değişimi durumunda eksenel fanların debileri.	25
Çizelge 3.5 : Debilere göre havalandırma bacalarının boyutları.....	26
Çizelge 3.6 : Debilere göre her bir fanın damper boyutları.....	27
Çizelge 3.7 : Sürekli rejimde tasarım yangın yükleri (BS 7346-7, 2013).....	31
Çizelge 3.8 : Isı yayılım eğrisinin oransal karşılıkları.....	34
Çizelge 3.9 : Yanma ürünleri.....	34
Çizelge 3.10 : Kapalı otoparkın yangın modelinin toplam sayısal ağ hücrelerinin sayısı.	42
Çizelge 3.11 : Analiz dosyaları ve simülasyon senaryoları.....	46
Çizelge 5.1 : Analiz sonuçları (1200. saniye için).....	60
Çizelge 5.2 : Karbonmonoksit gazı sonuçları (2100. saniye için).....	61

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Akış doğrultuları.....	10
Şekil 2.2 : Eksenel fan.	11
Şekil 2.3 : Radyal fan.....	11
Şekil 2.4 : Eksenel jet fan.	12
Şekil 2.5 : Radyal jet fan.....	12
Şekil 2.6 : Jet fanın kontrol hacmi.	14
Şekil 2.7 : Jet fanın akışı.....	14
Şekil 2.8 : Bir radyal jet fanın süpürme mesafesi.	17
Şekil 3.1 : Örnek bir kurum binası ve kapalı otopark rampalı girişi.	21
Şekil 3.2 : Örnek bir binası kapalı otoparkı ve radyal jet fanı.	22
Şekil 3.3 : AIR CI 50-4/8T-F-300 model radyal jet fanın ön görünüşü.	22
Şekil 3.4 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkı ve eksenel duman atış fanları....	23
Şekil 3.5 : Örnek bir kurum binası 1/100 ölçekli bodrum kat planı.	23
Şekil 3.6 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkında bulunan radyal jet fanların süpürme mesafeleri.	26
Şekil 3.7 : Kapalı otoparkın üç boyutlu katı modeli.....	27
Şekil 3.8 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkının taze hava besleme bacası ve eksenel fanlar.	28
Şekil 3.9 : Taze hava besleme yüzey sınır şartının atanması.....	29
Şekil 3.10 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkının duman atış bacası ve eksenel fanlar.	29
Şekil 3.12 : Kapalı otoparkın yağmurlama sistemi.....	31
Şekil 3.13 : Tek araç için yangın referans eğrisi.	32
Şekil 3.14 : Yanan aracın üç boyutlu görüntüsü ve boyutları.....	32
Şekil 3.15 : Yanan aracın gerçek konumunun fotoğrafı.....	33
Şekil 3.16 : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri için referans yangın ısı yayılım eğrisi.....	33
Şekil 3.17 : Propilenin kimyasal formülü.....	35
Şekil 3.18 : Yanma sonucu açığa çıkan ürünlerin verilerinin girilmesi.	35
Şekil 3.19 : Yangın yayılım yükünün oransal girişi.	36
Şekil 3.20 : Radyal jet fan katı modeli.	37
Şekil 3.21 : Otoparkın kesit görünüşünden radyal jet fan katı modeli.	37
Şekil 3.22 : Eksenel jet fan katı modeli.	38
Şekil 3.23 : Otoparkın kesit görünüşünden eksenel jet fan katı modeli.	38
Şekil 3.24 : Radyal jet fanların konumları.....	39
Şekil 3.25 : Eksenel jet fanların konumları.	40
Şekil 3.26 : Kapalı otoparkın sayısal ağ oluşturulduktan sonraki görünüşü.....	41
Şekil 3.27 : 0,25 metre birim sayısal ağ (hücre) oluşturma.	41
Şekil 3.28 : On hava değişimli radyal jet fanlı 0,40 metre birim ağ elemanında hız sonuçları.	42

Şekil 3.29 : On hava değişimli radyal jet fanlı 0,25 m birim ağ elemanında hız sonuçları.	43
Şekil 3.30 : 0,40 metre birim boyutlu sayısal ağ olması durumunda çözüm süresi. .	43
Şekil 3.31 : 0,25 metre birim boyutlu sayısal ağ olması durumunda çözüm süresi. .	44
Şekil 3.32 : Analiz sonuçları için dilim atama.	44
Şekil 3.33 : 1,7 metre yükseklikteki sonuçlar için dilimler oluşturulması.	45
Şekil 3.34 : Simülasyon ortam koşullarının değişkenleri.	45
Şekil 4.1 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için hız sonuçları.	47
Şekil 4.2 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için hız sonuçları.	48
Şekil 4.3 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için hız sonuçları.	48
Şekil 4.4 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için hız sonuçları.	49
Şekil 4.5 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için sıcaklık değerleri.	50
Şekil 4.6 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.	50
Şekil 4.7 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.	51
Şekil 4.8 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.	51
Şekil 4.9 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.	52
Şekil 4.10 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.	53
Şekil 4.11 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.	53
Şekil 4.12 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.	54
Şekil 4.13 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.	54
Şekil 4.14 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.	55
Şekil 4.15 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.	55
Şekil 4.16 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.	56
Şekil 4.17 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.	56
Şekil 4.18 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.	57
Şekil 4.19 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.	57
Şekil 4.20 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.	58
Şekil 4.21 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.	58
Şekil 4.22 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.	59
Şekil A.1 : Radyal Jet Fan Özellik Belgesi.	67
Şekil B.1 : Eksenel Fan Özellik Belgesi.	68
Şekil C.1 : Örnek Bir Kurum Binası Bodrum Kat Planı.	69
Şekil D.1 : Eksenel Jet Fan Özellik Belgesi.	70
Şekil D.2 : Eksenel Jet Fan Özellik Belgesi.	71

YER ALTI ARAÇ OTOPARKLARINDA JET FAN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN VE FAN YERLEŞİM OPTİMİZASYONUNUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI İLE ANALİZİ

ÖZET

Şehirlerin gelişimi ve artan nüfus ile yeraltı otoparklarına ihtiyaç artmıştır. Bu yapıların yangından korunma politikaları göz önüne alındığında duman ve ısı taşınımı önem kazanmaktadır. Yangın Dinamiği Simülatörü (YDS), yangınlardan duman ve ısı taşınmasına önem veren, düşük hızlı akışlar için büyük boyutlu bir simülasyon (BGS) kodudur. Navier-Stokes denklemlerinin hız ve sıcaklık denklemlerinin hesaba katılmasıyla çözümlenebilir. Akış alanı büyük girdap simülasyonu (BGS) türbülans modellemesi kullanılarak çözümlendi. Yangın dinamiği simülatörü, farklı yangın senaryoları altında büyük bir yeraltı otoparkında yangının yayılma ve dumanın hareketini araştırmak için kullanılır. Bu çalışmada, başlangıçta tek bir otomobil yangınının ısı salınım oranının deneysel sonuçları ile karşılaştırarak, otomobilin yangın gelişimini, aracın üzerindeki yakıtın yüzey yoğunluklarına izin vererek tasarlandı. Daha sonra, yangın yayılımı ve dumanın hareketi farklı havalandırma koşullarında araştırıldı. Ayrıca hız vektörlerinin, sıcaklık, karbonmonoksit gazı (CO) miktarının ve görüş mesafesinin ayrıntılı alan dağılımları verilmektedir. Bu çalışmada, otoparkta yangın olması durumunda, zorlanmış mekanik yatay havalandırma ile duman ve ısı kontrolü (DIK) ile ilgili Pyrosim yazılımını kullanarak simülasyon sonuçları sunuldu. Kapalı otopark hacminin saatlik hava değişim sayısının sonuçlara etkileri de incelendi. Radyal jet fanlı ve 10 hava değişimli analizde, kaçış noktasında hız 0,9154 m/s, sıcaklık 40,13°C, görüş mesafesi 3 m ve CO gazı seviyesi 71,5 ppm görüldü. Radyal jet fanlı ve 15 hava değişimli analizde, kaçış noktasında hız 1,324 m/s, sıcaklık 29,98°C, görüş mesafesi 30 m ve CO gazı seviyesi 1 ppm görüldü. Eksenel jet fanlı ve 10 hava değişimli analizde, kaçış noktasında hız 0,9176 m/s, sıcaklık 38,02°C, görüş mesafesi 3 m ve CO gazı seviyesi 61,5 ppm görüldü. Eksenel jet fanlı ve 15 hava değişimli analizde, kaçış noktasında hız 1,318 m/s, sıcaklık 28,15°C, görüş mesafesi 30 m ve CO gazı seviyesi 1 ppm görüldü. Büyük yeraltı otopark sistemlerinde yangın güvenliğini garanti altına almak için, yangının yayılması ve dumanın hareketi üzerine ayrıntılı bir şekilde çalışılması gerekiyor. Ülkemizde kapalı otoparklarda itki havalandırma sistemleri için duman kontrol standardı bulunmamaktadır. Jet fanlı havalandırma sistemi kullanarak yeraltı otoparklarındaki havalandırma sistemi deneysel olarak veya hesaplamalı akışkanlar dinamiği tekniği kullanılarak tasarlanabilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği tekniği, bu sistemin tasarımında mevcut bilgisayar teknolojisi göz önüne alındığında en iyi ve en uygun maliyetli olanıdır.

Anahtar kelimeler: Jet Fan, Duman ve Isı Kontrolü (DIK), Yeraltı Araç Otoparkı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Yangın Dinamiği Simülatörü (YDS).

ANALYSIS OF JET FAN VENTILATION SYSTEM AND OPTIMIZATION OF FAN INSTALLATION IN UNDERGROUND CAR PARK WITH USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

SUMMARY

With the development of cities and increasing population, the need for underground car parks has increased. When the fire protection policies of these buildings are taken into consideration, smoke and heat transport becomes important. The Fire Dynamics Simulator (FDS) is a large eddy simulation (LES) code for low-speed flows, with emphasis on the transport of smoke and heat from fires. Analyze Navier-Stokes equations by considering velocity and temperature equations. Flow area was analyzed using Large Eddy Simulation (LES) turbulence modeling. The fire dynamics simulator is used to investigate fire propagation and smoke movement in a large underground parking lot under different fire scenarios. In this study, it was initially designed by comparing the car's fire development by allowing the surface densities of the fuel on the vehicle, comparing the experimental results of the heat release rate of a single automobile fire. Fire propagation and movement of smoke are then investigated under different ventilation conditions. In addition, detailed field distributions of velocity vectors, temperature, carbon monoxide gas content and visibility are given. In this study, simulation results are presented by using Pyrosim software for forced mechanical horizontal ventilation and smoke and heat control (DIK) in case of fire in the parking lot. The effects of the number of hourly air changes of the indoor parking volume on the results were also examined. In the analysis with radial jet fan and 10 air exchange, velocity at the escape point was 0,9154 m/s, temperature was 40,13°C, visibility was 3 m and CO gas level was 71,5 ppm. In the analysis with radial jet fans and 15 air-exchanges, the velocity at the escape point was 1,324 m / s, temperature was 29,98°C, visibility was 30 m and CO gas level was 1 ppm. In the analysis with axial jet fan and 10 air changes, the velocity at the escape point was 0,9176 m/s, the temperature was 38,02°C, the visibility was 3 m and the CO gas level was 61,5 ppm. In the analysis with axial jet fan and 15 air exchange, velocity at the escape point was 1,318 m/s, temperature was 28,15°C, visibility was 30 m and CO gas level was 1 ppm. In order to guarantee fire safety in large underground car park systems, it is necessary to study in detail the spread of fire and the movement of smoke. In our country, there is no smoke control standard for propulsion ventilation systems in closed parking lots. Using a jet fan ventilation system, the impulse ventilation system in underground parking lots can be designed experimentally or using computational fluid dynamics technique. The computational fluid dynamics technique is the best and most cost-effective when considering the available computer technology in the design of this system.

Keywords: Jet Fans, Smoke and Heat Control (SHC), Underground Car Park, Computational Fluid Dynamics (CFD), Fire Dynamics Simulator (FDS).

1. GİRİŞ

Son zamanlarda şehirlerde nüfusun artmasıyla ve dolaylı olarak araç sayısında da artışlar görülmüştür. Otomobiller artık günlük yaşantımızın doğal bir parçası haline geldiler. Yaygınlaşan toplu taşıma sistemlerine rağmen günümüzde birçok kişi artık bir arabaya sahiptir. Ankara’da her 4 kişiye bir araç, İstanbul’da her 5 kişiye bir araç ve Bursa’da ise her 6 kişiye bir araç düşmektedir. Yükselen araç sayısı ile beraber birçok yer altı otoparkları inşa edilmiştir. Yapılan otoparkların çoğu ya alışveriş merkezlerinin ya da apartmanların bodrumlarında bulunmaktadır. Kapalı otoparklar için tasarlanan havalandırma sistemleri, iki temel ihtiyaçtan yola çıkarak planlanmaktadır. Bu sistemler; ilk olarak konfor havalandırmasıyla insan sağlığına zararlı olan araçlarda yanma sonucu açığa çıkan gazların (CO, CO₂, Benzen vb.) tahliyesi ve acil yangın durumunda insanların kaçışına, sıcak duman gazlarının tahliye edilmesi, itfaiye personelinin yangına müdahalesini kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmaktadır. 9.07.2015 gün ve 29411 sayılı resmî gazetede yayınlanan “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğe göre 2000 m²’den büyük ve kapalı otoparklarda zorunlu olarak yapılması gereken mekanik havalandırma ve duman boşaltım sistemi iki şekilde tasarlanabilir;

-Hava kanalları ile dağıtım ve toplaması yapılan kanallı sistem,

-Karayolu tünellerinde tercih edilen jet fan sistemi.

Yaklaşık 10 yıl öncesine kadar kapalı otoparkın havalandırılması, sadece kanallı sistemler ile kirli havanın egzoz edilmesi ve taze havanın içeriye verilmesi ya da doğal olarak içeriye alınması temelinde yapılmaktaydı. Bu sistem aynı zamanda yangın durumunda duman tahliyesi için de kullanılmaktaydı. Kanallı havalandırma sistemlerinin kurulum, maliyet, enerji, mimari koşullar, estetik gibi konularda hantal kalması, daha yenilikçi ve ergonomik olan itki havalandırma sistemlerinin özellikle son dönemlerde oldukça yaygınlaşmasına yol açmıştır. Jet Fanlar vasıtası ile kapalı otoparklarda tesis edilen itki havalandırma sistemleri, Avrupada son 13–14 yıldır görülmektedir. Ülkemizde ise son 8–9 yılda oldukça yaygın bir şekilde talep görmektedir.

Chow (1998), örnek bir kapalı otopark havalandırma sistemleri ve yangından korunma sistemlerini içeren sistemleri üzerine araştırma yapmıştır. Yirmiyedi araçlık kapalı otoparkta kanallı tip havalandırma ile yangın simülasyonu yapmıştır. Beş MW'lık bir yangın yükü için ilk olarak saatte 6 hava değişimi çalışılmıştır. Duman kontrolü için tasarımlar ve yağmurlama başlıklarının ısı hassasiyeti değerlendirilmiştir. Saat başına hava değişim oranları artırıldıkça hava kalitesi artmaktadır. Araştırmada yer altı otoparkında sağlıklı ve güvenli bir ortam sağlamak için yangından korunma ve havalandırma sistemleri üzerine tasarımlar önerilmektedir (Chow, 1998).

Otoparklarda yangın gelişimi, son yıllarda bir dizi deneysel programın konusu olmuştur (Joyeux, 1997; Keski-Rahkonen ve Mangs, 1994a; Keski-Rahkonen ve Mangs, 1994b; Kruppa ve Zhao, 2004; Shipp ve Spearpoint, 1995).

On deneyden oluşan, her biri farklı deneylerin aracın modelleri, buldukları konumları ve yükseklikleri içeren yangın senaryolarıyla ısı salınım oranı (ISO) elde etmek için bir dizi deneyler icra edilmiştir (Joyeux, 1997).

Binek araçlarda üç tane tam ölçekli deneyler açıklanmıştır. Araçlar 1970'lerin sonunda üretilmiş olup yağ, yakıt ve basit yolcu kabini malzemeleriyle donatılmıştır. Patlama ürünlerinin toplandığı üstü kapalı iç mekânlarda deneyler icra edilmiştir. Araçlar yolcu bölmesinden veya motorun altından yanıcı fiçi ile tutuşturulmuştur. Isı salınım oranı; oksijen tüketimi kalorimetresi, kütle değişimi, kütle değişim oranı, ısı akısı, karbonmonoksit, karbondioksit üretim oranı, araç üstü gaz sıcaklıkları ve araç içi sıcaklıklar zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Keski-Rahkonen ve Mangs, 1994a).

Binek aracın yangın davranışını açıklayan basit bir model sunulmuştur. Isı salınım oranı eğrileri yanan araç deneylerinden elde edilen bir Boltzmann eğrisi ve üç simetrik Gaussian eğrisi üstdüşümüyle nitelendirilmiştir. En yüksek tavan sıcaklıkları Alpert denklemleri kullanılarak gaz sıcaklıkları hesaplanmış ve araç yangın deneylerindeki ölçülmüş sıcaklıklar karşılaştırılmıştır (Keski-Rahkonen ve Mangs, 1994b).

Çelik kolonlar ve kompozit levhalardan inşa edilmiş gerçek otoparklarda birçok araba yangınının yapıldığı CTICM, ARBED ve TNO'yu içeren iki araştırma projeleri sırasında deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, otomobillerde artan yangın yüküne

rağmen, yapının genel dengesini sağlamak için çelik yapılardaki ek yangından korunma gerekmediğini göstermiştir. Araştırma süresince yapılan yapısal modelleme, daha ekonomik çelik yapıların kullanımının mümkün olabileceğini göstermiştir (Kruppa ve Zhao, 2004).

Kaza ile olması muhtemel yangının ciddiyetini değerlendirmek amacıyla ısı tahliye oranını, sıcaklığı ve diğer parametreleri ölçmek için tam donanımlı davlumbazlar altında Kanal Tüneli Güvenlik Kurumu için Shipp ve Spearpoint tarafından tam ölçekli iki araç yangını testi yapılmıştır. Veriler, otomobil yangınının 10 dakikalık bir süre içerisinde en yüksek çıkışlara ulaşabileceğini ve bu çıkışların 7,5 MW'ı geçebileceğini gösterdi. Diğer çalışmaların bulgularına dayanarak, yangının ciddiyetinin, yangının gerçekleştiği koşullara büyük ölçüde bağlı olduğu da belirtilmiştir. Bu bulgular, Kanal Tüneli servis aracı vagonlarında bu tür yangınları güvenli bir şekilde içermesi için gerekli güvenlik önlemleriyle ilgili kararların alınmasını sağlamıştır (Shipp ve Spearpoint, 1995).

Yangın güvenliği açısından son zamanlarda Avrupa'da iki büyük araştırma projesi yürütülmüştür (Merci ve diğ, 2011; Shipp, 2010).

2006'da Birleşik Krallık Topluluklar ve Yerel Yönetimler Bakanlığı Sürdürülebilir Binalar Bölümü, Otoparklarda Yangın Yayılması başlıklı üç yıllık bir proje yürütmek üzere Bina Araştırma Kuruluşu'nu görevlendirmiştir. Otoparklardaki yangın güvenliği stratejileri için bu kılavuzun temeli, yangını başlatmaya ve tasarımları on yıllara dayanan arabaları içeren yangının büyümesine ilişkindir. Modern otomobil tasarımı (örneğin plastik yakıt depoları) ile ilişkili otoparklardaki yangınların sonuçları ve bu yangınların bitişik ve yakın park halindeki diğer araçlara nasıl yayılabileceği konusunda artan bir endişe vardır. Bu endişe, LPG gibi alternatif yakıtlarla çalışan otomobillerin pazar yerine girmesiyle daha da artmıştır. Otoparklardaki yangınlar nadirdir ve Birleşik Krallık'ta bugüne kadar kaydedilen çok az ölüm veya yaralanma olmasına rağmen, modern otomobillerden ve alternatif yakıtlardan kaynaklanan yeni ve ortaya çıkan risklerle ilgili endişeler bulunmaktadır. Mevcut yangın güvenliği rehberliğinin gözden geçirilebilmesi ve gerektiğinde güncellenebilmesi için otoparklardaki arabaları içeren yangınlar hakkında güncel bilgiler toplanmasına ihtiyaç vardır. Bu projeyi açıklayan rapor, bulguları ve sonuçları açıklamıştır. Programın üç yılı boyunca, on bir tam ölçekli deney gerçekleştirildi ve on altı oldukça yeni, modern otomobil yakıldı. Sonuç olarak, çok

büyük miktarda veri, fotoğraf ve video çekimi elde edilmiştir. Bu raporda, otopark tasarımına dâhil olan tasarımcılar, yangın mühendisleri, bilgisayar modelleyicileri ve uygulayıcılar için değerli olması amaçlanan veriler ve uygun yangın güvenliği hükümleri sunulmuştur (Shipp, 2010).

B. Merci ve M. Shipp'in makalesinde, otopark yangını güvenliğine, özellikle de yangın ve duman (ve ısı) dinamiklerini yoğunlaştırdılar. Özel binaların (örneğin, apartman blokları) altındaki otoparklar gibi birçok nispeten küçük otoparklarda (örneğin, 800 m²'den az alan) hiçbir duman ve ısı kontrol sistemi mevcut değildir. Büyük otoparklarda, özellikle kamu otoparklarında veya ofis bloklarının altındaki otoparklarda, genellikle bir duman ve ısı kontrol sistemi kurulur. Farklı sistem türleri mevcuttur. Dumanı 'yakalamak' için kanal sisteminin kullanılması ve kanal sisteminin içinden dumanı uzaklaştırması bir başka alternatif yol olabilir. Isı, dumanla birlikte giderilir, böylece yangın çıkma riski azalır. Diğer bir alternatif, garantili bir dumansız yüksekliği hedefleyen doğal dikey havalandırmadır. Fakat otoparklardaki tipik olarak düşük tavan yüksekliğinden dolayı, bu sistem çok yaygın değildir. Öte yandan yatay mekanik havalandırma oldukça popüler bir tekniktir. Temel olarak, popüler bir teknik olan yatay mekanik havalandırmanın, yangın kaynağı tarafından oluşturulan duman ve ısı üzerindeki etkisini araştırdılar. Hava akış momentumunun yangına bağlı duman akışının neden olduğu akış direncini yenebilecek kadar güçlü olması ve hava akışının yangın kaynağına ulaşabilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Nitekim öncelikle ısı salınım oranı (ISO) ve duman üretim hızı açısından yangın kaynağı, duman ve ısı kontrol (DIK) sisteminin hangi problemle mücadele etmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Merci ve Shipp, 2013).

İlk başlarda otoparklarda kirli havayı boşaltmak ve temiz hava sağlamak için kanal havalandırma sistemi kullanılıyordu. Bu sistemde, kanallar vasıtasıyla otoparka temiz hava sağlanması için panjurlar, rampalar, şaftlar ve fanlar kullanılmıştır. Kanal havalandırma sistemine daha başarılı bir alternatif olarak (jet fan sistemi) yakın zamanda uygulanmıştır. Bu sistem, jet fanları araç parkının tavanı üzerine asarak kanal sistemine olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Bununla birlikte, her iki sistem hala temiz hava ve duman atış fanları gerektirir. Jet fanı sistemi dört ana bileşenden oluşur; Jet fanları, fanları ayırma ve besleme, bir algılama sistemi ve bir kontrol sistemi (Lu ve diğ, 2011).

Son zamanlarda, jet fanların kullanılmasına dayalı yeni bir çözüm ortaya çıkmıştır. Jet fanlar, dumanı boşaltma deliklerine doğru aktarabilmek için gerekli momentumu üretebilir. Genellikle, eksenel vantilatörler, dumanı veya eksozdan çıkan pis havayı boşaltmak için otoparkların çevresindeki şaftlarda bulunurlar. Bu tür uygulamalar tünellerdeki uzunlamasına havalandırma sistemi ile benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, eğer jet fanın hızı, kritik hızın üzerindeyse, geri tabakalaşmanın önüne geçmek için tünellerdeki jet fanlar, akışkanları sirküler etmek için kullanılır. Otoparklarda, ise bölmelerin geniş alanı nedeniyle akış modeli çok daha karmaşıktır. Merci ve arkadaşları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonundan faydalandı ve zorlamalı mekanik yatay havalandırma ile duman ve ısı kontrolü (DIK) ile tam ölçekli otopark yangın deneyleri gerçekleştirdi. DIK sisteminin yangın koşullarında duman hareketi üzerindeki etkisini araştırdılar. Duman tahliye oranının iyileştirilmesinin, iç hava dolaşımı bölgesinde duman sıkışmışsa dumanı uzaklaştırmaya yardımcı olmadığını bulmuşlardır (Merci ve diğ, 2013).

Tünellerde, duman kontrolü ve havalandırma için yapılan jet fanların uygulamaları birçok çalışmada yer almaktadır (Azevedo, 2007; Chow ve Li, 2003; Carvel ve diğ, 2001; Carvel ve diğ, 2005; Kurioka ve diğ, 2003; Lemaire ve Kenyon, 2006; Karki ve diğ, 2000; Lee & Ryou, 2006; Xiaojun, 2008).

Ancak, kapalı otoparklarda duman kontrolü ve havalandırması için sadece birkaç çalışma başarılı bir şekilde rapor edilmiştir (De Smedt ve Morgan, 2004; Saraiva ve Viegas, 2001, 2002; Viegas, 2006).

Yangın Mühendisliği duman kontrol sistemleri genellikle binaya zarar vermeden tasarım koşullarında tam olarak test edilemez. Tasarım performansının, bu performansın kabul testini hak etmek için yeterince önemli olduğu durumlarda, ölçek derinliği (Duman ve Isı Atış Havalandırma Sistemindeki kritik parametre (genellikle kritik parametre)) ve dumanın karşı hava akımına karşı kat ettiği mesafe (itki havalandırma sistemindeki kritik parametre), tasarım koşullarında olduğu gibi testte aynıdır. Ölçeklemeye dayalı olmayan sıcak duman testleri bu parametrelerde potansiyel olarak yanıltıcı sonuçlar verebilir. Ayrıca, itki havalandırma sistemleri için tasarım prosedürünün basitleştirilmiş bir taslağını açıklamış ve bu sistemlerin bir DIAHS ile aynı ölçeklendirme ilişkilerine uygun olduğunu göstermiştir. Bu ölçeklendirme yöntemlerine alternatif, tasarım ve test koşullarının aynı hesaplama

yöntemiyle tahmin edildiği ve test tahmininin gözlemlerle onaylandığı yerdir (De Smedt & Morgan, 2004).

Şehirlerde park yeri sıkıntısı yer altı otoparklarının yaygın olarak kullanılmasına neden oldu. Bu tür alanların havalandırılması, otomobil motorları tarafından salınan yanma ürünlerinin solunmasında, özel CO'da (genellikle iç mekân hava kalitesinin göstergesi olarak kullanılır), sağlık sorunlarından kaçınmak için çok önemlidir. Son 10 yılda, otopark tavanının altında asılı olan aksel üfleçlerin (jet fanlar) kullanımına dayanan yeni bir mekanik sistem ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada jet fan ızgaralarının karakteristik özelliklerinin (jet fanlar arasında boyuna ve enine mesafe) akış düzenindeki etkisi gösterilmiştir. Ayrıca, hava değişim hızının jet fan akış düzenine etkisi de incelenmiştir (Viegas, 2006).

Son yıllarda, otopark tavanının altında asılı olan aksel üfleçlerin (jet fanlar) kullanımına dayanan yeni bir mekanik havalandırma sistemi ortaya çıkmıştır. Bu yazıda jet fanların oluşturduğu akış ve kirletici maddeler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Jet fanların, çevreye kirlenmiş havayı jet içine hapseden bir pompalama etkisine sahip olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu şekilde jet fanlar, otoparktan çıkan egzoz akış hızının jet akış hızından daha düşük olmaması şartıyla, kirletici maddelerin dağılımını sınırlayabilmektedir. İtki havalandırma ayrıca yerel kirlilik tepe noktalarının hızlı bir şekilde seyreltilmesini sağlayabilir, ancak bu durumda çıkarma verimliliği düşük olacaktır. Bu makale ayrıca, jet fanları arasındaki mesafeyi tanımlamak için kıstaslar önermektedir (Viegas, 2009).

Joao Carlos Viegas kapalı otoparklar için havalandırma sistemi uyguladı ve yangın durumunda dumanı kontrol etmek için itkili havalandırma sistemleri (İHS) kullandı. Yangın kaynağının konumu ve yoğunluğu, jet fanları arasındaki enine mesafe, egzoz akış hızının kısıtlanması ve otopark egzoz açıklığının boyutu gibi önemli parametreleri dikkate alan bir hassasiyet analizi yapılmış olup ve 50 Newton itişli jet fanların tasarımı için kurallar çıkarıldı. Bu model, İHS tasarımının ilk yaklaşımını desteklemeyi amaçlamaktadır. Tavanın yakınındaki akış alanı için analitik bir model sergiledi ve HAD simülasyonları ile karşılaştırdı (Viegas, 2010).

Jet fanlar, iç havalandırma akışını desteklemek için gereken momentumu oluşturur. Bu şekilde, hava girişlerinin ve hava çıkışlarının yer altı otoparkının bazı noktalarına yoğunlaştırılabilir. Otoparkın genel geometrisi nedeniyle, akış oldukça karmaşık

olabilir, bu nedenle jet fanlarının konumu, yönü ve hızları gibi etkenlerin dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekir. Bu tür projeler için yaygın olarak kabul edilen tasarım önerileri eksik olsa da havalandırma tasarımının değerlendirilmesinde tamamlayıcı ve yardımcı bir araç olarak HAD yazılımının kullanılması büyük ilgi çekmiştir. Bu bağlamda, bir yer altı otoparkına kurulan mevcut bir havalandırma sisteminin performansını bir yangın senaryosunda değerlendirmek ve onaylamak için ücretsiz bir kod (YDS - Yangın Dinamiği Simülatörü) kullanılarak HAD benzeşimleri yapılmıştır. HAD benzeşim sonuçları deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır (Aveiro ve Viegas, 2010).

Jet fanlar, hava akışının kontrolü ve büyük hacimlerde kirletici dağılımının desteklenmesi için uygulanır. Hollanda'da, uygulama, yangın güvenliği tasarımının bir parçası olarak otoparklar için iyi bilinmektedir. Tasarım aşamasında, genellikle hesaplamalı akışkanlar dinamiği teknolojisi, jet fanlarının uygulandığı yangın güvenliği seviyesini doğrulamak için kullanılır. Bununla birlikte, HAD'daki jet fanların modelleme gereklilikleri hakkında çok az şey bilinmektedir. Bu, jet fan modelinin doğrulaması için uygulanabilecek deneysel veriler üzerindeki yetersizliği içerir. Bu çalışmada sonuçlar, büyük bir muhafaza içerisindeki belirli bir jet fan tipi için ölçümler ve HAD'daki jet fanın modelleme özelliklerinin doğrulanması olarak sunulmuştur. Hem serbest hem de duvara yakın konumlandırma araştırıldı ve bir modelleme önerisi yapıldı. Jet fanının modellenmesi için, kalkış noktası düşük bir karmaşıklığıdır çünkü model genellikle büyük hesaplama alanlarına dâhil edilmek zorundadır. Geliştirilen yaklaşımın uygulanabilirliği ve jet fan konumlandırma etkinliğinin büyük muhafazalara değerlendirilmesi, bir vaka çalışması ile gösterilmiştir (Rutten ve diğ, 2011).

Lu ve diğerleri, kapalı otopark duman tahliye sistemini, jet fan sayısı, jet fan hızı, duman boşaltma akış hızı ve yangın konumu gibi parametreleri değiştirerek araştırmıştır. Karşılaştırmalı hız ve görünürlük sınırlarını farklı vaka çalışmaları olarak gösterdiler. Ayrıca, yüksek jet fan hızlarının dumanın devirdaimine neden olabileceğini belirtmiştir. Elde ettiği sonuçlar, itki havalandırma sisteminin duman kontrol kapasitesinin jet fan sayısı ve atış debisi ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Lu ve diğ, 2011).

İstanbul'da bulunan sekiz katlı büyük bir iş merkezinin havalandırma ve yangın analizi, alanı bölgelere bölünerek bir HAD programı yardımıyla araştırılmıştır. Bu

vakada kapalı otoparkın sıcaklık, hava akışı oranı, duman yoğunluğu ve görünürlük değerleri incelenmiştir (Senveli ve diğ, 2015).

Khatoon ve Shah, k-epsilon ve Spalart-Allmaras türbülans modellerini kullanarak kapalı otoparkın hız sınırlarını yılın ayları boyunca göstermiştir. Ayrıca, HAD yöntemini kullanarak günün saatlerine göre CO seviyelerini göstermiştir (Khatoon ve Shah, 2016).

Umamaheswararao, Riyad, Suudi Arabistan'da bulunan hastane otopark katında iki farklı jet fan vakasını çalışmış olup ve karbonmonoksit (CO) seviyelerini karşılaştırmıştır. Jet fan sayısının 8'den 11'e çıktığında karbonmonoksit seviyelerinin düştüğünü gözlemlemiştir (Umamaheswararao, 2017).

Jet fanlı havalandırma sistemi, yeraltı otoparklarında karbon monoksit çıkarımı için mevcut çeşitli havalandırma sistemlerinden biridir. Böyle bir sistem sadece tasarım sırasında uygulanan kurallara değil, aynı zamanda yer altı otoparkının mimarisine de bağlıdır. Bu yazıda, hava durgunluk alanlarını, hava akışını ve akış düzenlerini ve bölme duvarlarının jet fan havalandırma sistemi üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılan sayısal bir model açıklanmaktadır. İlave odaklama, bölme duvarlı yeraltı otoparkları için jet fan havalandırma sistemi seçiminin geçerliliğidir. Sonuçlar jet fan havalandırma sisteminin tüm yer altı otoparkı mimarisi düzenleri için uygun olmadığını göstermektedir (Špiljar ve diğ, 2018).

A. Bacak (2017), yaptığı çalışmada Yangın Dinamiği Simülatörü 6.1.2'yi kullanarak 115 m uzunluğunda, 57 m genişliğinde ve 3,5 m yüksekliğinde bir kapalı otoparkta üç farklı yangın konumunda BS-7346-7:2013 standardına göre hız, sıcaklık, görüş mesafesi ve CO sonuçları için HAD analizleri yapmıştır. Üç farklı araç konumuna göre birer tane analiz yapmış olup; otoparkın ortasında ve duvarın yanında bulunan yanan araç ile gerçekleştirilen birinci analizde hız 5 m/s, görüş mesafesi 10 m, sıcaklık 35°C ve CO gazı seviyesi 10 ppm görülmüştür. Taze hava besleme bacasının yakınında bulunan yanan araç ile gerçekleştirilen ikinci analizde hız 4,5 m/s, görüş mesafesi 10 m, sıcaklık 69°C ve CO gazı seviyesi 20 ppm görülmüştür. Sadece otoparkın ortasında yanan araç ile gerçekleştirilen üçüncü analizde hız 5 m/s, görüş mesafesi 10 m, sıcaklık 33°C ve CO gazı seviyesi 9,5 ppm görülmüştür. Bu kapalı otopark modelinde; birim sayısal ağ boyutu 0,25 m kullanarak HAD analizinde toplamda 1.461,880 dörtgen hücreler ile çalıştırmıştır (Bacak, 2017).

2. MATERYAL

2.1 Fan Çalışma İlkesi ve Fan Kanunları

AMCA 99-0066 standardına göre fan, hava veya gazları taşımak için tahrik edilen bir çark tarafından enerji verilen bir makine olarak tanımlanır. Hava veya gazın birim kütlesi için verilen iç enerji artışı 25 kJ/kg ile sınırlandırılmıştır. Bu sınır yaklaşık olarak 30 kPa'lık bir basınca eşdeğer olup, bu basınç altında birim akışkan hacmi için akışkana verilen pnömatik enerjiyi ifade eden bir büyüklüktür. İngilizce bir kelime olan Fan, Latince 'Vannus' kökünden gelmekte olup; 'harman savurma aleti, yelpaze' anlamlarına gelmektedir ve ilk olarak 17. Yüzyılda 'kuş tüyü yelpaze' olarak kadınlar tarafından serinlemek amacıyla kullanılmıştır. Vantilatör kelimesinin, Fransızca 'Ventilateur' ve Almanca 'Ventilator' köklerinden gelmekte olup; 'rüzgâr estirici, havalandırma pervanesi' anlamlarına gelmektedir. Aspiratör kelimesi ise Fransızca 'Aspirer' kökenli olup; havayı veya bir sıvıyı içine çekmek anlamına gelmektedir. Vantilatörler ve aspiratörler de geniş 'Fan Ailesi' içerisinde yer almakta olup; yukarıda verilen köken anlamlarına uygun fonksiyonları yerine getirerek iklimlendirilmiş veya temiz (taze) havayı ortama vererek havalandırma ya da sadece ortam havasını hareketlendirme amaçlı olarak kullanılan fanlara vantilatör; kullanılmış havayı veya egzoz gazlarını ortamdan çekerek uzaklaştırmakta kullanılan fanlara ise aspiratör denilmektedir. Fan, vantilatör, aspiratör, üfleç (blower), körük ve kompresörler; bir basınç farkı oluşturarak hava ve diğer gazların akışını sağlarlar. Bu makinaların çark, palet, vida, piston vb. elemanları akışkan üzerinde iş yaparak ona statik ve kinetik (dinamik) enerji yani toplam basınç kazandırır. Akışkana kazandırılan bu statik ve kinetik enerjilerin birbirine oranı, makinanın türüne bağlıdır. Genel olarak akışkana kazandırılan toplam basınç bakımından bu makinaları küçükten büyüğe; fanlar (alçak basınçlı, orta basınçlı ve yüksek basınçlı), üfleçler, körükler ve kompresörler olarak sıralayabiliriz. Basılan debi bakımından ise sıralama terstir.

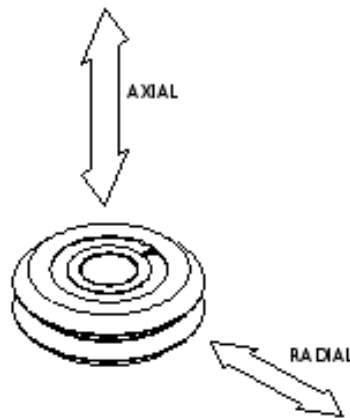
Endüstrinin en önemli ihtiyaçlarından birisi bir akışkanın bir ortamdan bir başka ortama uygun şartlarda iletilmesidir. Bu amaçla kullanılan pompalama sistemleri

(pompalar, kompresörler ve fanlar) dünyadaki elektrik enerjisi talebinin yaklaşık olarak %63'ünü (sırasıyla %22, %25 ve %16) tüketmektedir. Enerjinin tüketildiği (fan, kompresör ve pompa) sistemlerin tasarım, seçim ve kullanımlarının enerji verimliliği bakımından optimum bir biçimde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Eşitlik 2.1'de Pnömatik Enerji veya Yük H ($\text{kNm} / \text{kN} = \text{m}$); hava ve gazların birim ağırlık başına sahip olduğu potansiyel enerjisi, basınç enerjisi ve kinetik enerjinin toplamı olup,

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{Potansiyel Enerji} + \text{Basınç Enerjisi} + \text{Kinetik Enerji} \quad (2.1)$$

ifadesiyle tanımlanabilir. Burada Z , referans bir düzleme göre akışkanın konumunu yani yükseltisini (m), P akışkanın statik basıncını ($\text{kPa} = \text{kN/m}^2$), γ akışkanın özgül ağırlığını (kN/m^3), V akışkanın ortalama akış hızını (m/s) ve g ise yerçekimi ivmesini (m/s^2) göstermektedir. γ akışkanın özgül ağırlığı ise; ρ akışkanın yoğunluğu (kg/m^3) olmak üzere, $\gamma = \rho g$ ifadesiyle tanımlanır. Bu bağlamda fanlar; kısaca mekanik enerjisi gazların pnömatik enerjisine çeviren pnömatik akım makinaları olarak tanımlanabilir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan hava ve gazlara enerji veren diğer pnömatik akım makinaları; üfleçler (blower), körükler (bellows) ve kompresörlerdir (Euler Teorisi ve Fan Terminolojisinin Temel Kavramları, Aironn Teknik Bülten, Sayı 1, 2018).

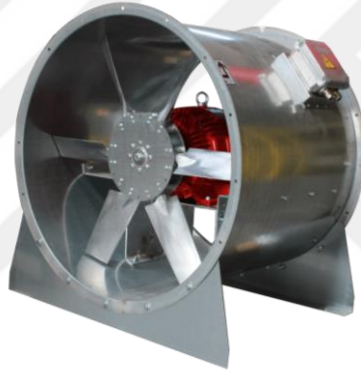
Fanlar genel olarak, havanın çark üzerinden akış doğrultusuna bağlı olarak, aksel ve radyal tip olarak sınıflandırılır. Aksel tip fanlarda basınç farkı oluşturularak meydana gelen havanın hareketi aksel yöndedir. Radyal tip fanlarda basınç farkı oluşturularak meydana gelen havanın hareketi aksel yönde olmayıp merkezkaç kuvveti doğrultusundadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Akış doğrultuları.

Aerodinamik kesitli kanadın üst yüzeyi alt yüzeyine göre daha eğimlidir. Hava, üst yüzeyde alt yüzeye göre daha hızlı hareket eder. Hızlanan havanın basıncı azalacağı için kanadın üst yüzeyine doğru bir hava akışı olur. Kanatlara doğru hareketlenen hava, kanat açısına bağlı olarak itilerek basınçlandırılır ve böylece sürekli bir hava hareketi sağlanmış olur.

Eksenel fanlar hava ve benzeri gazları aksel yönde basınçlandıran bir fan tipidir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi aksel fan; kanatçıklardan, fan göbeği, elektrik motoru, yapı ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Eksenel fanlar, radyal fanlar kadar yeterli basınç üretemezler. Verimlilikleri %75 civarında olup ve kılavuz kanatçıklar kullanılarak %85’e kadar yükseltilebilir. Genellikle kapalı otoparklarda, alışveriş merkezleri ve büyük binalarda taze hava veya boşaltma fanları olarak kullanılır (CVS Air Bilimsel Teknik Bülten, Sayı 1, 2016).



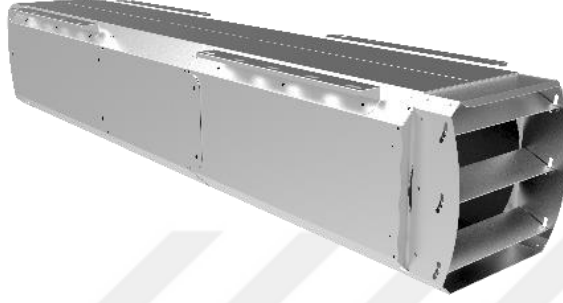
Şekil 2.2 : Aksel fan.

Radyal fan, emme yönü ve basınç yönü dik olan fanıdır ve havayı pozitif veya negatif olarak basınçlandırır. Bu tip fanlarda, merkezkaç kuvveti nedeniyle aksel fanlardan daha fazla basınç sağlar (Şekil 2.3).



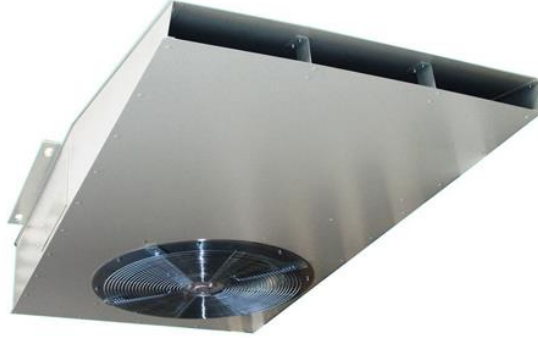
Şekil 2.3 : Radyal fan.

Eksenel jet fan (Şekil 2.4), yüksek hızda seyreltilmiş havayı temiz hava bacasından boşaltma bacasına yönlendirmek için kullanılır. Yüksek hızlı eksenel jet fanları yüksek gürültü seviyesi oluşturduğundan susturucu ekipmanı ile kullanılır. Otoparkta doğrudan ateşle temas ettiklerinden, bazı zamanlar için yüksek sıcaklık dayanımı gerekmektedir. Bu nedenle, bu tip fanlar için özel (yüksek sıcaklık dayanımlı) motorlar kullanılır.



Şekil 2.4 : Eksenel jet fan.

Radyal jet fan (Şekil 2.5), otoparktaki temiz hava bacasından boşaltma bacasına duman (kirli hava) basıncında kullanılan fanıdır. Aksiyal jet fan gibi, radyal jet fan da araba yangını sırasında yüksek hızda kullanılır ve duman tahliyesi için kullanılır (CVS Air Bilimsel Teknik Bülten, Sayı 1, 2016).



Şekil 2.5 : Radyal jet fan.

Fan Kanunları herhangi bir çalışma koşulunda fan performansını belirleyebilen bir seri denklemdir. Öte yandan, fan kanunlarını kullanmak için başlangıç noktası olarak çalışmanın herhangi bir koşulunun bilinmesi gerekir. Fan kanunları ile hava debisi, statik hız ya da toplam basınç, değişik hava yoğunluğu ve fan hızlarında gereken fren gücünü öngörülebilir. Bu koşullar altında burada belirtilen fan kanunları kullanılabilir (Fanlar: Özellikleri ve Analiz, Alarko-Carrier Teknik Bülten, Sayı 24, 2007).

Basitleştirecek olursak:

-Hava debisi fan devri ile doğru orantılı olarak,

-Statik basınç fan devrinin karesi ile doğru orantılı olarak,

-Fren gücü fan devrinin küpü ile doğru orantılı olarak değişir.

1. Fan Kanunu:

Hava debisi fan devri ile doğru orantılıdır.

Q = Hava debisi (m³/s)

N = Fan devri (devir/dakika)

P = Toplam/Statik basınç

H_p = Fan güç girdisi

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow N_2 = N_1 \times \left[\frac{Q_2}{Q_1} \right] \quad (2.2)$$

2.Fan Kanunu:

Toplam sistem statik basıncı fan devrinin karesi ile orantılıdır.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^2 = \left[\frac{Q_1}{Q_2} \right]^2 \rightarrow P_2 = P_1 \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^2 \quad (2.3)$$

3.Fan Kanunu:

Fren gücü fan devrinin küpü ile orantılıdır.

$$\frac{H_{p1}}{H_{p2}} = \left[\frac{N_1}{N_2} \right]^3 = \left[\frac{Q_1}{Q_2} \right]^3 \rightarrow H_{p2} = H_{p1} \times \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^3 \quad (2.4)$$

Son 17 yıla kadar, yer altı otoparklarının havalandırılması, kirli havanın egzozunu sağlamak ve temiz havanın kapalı ana girmesi için doğal havalandırma sistemlerine dayalı bir kanal sistemine dayanıyordu. Bu sistemler, yangının gerçekleşmesi esnasında duman kontrolü için de kullanılırdı. Bu havalandırma sistemlerinin performansı birçok çalışma ile karakterize edilmiştir (Chow, 1998; Lemaire ve Kenyon, 2006; Noordijk ve Lemaire, 2005; Zhang ve diğ, 2007).

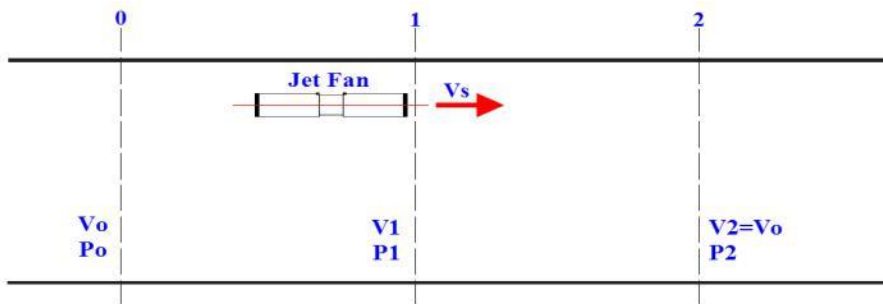
Jet fanlar yer altı otoparklarına monte edilir ve bir momentum üretir (Rutten ve diğ, 2011).

Jet fanın nasıl çalıştığını basitleştirmek için tünele benzer bir kontrol hacmi, giriş

alanı S , basınç P_0 , giriş hızı V_0 ve bir çıkış alanı S , çıkış basıncı P_2 ve hız S_2 ile Şekil 2.6'da gösterildiği gibi düşünülebilir; burada aksel hızı V_s olan bir jet vantilatörü yerleştirilir. Momentum denge denklemini uygulayarak, Eşitlik (2.5) aşağıdaki şekilde yazılabilir (EFAFLU Jet Fan Kataloğu, 2010):

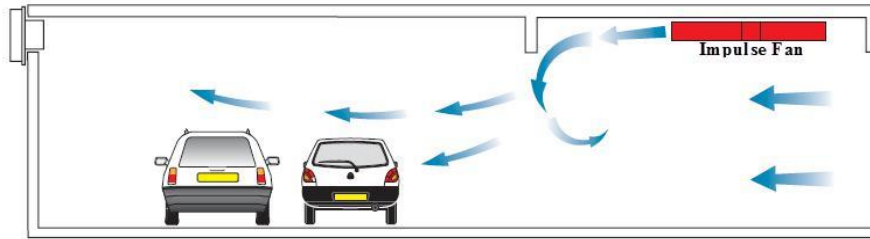
$$S \times (P_2 - P_0) = \rho \times Q \times (V_s - V_0) \quad (2.5)$$

Burada ρ hava yoğunluğudur. Eşitlik (2.5) 'te sol taraf terimi, havayı 0 ve 2 bölümleri arasında hareket ettirmek için gereken kuvveti temsil ederken, sağ taraf terimi itme kuvvetini hesaplar.



Şekil 2.6 : Jet fanın kontrol hacmi.

Jet fanlarının amacı, otomobillerden üretilen CO'yu çıkarmak ve yangın durumunda dumani temizlemek veya kontrol etmektir(Viegas, 2009). Şekil 2.7'de jet fanının araç parklarına yerleştirilmesini açıklamaktadır.



Şekil 2.7 : Jet fanın akışı.

Jet fanlar ilk önce tünellerde kullanıldı. Bazı tasarım çalışmalarında ise HAD tekniğini kullandı. Li ve Chow, 2003 yılında, HAD'ı kullanarak, yangın koruma ve havalandırmanın sağlanması için tünel emniyet sistemlerinin performansını değerlendirdiler (Chow & Li, 2003).

Birkaç yıl sonra, Vega ve arkadaşları, 2008'de 853 m uzunluğunda bir yol tüneline jet fanı sistemini kullanarak uzunlamasına havalandırma sistemlerinin etkinliğini incelemiştir (Vega ve diğ, 2008).

Maele ve Merci, 2008 yılında bir tüneldeki kritik havalandırma hızını tahmin etmek için iki türbülans modelini (RANS ve LES) araştırmışlardır (Maele ve Merci, 2008).

Jet fan sisteminin yer altı otoparklarında performansı birkaç çalışma ile incelenmiştir. Viegas, HAD simülasyonlarını kullanarak farklı çekme oranları ile jet fanların grid özelliklerinin etkisini inceledi (Viegas, 2006).

Veiga, FLUENT kodunu kullanarak saptırıcının jet fan akış deseni üzerindeki etkisini inceledi (Veiga, 2009). Viegas, jet fanlar tarafından üretilen akışı ve Fire Dynamic Simulator, FDS'yi kullanarak kirleticilere etkilerini inceledi (Viegas, 2009).

2.2 Otopark Hacim Hesabı ve Debilerinin Belirlenmesi

Kapalı otoparklarda hacim hesabı yapmak için net uzunluk, net genişlik ve kat yüksekliği gibi nicel verileri kullanarak aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$A = \text{Alan (m}^2\text{)} = \text{Uzunluk} \times \text{Genişlik}$$

$$H = \text{Yükseklik (m)}$$

$$V = \text{Hacim (m}^3\text{)} = A \text{ (m}^2\text{)} \times H \text{ (m)}$$

$$\text{Debi (Q)} = V \times \text{Hava Değişim Kat Sayısı (ach)}$$

-Günlük (CO) havalandırma debisi için bir saatteki hava değişim kat sayısı 6 d/h olup;

$$Q_1 = V \times 6 \quad (2.6)$$

-Yangın anındaki havalandırma debisi için bir saatteki en az hava değişim katsayısı 10 d/h olup;

$$Q_2 = V \times 10 \quad (2.7)$$

Hava değişim katsayıları BS 7346-7 standardından alınmıştır. Daha fazla sayıda zemin ve mimari detaylara göre hava debisi artırılabilir.

2.3 Bacalardaki Fanların Seçimi ve Hesabı

Fan Debileri:

Duman atış fanı (DAF) debisi;

$$\text{DAF} = Q_2 \times 0.5 \quad (2.8)$$

Duman atış debisi BS 7346-7 gereğince %50 yedeklenir.

Taze hava besleme fanı (THF) debisi;

$$THF = Q_2 \times 0.5 \quad (2.9)$$

Taze hava debisi duman atış debisinin %50-%70'i aralığında alınır.

Basınç kayıpları:

Baca, susturucu, damperler ve atış panjurlarından oluşan basınç kayıpları hava hızlarına göre belirlenir.

Yangın Dayanımı:

Duman atış fanları ve jet fanlar Çizelge 2.1'de verilen TS/EN 12101-3 standardına uygun bir yangın dayanım sınıfından seçilir.

Çizelge 2.1 : TS/EN 12101-3 standardına göre yangın dayanım sınıfları.

Sınıf	Sıcaklık (°C)	Minimum dayanım (dk)
F200	200	120
F300	300	60
F400	400	120
F600	600	60
F842	842	30

2.4 Jet Fanların Seçimi ve Yerleşimi

Otopark yüksekliği ve uzunluğu dikkate alınarak optimum itme gücüne sahip jet fan seçilir. Jet fanlar yarattıkları itme kuvveti ile önlerindeki hava kütesine hızla vurarak geniş bir alandaki havayı iterek ve sürükleyerek harekete geçirir. Jet fanların itme gücüne bağlı olarak havayı süpürme mesafeleri şirketlerin ürün kataloglarında mevcuttur. Süpürme mesafelerine göre fanlar; paralel ve seri olarak mimari kat planına uygun şekilde yerleştirilir. Radyal jet fanlar yükseklik avantajı sağladığından tek yönlü çalışmalarda tercih edilir. Şekil 2.8'de bir radyal jet fanın süpürme mesafesi gösterilmiştir.

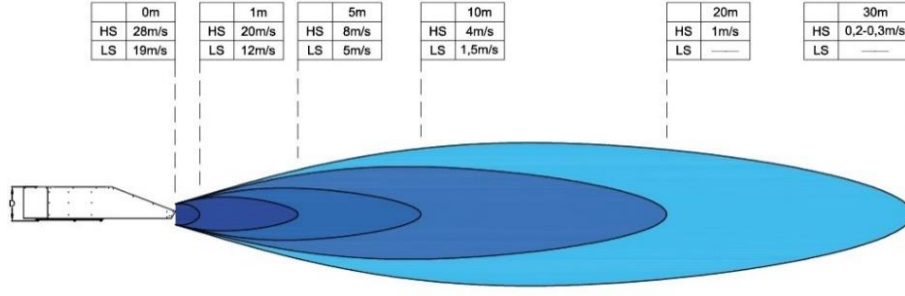
İtke kuvveti (N):

V_f = Fan çıkışındaki hız (m/s)

Q = Havanın debisi (m^3/s)

ρ = Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

$$F_i = V_f \times Q \times \rho \quad (2.10)$$



Şekil 2.8 : Bir radyal jet fanın süpürme mesafesi.

2.5 Bacaların Boyutlandırılması ve Hesabı

Hava hızına göre:

Kesit alandan geçecek maksimum hava hızı 8 m/s olacak şekilde baca boyutları hesaplanır.

Debi = Alan x Hız

$$\text{Alan} = \frac{Q_1 \frac{m^3}{h} \times \frac{1}{3600s}}{8 \frac{m}{s}} \quad (m^2) \quad (2.11)$$

Buradan çıkacak alanın sonucu bacanın boyutlarını belirler. Böylelikle mimari proje yenilenebilir.

Fan boyutlarına göre:

Kasit hava hızı öncelikli olacak şekilde fanların baca içine konulması durumunda fan ölçüleri de dikkate alınmalıdır. Seçilen fanın teknik özelliklerinde belirtilen imalat ölçüleri de baca ölçülerini etkileyen önemli hususlardan biridir.

2.6 Baca Damperi Boyutlandırılması ve Hesabı

Duman atış bacasında her fana hitap edecek, katlar arası bölgeleme yapmaya yarayan motorlu baca duman damperleri, hava hızı 8 m/s olacak şekilde seçilir. Örnek bir

hesaplama üzerinden anlatacak olursak;

$$\text{Tesir alanı} = \frac{27000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 3600 \frac{\text{h}}{\text{s}}}{8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} (m^2) \quad (2.12)$$

$$\text{Tesir alanı} = 0.93 \text{ m}^2$$

Katalogdan seçilen damper 2 adet 1000 x 1000 mm'dir.

2.7 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi ve Matematiksel Model

Yangın Dinamiği Simülatörü (YDS), yangınlı akışların modellenmesi için kullanılan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımıdır. YDS yazılımı, genellikle ısı transferi, yangın modellenmesi ve havalandırma sürecinin bir birleşimi olarak kullanılır. Bu bilgisayar programı, yangının gelişimini tanımlamak için yangınlardan duman ve ısı taşınımına ağırlık vererek, düşük hızda, termal olarak tahrikli akışa uygun Navier-Stokes denklemlerinin büyük bir girdap simülasyonu (Large Eddy Simulation - LES) formunu sayısal olarak çözer (McGrattan ve diğ., 2019).

PyroSim, yangın dinamiği simülatörü için bir grafik kullanıcı arabirimidir. PyroSim programının akademik lisansı kullanılmış olup, kapalı otoparklarının katı modellenmesi başka bir yardımcı yazılımlar kullanılmadan modellemeye olanak sağlamaktadır.

Büyük girdap simülasyonu (LES), hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kullanılan türbülans için matematiksel bir modeldir. İlk olarak 1963 yılında Joseph Smagorinsky tarafından atmosferik hava akımlarını simüle etmek için önerildi (Smagorinsky, 1963), ve ilk önce Deardorff tarafından araştırılmıştır (Deardorff, 1970). LES şu anda yanma, akustik ve atmosferik sınır katmanının simülasyonları dâhil olmak üzere çok çeşitli mühendislik uygulamalarında uygulanmaktadır.

Yangın ve duman hareketlerini modellenmesinde Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) tipi modeller yaygın olup; CFX, FLUENT, Phoenics gibi ticari ve yangın problemleri için özel olarak geliştirilen Jasmine ve Sofie gibi özel HAD kodları tarafından uyarlanmıştır. Yangın güvenliği problemleri için en yaygın RANS tipi türbülans modeli k-ε olup, burada k kinetik enerji ve ε yayılma katsayısıdır. Mevcut donanım kapasitesi, proje süresi ve HAD kodu gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak LES gibi daha karmaşık türbülans modelleri de otopark havalandırma problemlerinin modellenmesinde kullanılabilir. LES türbülans modelinin başlıca kullanıcısı, National

Institute of Standards and Technology (NIST tarafından geliştirilen Yangın Dinamiği Simülâtörü (YDS) yazılımıdır.

LES'in arkasındaki ana fikir, Navier-Stokes denklemlerinin düşük geçişli filtrelemesiyle hesaplanması en pahalı olan en küçük uzunluk ölçeğini göz ardı ederek hesaplama maliyetini düşürmektir. Zaman ve mekânsal ortalama olarak görülebilen bu tür düşük geçişli bir filtreleme, küçük ölçekli bilgileri sayısal çözümden etkin bir şekilde kaldırır.

Denklemler, momentum, enerji ve kütle korunumunun temel prensiplerinden elde edilir. Bunun için, bazı hallerde kontrol hacmi adı verilen, rastgele seçilmiş sonlu bir hacim belirlemek gereklidir, bu hacim üzerinde bu prensipler kolayca uygulanabilir. Kontrol hacmi, sabit kalabilir veya akışkan ile hareket edebilir. Temel kabuller bunlardır, bununla beraber, farklı uygulamalarda özel kabuller de yapılabilir (Cimbala & Çengel, 2006).

Kütlenin Korunumu Kanunu'na göre bir sisteme (kapalı otopark) giren ve çıkan hacimler birbirine eşit olmalıdır.

Kütle Korunumu;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (2.13)$$

Momentum Korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla p = \rho \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{ij} \quad (2.14)$$

Kapalı otopark içerisindeki hava hareketleri Navier-Stokes denklemleri vasıtasıyla çeşitli türbülans yaklaşımları kullanılarak çözümlenmektedir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2.17)$$

Enerji Korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{D_p}{D_t} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi \quad (2.18)$$

Burada ρ yoğunluk, u hızın üç bileşeni, p statik basınç, g yerçekimi sabiti, τ kayma gerilmesi, h sıcaklığın bir fonksiyonu olarak entalpi, Φ disipasyon fonksiyonu, ∇q hem iletim hem de ışınlam ısı akısının diverjansıdır.

2.8 Yangın Analizinin Amacı

Sonlu elemanlar yazılımlarıyla, tasarlanan senaryonun yazılımlar üzerinde modellenerek, yangın gücü, jet fan debileri ve duman atış fanlarının debileri gibi birtakım tanımlamalar yapılarak, otopark içindeki hız dağılımı, sıcaklık dağılımı, görüş mesafesi, duman dağılımı, karbondioksit seviyeleri gibi birçok değişken incelenebilir. Esas olarak otopark akış analizlerinin amacı aşağıdaki gibidir;

- I. Jet fan yerleşiminin doğru olup olmadığının tespiti.
- II. Eksenel fan yeterliliklerinin tespiti.
- III. Otopark içerisinde ölü hacmin olup olmadığının tespiti (Hızın 0 m/s olduğu bölgeler).
- IV. Otopark rampalarında ve kaçış yollarındaki hız değerlerinin standartta belirtilen (5 m/s) değerini geçip geçmediğinin tespiti (The BSI Standards 7346-7, 2013).
- V. Sıcaklığın standartlarda belirtilen değerlerin altında olup olmadığının tespiti (Klote ve Milke, 2002).
- VI. Görüş mesafesi değerinin (10 m) standartta belirtilen değerleri karşılayıp karşılayamadığının tespiti (NFPA Standards 130, 2014).
- VII. Karbondioksit seviyelerinin (8 saatlik bir süre içinde 30 ppm ve rampa ve çıkışlarda 15 dakikalık bir süre için 90 ppm) standardı karşılayıp karşılamadığının tespiti (The BSI Standards 7346-7, 2013).

3. YÖNTEM

3.1 Kapalı Otoparkın Teknik Verileri ve Hesaplamalar

Tez çalışmasına konu olan kapalı otopark; örnek bir kurum binasının bodrum katında yer alıp 12 Mayıs 2017 tarihinde hizmete açılmıştır. Şekil 3.1’de çekilen fotoğrafta örnek bir kurumun hizmet binasının kapalı otoparkının girişi görünmektedir.

Binanın otopark ihtiyacı; bodrum katı 3332,254 m² alana sahip ve 132 araçlık olarak planlanmıştır.



Şekil 3.1 : Örnek bir kurum binası ve kapalı otopark rampalı girişi.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliği gereğince; aşağıda Şekil 3.2’de gösterilen fotoğrafta; olası yangın anında sulu yangın söndürme sistemi olarak yağmurlama sistemi ve bu sisteme yardımcı olmak üzere itki havalandırma sistemi yer almaktadır (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007).



Şekil 3.2 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkı ve radyal jet fanı.

Otoparkta mevcut halde bulunan Şekil 3.3'te gösterilen dokuz adet Prodek Havalandırma şirketinin AIR CI-50-4/8T-F-300 model radyal jet fan bulunmaktadır. Bu fanlar TS/EN 12101-3 standardına uygun olarak F-300 yangın dayanım sınıfına sahiptir (Ek A).



Şekil 3.3 : AIR CI 50-4/8T-F-300 model radyal jet fanın ön görünüşü.

Şekil 3.4'te ise jet fanlı havalandırma sisteminin kirli ve sıcak havayı dışarıya atmak üzere duman atış bacasına yerleştirilmiş olan en önemli bileşenlerinden Prodek Havalandırma şirketinin AIR AKD 100U/4.T1 model eksenel duman boşaltma fanları ve bunlara doğru yönlendirilen sıcak dumanları harekete geçiren radyal jet fanlardan biri görülmektedir.

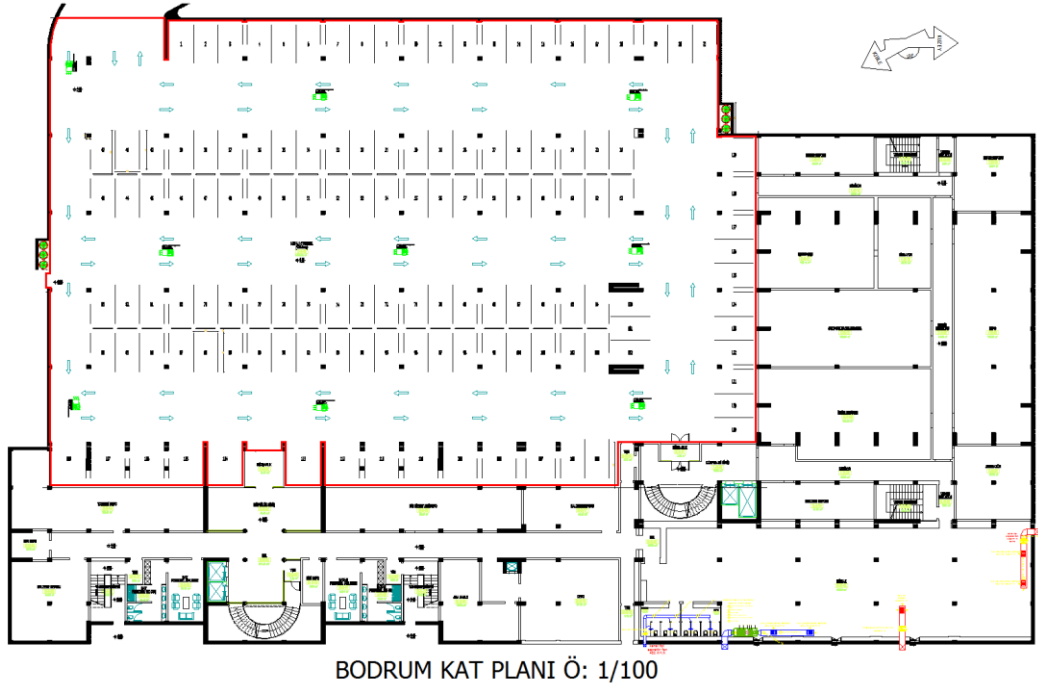


Şekil 3.4 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkı ve eksenel duman atış fanları.

Şekilde görülen duman atış işlevi yapan çapı 1000 mm olan her bir eksenel fanın teorik olarak çalışma debisi 40000 m³/h olup ve 150 Pa statik basınca sahiptir. F-300 dayanım sınıfı ile yangın anında 300°C sıcaklığa ve iki saat boyunca çalışmaya dayanıklıdır (Ek B).

3.1.1 Otopark hacim hesabı ve debilerinin belirlenmesi

Örnek bir kurum binasının bodrum katta yer alan kapalı otoparkının Şekil 3.5'te verilen 1/100 ölçekli mimari bodrum kat planından bilgisayar destekli çizim programı ile incelendi (Ek C).



Şekil 3.5 : Örnek bir kurum binası 1/100 ölçekli bodrum kat planı.

Yapılan mimari inceleme sonucunda 132 araçlık kapasiteye sahip kapalı otoparkın alanı 3332,354 m² ve yüksekliği 3,1 m olup, hacmi 10330,2974 m³ olarak belirlenmiştir. BS 7346-7:2013 standardında yer alan 9.1.4 maddesine göre günlük ve yangın havalandırma debileri için elde edilen sayısal veriler Çizelge 3.1’de gösterildi (The BSI Standards 7346-7, 2013).

Çizelge 3.1 : Hacim hesabı ve on hava değişimi durumu.

Alan (m ²)	Yükseklik (m)	Hacim (m ³)	Günlük Havalandırma Debisi (6 Hava Değişimi) (m ³ /h)	Yangın Havalandırma Debisi (10 Hava Değişimi) (m ³ /h)
3332,354	3,1	10330,2974	61982	103303

3.1.2 Bacalardaki fanların seçimi ve hesabı

Yukarıda elde edilen veriler ışığında on hava değişimi olması durumunda 103303 m³/h toplam debiye göre Çizelge 3.2’de verilen taze hava besleme (TH-1) ve duman tahliye (DA-1) bacalarında aksenal fanların debileri belirlendi.

Çizelge 3.2 : On hava değişimi durumunda aksenal fanların debileri.

Bacalar	Günlük Havalandırma Debisi (6 Hava Değişimi) (m ³ /h)	Yangın Havalandırma Debisi (10 Hava Değişimi) (m ³ /h)	Seçilen Fan Kapasiteleri (m ³ /h)	Seçilen Fan Kapasiteleri (m ³ /s)
DA-1	61982	103303	108000	30
TH-1	30991	51651	54000	15

İhtiyaç duyulan taze hava debisinin bir kısmının mekanik yollarla (fanlar) sağlanması ve bir kısmının da varsa otoparkın dışarı açılan kısımlarından serbest olarak emiliyor olması idealdir. İngiliz standardına göre yangın havalandırma debisinin ise en az %50’si kadar taze hava beslemesi yapılmalıdır. Taze hava debisinin (TH) tasarım duman atış debisinden (DA) bir miktar az olmasının amacı otopark hacmini negatif basınç altında tutmaktır. Bu sayede oluşan basınç farkı sebebiyle duman hareket ettirilmektedir. Otopark alanı negatif basınçta tutularak ortamda oluşabilecek koku, gaz ve tozların binanın diğer kullanım alanlarına geçişi engellenmelidir. Taze hava beslemesi yapılmasında amaç günlük kullanımda karbonmonoksit yoğunluğunu

azaltmaktadır. Yangın anında taze hava akışını sağlayacak fanlar ise kesinlikle devreye girmelidir. BS 7346-7:2013 standardına göre en az iki adet fanla yangın havalandırma debisi sağlanmalıdır. Taze havalandırma debisi ise kapasite ihtiyacını karşıladığı sürece tek fanla da sağlanabilir.

Son yıllarda özellikle otopark mimarisi ve fanların teknik kapasitelerinden dolayı on hava değişiminin yetmediği projeler olmuştur. 15 hava değişimi ile de toplam debi hesabı Çizelge 3.3'te gösterildi.

Çizelge 3.3 : Hacim hesabı ve on beş hava değişimi durumu.

Alan (m ²)	Yükseklik (m)	Hacim (m ³)	Günlük Havalandırma Debisi (6 Hava Değişimi) (m ³ /h)	Yangın Havalandırma Debisi (15 Hava Değişimi) (m ³ /h)
3332,354	3,1	10330,2974	61982	154954

On beş hava değişimi olması durumunda 154954 m³/h toplam debiye göre Çizelge 3.4'de verilen taze hava ve duman tahliye şaftlarındaki aksenal fanların debileri belirlendi.

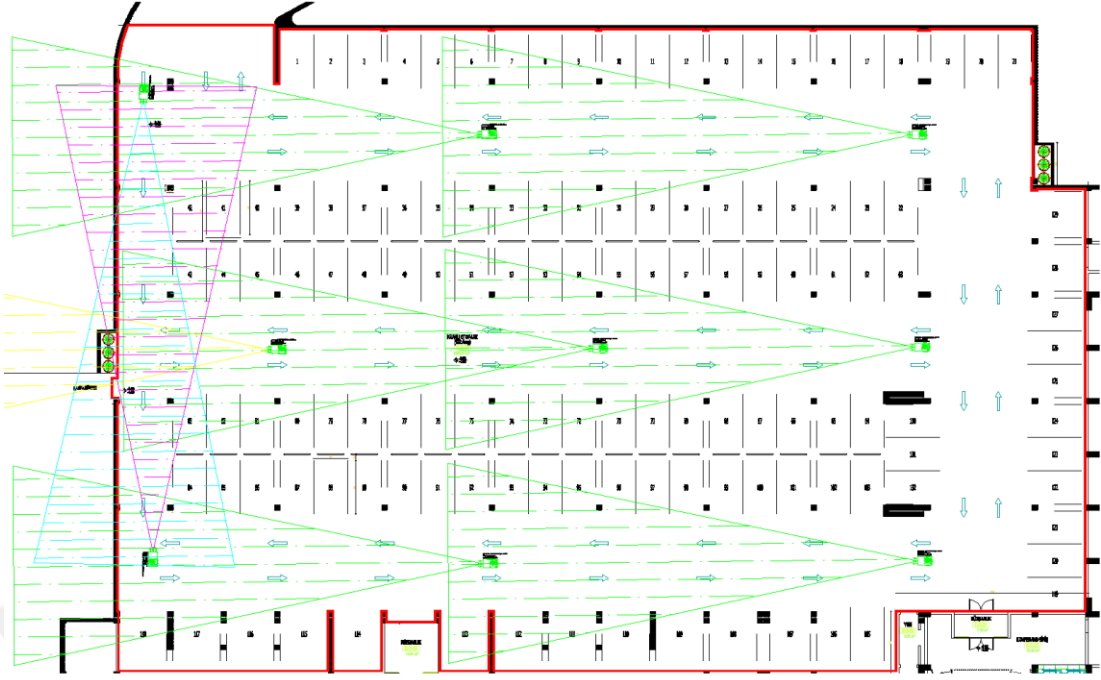
Çizelge 3.4 : On beş hava değişimi durumunda aksenal fanların debileri.

Bacalar	Günlük Havalandırma Debisi (6 Hava Değişimi) (m ³ /h)	Yangın Havalandırma Debisi (15 Hava Değişimi) (m ³ /h)	Seçilen Fan Kapasiteleri (m ³ /h)	Seçilen Fan Kapasiteleri (m ³ /s)
DT-1	61982	154954	162000	45
TH-1	30991	77477	81000	22,5

3.1.3 Jet fan seçimi ve yerleşimi

Mimari özelliklere, havalandırma bacalarının yerine ve sayısına göre belirlenen yangın bölgelerine göre sistemler tasarlanır. Yüksek itme kuvvetlerinin sağladığı havayı süpürme mesafesine göre de jet fan sayısı ve yerleşimi belli olur.

Şekil 3.6'da örnek bir kurum binasının kapalı otoparkında yerinde yapılan gözlem ve ölçümler sonucu jet fanların yerleşimleri ve süpürme mesafeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Örnek bir kurum binasının kapalı otoparkında bulunan radyal jet fanların süpürme mesafeleri.

3.1.4 Baca boyutlandırması ve hesabı

Mimari projelerde havalandırma bacalarının çizimi için ilgili boyutlar; mekanik tesisat uzmanının yaptığı debi hesaplamaları neticesinde ortaya çıkar. Daha önce baca boyutlandırması ve hesabı başlığında verilmiş olan Eşitlik (2.11) formülüne göre hava değişim sayılarına göre belirlenen debiler kullanılarak olması gereken en az ölçüler hesaplanıp, Çizelge 3.5'te gösterildi.

Çizelge 3.5 : Debilere göre havalandırma bacalarının boyutları.

Bacalar	10 hava değişimi durumunda bacanın boyutu (m ²)	15 hava değişimi durumunda bacanın boyutu (m ²)
DA-1	3,75	5,625
TH-1	1,875	2,8125

Örnek bir kurum binasının kapalı otoparkında bulunan her iki bacanın boyutları ise 3,5 m x 1,5 m'dir. Dolayısıyla ortaya çıkan havanın geçtiği baca alanı 5,25 m²'dir.

Bu durumda Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4'te ortaya çıkan duruma bağlı olarak hava hızına göre hesaplanan alanları yorumlayacak olursak on beş hava değişimi durumundaki duman atış bacasının boyutları şu andaki otoparktaki baca boyutları karşılamamaktadır.

3.1.5 Baca damperi boyutlandırması ve hesabı

Bu kapalı otoparkta yerinde baca damperi tesis edilmemiştir. Eğer baca damperi tesis edilecek olsaydı, Çizelge 3.6'da hesaplanan ölçülere göre damper seçimi yapılır.

Çizelge 3.6 : Debilere göre her bir fanın damper boyutları.

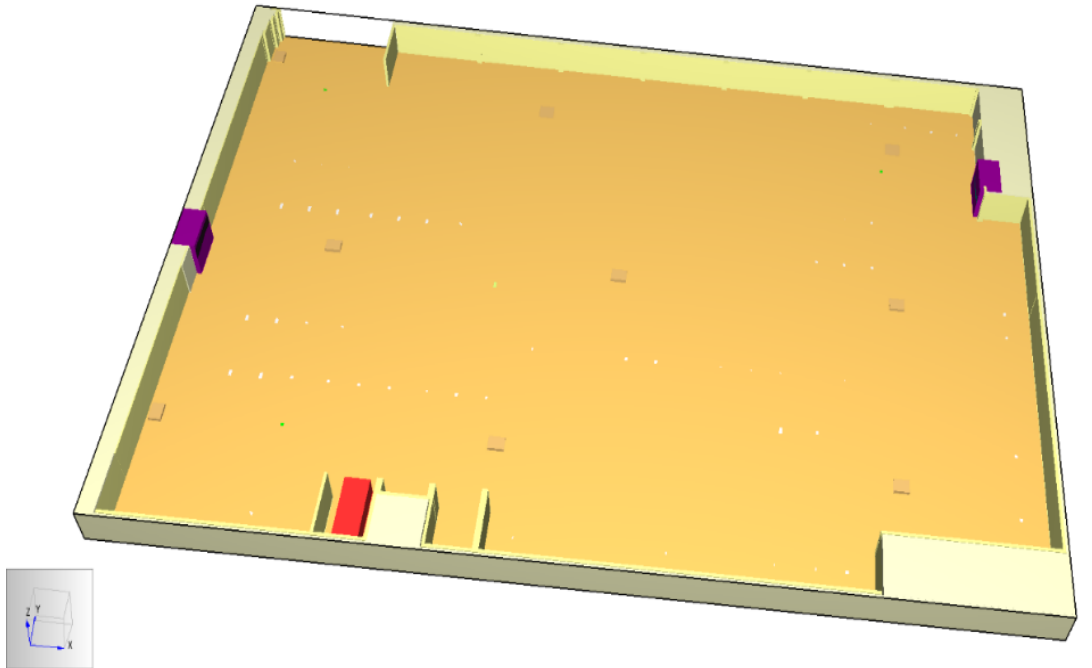
Bacalar	10 hava değişimi durumunda bacadaki her bir fanın damper boyutu (m ²)	15 hava değişimi durumunda bacadaki her bir fanın damper boyutu (m ²)
DA-1	1,875	2,8125
TH-1	0,9375	1,40625

Damper üreticilerinin kataloglarından örnek olarak 1,875 m² için 2000 x 1000 mm'lik damper seçilir.

3.2 Yangın Sayısal Modelinin Oluşturulması

3.2.1 Kapalı Otoparkın Katı Modeli

Yangın simülasyon modelinin oluşturabilmesi için; örnek bir kurum binasının Şekil 3.1'de verilen bodrum kat planının teknik resmi kullanılarak PyroSim yazılımında üç boyutlu katı model oluşturuldu (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Kapalı otoparkın üç boyutlu katı modeli.

Şekil 3.7’de görülen 45 m uzunluğunda ve 32 m genişliğinde kapalı otoparkın güney yönünde duman atış bacası ve kuzey yönünde taze hava besleme bacası bulunmaktadır. Batı yönünde ise araçların giriş ve çıkış yaptığı rampayla dışarıya açılan bir doğal açıklık bulunmaktadır. Kırmızı ile işaretlenen nesne yanan araç olarak modele çizildi.

3.2.2 Hava bacalarına sınır şartı tanımlanması

Örnek bir kurum binasının kapalı otoparkında yapılan havalandırma bacalarının yerinde boyutlarının ölçülmesinden elde edilen verilerle çizimler gerçekleştirildi. Her iki havalandırma bacalarının boyutları 1,5 m x 3,5 m x 3,1 m’dir. Taze hava besleme ve duman atış bacalarını oluşturmak için çizim araçları menüsünde yer alan “Box Obstruction” komutu ile “vent” atabilmek için dikdörtgen prizması şeklinde katı modeli çizildikten sonra mimari bodrum kat planında gösterilen konumlara yerleştirmeler yapıldı.

3.2.2.1 Taze hava besleme bacasının tanımlanması

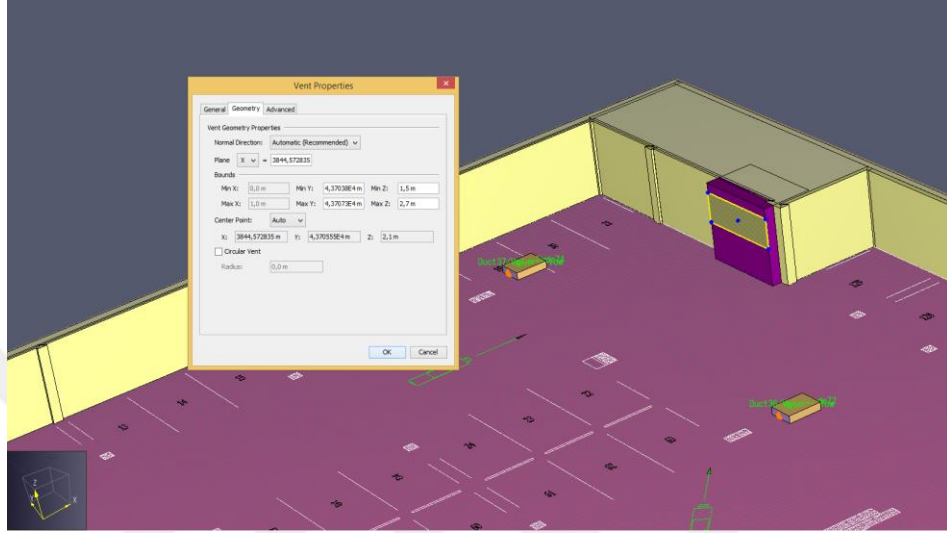
Kapalı otoparkın güney yönündeki taze hava besleme bacası ve fanlarının Şekil 3.8’de fotoğrafı gösterildi.



Şekil 3.8 : Örnek bir kurum binası kapalı otoparkının taze hava besleme bacası ve eksenel fanlar.

Bacaların katı modellemesi yapıldıktan sonra taze hava yüzey sınır şartını tanımlamak için fan boyutları ölçülerek 3,5 m genişliğinde ve 1,2 m yüksekliğinde “vent” çizildi. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4’te gösterilen ve kapalı otoparkın

hacminden yola çıkılarak saatlik hava değişim sayılarına göre taze hava bacasında yer alan aksenal fanların debileri; Pyrosim yazılımında oluşturulan yangın simülasyon modelinde on hava değişimi için 15 m³/s (Şekil 3.9), on beş hava değişimi için 22,5 m³/s'lik debiler "Taze Hava Besleme" yüzey sınır şartı olarak tanımlandı.



Şekil 3.9 : Taze hava besleme yüzey sınır şartının atanması.

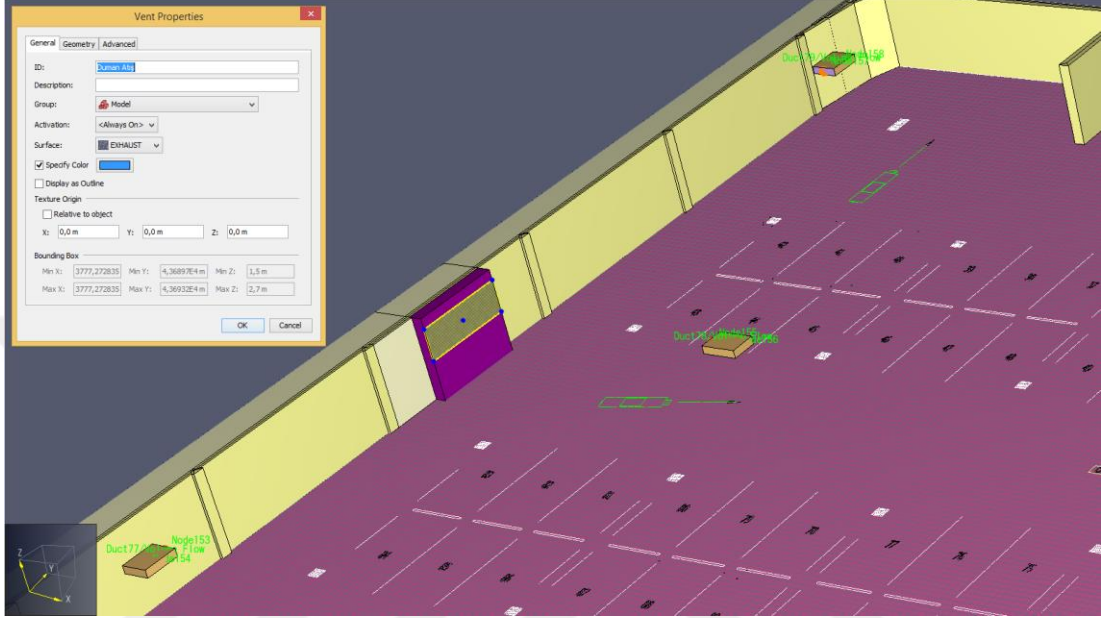
3.2.2.2 Duman atış bacasının tanımlanması

Daha önce anlatılan taze hava bacası başlığı altında anlatılan aşamalarla aynı olup Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4'te verilen debiler duman atış senaryosuna göre seçilerek tanımlamalar yapılmıştır. Şekil 3.10'da güney yönündeki duman atış bacası gösterildi.



Şekil 3.10 : Örnek bir kurum binasının kapalı otoparkının duman atış bacası ve aksenal fanlar.

Duman atış bacasını tanımlarken 3,5 m genişliğinde 1,2 m yüksekliğinde “vent” atandı. Daha sonra gelen pencerede Çizelge 3.2’den on hava değişimi için belirlediğimiz duman atış eksenel fanlarının 30 m³/s hacimsel debisi ve Çizelge 3.4’den on beş hava değişimi için 45 m³/s hacimsel debisi “Duman Atış” yüzey sınır şartı olarak tanımlandı (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 : Duman atış yüzey sınır şartının atanması.

3.2.3 Yanma Modeli

Yangın modellemesinde, yangının yeri ve karakteristik özelliklerinin tanımlanması gereklidir. Herhangi bir modelleme çalışmasında tasarım yangını karakteristikleri genellikle aşağıdaki değişkenlerle tanımlanır:

- Yangın Konumu
- Yangın Isı Yükü
- Radyant Fraksiyon
- İs ve yanma ürünü gazların (CO,CO₂ vb.) üretim oranları

Bir binek taşıt veya hafif ticari araç içinde gelişen yangın, beklenildiği gibi motor ya da yolcu bölmesinde başlar. Yakıt deposunun hasar alması ve ani büyük yangınlara yol açan şiddetli çarpışmalar otoparklarda çok olası değildir. Yağmurlama sistemlerinin devreye girmesiyle yanan araç ve çevresini soğutacağı için genel olarak yangının bir araçtan diğerine sıçraması beklenmez. BRE tarafından yapılan deneylerde; araçtan araca yangının sıçramasının iyi tasarlanmış ve uygulanmış bir

yağmurlama sistemi ile büyük ölçüde kontrol edilebileceğini göstermiştir (The BSI Standards 7346-7, 2013).

Çizelge 3.7’de yağmurlama söndürme sistemi bulunan veya bulunmayan kapalı otoparklar için sürekli rejimde yangın yükleri verildi.

Çizelge 3.7 : Sürekli rejimde tasarım yangın yükleri (BS 7346-7, 2013).

Değişkenler	Sprinklersiz Kapalı Otopark	Sprinklerli Kapalı Otopark	Sprinklerli 2 araç kapasiteli asansörlü otopark
Boyut	5 m x 5 m	2 m x 5 m	2 m x 5 m
Çevre	20 m	14 m	14 m
Yangın Yüğü	8 MW	4 MW	6 MW

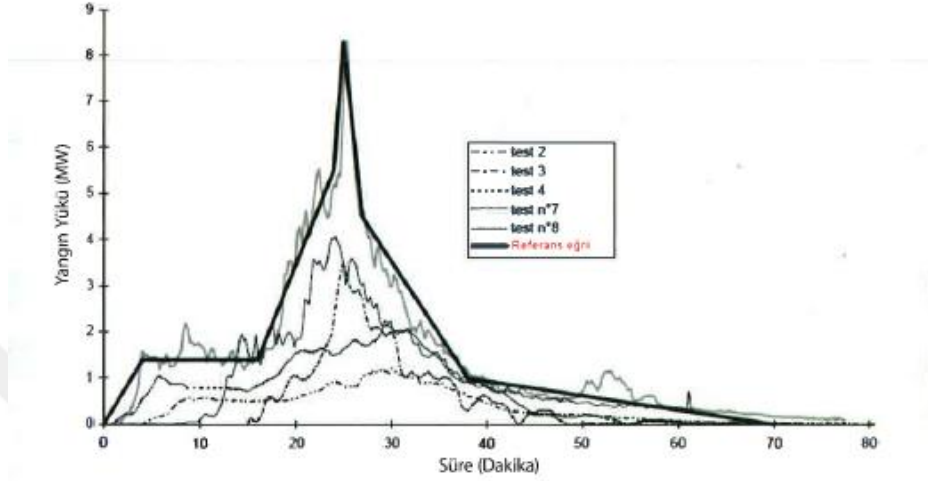
Kaynak taramalarında farklı ölçeklerde araç yangınlarını temsil eden çeşitli deney verileri mevcuttur. Çizelge 3.5’te verilen değerler ise, piyasa çoğunluğunu göstermekte olup, BRE’nin en son deneyleri dikkate alınarak düzenlenmiştir. Bu çalışmaya konu olan örnek bir kurum binasının kapalı otoparkı için seçilen tasarım yangın yükü 4 MW’tır. Şekil 3.12’de görüleceği üzere yağmurlama sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.12 : Kapalı otoparkın yağmurlama sistemi.

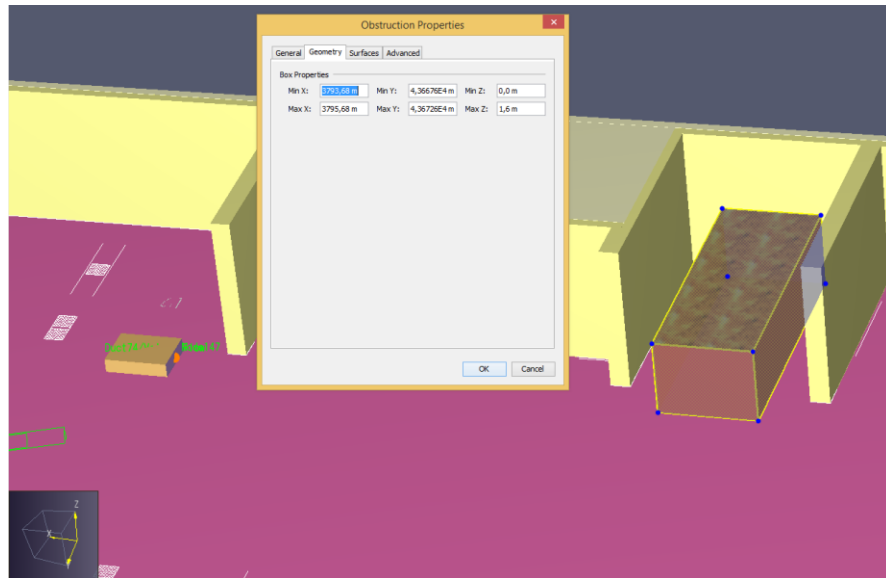
Otopark yangınlarının zamana bağlı analizi, yangının zamana bağlı gelişimini

tanımlayan uygun bir yangın eğrisinin seçimini gerektirir. Şekil 3.13'te verilen referans yangın eğrileri, “EUR 18867 EN, Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks – Kapalı otoparklarda doğal yangınlara maruz çelik yapılar için tasarım kuralları geliştirilmesi” isimli yaygın kabul görmüş ve modern araçları temsil eden deney raporunu temel almaktadır.



Şekil 3.13 : Tek araç için yangın referans eğrisi (EUR 18867 EN, Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks).

Birden fazla aracın yangın modeli oluşturulması sabotaj olarak kabul edileceğinden mantıklı bulunmamaktadır. Ancak kapalı otoparktaki yanma konumu ise olabilecek en kötü vakaya göre konumlandırıldı. Yanan aracı temsil eden katı modelin geometrik boyutları piyasada bulunan C sınıfı bir aracın 2 m x 5 m x 1,6 m ortalama geometrik ölçüleri kullanıldı (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Yanan aracın üç boyutlu görüntüsü ve boyutları.

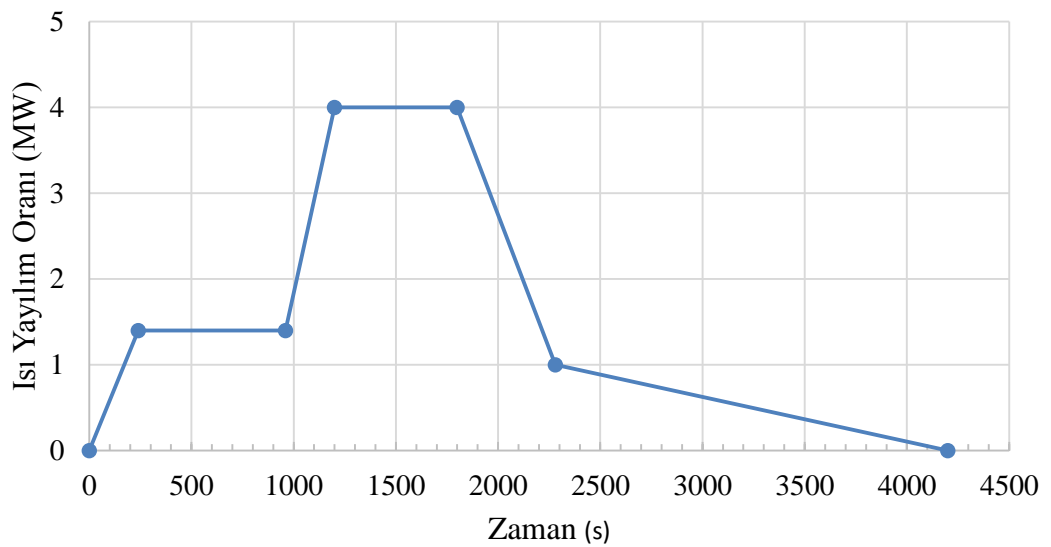
Şekil 3.15'te gösterilen fotoğrafta yanan araç konumu görünmektedir.



Şekil 3.15 : Yanan aracın gerçek konumunun fotoğrafı.

3.2.3.1 Yanma eğrisi

Diğer adıyla ısı yayılım oranı eğrisi; Şekil 3.12'de otopark yangını için referans olarak verilen yangın eğrisinin tepe noktası, HAD analizlerinde bazı yakınsama problemleri ortaya çıkardığından, HAD kullanıcıları için Şekil 3.16'da ki referans eğri önerilmiştir. Kaynaklarda araç yangınları hızlı yangınlar olarak tanımlanmış olup, yangın yayılım hızları da yine aynı standarttan alıntı yapılarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.16 : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri için referans yangın ısı yayılım eğrisi (Yazıcı, 2017).

Şekil 3.16’da yangın simülasyon analizi için verilen egride tanımlı noktalar ve karşılık gelen yangın yükleri Çizelge 3.8’de verildi. Eğrinin referans alındığı deney çalışmaları yağmurlama sistemi olmadan yapılmıştır. Bu nedenle yangın analizlerinde yağmurlama sistemli durum için ulaşılabilecek en yüksek yangın yükünün eğrinin karakteristiği bozulmadan 4 MW olarak alınması uygun olacaktır.

Çizelge 3.8 : Isı yayılım eğrisinin oransal karşılıkları.

Zaman (s)	Yangın Yükü (Megawatt)	Oranlama
0	0	0
240	1,4	0,35
960	1,4	0,35
1200	4	1
1800	4	1
2280	1	0,25
4200	0	0

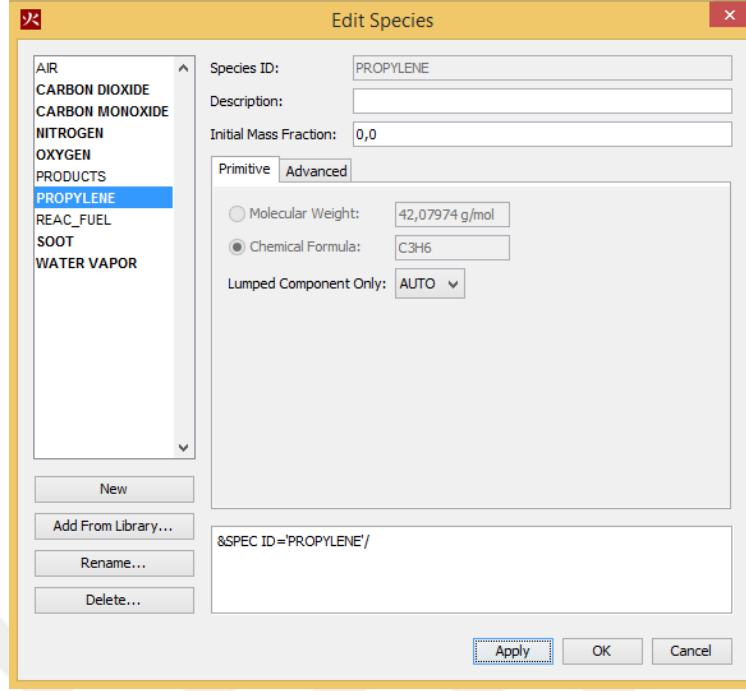
3.2.3.2 Yanma tepkimesi tanımlama

Modern otomobiller, tamponlar, gövde panelleri ve iç konsol gibi birçok termoplastik parçaya sahiptir. Bu parçalar, genellikle, polipropilen ve polietilen gibi çeşitli termoplastikler içerir. 24 MJ/kg’lık yanma özgül ısısı, modern otomobillerde kullanılan yanıcı bileşenler dikkate alınarak ortalama değer olarak kullanılabilir. Yanma sonucunda ne oranda duman, karbonmonoksit gazı gibi yanma ürünlerinin üretileceğinin tahmin edilebilmesi için aşağıdaki Çizelge 3.9’da verilen kriterler yangın simülasyon modelinde (HAD) tanımlandı (Yazıcı, 2017).

Çizelge 3.9 : Yanma ürünleri.

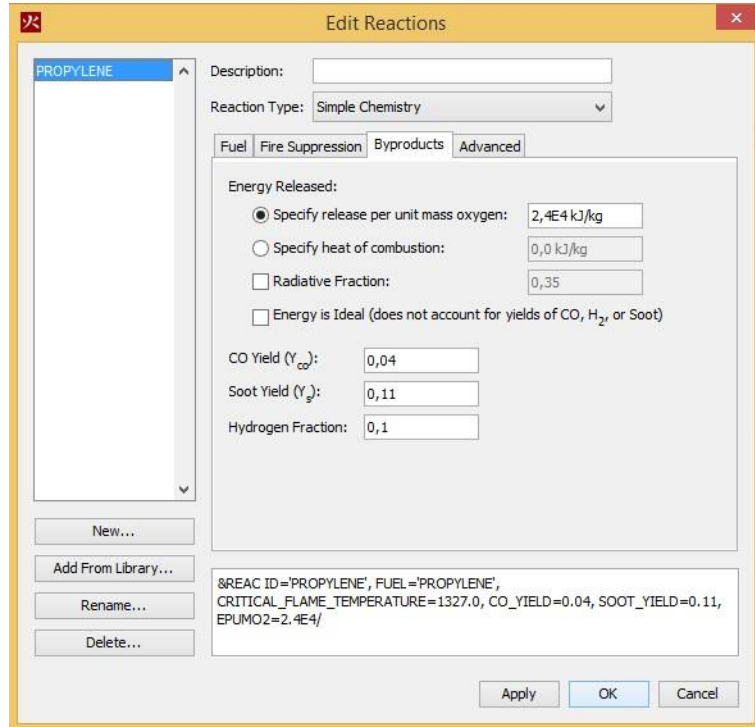
Yanma özgül ısısı (Hc) (MJ/kg)	İs üretim oranı (ys) (kg/kg)	CO üretim oranı (yCO) (kg/kg)
24	0,11	0,04

Yukarıda verilen verilere istinaden yangın simülasyon modelinde yanma tepkimesi tanımlamak için unsur ağacı menüsünden “Reactions” tıklanarak kütüphaneden seçim yapılmıştır. Şekil 3.17’de Propilenin molekül ağırlığı ve kimyasal formülü görülmektedir.



Şekil 3.17 : Propilenin kimyasal formülü.

Propilenin malzemesinin tanımlamalarını yaptıktan sonra yakıt türü olarak ataması yapıldı. Tepkime menüsünde yer alan yangın alev sıcaklığı varsayılan olarak 1427°C'dir. Propilenin yanma esnasında kaynaklarda verilmiş olan yanma özgül ısısı, is üretim oranı ve CO gazı üretim oranı Şekil 3.18'de görüldüğü üzere HAD modelinde veri girişi yapıldı.

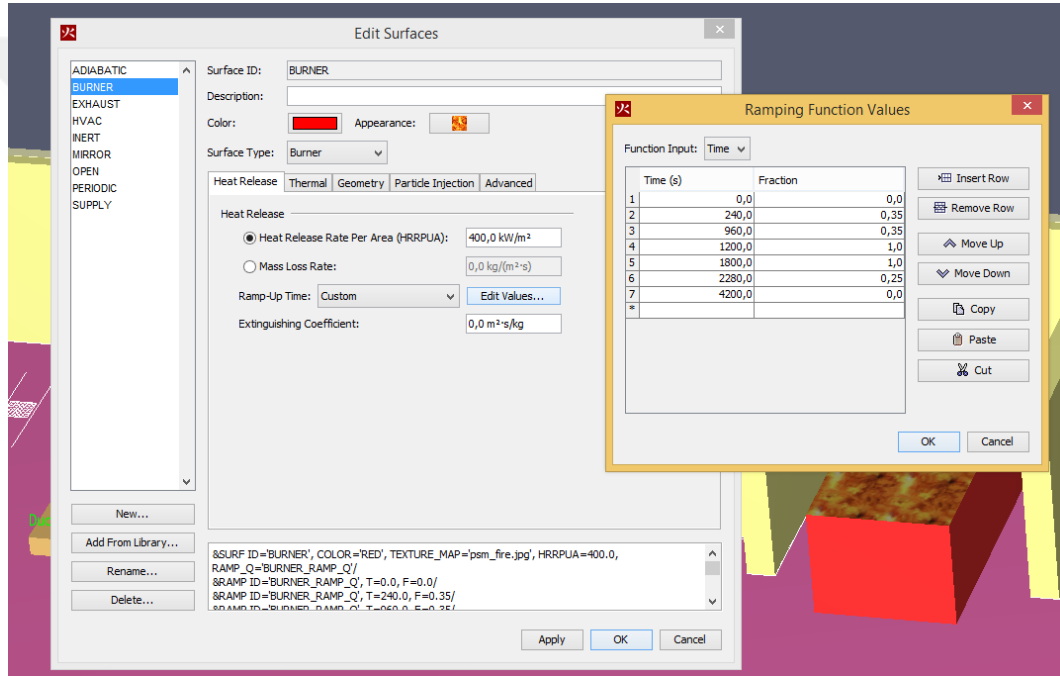


Şekil 3.18 : Yanma sonucu açığa çıkan ürünlerin verilerinin girilmesi.

Yangın simülasyon modelimizde yanma tepkimesini tanımladıktan sonra araç geometrisine “Burner” sınır şartını sağlamak için bir sonraki aşamalara geçildi.

3.2.3.3 Yanma sınır şartının tanımlanması

Yanma yüzey sınır şartı “Burner” tanımlamak için yanma şartlarını oluşturduğumuz pencere Şekil 3.19’da gösterildi. Çizelge 3.5’e göre yangın yükü 4 MW olarak belirlendiğinden ve aracın alanı 10 m² olduğundan gelen pencerede 400 kW/m² şeklinde veri girişi yapıldı. Programa veri girişi yapılırken dikkat edilmesi gereken husus Çizelge 3.8’da gösterildiği gibi yangın yüklerinin oransal karşılıkları şeklinde ısı yayılım eğrisi yangın analizi yazılımına tanıtıldı.



Şekil 3.19 : Yangın yayılım yükünün oransal girişi.

Taşımınla ısı transfer modeli varsayılan olarak seçildi. Tüm bu veri girişleri yapıp onaylanarak yanma sınır şartı oluşturuldu. Bundan sonra otopark tavanına doğru yanma gerçekleştiğinden aracın şeklinden dolayı yanma yönünün atanması gerekmektedir. Araç katı model özelliklerinden yüzeylere gelindi ve Şekil 3.14’te görünen koordinat sisteminde görüldüğü üzere “Max Z” yönünde daha önce tanımladığımız “Burner” yanma yüzey sınır şartını atandı.

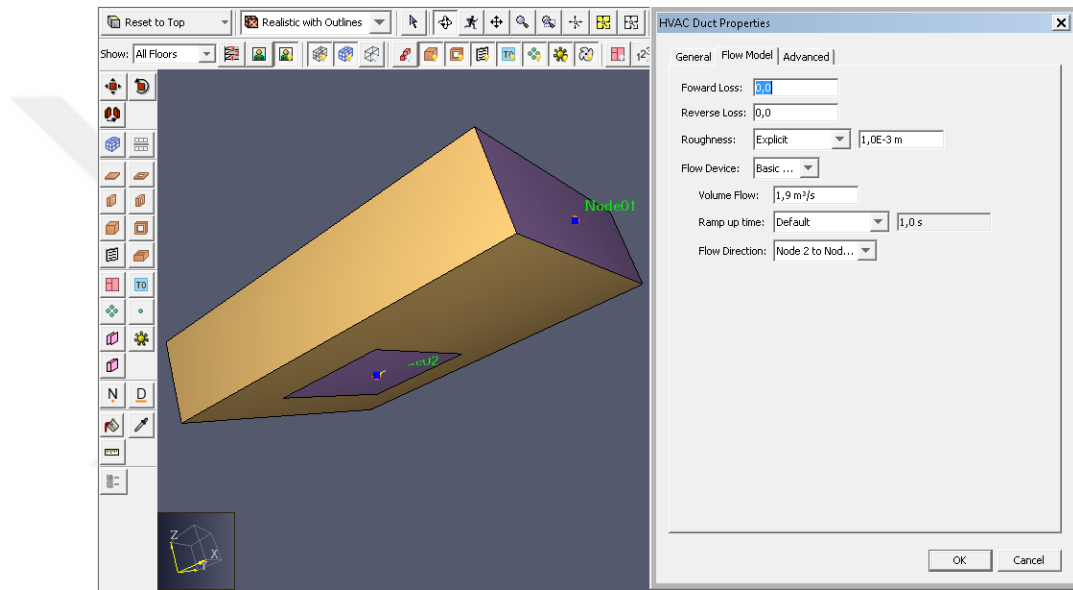
3.2.4 Jet fan tasarımı

Hesaplamalı akıkanlar dinamiği ile hazırlanan örnek bir kurum binasının kapalı otoparkının yangın analizinde jet fanlar önemli bir bileşen olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Bu çalışmada iki farklı jet fan türü incelendi. Bunlardan biri eksenel jet fanlar diğeri ise radyal jet fanlar olmak üzere piyasada otoparkın ihtiyacına ve makine mühendisinin (HAD Uzmanı) tasarımına göre tercih edilmektedirler.

3.2.4.1 Radyal jet fan oluşturulması

Yangın simülasyon modelinde jet fanın katı modellemesi ilk olarak mevcut radyal jet fanın teknik özellikler belgesindeki boyutlar kullanılarak 1275,5 mm uzunluğunda, 956 mm genişliğinde ve 282,5 mm yüksekliğinde katı model oluşturuldu (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : Radyal jet fan katı modeli.

Tavandan 40 cm aşağıdan üfleyecek şekilde yerleştirildi (Şekil 3.21).



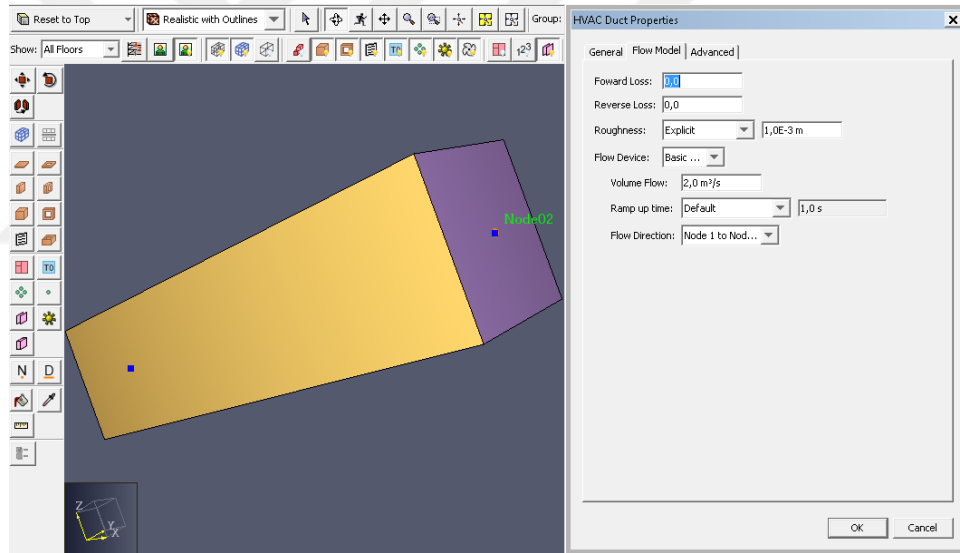
Şekil 3.21 : Otoparkın kesit görünüşünden radyal jet fan katı modeli.

HVAC komutu ile oluşturduğumuz fan katı modeline akış modeli oluşturuldu. Burada gelen pencerenin akış modeli sekmesinde fan özelliklerine tanımlamalar ve

veri girişi yapıldı. PyroSim programı fanın giriş havalandırmasını “Node01” ve çıkış havalandırmasını “Node02” olarak otomatik olarak isimlendirdi. Aşağıdaki şekilde de görüleceği üzere akış cihazı olarak “Basic Fan” seçildi. Akış yönü olarak Node01’den Node02’e doğru belirlendi. Yangın simülasyon modelimize Ek B’de verilen fan teknik özellikleri belgesinde yer alan 1,9 m³/s debi yazılıma tanımlandı. Bu radyal jet fanla biri on hava değişimi diğeri ise on beş hava değişimi olması durumunda iki farklı analizler yapıldı.

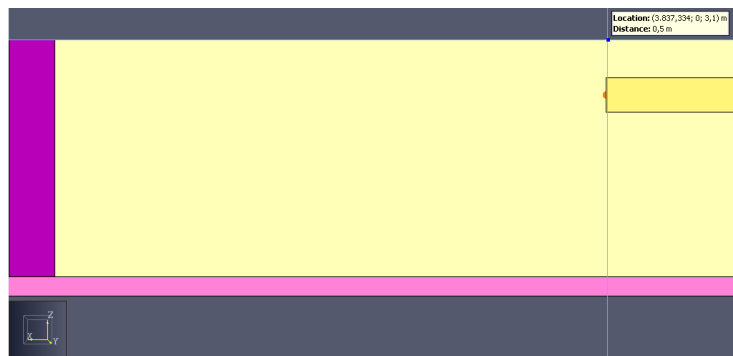
3.2.4.2 Eksenel jet fan oluşturulması

rnek bir kurum binasının kapalı otoparkında mevcut radyal jet fanlardan farklı olarak eksenel jet fanlarda bu çalışmaya da konu oldu. Burada izim aşamaları yukarıda anlatılan radyal jet fan aşamaları ile konumları aynı olup sadece geometrik boyut ve debi farkı vardır (şekil 3.22).



şekil 3.22 : Eksenel jet fan katı modeli.

Tavandan 50 cm aşağıdan üfleyecek şekilde yerleştirildi (şekil 3.23).



şekil 3.23 : Otoparkın kesit görünüşünden eksenel jet fan katı modeli.

Bu jet fan tipi ile hava değişim sayılarına göre iki farklı analiz çalıştırıldı. Öncelikli olarak karşılaştırma yapabilmek için örnek bir kurum binasının kapalı otoparkının yangın simülasyon modelinde mevcut fanların konumu ve yönleri değiştirilmeden yine aynı şirketin jet fan kataloğundan geometrik ölçüleri 1700 mm uzunluğunda, 450 mm genişliğinde, 450 mm yüksekliğinde ve 355 mm fan çapına sahip 2 m³/s'lik debiye sahip AIR CI-A 35U/2-4T eksenel jet fan seçildi (Ek D).

3.2.4.3 Jet fanların konumları

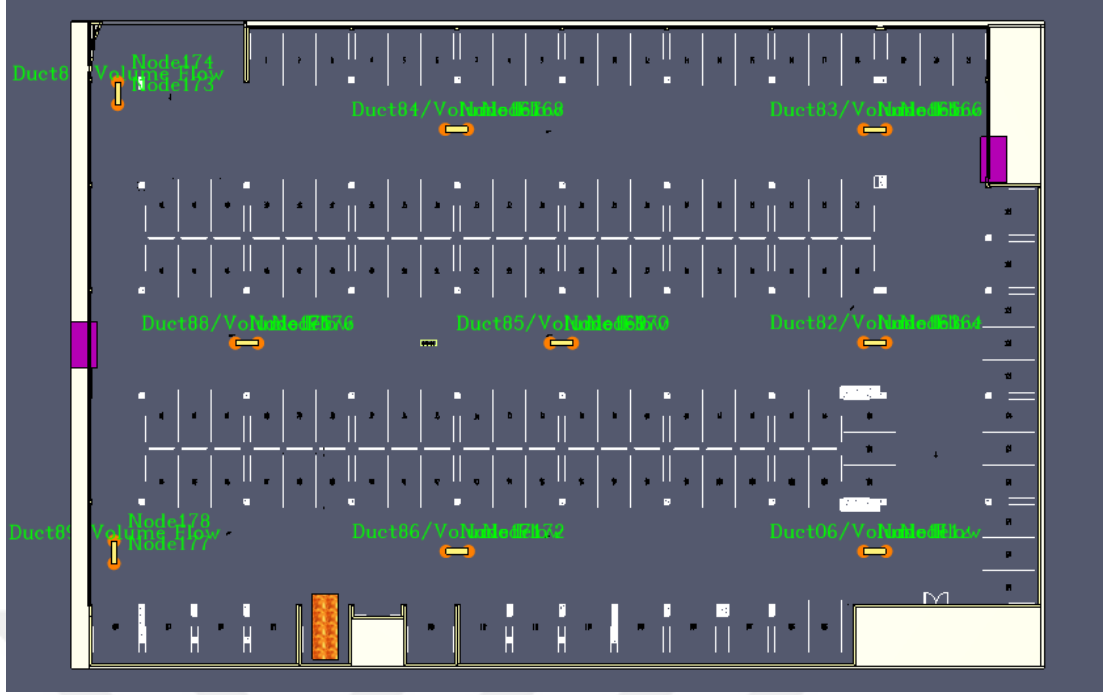
Herhangi bir kapalı otoparkta sahip olduğu mimari kat planına göre itki havalandırma sistemi projelendirilirken üreticilerin yaptığı jet fanların kataloglarında belirttiği üfleme mesafeleri, montaj kuralları ve seri veya paralel mesafelerine göre yerleştirmeler yapılması gerekir.

Bu vaka çalışmasında iki farklı jet fan türü incelenmiş olup ortaya çıkan sonuçların farklılıklarına göre optimizasyonu yapabilmek için hlihazırda bulunan radyal jet fanların kurulu oldukları konumlara eksenel jet fanlarda yerleştirilerek analizler çalıştırılmıştır. Bu sayede hem radyal jet fanlar hem de eksenel jet fanların performansları değerlendirildi.

şekil 3.24 ve şekil 3.25'te mevcut haldeki otoparkta bulunan radyal jet fanların ve aynı konumlarda karşılaştırmasını yapmak istediğimiz eksenel tip jet fanların st görünüş ekran görüntüleri yer almaktadır.



şekil 3.24 : Radyal jet fanların konumları.



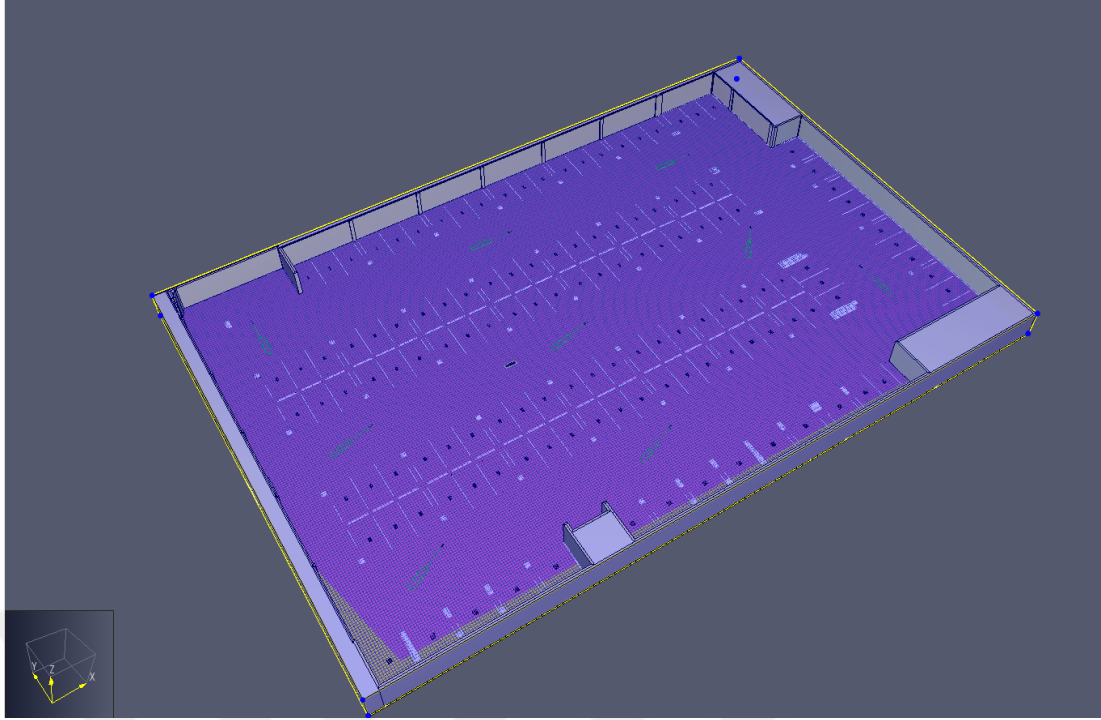
Şekil 3.25 : Eksenel jet fanların konumları.

3.2.5 Sayısal ağ oluşturma

Sonlu hacimler yöntemiyle çözümlenen otopark yangın senaryosunda sonuçları belirlenmesindeki en etken faktör ağ yapısı elemanlarıdır. Otoparktaki hava hacminin eşit küçük hacimlere bölünmesiyle düğümler ve elemanlar meydana getirilir. Elde edilen bu düğümler çeşitli iteratif yöntem basamaklarından kullanılarak nihai sonuçlar elde edilir. Düğüm sayısının fazla olması daha fazla iterasyon oluşturduğundan sonuçlarda kararlılık daha fazla olmaktadır.

Eleman sayısının “ağ yapısından bağımsız olma durumu” koşulundan dolayı, belli bir eleman sayısından sonra sonuçlar değişkenlik göstermez. Bu durum zaman kaybı olarak tanımlanır. Gereğinden az sayıdaki düğüm sayısı ise geniş ağ yapısı hacimleri oluşturacağından hızlı ama daha az hassas sonuçlar sağlayacaktır. Bu durumda sonuçlarda hatalar meydana gelebilir. Sayısal ağ hücre yapısını kurgularken önemli olan eleman sayısını yukarıda belirtilen durumlara göre dengelemektedir.

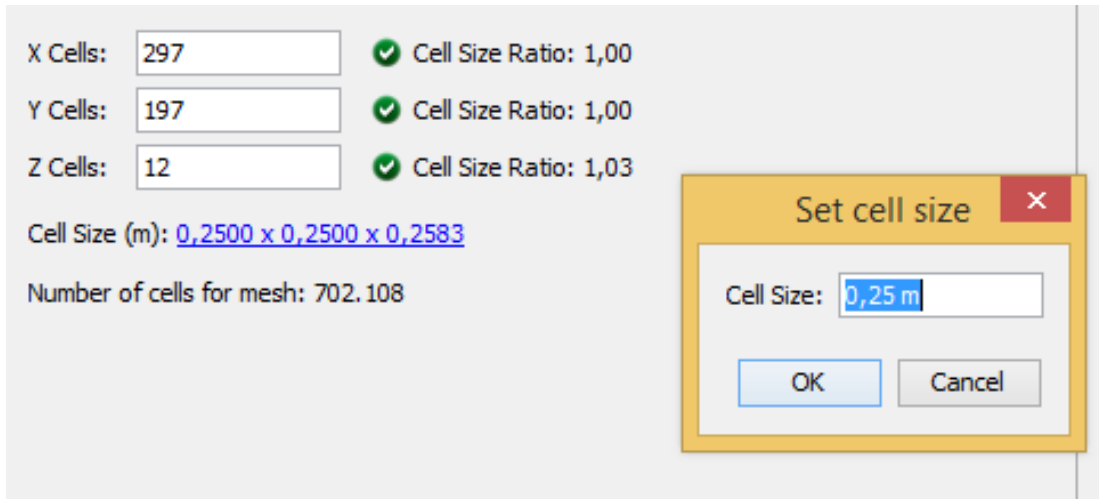
Vaka çalışmasına konu olan 45 m uzunluğundaki ve 32 m genişliğindeki kapalı otoparkın üç boyutlu katı modelin oluşturulmasından sonra küçük boyutlu sayısal ağ elemanlarına (mesh) bölünmesi gereklidir. Böylelikle toplam sayısal ağ hücre sayısı artacağından sonuçlarda gerçeğe yaklaşılabilecektir. Şekil 3.26’da kapalı otoparkın ağ elemanlarına bölünmesi gösterildi.



Şekil 3.26 : Kapalı otoparkın sayısal ağ oluşturulduktan sonraki görünüşü.

Temel süreklilik denklemlerinin (enerji, kütle ve momentum) her bir ağ elemanı veya hücrede eş zamanlı olarak çözülmesiyle, ana çözüm alanının herhangi bir noktasında hava hızı, sıcaklık ve diğer akış parametrelerini belirlenmesi kolay olur.

Bu çalışmada sonuçlar; iki farklı birim ağ yapısı uzunluğu için; biri 0,25 metre diğeri ise 0,40 metre olmak üzere analizler çalıştırıldı (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 : 0,25 metre birim sayısal ağ (hücre) oluşturma.

Aşağıdaki çizelgede birim boyutlarına göre toplam sayısal ağ hücreleri (mesh) gösterilmiştir.

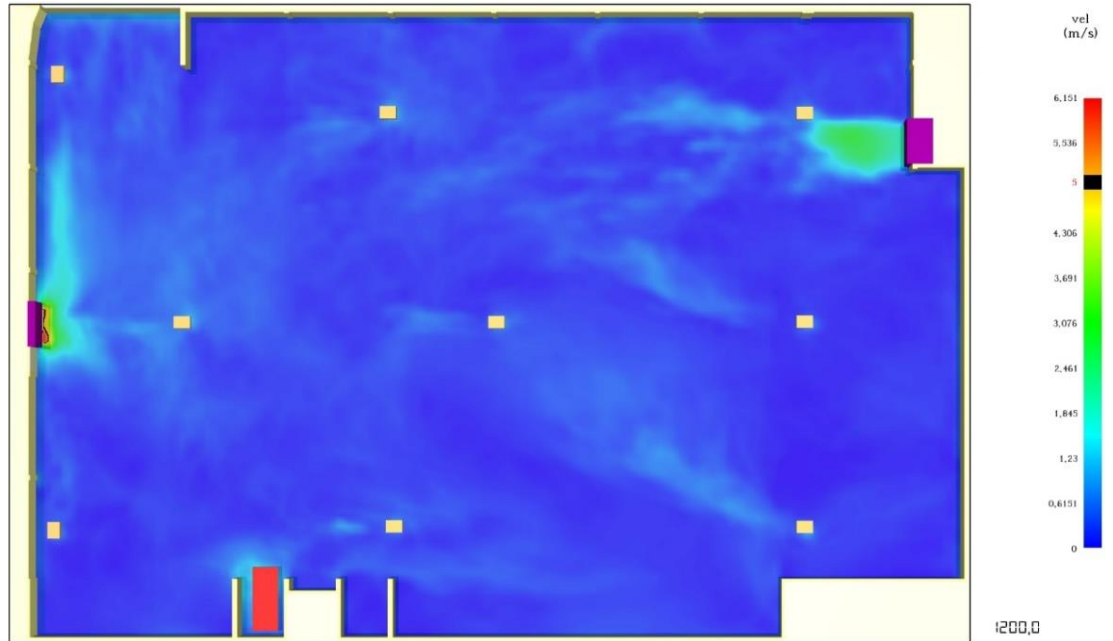
Çizelge 3.10 : Kapalı otoparkın yangın modelinin toplam sayısal ağ hücrelerinin sayısı.

Birim sayısal ağ boyutu 0,40 metre olması durumunda hücre sayısı	Birim sayısal ağ boyutu 0,25 metre olması durumunda hücre sayısı
180560	702108

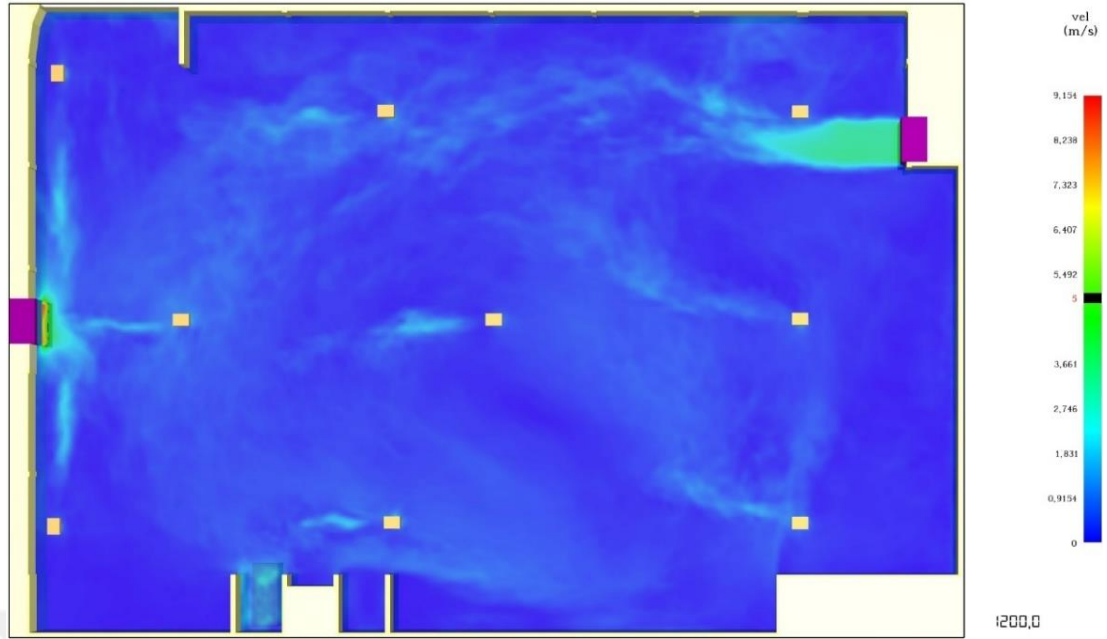
Burada ağ sayısının azlığı veya çokluğu analizlerin süresine ve doğruluğuna etki etmektedir. Sayısal ağ elemanlarının boyutunun az olması sonuçların doğruluğunun yükselmesi ancak kullanılan bilgisayarın analizi hesaplama süresinin artmasına sebep olmuştur.

On hava değişimli radyal jet fanlı senaryoyu ele alırsak Şekil 3.28’de 0,40 metre birim sayısal ağ ve Şekil 3.28’de 0,25 metre birim sayısal ağ boyutlarında analizler çözdürülmüş olup, hız sonuçları gösterildi. Şekil 3.27’de en yüksek hız değeri 6,151 m/s ve Şekil 3.29’da 9,154 m/s görülmektedir.

Bu sonuçlar birim boyutun küçülmesiyle toplam sayısal ağ boyutundan kaynaklı olarak analizlerin değerlendirilmesinde gerçeğe yaklaşılmaktadır. Sadece hız sonuçları değil; sıcaklık sonuçları ve karbonmonoksit gazı seviyelerini gösteren sonuçlarda da birim sayısal ağ hücre boyutlarının küçülmesiyle skalada yer alan göstergelerde ki farklar belirgindir.



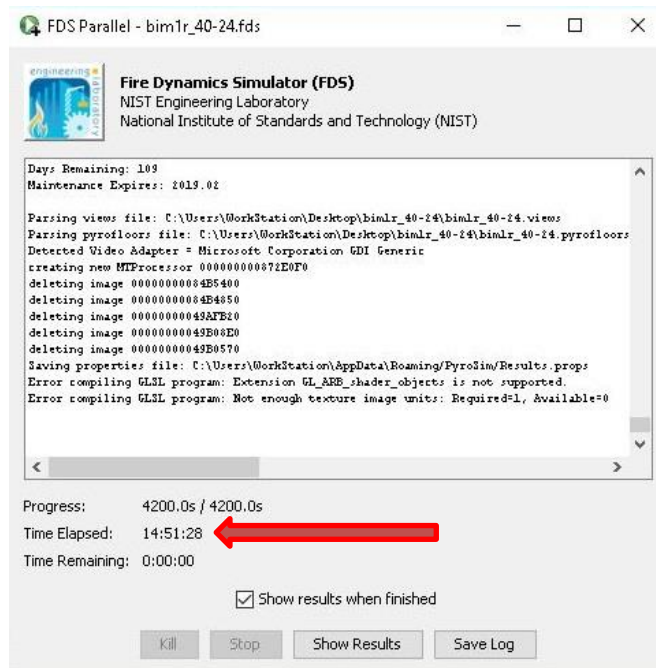
Şekil 3.28 : On hava değişimli radyal jet fanlı 0,40 metre birim ağ elemanında hız sonuçları.



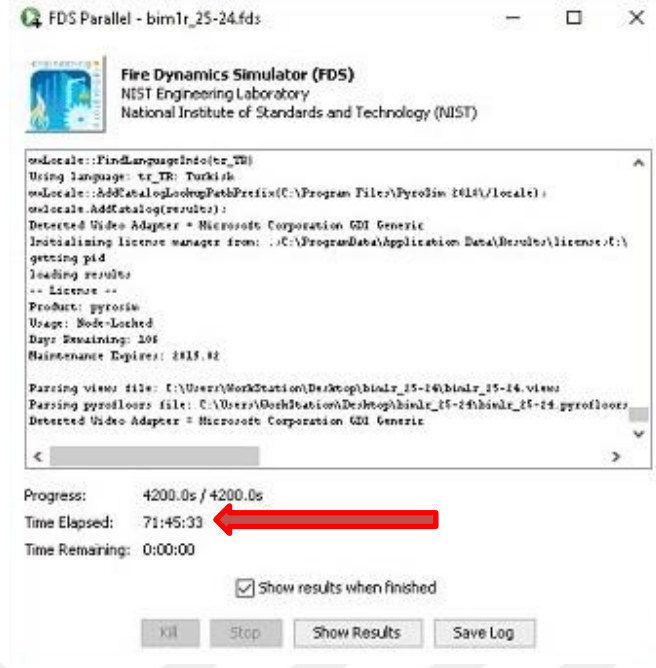
Şekil 3.29 : On hava değişimli radyal jet fanlı 0,25 m birim ağ elemanında hız sonuçları.

Bu durumda sonuçlara bakılarak ağ iyileştirme çalışması yapılarak ve kaynaklarda da genellikle 0,25 metre boyutundaki birim sayısal ağ kullanılmış olup, yaptığımız analizlerde de 0,25 metre boyutundaki ağ yapısı kullanıldı.

Şekil 3.30'da on hava değişimli radyal jet fanlı senaryonun birim sayısal ağ boyutu 0,40 m girilerek ve Şekil 3.31'de birim sayısal ağ boyutu 0,25 m girilerek çalıştırılan analizin süreleri gösterildi.



Şekil 3.30 : 0,40 metre birim boyutlu sayısal ağ olması durumunda çözüm süresi.



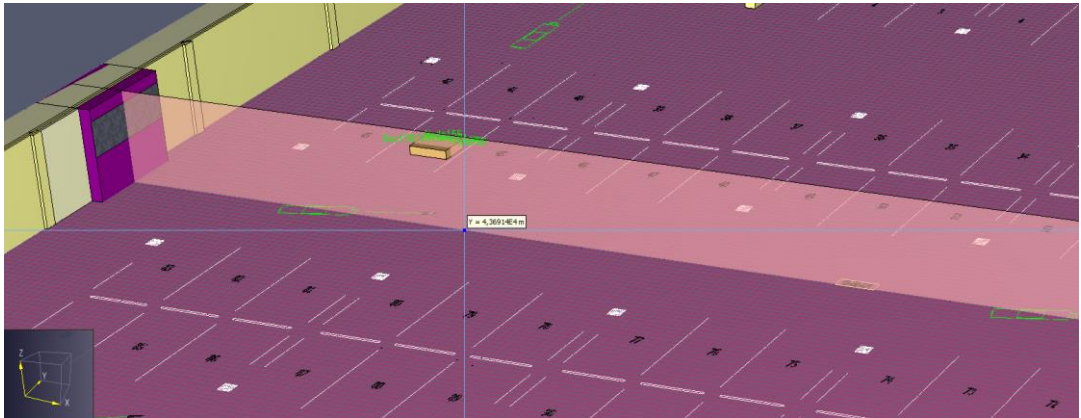
Şekil 3.31 : 0,25 metre birim boyutlu sayısal ağ olması durumunda çözüm süresi.

Yangın analizleri Şekil 3.30’da görüldüğü üzere 14 saat 51 dakika 28 saniye ve Şekil 3.31’de 71 saat 45 dakika 33 saniye sürdü.

Teze konu olan çalışmanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde iş istasyonu sınıfında bilgisayar toplamda 24 çekirdekten oluşan iki merkezi işlem birimine ve 24 GB RAM’e sahip olup Windows 10 Pro işletim sistemine yüklü olarak akademik olarak lisanslı PyroSim yazılımını çalıştırdı.

3.2.6 Dilimler

Yangın simülasyon modelimizde sıcaklık, hız, karbonmonoksit ve görüş mesafesi gibi sonuçları; zeminden itibaren ortalama bir itfaiye personelinin boyu olan 1,7 m yükseklikte sonuçları incelemek için dilimler atanır. (Şekil 3.32).



Şekil 3.32 : Analiz sonuçları için dilim atama.

Özellikle de İngiliz standardının 10.1.5 maddesinde belirtilen insan gözü hizasında 10 m görüş mesafesini sağlayacak şekilde jet fanlı havalandırma sistemi kurulmalıdır (The BSI Standards 7346-7, 2013). Şekil 3.33'te dilimler ile ilgili olarak programda girilen veriler gösterildi.

XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity	Use Vector?	Cell Centered?
1 Z	1,7 m	Velocity	YES	NO
2 Z	1,7 m	Visibility	NO	NO
3 Z	1,7 m	Temperature	NO	NO
4 Z	1,7 m	[Species: CARBON MONOXIDE] Mass Fraction	NO	NO
5 Z	2,65 m	Velocity	YES	NO

Şekil 3.33 : 1,7 metre yükseklikteki sonuçlar için dilimler oluşturulması.

3.2.7 Değişkenler

Şekil 3.34'te görüldüğü üzere bütün simülasyon parametreleri ortam koşulları varsayılan olarak 20°C sıcaklık, deniz seviyesinde 101,325 kPa basınç, 0,232378 kg/kg oksijen kütle oranı, $5,95 \times 10^{-4}$ kg/kg karbondioksit kütle oranı, %40 nem oranı, en yüksek görüş 30 m, görünürlük oranı 3 ve yer çekimi -z ekseninde $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak program tarafından otomatik olarak seçildi.

Şekil 3.34 : Simülasyon ortam koşullarının değişkenleri.

3.2.8 Senaryolar

Bu kapalı otoparkın itki havalandırma sistemi projesi PyroSim yazılımında sanal olarak modellenmiş, ortam koşulları varsayılan olarak 20°C ve deniz seviyesindeki hava koşulları temel alınmıştır. Simülasyon, BS 7346-7:2013 standardına göre 4 MW yangın yükündeki 2 m x 5 m ölçülerindeki bir aracın 4200 saniye boyunca yanmasını varsaymaktadır. Yangın kaynağı duman sensörleri tarafından algılandıktan 2 saniye sonra jet fanlar yüksek devirde çalışmaya başlayarak dumanın taze hava bacasından duman atış bacasına doğru yönlendirilmesini sağlarlar. 2500 saniyeden sonraki sürelerde araç tamamen sönmüş ve sadece dumanın tahliyesi işlemi devam etmektedir. Literatürde araç yangınları hızlı yangınlar olarak tanımlanmış olup, yangın eğrisi Şekil 3.16'da gösterildiği gibidir. Yangın yayılım hızları da yine aynı standarttan alıntı yapılarak kullanılmaktadır. Çizelge 3.11'de senaryolar gösterildi.

Çizelge 3.11 : Analiz dosyaları ve simülasyon senaryoları.

Analiz dosyası	Jet fan tipi	Hava değişimi sayısı
1-bim1r_25-24	Radyal Jet Fan	10
2-bim1r_25-4	Radyal Jet Fan	15
3-bim2a_25-24	Eksenel Jet Fan	10
4-bim2a_25-4	Eksenel Jet Fan	15

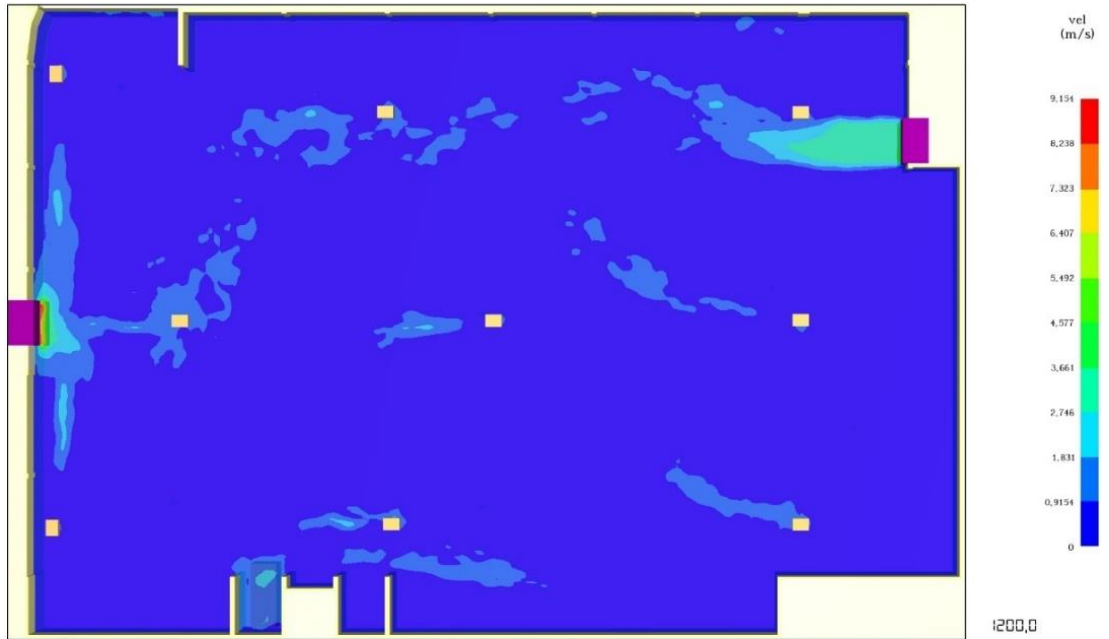
Bir numaralı analiz; örnek bir kurum binasının kapalı otoparkında bulunan mevcut özellikteki ve kullanımda olan radyal jet fanlı havalandırma sisteminin analizidir. Bundan dolayıdır ki bu analiz kontrol grubu olarak kabul edildi. İki numaralı analiz ise kullanılan radyal jet fan sayısı ve debileri aynı olup, on beş hava değişimi ilkesine göre Çizelge 3.4'te hesaplanan verilerle eksenel fanların debileri belirlendi. Üç numaralı çalışmada; bir numaralı analizden farklı olarak aynı konumlarda ve sayılarda 2 m³/s'lik debiye sahip eksenel tip jet fan tanımlandı. Dört numaralı analizde ise üç numaralı analizden farklı olarak aynı konumlarda ve sayılarda 2 m³/s'lik debiye sahip eksenel tip jet fan tanımlandı. Dört numaralı analizde ise üç numaralı analizden farklı olarak aynı konumlarda ve sayılarda 2 m³/s'lik debiye sahip eksenel tip jet fan tanımlandı. Dört numaralı analizde ise üç numaralı analizden farklı olarak aynı konumlarda ve sayılarda 2 m³/s'lik debiye sahip eksenel tip jet fan tanımlandı.

4. SONUÇLAR

4.1 Hız Sonuçları

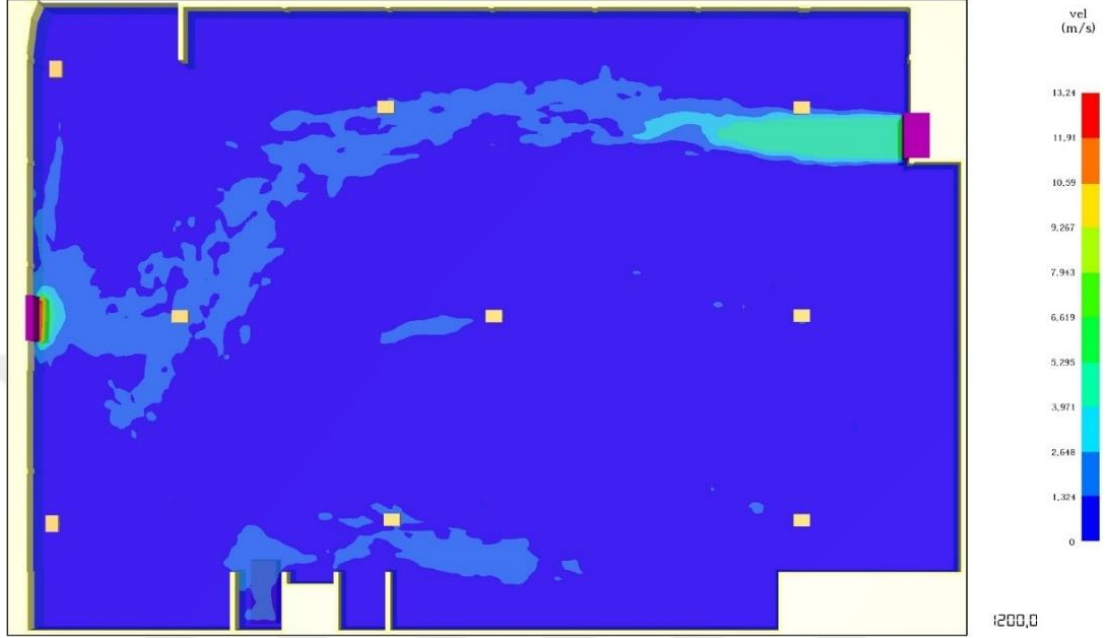
Otopark içerisindeki hava hareketi, insan boyu seviyesi olan 1,7 metre yüksekliğinde BS 7346-7:2013 standardı için incelenmiştir. Otopark havalandırma sistemlerinde, dikkat edilecek önemli bir husus, doğal hava hareketiyle giren havanın hızı 2 m/s'yi, yangın anında rampalarda ve kaçış yollarındaki hava hızı 5 m/s'yi geçmemelidir. Hız sınırının aşılması insanların kaçışına engel olabilir. Aksi takdirde, otopark içerisinde bulunan insanların zehirli ve yüksek sıcaklıktaki gazlardan etkilenme tehlikesi bulunmaktadır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise, otopark içerisinde hareketsiz hacimlerin (hava hızının sıfır olması durumu) bulunmaması gerektiğidir.

On hava değişimli radyal jet fanlı analiz sonuçları incelendiğinde otoparkın şekle göre en sağda yer alan bölgede mevcut fan yerleşiminden kaynaklı olarak kapsadığı alana göre hava hareketi detaylı incelemede 0,31 m/s az ve giriş yolunda ise genel olarak 0,31 m/s görüldü. Şekil 4.1'e göre en yüksek 0,9154 m/s hız standarda göre rampa kaçış bölgesinde doğal açıklık yer aldığından 2 m/s 'yi geçmemektedir.



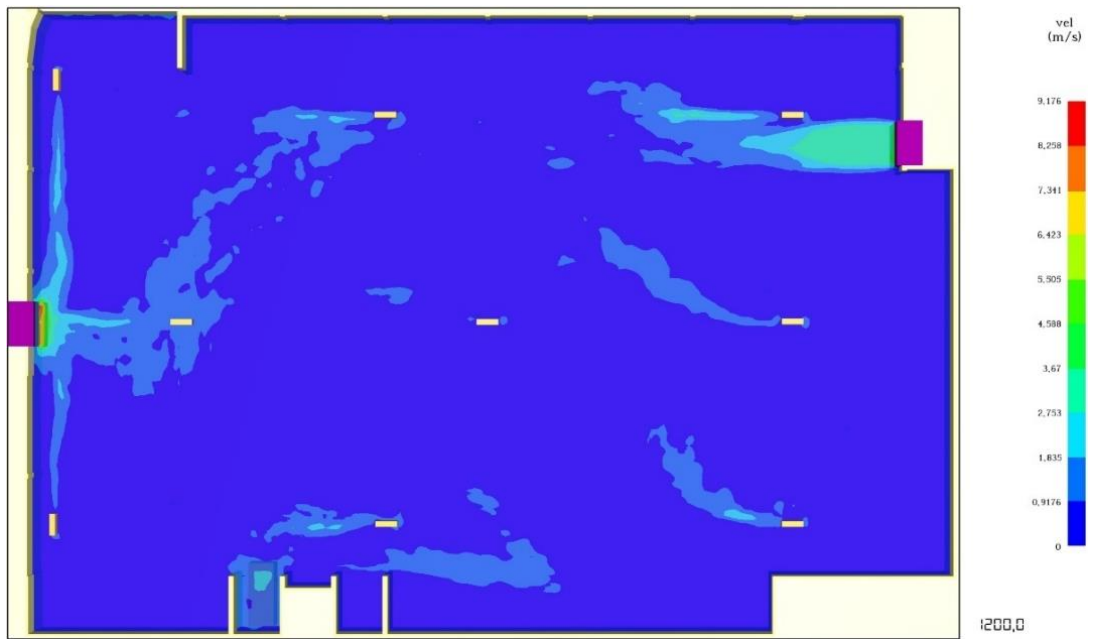
Şekil 4.1 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için hız sonuçları.

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi saatlik hava değişimi 15’e çıkarılıp bacalardaki fan debileri artmasıyla beraber en sağdaki bölgede hava hızları biraz daha artmış ve en sol köşedeki bölgede hava hareketlenmiştir. Araçların geçiş koridorlarındaki havanın vektörel kuvvetleri daha belirgin ve doğrusal olmaktadır.



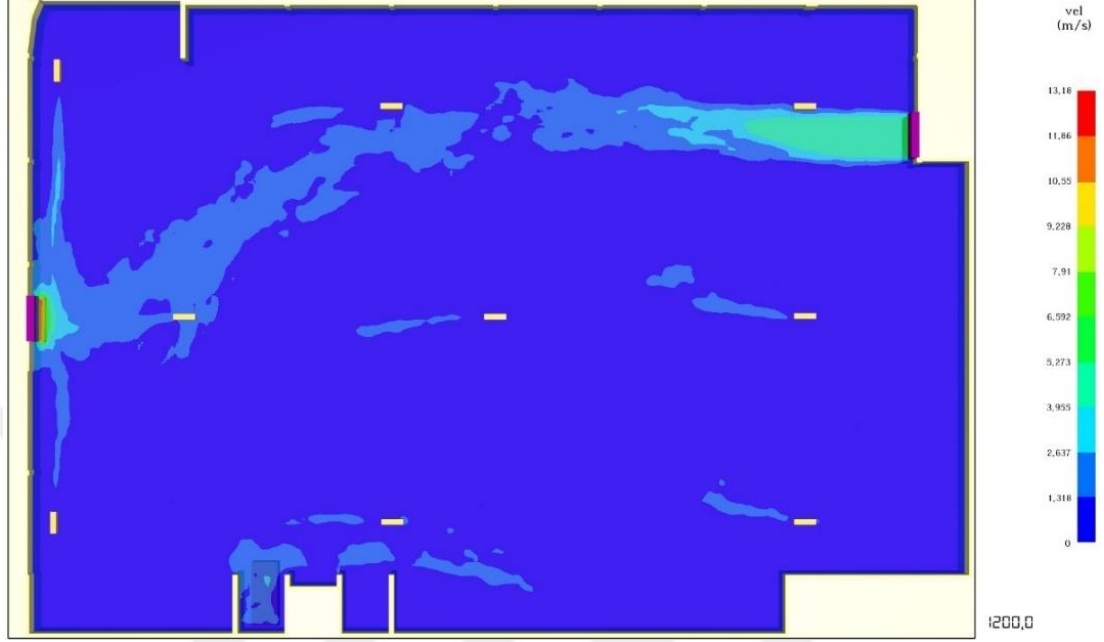
Şekil 4.2 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için hız sonuçları.

Aynı kapalı otoparkın saatlik 10 hava değişimi ve eksenel jet fanla çözümlendirilmesi ile tüm bölgelerde hava hızlarında artışı belirgin bir şekilde göstermektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için hız sonuçları.

Üç numaralı senaryoya göre yapılan analizle kıyaslayacak olursak Şekil 4.4'te gösterilen on beş hava değişimli eksenel fanlı senaryoda hava hızları arttığı görüldü ancak on hava değişimli bir numaralı senaryonun yeterli olduğu tespit edilmiştir.



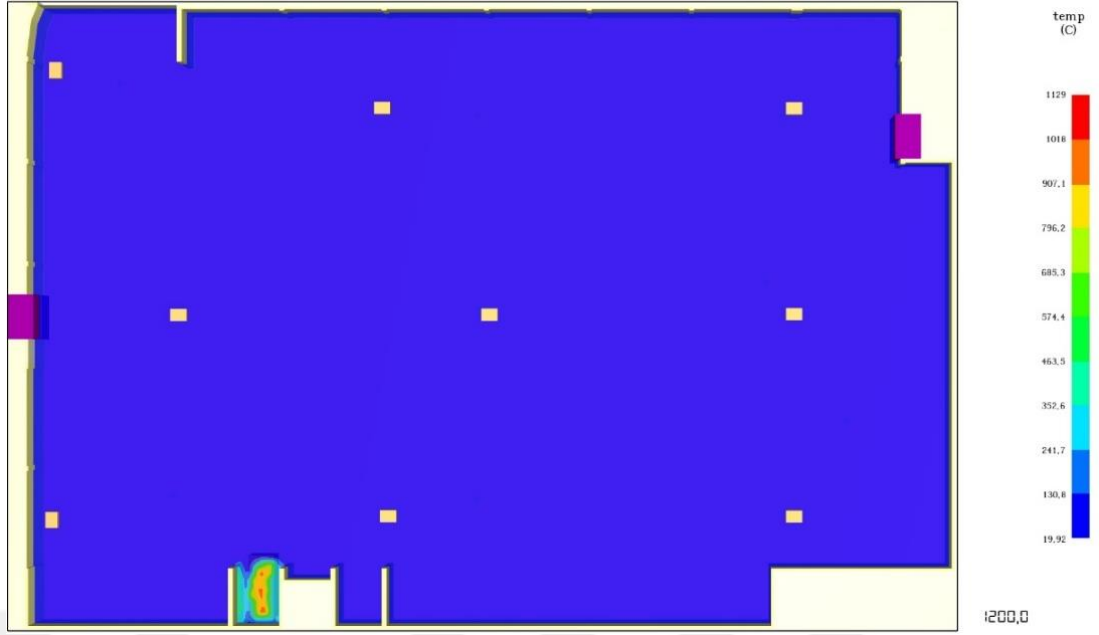
Şekil 4.4 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için hız sonuçları.

Otoparktaki 1,7 metre yükseklikteki hız dağılımları incelendiğinde, tüm senaryolarda standartlarda belirtilen değerleri karşıladığı belirlenmiştir. Otopark içerisinde ölü hacim bulunmamaktadır.

4.2 Sıcaklık Dağılımı

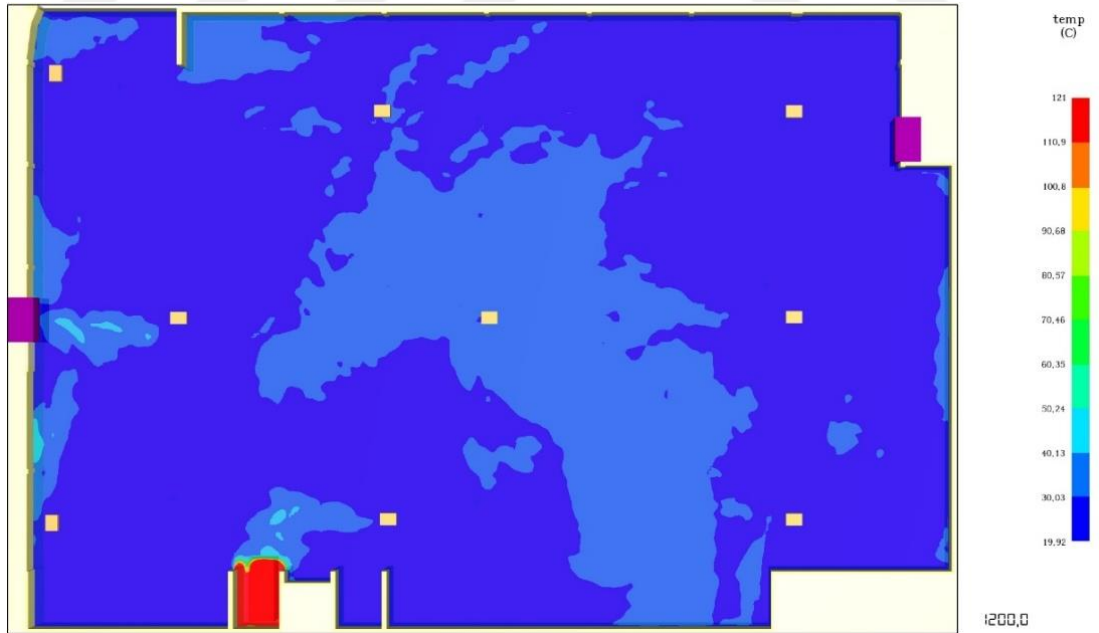
Otopark sıcaklığı hakkında, ASHRAE Duman Yönetimi Prensibi, yangın bölgesi hariç sıcaklığın 60°C'yi geçmemesi ve yangın alanının çevresindeki yüksek sıcaklık değeri sınırının 121°C'nin altında olması gerektiğini ifade eder. Bu standarda göre 121°C ve daha yüksek sıcaklıklarda deride kalıcı hasarlar ve hipotermi hastalığı olduğundan bahsedilmektedir. Kaçış noktalarındaki sıcaklıklarda, bu değerlere erişmemelidir.

Bir numaralı senaryo için sıcaklık sonuçları göstergesinde, geniş skalada, araç yanma sıcaklığından dolayı en yüksek değer 1129°C'ye ulaşmaktadır (Şekil 4.5). Ancak standartta incelememiz gereken sıcaklık aralığı en yüksek 121°C verildiğinden, skala tekrar ayarlanarak Şekil 4.6'da ki ekran görüntüsü alınmıştır. Diğer senaryoların sıcaklık göstergelerinde benzer şekilde ayarlanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 4.5 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için sıcaklık değerleri.

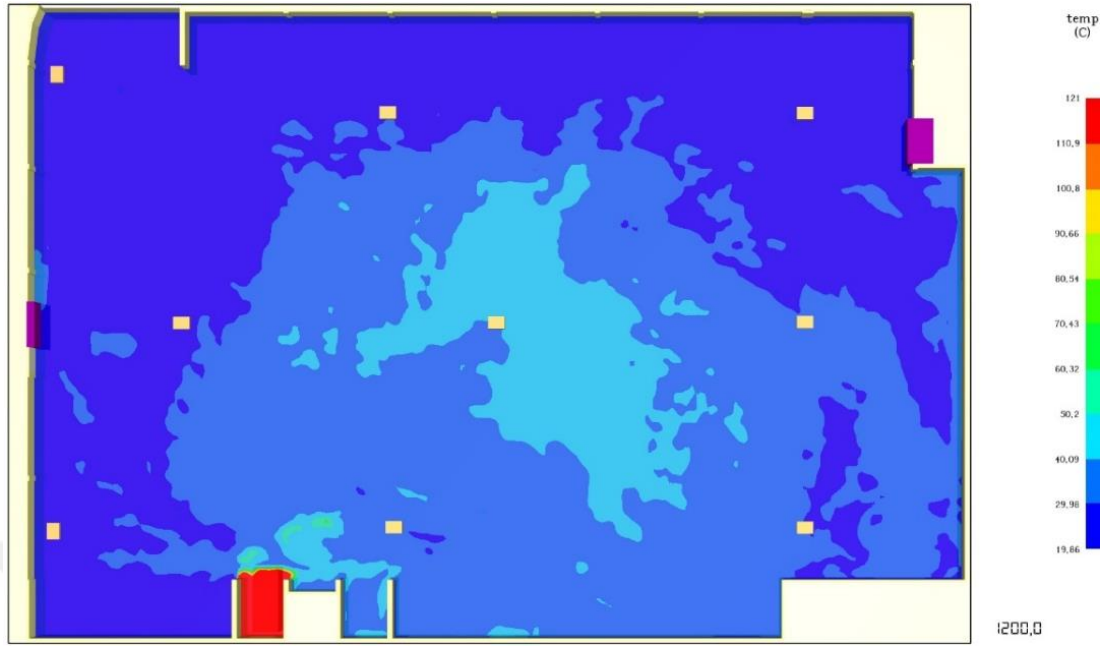
Şekil 4.6’te yangının maksimum değerde olduğu 1200. saniyede kaçış noktaları olarak kullanılabilen rampa girişindeki kaçış noktasında en yüksek sıcaklık $40,13^{\circ}\text{C}$ ve yanan aracın çevresinde sıcaklık $50,24^{\circ}\text{C}$ seviyelerindedir. Otoparkın genelinde görülen en yüksek sıcaklık değeri $40,13^{\circ}\text{C}$ ’dir.



Şekil 4.6 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.

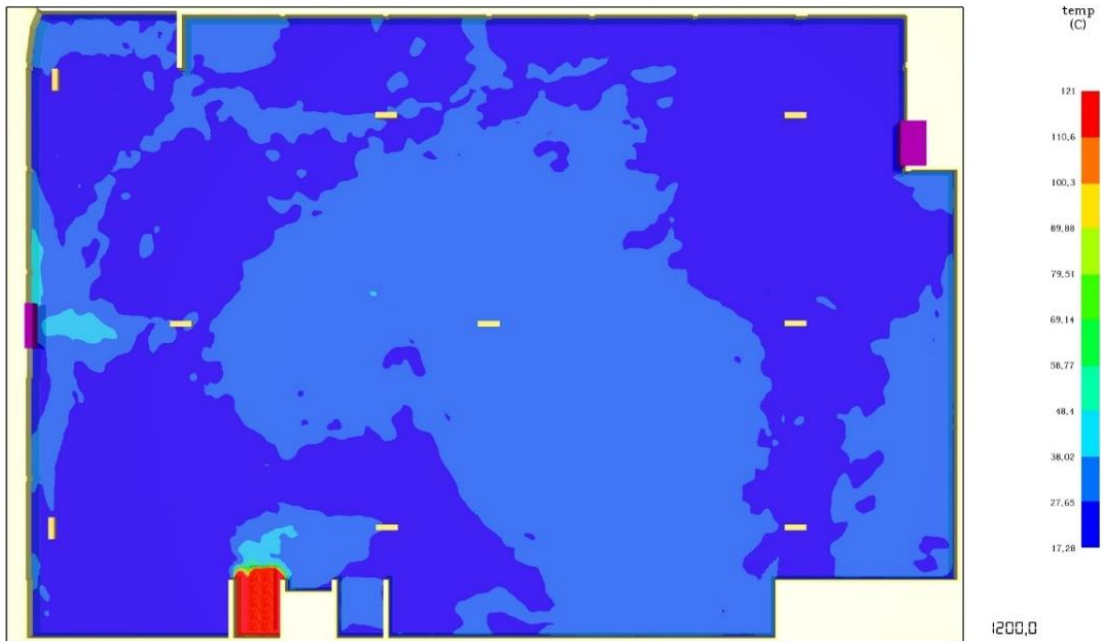
Şekil 4.7’de yangının maksimum değerde olduğu 1200. saniyede kaçış noktaları olarak kullanılabilen rampa girişindeki kaçış noktasında sıcaklık $29,98^{\circ}\text{C}$ ve yanan aracın çevresinde sıcaklık $50,2^{\circ}\text{C}$ seviyelerindedir. Otoparkın genelinde en yüksek

sıcaklık değeri 50,2°C'dir.



Şekil 4.7 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.

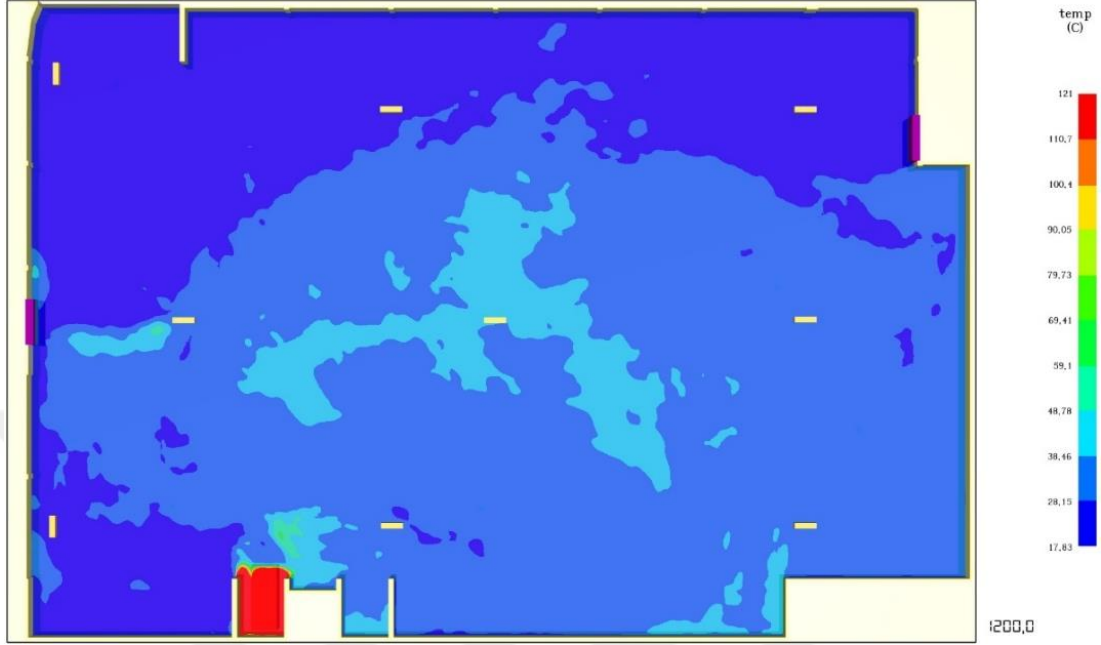
Şekil 4.8'de yangının maksimum değerde olduğu 1200. saniyede kaçış noktaları olarak kullanılabilir rampa girişindeki kaçış noktasında sıcaklık 38,02°C ve yanan aracın çevresinde sıcaklık 48,4°C seviyelerindedir. Otoparkın genelinde en yüksek sıcaklık değeri 38,02°C'dir.



Şekil 4.8 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.

Şekil 4.9'da yangının maksimum değerde olduğu 1200. saniyede kaçış noktaları

olarak kullanılabilir rampa girişindeki kaçış noktasında sıcaklık 28,15°C ve yanan aracın çevresinde sıcaklık 38,46°C seviyelerindedir. Otoparkın genelinde en yüksek sıcaklık değeri 48,78°C'dir.



Şekil 4.9 : On beş hava değişimli aksenal jet fanlı senaryo için detaylı sıcaklık değerleri.

4.3 Görüş Mesafesi

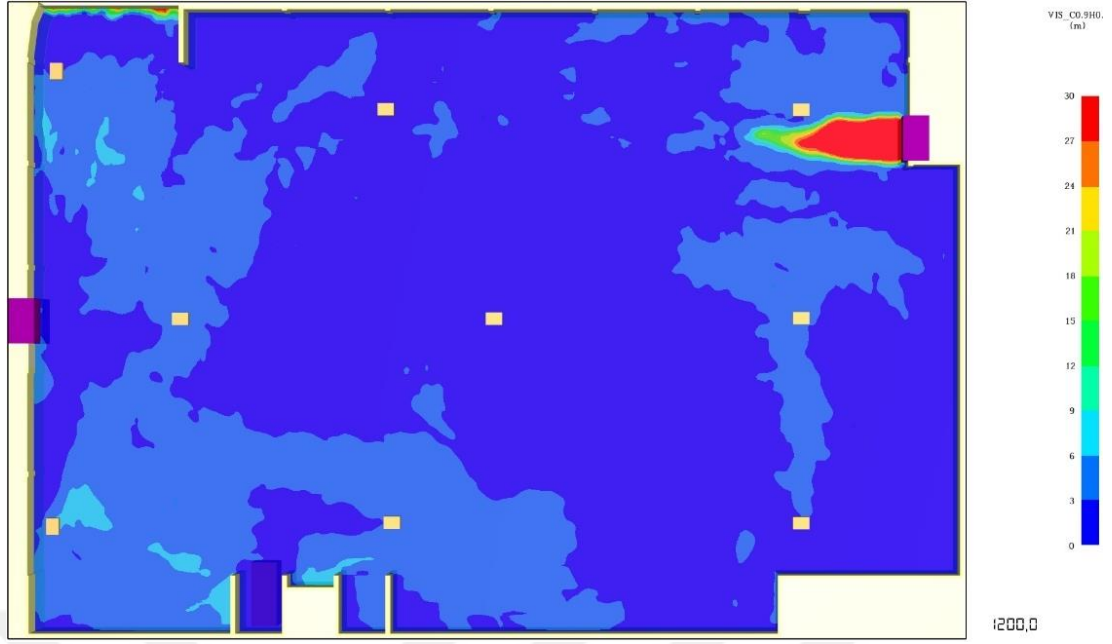
Havalandırma Sistemlerinde, önemli olan diğer bir konu ise acil çıkış noktalarında yayaların kaçabilmesi ve yangın söndürme görevlilerinin yangına müdahale edebilmesi için, görüş mesafesi değerinin standartlara uygun olmasıdır. BS-7346-7:2013 standardına göre kaçış yollarındaki görüş mesafesi en az 10 m olmalıdır.

Proje yapısı gereği kaçış noktası olarak kullanılabilir araç rampasında yangının maksimuma ulaştığı 1200.saniyede görüş mesafesi 3 m seviyelerindedir. (Şekil 4.10)

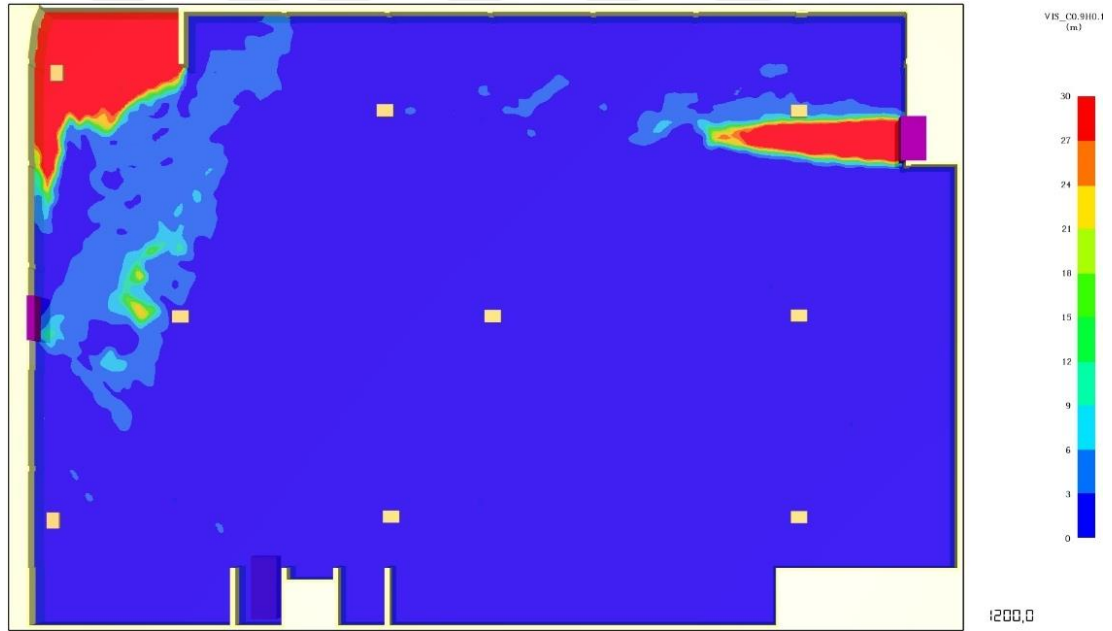
Şekil 4.11'de araç rampasında yangının maksimuma ulaştığı 1200.saniyede görüş mesafesi 30 m seviyelerindedir.

Şekil 4.12'de araç rampasında yangının maksimuma ulaştığı 1200.saniyede görüş mesafesi 3 m seviyelerindedir.

Şekil 4.13'te araç rampasında yangının maksimuma ulaştığı 1200.saniyede görüş mesafesi 30 m seviyelerindedir.

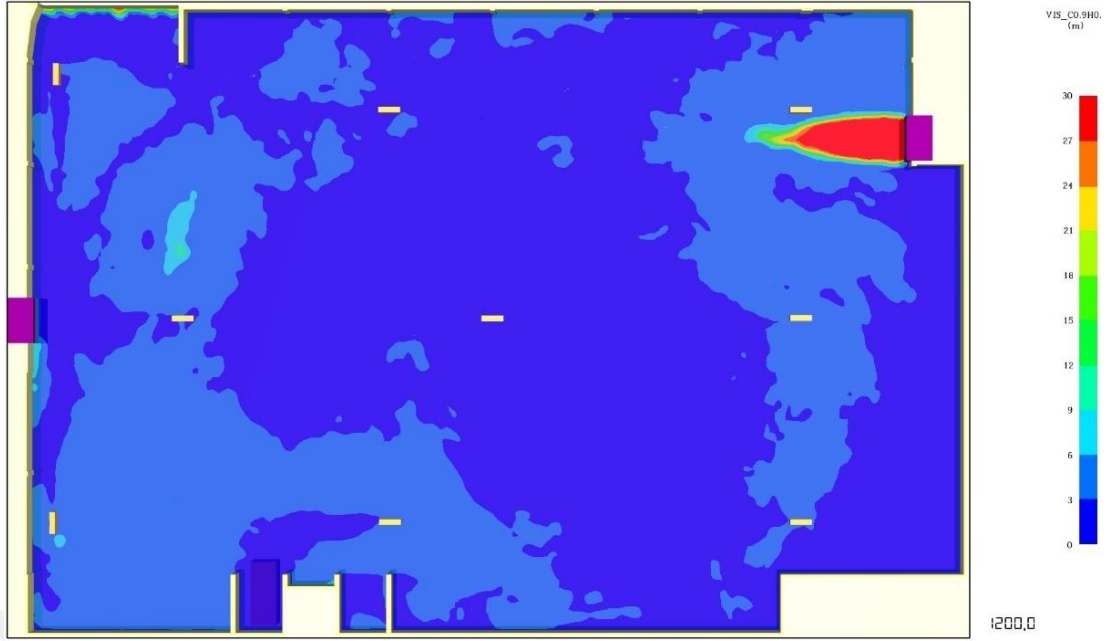


Şekil 4.10 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.

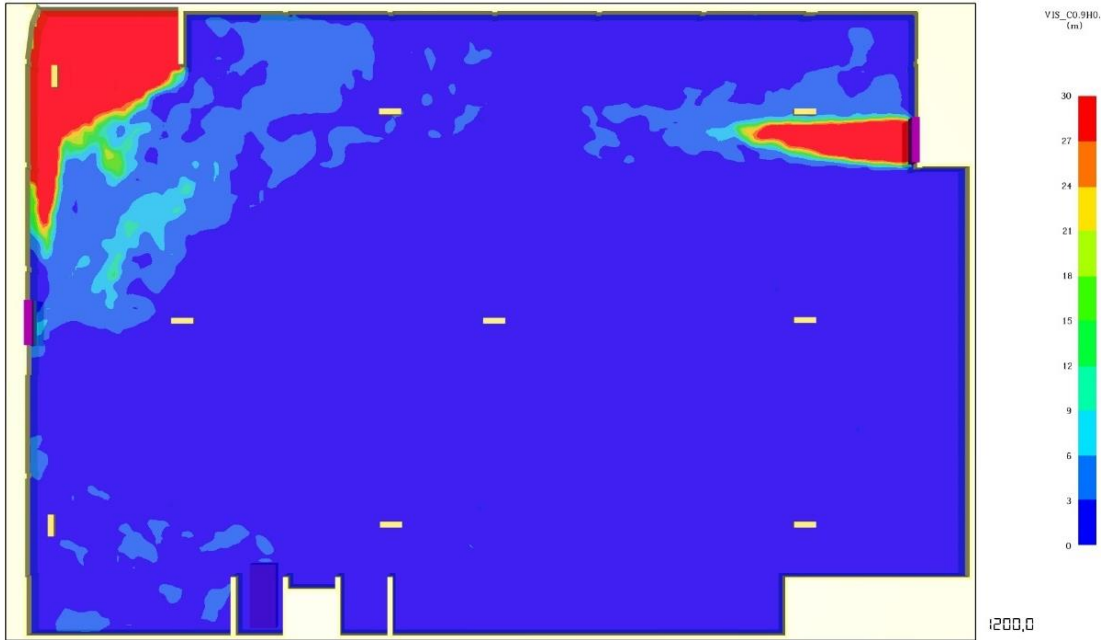


Şekil 4.11 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.

Radyal jet fanların konumları ve debileri aynı kalmasına rağmen saatlik 10 hava değişiminden 15 hava değişimine artırılan analizlerde bacalardaki debi artışından kaynaklı olarak oluőan iyileőtirilmiő hava dolaőımıyla özellikle de doğal hava ačkılıęının bulunduğu kačkıő yolunda görüő mesafesi ciddi derecede artış göstermiőtir.



Şekil 4.12 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.



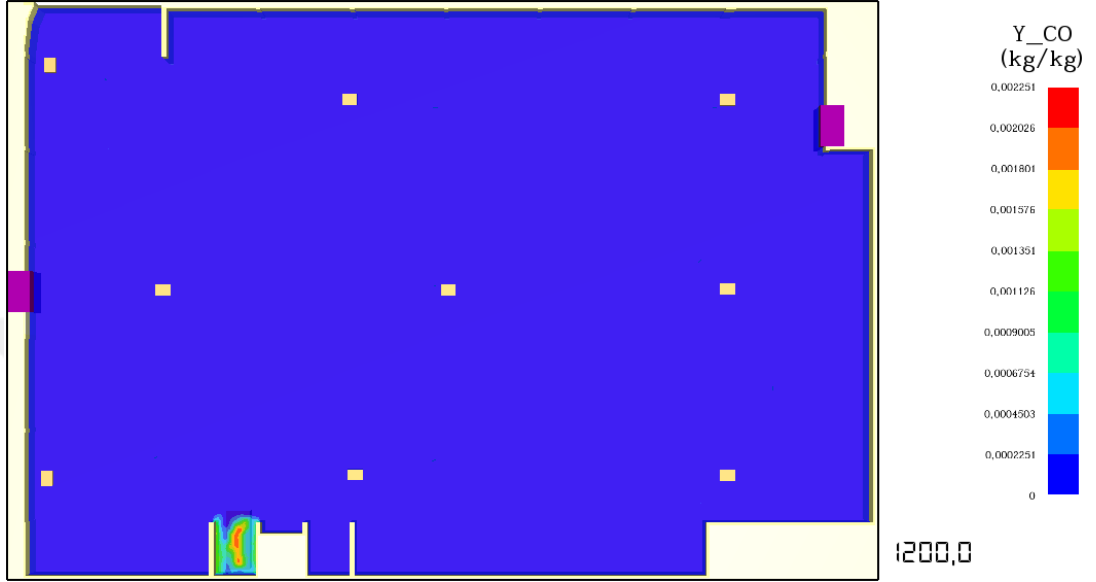
Şekil 4.13 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için görüş mesafesi.

4.4 Karbonmonoksit Seviyeleri

Bu bölüm ortalama insan boyu seviyesindeki (1,7 metre) karbonmonoksit miktarı sonuçları gösterilmiştir. BS-7346-7:2006 standartlarına göre 90 ppm 15 dakika ve 30 ppm 8 saat etkilenme sınırı olarak belirtilmiştir. Kaçış yollarında 100 ppm'i aşmamalıdır.

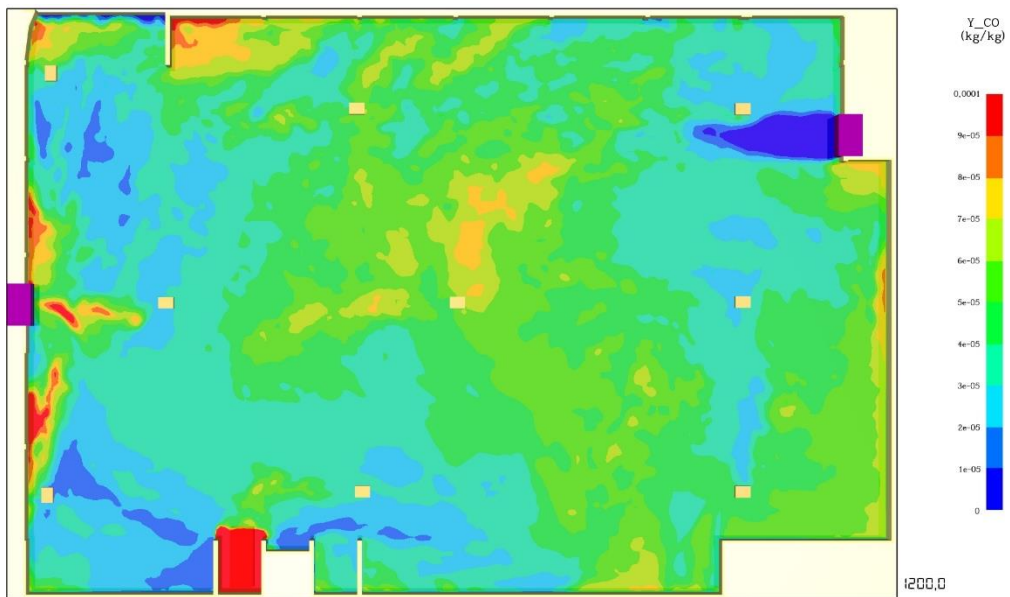
Bir numaralı senaryo için karbonmonoksit seviye sonuçları göstergesinde, geniş

skalada, araçtaki plastik parçalardan yanmasından dolayı en yüksek 2251 ppm değerine aracın çok küçük noktasında ulaşmaktadır (Şekil 4.14). Ancak standartta incelememiz gereken yoğunluk aralığı en yüksek 100 ppm verildiğinden, skala tekrar ayarlanarak Şekil 4.15’de ki ekran görüntüsü alınmıştır. Diğer senaryoların karbonmonoksit seviyelerinde benzer şekilde ayarlanarak sonuçların çıktısı alındı.



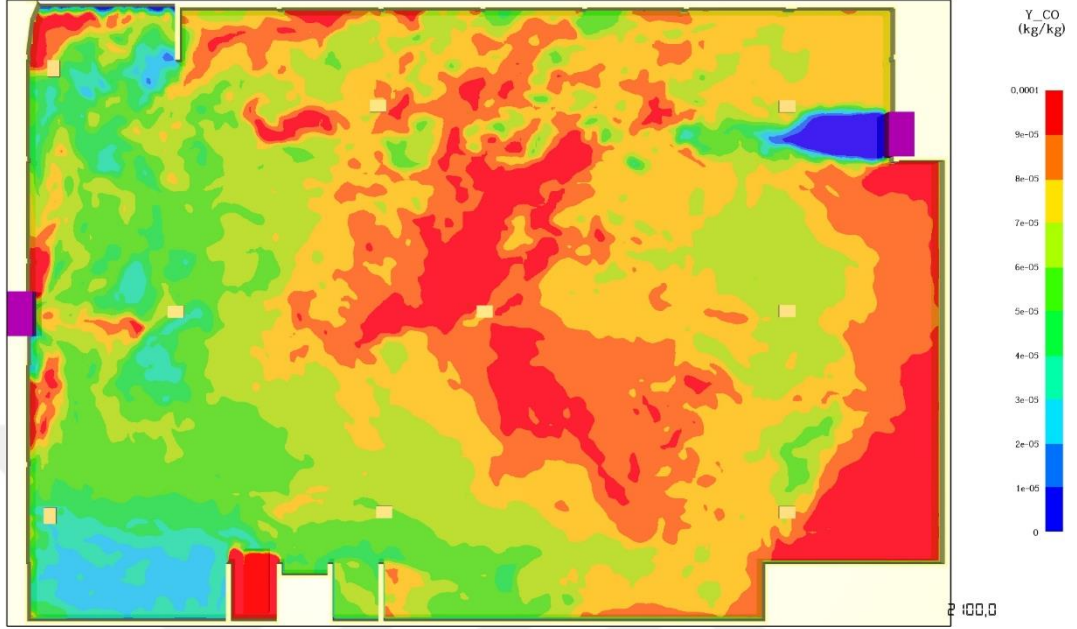
Şekil 4.14 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.

Yangının maksimum olduğu 1200. saniyede otoparkın kaçış noktasında kısmi bölgede en yüksek 90 ppm ve ortalama 71,5 ppm’lik zehirli gaz (CO) bulunmaktadır. Bu durum standartı karşılamaktadır (Şekil 4.15).



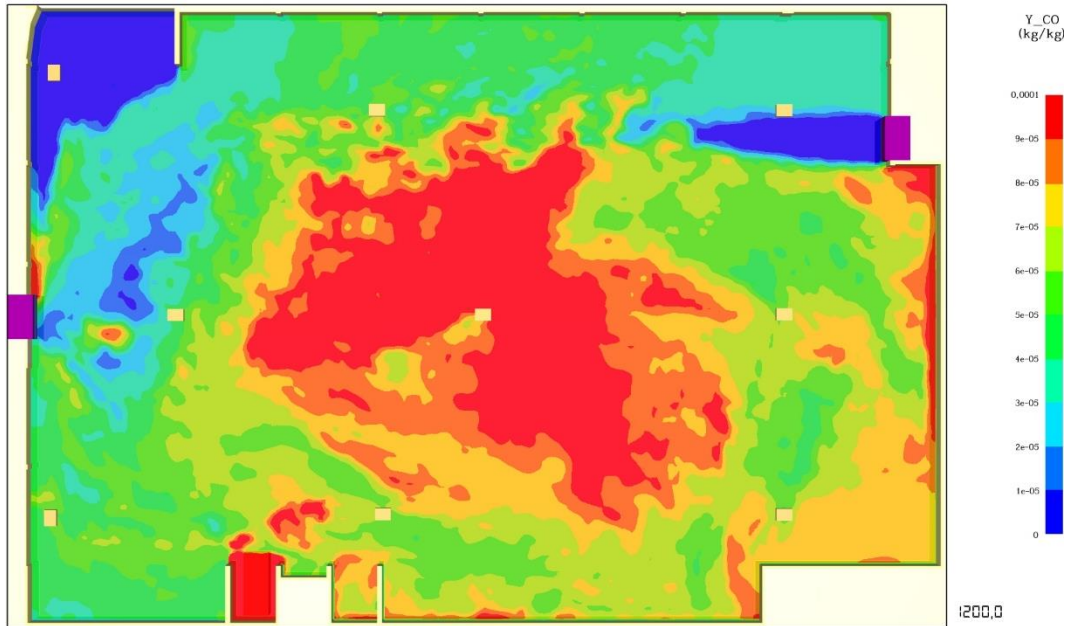
Şekil 4.15 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.16'da 1200. saniyeye ulaştıktan on beş dakika sonra yani 2100. saniyeye ulaştığımızda kısmi bölgede 106 ppm'lik değere ulaştığından standartta hedeflenen en yüksek değeri aşmaktadır.



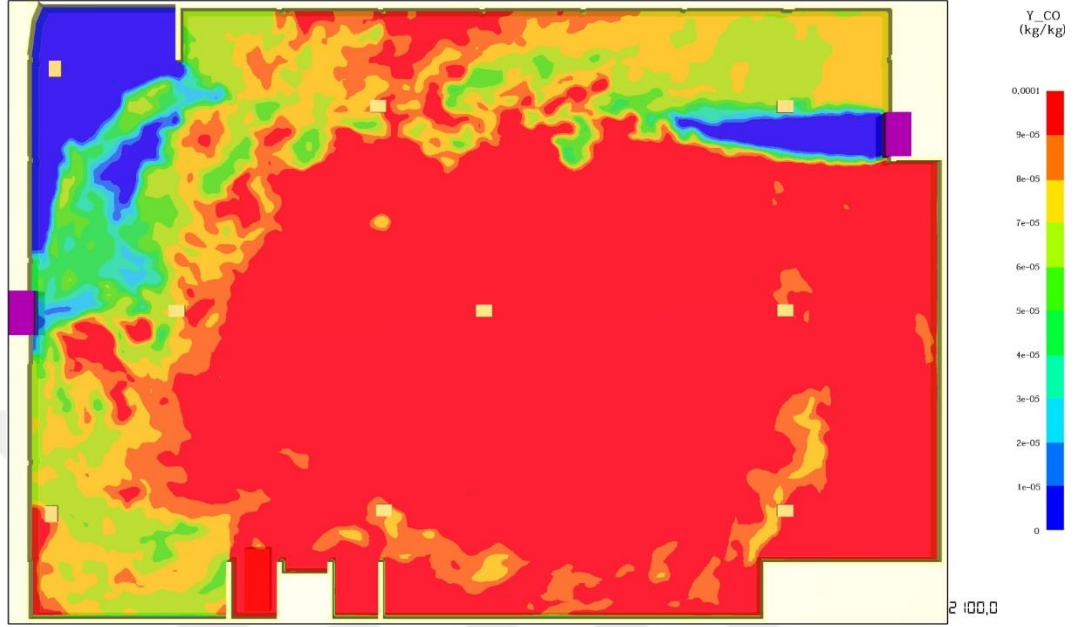
Şekil 4.16 : On hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.17'de yangın yükünün zirveye ulaştığı (4 MW) 1200. saniyede dahi otoparkın kaçış noktasında 1 ppm'lik zehirli gaz bulunmaktadır. Bu durum standartı karşılamaktadır.



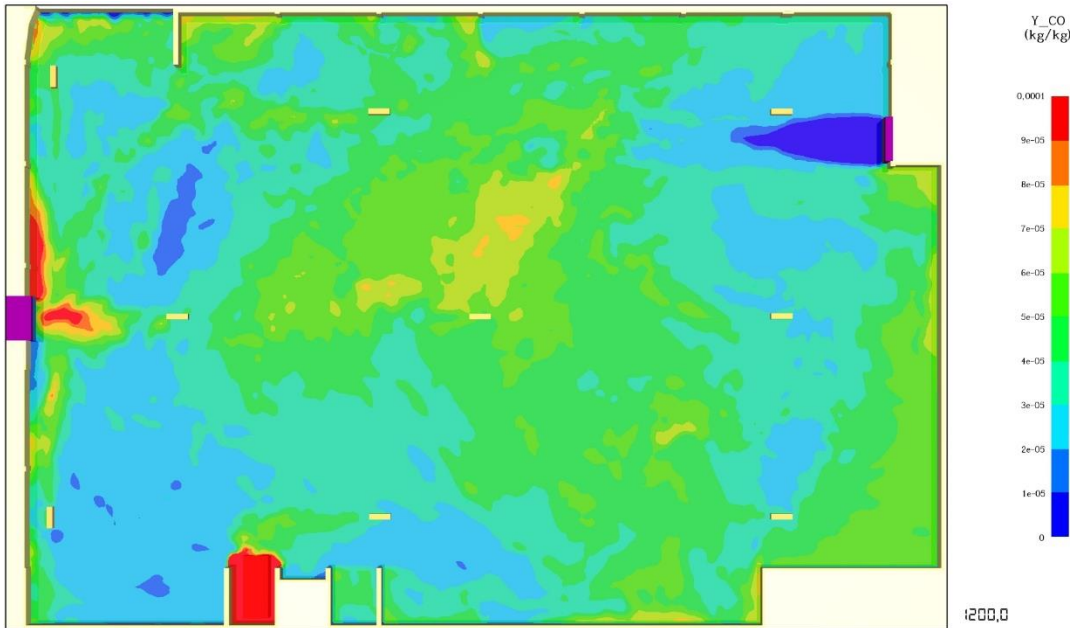
Şekil 4.17 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.18'de 1200. saniyeye ulaştıktan on beş dakika sonra yani 2100. saniyeye ulaştığımızda kısmi bölgede 1 ppm'lik değere ulaştığından standartta hedeflenen en yüksek değeri aşmamaktadır.



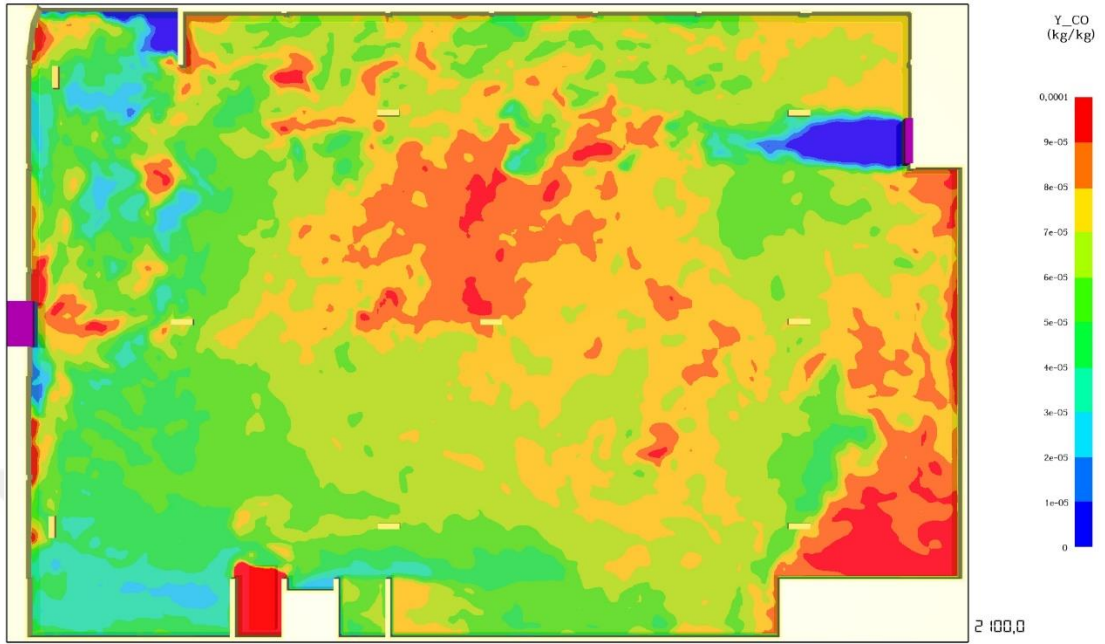
Şekil 4.18 : On beş hava değişimli radyal jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.19'de yangın yükünün zirveye ulaştığı (4 MW) 1200. saniyede otoparkın kaçış noktasında 61,5 ppm'lik zehirli gaz bulunmaktadır. Bu seviyedeki karbonmonoksit gazının yoğunluğu standardı karşılamaktadır.



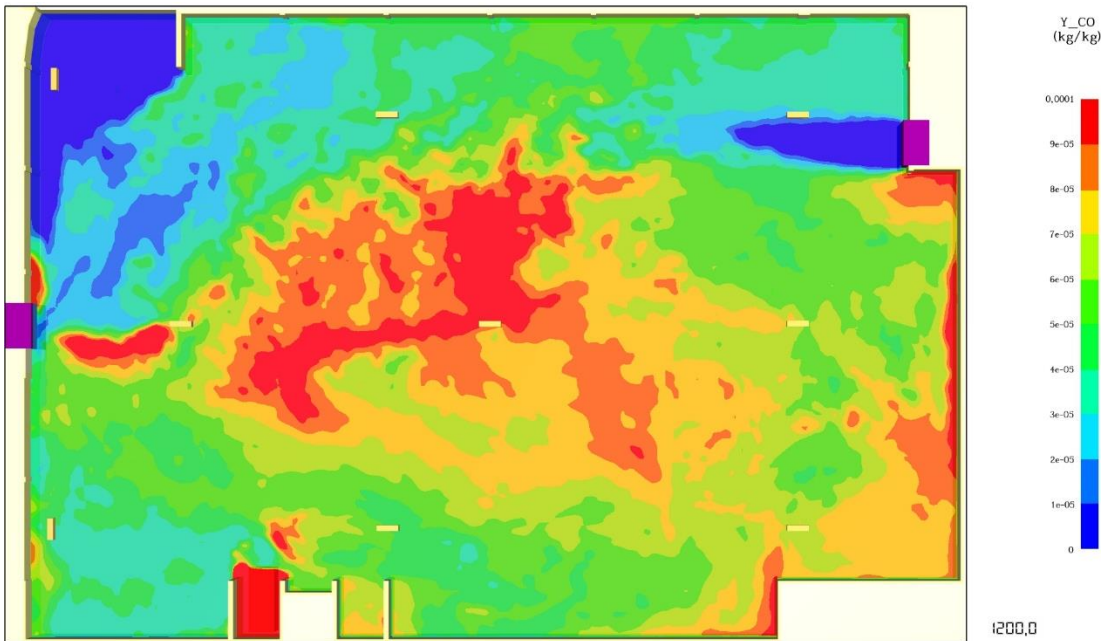
Şekil 4.19 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.20’de 1200. saniyeden on beş dakika sonra yani 2100. saniyeye ulaştığımızda kısmı bölgede 82 ppm’lik değere ulaştığından üç numaralı senaryo başarılıdır.



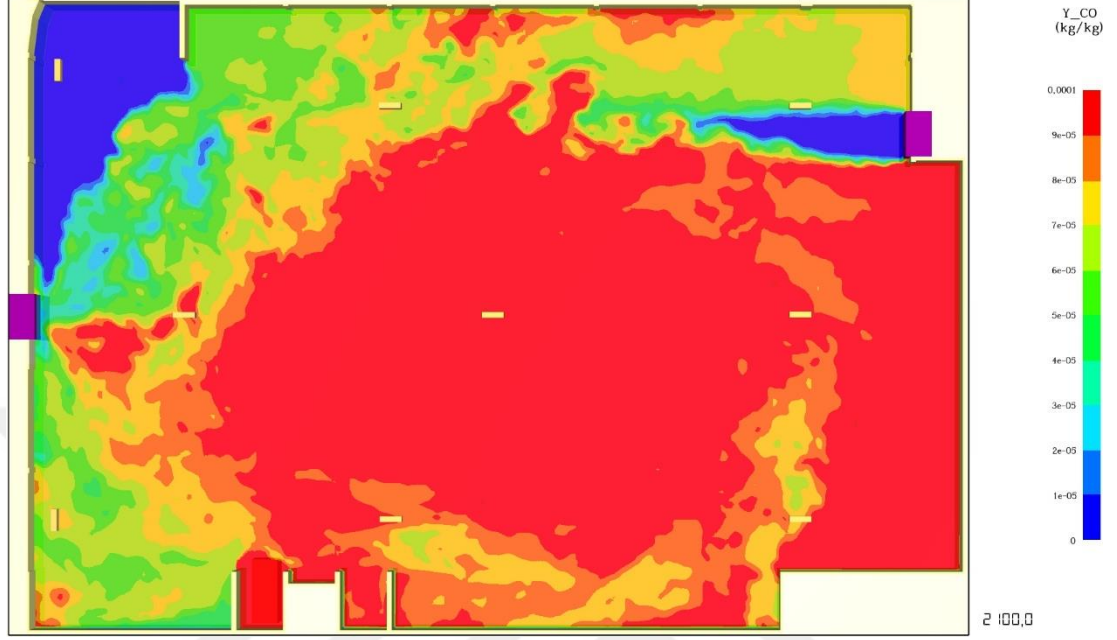
Şekil 4.20 : On hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.21’de yangın yükünün en yüksek olduğu 1200. saniyede otoparkın kaçış noktasında büyükçe bir alanda ortalama 1 ppm’lik zehirli gaz bulunmaktadır. Bu durum standartı karşılamaktadır.



Şekil 4.21 : On beş hava değişimli eksenel jet fanlı senaryo için karbonmonoksit seviyeleri.

Şekil 4.22'de 1200. Saniyeden itibaren on beş dakika sonra yani 2100. saniyeye ulaştığımızda kısmı bölgede 1 ppm'lik değere ulaştığından standartta hedeflenen en yüksek değeri aşmamaktadır.



Şekil 4.22 : On beş hava değişimli aksel jet fanlı senaryo için 2100.sn karbonmonoksit seviyeleri.

5. YORUMLAR

Bu çalışma ortaya çıkardı ki; ülkemizde jet fanlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerini nasıl yapılacağını belirleyen bir Türk standardı yoktur. Ülkemizde, jet fanlı havalandırma sistemleri projelendirilirken yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde fan üreticilerinin büyük bir bölümü İngiliz BS 7346-7:2013 standardına göre sonuçlar yorumlanmaktadır.

Radyal jet fanlı ve 10 hava değişimli analizde kaçış noktasında hız 0,9154 m/s, sıcaklık 40,13°C, görüş mesafesi 3 m ve CO gazı seviyesi 71,5 ppm görüldü. Radyal jet fanlı ve 15 hava değişimli analizde kaçış noktasında hız 1,324 m/s, sıcaklık 29,98°C, görüş mesafesi 30 m ve CO gazı seviyesi 1 ppm görüldü. Eksenel jet fanlı ve 10 hava değişimli analizde kaçış noktasında hız 0,9176 m/s, sıcaklık 38,02°C, görüş mesafesi 3 m ve CO gazı seviyesi 61,5 ppm görüldü. Eksenel jet fanlı ve 15 hava değişimli analizde kaçış noktasında hız 1,318 m/s, sıcaklık 28,15°C, görüş mesafesi 30 m ve CO gazı seviyesi 1 ppm görüldü. Bu sonuçlar Çizelge 5.1’de tablo şeklinde gösterildi.

Çizelge 5.1 : Analiz sonuçları (1200. saniye için).

Jet Fan Tipi	Hız (m/s)		Sıcaklık (°C)		Görüş mesafesi (m)		Karbonmonoksit gazı (ppm)	
	10 hava değişimi	15 hava değişimi	10 hava değişimi	15 hava değişimi	10 hava değişimi	15 hava değişimi	10 hava değişimi	15 hava değişimi
Radyal Jet Fanlı	0,9154	1,324	40,13	29,98	3	30	71,5	1
Eksenel Jet Fanlı	0,9176	1,318	38,02	28,15	3	30	61,5	1

Hız ve sıcaklıklar için yorum yapılacak olursa hem on hem de on beş hava değişimli senaryolarda standartları karşılamaktadır. On beş hava değişimli senaryolarda kaçış noktasında hız artışı belirgin olup, sıcaklıklarda ciddi düşüşler gözlemlendi. Hava

hızının artmasıyla (türbülans) beraber kapalı otoparkın genelinde otoparkın sıcaklığı arttı.

Görüş mesafesi sonuçları için on beş hava değişimli yapılan analizlerde rampalı kaçış bölgesinde ciddi iyileşmeler tespit edildi. Böylelikle itfaiye müdahalesi kolaylaştırıldı.

Zehirlenme açısından bakılacak olursa özellikle saat başına hava değişimi artışlarında karbonmonoksit gazının otoparkın rampalı kaçış bölgesinde düşük seyretmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı insan sağlığı açısından daha az olumsuz etki görülecektir. Radyal jet fanlı ve on hava değişimli senaryoda yangının 2100.saniyesinde CO gazı seviyesi 106 ppm olup standardı (100 ppm) karşılamamaktadır. Bu olumsuz bir durum olup; eksenel jet fanlı ve on hava değişimli senaryoda standardın altında (82 ppm) kalmaktadır.

Karbonmonoksit gazının 2100.saniyede ki sonuçları Çizelge 5.2’de gösterildi.

Çizelge 5.2 : Karbonmonoksit gazı sonuçları (2100. saniye için).

Jet Fan Tipi	10 hava değişimi	15 hava değişimi
Radyal Jet Fan	106	1
Eksenel Jet Fan	82	1

Genel olarak eksenel jet fanlı senaryolarda hız vektörleri, sıcaklık dağılımları ve görüş mesafesi alanlarında küçük iyileşmeler gözlemlendi ancak CO gazı seviyelerinde büyük bir iyileşme gösterdi.

Bu çalışma ortaya çıkardı ki; İngiliz BS 7346-7:2013 standardının tavsiye ettiği saatlik en az on hava değişimi sayısına göre yapılan analizler yeterli gelmemektedir. On beş hava değişimli olarak yapılan analizlerde standartta belirtilen değerlerin altında kalarak yeterli olduğu gösterildi.

KAYNAKLAR

- Alarko-Carrier.** (2007). Fanlar: Özellikleri ve Analiz. *Alarko-Carrier Teknik Bülten*, (24).
- Aironn.** (2018). Euler Teorisi ve Fan Terminolojisinin Temel Kavramları. *Aironn Teknik Bülten*, (1).
- Aveiro, J. L., & Viegas, J. C.** (2010). Smoke control in an underground car park with impulse ventilation. *V European Conference on Computational Fluid Dynamics*, Lisbon: June 14–17.
- Azevedo, J. M. M.** (2007). *Computational Fluid Dynamics of Road Tunnel Fires*. (Master's Degree Thesis). University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Bacak, A.** (2017). Numerical Investigation of Impulse Ventilation System in Underground Car Park, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4, 14–16.
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik.** (2007). T.C. Resmî Gazete, 26735, 19 Aralık 2007.
- Carvel, R. O., Beard, A. N., & Jowitt, P. W.** (2001). The influence of longitudinal ventilation systems on fires in tunnels, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 16 (1), 3–21.
- Carvel, R. O., Beard, A. N., Jowitt, P. W., & Drysdale, D. D.** (2005). Fire size and fire spread in tunnels with longitudinal ventilation systems, *Journal of Fire Sciences*, 23, 485-518.
- Chow, W. K.** (1998). On safety systems for underground car parks, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13 (3), 281–287.
- Çengel, Y., & Cimbala, J. M.** (2006). *Fluid mechanics: fundamentals and applications*. Boston, MA: McGraw-Hill.
- CVSair Havalandırma Sistemleri.** (2016). *CVS Air Teknik Bülten*, (1).
- Deardorff, J. W.** (1970). A numerical study of three-dimensional turbulent channel flow at large Reynolds numbers, *Journal of Fluid Mechanics*, 41 (2), 453-480.
- Deckers, X., Haga, S., Tilley, N., & Merci, B.** (2013). Smoke control in case of fire in a large car park: CFD simulations of full-scale configurations, *Fire Safety Journal*, 57, 22–34.
- EFAFLU Bombas e Ventiladores.** (2010). Catalogo Ventilacao, *EFAFLU Boletim Técnico*, (1).
- Joyeux, D.** (1997). Natural Fires in Closed Car Parks: Car Fire Tests (INC-96/ 294d-DJ/NB). Saint-Aubin: CTICM.
- Jung, D. Y., Lee, B. H., & Kim, S. W.** (2002). Development of battery management system for nickel-metal hydride batteries in electric vehicle applications. *Journal of*

Power Sources, 109 (1), 1–10.

Karki, K. C., Patankar, S. V., Rosenbluth, E. M., & Levy, S. S. (2000). CFD Model for Jet Fan Ventilation Systems, 10th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels Principles, Boston: November 1-3.

Khatoon, S., & Shah, A. N. (2016). Prediction of Comfort Parameters for Naturally Ventilated Underground Car Parks, *The Nucleus*, 53 (3), 214-220.

Klote, J. H., & Milke, J. A. (2002). Principles of smoke management. ASHRAE.

Kurioka, H., Oka, Y., Satoh, H., & Sugawa, O. (2003). Fire properties in near field of square fire source with longitudinal ventilation in tunnels. *Fire Safety Journal*, 38 (4), 319–340.

Lee, S. R., & Ryou, H. S. (2006). A numerical study on smoke movement in longitudinal ventilation tunnel fires for different aspect ratio. *Building and Environment*, 41 (6), 719–725.

Lemaire, T., & Kenyon, Y. (2006). Large Scale Fire Tests in the Second Benelux Tunnel. *Fire Technology*, 42 (4), 329–350.

Li, J. S. M., & Chow, W. K. (2003). Numerical studies on performance evaluation of tunnel ventilation safety systems. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18 (03), 435–452.

Lu, S., Wang, Y. H., Zhang, R. F., & Zhang, H. P. (2011). Numerical study on impulse ventilation for smoke control in an underground car park. *The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering*, 11, 369–378.

Maele, K. Van, & Merci, B. (2008). Application of RANS and LES field simulations to predict the critical ventilation velocity in longitudinally ventilated horizontal tunnels. *Fire Safety Journal*, 43, 598–609.

Mangs, J., & Keski-Rahkonen, O. (1994a). Characterization of the fire behaviour of a burning passenger car. Part I: Car fire experiments. *Fire Safety Journal*, 23 (1), 17–35.

Mangs, J., & Keski-Rahkonen, O. (1994b). Characterization of the fire behaviour of a burning passenger car. Part II: Parametrization of measured rate of heat release curves. *Fire Safety Journal*, 23 (1), 37–49.

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., & Vanella, M. (2019). Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model (Vol. 1).

Merci, B., & Shipp, M. (2013). Smoke and heat control for fires in large car parks: Lessons learnt from research? *Fire Safety Journal*, 57, 3–10.

Merci, B., Taerwe, L., Vandeveld, P., Van den Bulck, E., Van den Schoor, F., van Beeck, J., & Vantomme, J. (2011). Fundamental design approaches for improvement of the Fire Safety in Car Parks (080010). Flanders: IWT Agency for Innovation by Science and Technology.

Morgan, H. P., & De Smedt, J.-C. (2004). Hot smoke tests: testing the design performance of smoke and heat ventilation systems and of impulse ventilation. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 6 (1), 7–18.

- NFPA Standards.** (2014). NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems.
- Noordijk, L., & Lemaire, T.** (2005). Modelling of fire spread in car parks. *Heron*, 50 (4), 209–218.
- Senveli, A., Dizman, T., Celen, A., Bilge, D., Dalkılıç, A. S., & Wongwises, S.** (2015). CFD Analysis of Smoke and Temperature Control System of an Indoor Parking Lot with Jet Fans. *Journal of Thermal Engineering*, 1 (2), 116-130.
- Shipp, M.** (2010). Fire Spread In Car Parks (BD2552). London: Department for Communities and Local Government, UK.
- Shipp, M., & Spearpoint, M.** (1995). Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles. *Fire and Materials*, 19 (3) 143-151.
- Smagorinsky, J.** (1963). General circulation experiments with the primitive equations. *Monthly Weather Review*, 91 (3) 99-164.
- Špiljar, Ž., Drakulić, M., & Schneider, D. R.** (2018). Analysis of Jet Fan Ventilation System installed in an Underground Car Park with Partition Walls. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 6 (2), 228–239.
- The BSI Standards.** (2013). BS 7346-7: 2013 Components for smoke and heat control systems. Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks.
- Umamaheswararao, L.** (2017). Optimum Design of Impulse Ventilation System in Underground Car Parking Basement by Using CFD Simulation. *Industrial Engineering & Management*, 6 (4), 4–9.
- V.d.Giesen, B. J. M., Penders, S. H. A., Loomans, M. G. L. C., Rutten, P. G. S., & Hensen, J. L. M.** (2011). Modelling and simulation of a jet fan for controlled air flow in large enclosures. *Environmental Modelling and Software*, 26 (2), 191–200.
- Vega, Monca Galdo, Diaz, Katia Maria Argüelles, Oro, Jesus Manuel Fernandez, Tajadura, Rafael Ballesteros and Morros, C. S.** (2008). Numerical 3D Simulation of a Longitudinal Ventilation System: Memorial Tunnel Case. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, 539–551.
- Veiga, N. G.** (2009). *Numerical simulation of a flow induced by a fire in a covered car park.* (Thesis). University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Viegas, J. C.** (2006). The use of jet fans to improve the air quality in underground car parks. *Healthy Buildings: Creating a Healthy Indoor Environment for People*, 4, 227–232.
- Viegas, J. C.** (2009). The use of impulse ventilation to control pollution in underground car parks. *International Journal of Ventilation*, 8 (1), 57–74.
- Viegas, J. C.** (2010). The use of impulse ventilation for smoke control in underground car parks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25 (1), 42–53.
- Viegas, J. C., & Saraiva, J. G.** (2001). CFD study of smoke control inside enclosed car parking using jet fans. *In InterFlam 2001: 9 th International Fire Science & Engineering Conference*, 1465–1470.

Viegas, J. C., & Saraiva, J. G. (2002). Avaliação com recurso a CFD da aplicação de ventiladores de impulso a parques de estacionamento cobertos. *Proceedings of Métodos Numéricos en Ingenieria V*. Madrid: SEMNI.

Yazıcı, İ.U. (2017). *Jet Fanlı Otopark Havalandırma Sistemi HAD Analizi Kılavuzu* (1.bs.). İstanbul: TTMD Yayınları.

Xiaojun, C. (2008). Simulation of temperature and smoke distribution of a tunnel fire based on modifications of multi-layer zone model. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23 (1), 75–79.

Zhang, X. G., Guo, Y. C., Chan, C. K., & Lin, W. Y. (2007). Numerical simulations on fire spread and smoke movement in an underground car park. *Building and Environment*, 42 (10), 3466–3475.

Zhang, Y., Ding, J., Wang, X., Yang, R., & Lin, K. (2006). Influence of additives on thermal conductivity of shape-stabilized phase change material, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90 (11), 1692–1702.

Zhao, B., & Kruppa, J. (2004). Structural behaviour of an open car park under real fire scenarios. *Fire and Materials*, 28 (24), 269–280.

EKLER

EK A: Radyal Jet Fan Özellik Belgesi

EK B: Eksenel Fan Özellik Belgesi




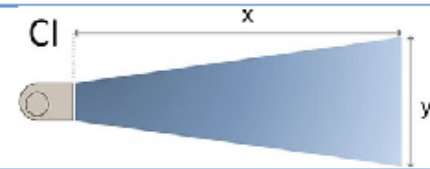
EK C: Örnek Bir Kurum Binasının Bodrum Kat Planı

EK D: Eksenel Jet Fan Özellik Belgesi



EK A

10.05.2016

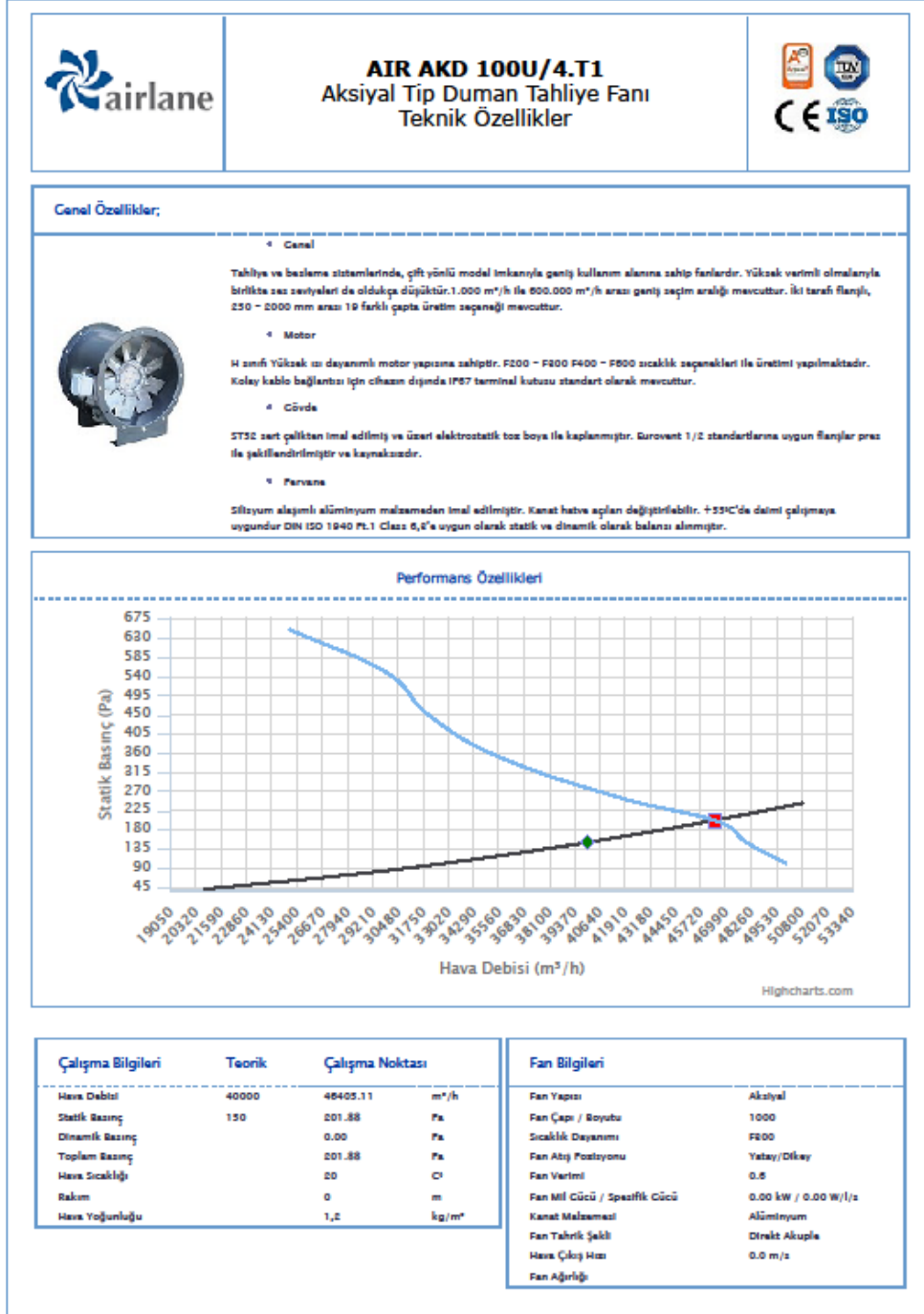
	AIR CI - 50 - 4/8T - F - 300 Radyal Jet Fan Teknik Özellikler													
Genel Özellikler;														
	<ul style="list-style-type: none">▶ 800 °C / 2 saat dayanımlı radyal jet fan▶ Uzun abaj mesafeli▶ Çerçeve eğik kanat yapısı▶ Gövde dışında bağlantı kutusu▶ Modüle bağlı tek ve çift devirli motor seçenekleri▶ H sınıfı motor▶ IP55 koruma sınıfı▶ (-20) / (+40) °C sürekli çalışma													
Performans Özellikleri														
	<table border="1"><tr><td>İtme Mesafesi (X)</td><td>85</td><td>m</td></tr><tr><td>Süpürme Mesafesi (Y)</td><td>15</td><td>m</td></tr><tr><td>Debi</td><td>6.840/2.420</td><td>(m³/h)</td></tr><tr><td>İtme</td><td>60/28</td><td>N</td></tr></table>	İtme Mesafesi (X)	85	m	Süpürme Mesafesi (Y)	15	m	Debi	6.840/2.420	(m ³ /h)	İtme	60/28	N	
İtme Mesafesi (X)	85	m												
Süpürme Mesafesi (Y)	15	m												
Debi	6.840/2.420	(m ³ /h)												
İtme	60/28	N												
Fan Bilgileri														
Fan Yapısı	Radyal													
Fan Çapı / Boyutu	500													
Sıcaklık Dayanımı	F800													
Fan Abaj Postayonu	Yatay/Dikey													
Fan Verimi	0.8													
Fan Mil Gücü / Spesifik Gücü	0.00 kW / 0.00 W/l/s													
Kanat Malzemesi	Alüminyum													
Fan Tahrik Şekli	Direkt Akupla													
Hava Çıkış Hızı	0.0 m/s													
Fan Ağırlığı														

1/3

Şekil A.1 : Radyal Jet Fan Özellik Belgesi.

EK B

10.06.2016



12

Şekil B.1 : Eksenel Fan Özellik Belgesi.

EK C



Şekil C.1 : Örnek Bir Kurum Binasının Bodrum Kat Planı.



AKSİYAL JET FAN



CI-A Serisi
Aksiyal Jet Fan





GENEL 315, 355, 400, 450 mm çap aralığında olup, 9 newton ile 87 newton itki kuvveti aralığında üretilmektedir. Çalışma sıcaklığı 200°C / 2 h - 300°C / 2 h - 400°C / 2 h dir.

PERVANE Alüminyum mamulden üretilmiş olup Aksiyal tiptedir. Çift taraflı çalışma imkanı vardır. Optimum itme gücü için tasarlanmış ayarlanabilir alüminyum kanatlar.

GÖVDE Galvaniz malzemeden üretilmiş olup üzeri elektrostatik toz boya ile kaplıdır. Korozyona dayanıklı mamuldür. Montajı pratik ve kolaydır. Çift taraflı susturuculudur.

MOTOR Termik korumalı direkt akuple motorlar bilya yataklı ve uzun ömürlüdür. Tüm modeller 380 V ile çalışır. Koruma sınıfı IP55. H sınıfı motora sahiptir.

TEKNİK ÖZELLİKLER

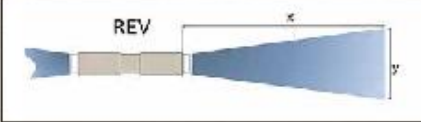
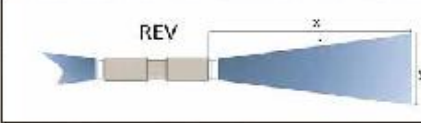
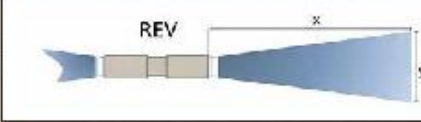
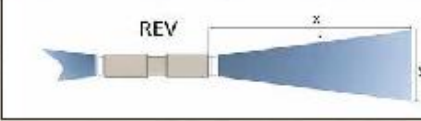
MODEL	MAX. DEBİ (m ³ /h)	GÜÇ (kWatt)	SES (dBA)	AKIM (amp)	DEVİR (dk)	İTKİ GÜCÜ (N)
CI-A 31U/2-4T	4800/2400	0,80/0,20	52/37	1,90/0,20	2850/1450	35/9
CI-A 35U/2-4T	7200/3600	1,50/0,37	52/37	1,90/0,20	2850/1450	58/14
CI-A 40U/2-4T	9800/4900	2,20/0,55	53/38	2,30/1,00	2850/1450	75/18
CI-A 45U/2-4T	12800/6400	2,20/0,55	58/43	2,30/1,00	2850/1450	87/25



101

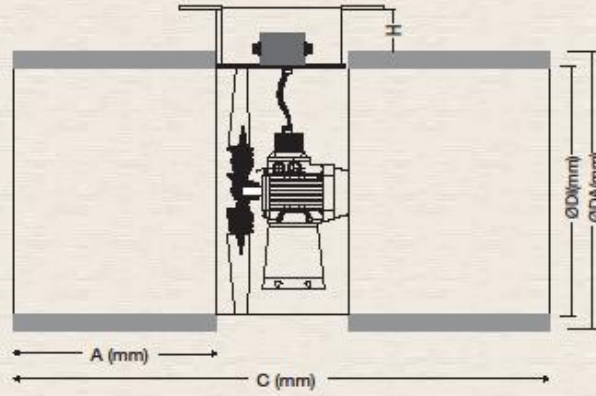
Şekil D.1 : Eksenel Jet Fan Özellik Belgesi.

HAVA PERFORMANS VERİLERİ

	İtme Mesafesi (X)	25	m	CI-A 31
	Süpürme Mesafesi (Y)	11	m	
	Debi	4.800/2.400	(m ³ /h)	
	İtme	35/9	N	
	İtme Mesafesi (X)	30	m	CI-A 35
	Süpürme Mesafesi (Y)	13	m	
	Debi	6.000/3.000	(m ³ /h)	
	İtme	58/14	N	
	İtme Mesafesi (X)	40	m	CI-A 40
	Süpürme Mesafesi (Y)	17	m	
	Debi	9.800/4.900	(m ³ /h)	
	İtme	75/18	N	
	İtme Mesafesi (X)	45	m	CI-A 45
	Süpürme Mesafesi (Y)	19	m	
	Debi	12.800/6.400	(m ³ /h)	
	İtme	87/25	N	

ÖLÇÜLER

MODEL	ÖLÇÜLER / mm				
	A (mm)	C (mm)	DI (mm)	DA (mm)	H (mm)
CI-A 31U/2-4T	600	1700	315	415	100
CI-A 35U/2-4T	600	1700	355	450	100
CI-A 40U/2-4T	800	2100	400	500	100
CI-A 45U/2-4T	800	2100	450	550	100



102

Şekil D.2 : Eksenel Jet Fan Özellik Belgesi.

ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad : Mustafa Sinan BAKIR
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.06.1990 - Bursa
E-posta : msinanb@yandex.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ekim 2014 - Eylül 2016 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi - Proje Kontrol Mühendisi
- Eylül 2016 - Devam eden: Bursa Büyükşehir Belediyesi - Kontrol Mühendisi

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Bakır, M. S. & Sökmen, K. F.** (2018). An Investigation of Radial Jetfan Ventilation System's Performance in Underground Car Park by Computational Fluid Mechanics, *International Congress on Engineering and Architecture*, (pn.7). Alanya: Haydarpasha Palace Hotel, November 14-16.

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

-