MÜHENDİSLİK ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER



EDİTÖRLER
Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

MÜHENDİSLİK ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER

EDİTÖRLER
PROF. DR. HÜLYA KALAYCIOĞLU
DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

MÜHENDİSLİK ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER

KİTAP EDİTÖRLERİ
Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları: 45/2020
ARALIK-2020

Yayıncı Sertifika No: 36934
E-ISBN: 978-605-7594-55-6
Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları

Bu çok bölümlü bilimsel kitabının her türlü yayın hakkı GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI'na aittir. Yayınevinin yazılı izni olmadan, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayını, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz. Kitapta yer alan her bölüm sorumluluğu, görseller, grafikler, direkt alıntılar ve etik/kurum iznine yönelik sorumluluk ilgili yazar(lar)a aittir. Oluşabilecek Herhangi Hukuki bir olumsuzlukta yayınevi başta olmak üzere kitabın hazırlanmasına destek sağlayan kurullar, kitabın düzenlenmesi ve tasarımından sorumlular kurum(lar) ve kitap editörler hiçbir konuda "maddi ve manevi" bir yükümlülük ve hukuki sorumluluğu kabul etmez, hukuki yükümlülük altına alınamaz. Her türlü hukuki yükümlülük ve sorumluluk "maddi ve manevi" yönden ilgili bölüm yazar(lar)ına aittir. Bu yöndeki haklarımızı maddi ve manevi yönden GÜVEN GRUP DANIŞMANLIK "YAYINCILIK"A.Ş. olarak saklı tutarız. Herhangi bir hukuki sorunda/durumda İSTANBUL mahkemeleri yetkilidir. Güven Plus Grup Danışmanlık bünyesinde hazırlanan ve yayınlan bu eser ISO: 10002:2014-14001:2004-9001:2008-18001:2007 belgelerine sahiptir. Bu eser TPE "Türk Patent Enstitüsü" tarafından "Güven Plus Grup A.Ş. 2016/73232" ve "2015/03940" nolu tescil numarası ile markalı bir eserdir. Bu bilimsel/akademik kitap ulusal ve uluslararası nitelikte olup, akademik teşvik kriterlerini ve uluslararası doçentlik kriterlerini karşılamaktadır. GÜVEN PLUS GRUP YAYINCILIK A.Ş'nin uluslararası yayın evi olduğuna ilişkin İstanbul Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü İstanbul Basma Yazı ve Resimleri Derleme Müdürlüğü tarafından Sayı: 37666426-207.01[207.02.02]-E.62175 21.01.2019 tarihli resmi yazısı ile teyit edilebilir. Çok bölümlü/yazarlı olan bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı Milli Kütüphaneler tarafından ve 18 Farklı Dünya Ülkesiyle Anlaşmalı olan Milli Kütüphanenin E-Erişim sistemi tarafından da taranmaktadır. Bu kitap maddi bir değer ile alınıp satılamaz. Kitap bölüm yazarlarından, destekleyenlerden, kitapta emeği geçenlerden Güven Plus Grup A.Ş. Yayıncılık herhangi bir maddi bir gelir elde etmemiş ve talepte bulunmamıştır. Bu bilimsel çok bölümlü kitapta yer alan bölümlerden alıntı yapmak ve ilgili bölüme ya da tamamına atıf yapılmak koşulu ile kaynak gösterilmek üzere bilimsel ya da ilgili araştırmacılar tarafından kullanılabilir. ***BU ELEKTRONİK PDF FORMATINDAKİ KİTAP ÜCRET KARŞILIĞINDA ALINIP SATILAMAZ. KİTABIN HER TÜRLÜ HAKLARI YAYINEVİNE AİTTİR. BU KİTAPTA TOPLAM 26 FARKLI BAŞLIKTA BÖLÜM VE YAZAR(LAR) BULUNMAKTADIR.***

Metin ve Dil Editörü
Prof. Dr. Asuman Seda SARACALOĞLU
Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Prof. Dr. Mustafa TALAS
Doç. Dr. Gökşen ARAS
Dr. Öğr. Üye. M. Hayrullah AKYILDIZ
Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

Kapak Tasarımı
Prof. Dr. Pelin AVŞAR KARABAŞ

Sayfa Düzeni
Burhan MADEN

Baskı-Cilt
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul
Tel: +902128014061- 62 Fax:+902128014063 Mobile:+9053331447861

KİTAP/DERGİ/KONGRE İMTİYAZ SAHİBİ
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul
Tel: +902128014061-62-63 - +905331447861 info@guvenplus.com.tr, www.guvenplus.com.tr

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **7**

BÖLÜM 1
ARAÇ ÖN KAPUT MENTEŞESİ TORK ÖLÇÜMÜ VE KALİTE KONTROL BANKOSU TASARIMI **9**

ARŞ. GÖR. VEDAT YEĞİN, PROF. DR. DURMUŞ KARAYEL

BÖLÜM 2
FLOWFORMING PROSESİNİN AISI 5140 ÇELİK MALZEMEYE UYGULANARAK MİKRO-YAPI VE MUKAVEMET AÇISINDAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ **53**

ACAR CAN KOCABIÇAK, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 3
FOTOLİTOGRAFİ TEKNİĞİ İLE MANYETİK MİKRO AYGITLARIN ÜRETİMİ **76**

DOÇ. DR. CİHAT BOYRAZ

BÖLÜM 4
TİTANYUM VE SÜPER ALAŞIMLARDA SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN ETKİLERİ **102**

ARŞ. GÖR. BAHATTİN YILMAZ, PROF. DR. ABDULKADİR GÜLLÜ

BÖLÜM 5
UÇAK KOLTUĞUNUN YAPISAL ANALİZİ VE TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU **121**

SERHAT ERDEN, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 6
CP-Tİ METALLERİNİN ERGİMELİ KAYNAK UYGULAMALARININ İNCELENMESİ **151**

DOÇ. DR. MEMDUH KURTULMUŞ, EZGİ DOĞAN

BÖLÜM 7
VİNÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KANCALARIN TASARIMI, İMALATI VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ **169**

ÖMER ŞENGÜL, DR. ÖĞR. ÜYESİ MENDERES KAM

BÖLÜM 8
KAPALI OTOPARKLARDA JET FANLI HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ .. **188**

DOÇ. DR. AYHAN ONAT, SİNEM SULTANSU

BÖLÜM 9
HCCI MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR 219

ÖĞR. GÖR. GÜVEN DEMİRTAŞ, DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA KEMAL BALKİ,
DR. ÖĞR. ÜYESİ SİNAN ERDOĞAN, DOÇ. DR. AYHAN ONAT,
PROF. DR. CENK SAYIN

BÖLÜM 10
PETROL BORULARINDA KOROZYON ETKİSİNİN İNCELENMESİ 256

KAMAL EDDİN ISMAEIL, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 11
SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ B_4C PARÇACIK TAKVİYELİ MAGNEZYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMENİN RADYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ..... 287

DOÇ. DR. UĞUR GÖKMEN, ÖZLEM YILMAZ, PROF. DR. SEMA BİLGE OCAK

BÖLÜM 12
SAĞLIKTA KABLOSUZ VÜCUT ALANI SENSÖR AĞI SİSTEMİ..... 310

PERİHAN DİKİLİ

BÖLÜM 13
3B YAZICILAR VE 3B METAL YAZICILARDA BASKI HATALARININ İNCELENMESİ

ALPER ÖNER, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 14
BAZALT TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ 368

FATİH ŞAHİN, PROF. DR. YUSUF ŞAHİN,
DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 15
HSS, TIN VE TIALN KAPLAMALI MATKAP TAKIMLARI KULLANILARAK AISI D2 ÇELİĞİ ÜZERİNE DELİK DELME İŞLEMLERİ UYGULAMASI..... 384

ACAR CAN KOCABIÇAK, DR. ÖGR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 16
DİŞLİ ÇARKLAR VE UYGULAMALARI 408

DOÇ. DR. HÜSEYN MİRZAYEV

BÖLÜM 17
DÜZ DİŞLİ ÇARKLARDA KAPLAMANIN YÜZEY AŞINMASI VE YORULMAYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ..... 435

ABDULL GHAFOOR SHAIB, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 18
GEMİ GÖVDE SACLARINDA; SAW VE FCAW KAYNAK UYGULAMALARI VE ETKİLERİNİN FARKLI TEST YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ 466

SERAP ÖZHAN DOĞAN, ONUR KOŞAR, BURAK GALIP ANIK

BÖLÜM 19
BİSİKLET TASARIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPISAL ANALİZİNİN OPTİMİZASYONU 490

KENAN KOÇYİĞİT, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 20
ÇATI TİPİ KLİMALARDA EKOTASARIM KRİTERLERİ VE SEZONSAL VERİMLİLİK 527

DOÇ. DR. AYHAN ONAT, MEHMET ONUR OKUDAN

BÖLÜM 21
ÇÖP ŞUTU SİSTEMİNİN KULLANIMI VE GÜNCEL TASARIMI 560

KÜRŞAT TANRIVER, DR. ÖĞR. ÜYESİ. SENAI YALÇINKAYA

BÖLÜM 22
KOMPOZİTLERDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARININ BAZI UYGULAMA ALANLARI 588

PROF. DR. YUSUF ŞAHİN

BÖLÜM 23
METAL MALZEMELERDE ÇATLAK TESPİTİ VE ONARIM YÖNTEMLERİ 626

ALPER ÖNER, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA, EMRE PETEKKAYA

BÖLÜM 24
KOMPOZİT MALZEMELERDE YAYGIN KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ 680

PROF. DR. YUSUF ŞAHİN

BÖLÜM 25
KURŞUNLU VE KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARINDA İŞLENEBİLİRLİK YAKLAŞIMI 714

SERAP ÖZHAN DOĞAN

BÖLÜM 26
MARMARAY DEMİRYOLU HATTINDA RAY KUSURLARININ ULTRASONİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ VE RAY KUSURLARININ YOĞUNLAŞTIĞI HAT KISIMLARININ TESPİTİ 740

MAK. YÜK. MÜH. OSMAN KILIÇ, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

ÖNSÖZ

Dünyamızda doğa, sağlık, sosyal vb. alanlarda birçok olumsuzluk yaşanırken; bunların ve diğer problemlerin çözümüne yönelik olarak genel anlamda endüstride, teknolojik gelişmeler zorunluluk halini almaktadır. Kalite rekabeti, konfor arzusu, korku ve endişenin de tetiklediği teknolojik gelişmeler, takipte zorlanılacak derecede ve çok sayıda yüzleştiğimiz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda yapılan akademik çalışmalar; kimi zaman açık erişimli siteler, kimi zaman da kongre, panel, süreli yayınlar ve bilimsel kitaplar şeklinde muhataplarıyla buluşturulmaktadır.

Biz de, birbirinden kıymetli akademisyenlerin araştırmalarını kapsayan, yirmi altı farklı bölümden oluşan "Mühendislik Alanında Teknolojik Gelişmeler" adını verdiğimiz bu akademik kitap çalışması ile çorbada tuzumuz olsun istedik. Bu kitabı; yayınlarının önemli bir bölümünü akademik kitaplardan oluşan, Ulusal ve Uluslararası alanda nitelikli faaliyetleriyle oldukça saygınlık kazanmış olan "Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları" aracılığı ile siz değerli bilim insanları ve endüstri çalışanlarının hizmetine sunuyoruz.

Bu kitap, birçok mühendislik konuları ve deneysel çalışmalar ile uygulama yapılmış akademik konulardan meydana gelmiştir. Kitapta; flowforming proseslerinden araç, uçak koltuğunun yapısal analizine, vinç sistemlerinin kullanılmasından dişli çarklara, 3D metal yazıcılara, bazalt takviyeli kompozit malzemelere, gemi gövde saclarından Marmaray Demiryolu hattında ortaya çıkan problemlerin çözümüne kadar birçok önemli konuda değerli araştırma ve deneysel çalışmaları bulacaksınız.

Mühendislik teknolojilerinin birçok ilgi çekici konularına değinilen bölümlerin yer aldığı kitabın, çok sayıda araştırmacının akademik çalışmalarına ışık tutacağına, Yükseköğretim Kurumu kataloglarında, kamu kütüphanelerinde ve kişisel arşivlerde oldukça değerli bir yer bulacağına inanıyoruz.

Uzun zaman alan ve büyük bir titizlikle yapılan çalışmaların sonucu olarak ortaya çıkan bu önemli eserin gerçekleşmesinde emeği geçen saygıdeğer editörlerimize, yazarlarımıza, hakemlerimize ve kitabımızı edinen siz sevgili okurlarımıza teşekkürlerimizi sunarız. Aralık 2020.

Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

In our world, while there are many negativities in the areas of nature, health, social, etc.; technological developments are becoming a necessity in the industry in general for the solution of these and other problems. Technological developments, triggered by quality competition, desire for comfort, fear and anxiety, emerge as a fact that we face in many and difficult to follow. Academic studies conducted in this context; It is brought together with its interlocutors, sometimes in the form of open-access sites, and sometimes in the form of congresses, panels, periodicals and scientific books.

We wanted to have a finger in the pie with this academic book study called "Technological Advances in Engineering", which consists of twenty-six different chapters and covers the researches of valuable academicians. This book; we present it to you, valuable scientists and industry employees through "Güven Plus Grup Inc. Publications" which a major part of its publications consisting of academic books, has gained a great reputation with its qualified activities in the national and international arena.

This book consists of many engineering subjects and experimental studies and applied academic subjects. In the book; You will find valuable research and experimental studies on many important subjects, from flowforming processes to structural analysis of vehicles and aircraft seats, from the use of crane systems to gear wheels, 3D metal printers, basalt reinforced composite materials, from ship hull sheets to solving problems that arise on the Marmaray Railway line.

We believe that the book, which includes chapters dealing with many interesting topics of engineering technologies, will shed light on the academic studies of many researchers, and will find a valuable place in the catalogs of the Higher Education Institution, public libraries and personal archives.

We would like to express our gratitude to our esteemed editors, writers, referees and you, our dear readers, who have contributed to the realization of this important work, which emerged as a result of the long-lasting and meticulous work. December 2020.

Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU Assist. Prof. Senai YALÇINKAYA

BÖLÜM 8
KAPALI OTOPARKLARDA JET FANLI HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Doç. Dr. Ayhan ONAT[1], Sinem SULTANSU[2]
[1]Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul / TÜRKİYE
[2]Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul / TÜRKİYE

ÖZ: Binaların genellikle bodrum katları kapalı otopark alanı olarak kullanılmakta ve otoparklarda bulunan araçlardan yayılan egzozun içerisinde insan sağlığına zarar verecek gazlar bulunmaktadır. Genellikle yer altında konumlandırılan kapalı otoparkların, fiziki açıdan incelendiğinde doğal yollar ile havalandırılması mümkün değildir. Bu nedenle zararlı gazların yoğunluğunu belirli sınırların altında tutabilmek için havalandırma sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Kapalı otoparklarda yangın ihtimaline karşı, bu sistemlerin sadece günlük havalandırma için değil, aynı zamanda yangın esnasında acil durum havalandırma sistemi olarak da çalışması gerekmektedir. Bu sistemlerden birisi de, geleneksel havalandırma kanallarına ihtiyaç olmadan tasarlanmış ve havayı sistemdeki fanların itme gücünün etkisi ile hareketlendiren jet fan sistemidir. Örnek uygulamada alanı 2033 m² olan kapalı bir otopark için jet fan sistemi tasarlanmış Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile simülasyonları yapılmıştır. Jet fan sistemi, günlük havalandırma ihtiyacına hizmet verirken, yangın esnasında da çalışacak şekilde tasarlanmıştır. CFD analizlerinde günlük havalandırma için CO ve hava hızı olmak üzere iki ayrı parametre, yangın simülasyonlarında ise CO_2, CO, sıcaklık, duman konsantrasyonu ve hava hızı olmak üzere beş ayrı parametre değerlendirilmiştir.

GİRİŞ

İç ortamdaki kirli, kalitesiz ve konfora uygun olmayan havanın daha iyi koşullardaki dış hava ile değiştirilmesi işlemine havalandırma denilir. Yaşayan bütün canlılar özellikle insanlar için havalandırma, oksijen sağlanması, CO_2 oranın istenilen seviyede tutulması ve sıcaklığın kontrolü gibi yaşamsal fonksiyonları düzenler. Konfor amaçlı havanın sıcaklığını, nemini, hızını istenilen değere getirmek için yapılan havalandırma işlemi, istenmeyen kokuları da azaltarak daha rahat ve hijyenik yaşam koşulları sağlar. Endüstriyel işlemler için yapılan havalandırma

ise makineler ve endüstriyel tesis ortamındaki atık gazları, zehirliliği ve olası patlama risklerini minimize ederek kontrol altına alma işlemidir (Özceviz, Tari, Onat, 2018).

Kapalı otopark havalandırma sisteminin amacı ise kapalı otoparkın herhangi bir noktasında tehlikeli CO gazının birikmesini engellemek ve duman görüş mesafesini istenilen değerde tutabilmektir. Havalandırma ile araçlardan yayılan diğer kirletici maddeler de dışarı atılmaktadır. Bir diğer önemli amaç ise, yangın durumunda ortaya çıkabilecek dumanların Binaların Yangından Korunması Yönetmeliğine uygun olarak dışarı atılmasını sağlamaktır.

Son yıllarda, jet fanlı otopark havalandırma ve duman kontrol sistemleri, sağladığı avantajlar nedeniyle, kanallı havalandırma sistemlerine oranla daha fazla tercih edilmektedir. Kanallı sistemlerde, kanal uygulaması sebebiyle maliyetler yüksektir ve kanaldaki sürtünme sebebiyle oluşan basınç kayıpları sistemde kullanılan fanların boyutlarını ve motor güçlerini arttırmaktadır. Bu nedenle kanallı sistemlerde kullanılan fanlar daha çok enerji tüketmektedirler.

Jet fanlar genellikle yüksek miktarlardaki havanın, yüksek bir hız ile taşınması gereken durumlarda örneğin otoparklarda ve tünellerde kullanılırlar (Giesen, Penders, Loomans, Rutten, Hensen, 2011). Otoparklarda jet fan kullanımı, tünellerde havalandırma için kullanılan jet fanların kapalı otoparklara uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır. Jet fanlı sistem otoparklarda iki farlı amaç için kullanılmaktadır.

- Günlük havalandırmada zehirli gazların yoğunluğunu seyreltmek,
- Yangın esnasında ise duman yoğunluğu azaltmak ve görüş mesafesini arttırmak.

Olası bir yangında, yanma sonucu meydana gelen toksik etkili gazlar ve duman, hızlı bir şekilde otopark içerisine yayılarak görüş mesafesini kısıtlamaktadır. Bunun sonucunda eğer mahalde havalandırma sistemi kurulu değil ise itfaiye ekiplerinin yangına müdahalesi ve insanların otoparktan tahliyesi zorlaşmaktadır. Hayati önem taşıyan otopark havalandırması ile ilgili ülkemizde ve dünyada yönetmelikler yayınlanmış, bu sistemlerin dizaynı için uluslararası standartlar getirilmiş ve gelişen teknolojiye bağlı olarak da standartlar sürekli yenilenmektedir.

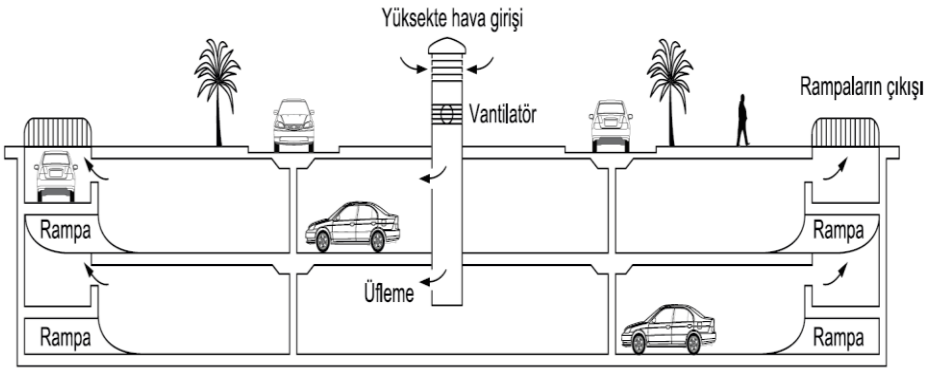
KAPALI OTOPARK HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Uygulanan sistem hangisi olursa olsun, daha önce verilen kriterlerin sağlanabilmesi için havalandırma debisinin uygun olması gerekmektedir. Kapalı otoparklarda uygulanan sistemler aşağıda verilmektedir. Son yıllarda yapılan uygulamalarda jet fanlı sistemlerin çok daha fazla kullanıldığı bilinmektedir.

KANALLI KAPALI OTOPARK HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Sadece Üflemeli (Beslemeli) Kanallı Havalandırma Sistemi

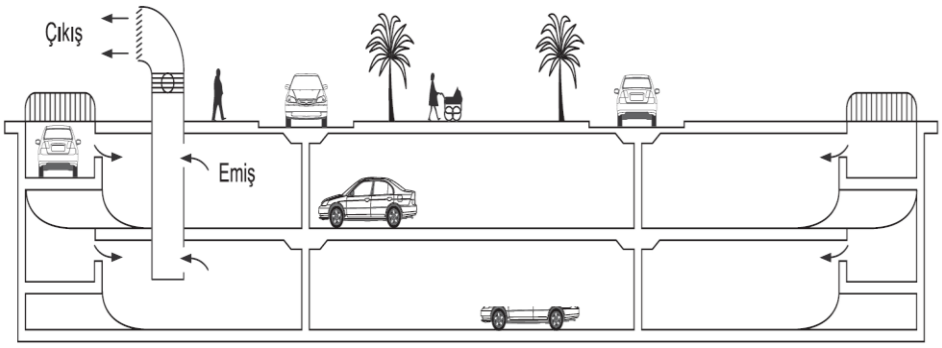
Bu sistemin en önemli farkı, üflenen havanın doğrudan dışarıdan temiz hava olarak alınmasıdır. Bu uygulama ile otopark içerisinde pozitif basınç oluşturulur. İçerideki kirli hava, otopark içerisinden dışarı açılan rampalardan dışarı çıkar. Dışarı çıkan (atılan) ve içerisinde yüksek oranda CO bulunan bu kirli hava, yaşam alanlarına, park ve caddelere kontrolsüz bir şekilde yayılabilir. Bununla birlikte duman tahliyesi gerektiren uygulamalarda bu yöntem kullanılmaz. Şekil 1'de sadece üflemeli (beslemeli) kapalı otoparkın havalandırma sistemleri verilmektedir.



Şekil 1. Sadece üflemeli (beslemeli) kapalı otoparkın havalandırma sistemleri

Sadece Emişli (Egzoz) Kanallı Havalandırma Sistemleri

Hala kullanılan bu kanallı sistemin temel avantajı; yürürlükteki yönetmeliklere göre, uygun bir yüksekliğe kadar kontrol altına alınan çıkış havasının kanallar aracılığıyla kontrollü bir şekilde dışarıya atılabilmesidir. Özellikle yönetmelik de tanımlanan çıkış baca yüksekliklerin uygulanması, dış yaşam alanlarının olumsuz etkilenmesini azaltır. Bir otopark için hacmin büyüklüğüne bağlı olarak birden fazla giriş noktası ve her giriş için emiş fanlarının kullanılması önerilmektedir Bu tür sistemlerde, emiş ve üflemeli sistemlerin birlikte uygulandığı kanallı sistemlere göre çok daha az hava kanalı kullanılmaktadır. Şekil 2'de sadece emiş (egzoz) kanallı kapalı otoparkın havalandırma sistemi verilmektedir.



Şekil 2. Sadece emiş (egzoz) kanallı kapalı otoparkın havalandırma sistemi

Üflemeli ve Emişli (Basma ve Emiş Birlikte) Kanallı Havalandırma Sistemi

Bu sistemle, bütün noktalara ulaşılarak, kapalı otoparkın içindeki havanın en uygun biçimde dağıtılması sağlanır. Bu sistemlerde emiş ile basma fanının aynı anda birlikte çalışması istenir. Genelde nötr basınç olarak tasarlanan bu uygulamalarda, emiş ve basma fanlarının debileri eşit olmalıdır. Emiş sistemi, fan ve kanallarda dahil olmak üzere, yangın durumunda dumanı boşaltmayı sağlamalı ve bu sebeple en az 90 dakika boyunca 400 °C sıcaklığa dayanabilmelidir. Günümüzde yangın esnasında oluşan dumanın tahliye edilmesi için yüksek debili jet fanlar kullanılmaktadır. Bu sistemde önemli olan noktalar emiş menfezi, çıkış menfezi ve gürültü seviyeleridir (Özceviz, Tari, Onat, 2018). Şekil 3'de üflemeli ve emişli (basma ve emiş birlikte) kanallı kapalı otoparkın havalandırma sistemi verilmektedir.



Şekil 3. Üflemeli ve emişli (basma ve emiş Birlikte) kanallı kapalı otoparkın havalandırma sistemi

JET FANLI KAPALI OTOPARK HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Jet Fan Sistemi ve Temel Bileşenleri

Jet fan sisteminin doğru ve etkin çalışabilmesi için aşağıda verilen temel bileşenlerin belirlenmesi ve uygun kapasitelerde seçilmesi önemlidir.

- Jet fanlar
- Aksiyel fanlar
- Damperler
- Sistem kontrol panosu

Jet Fanlar

Jet fanlar, kapalı ve yarı açık tipte otoparkların havalandırılması, tünellerin havalandırılması ve yangın durumunda duman tahliyesi için tasarlanmıştır. Bu fanlar, aksiyel ve radyal olmak üzere iki ayrı tipte üretilirler.

a) Aksiyel Jet Fanlar

Aksiyel jet fanlar tünel tavanlarında yer alan jet fanların kapalı otoparklara uyarlanmış halidir. Bu jet fanlar aksiyel fan, yangın dayanımı olan motor, emiş-atış ağızlarında susturucu, deflektör ve tel kafesten meydana gelirler. Şekil 4'de aksiyel jet fan ve egzoz fanı görseli verilmektedir.



Şekil 4. a)Aksiyel jet egzoz fanları b)Aksiyel Jet fan c) Egzoz fanı

Yangın esnasında çalışabilmeleri için bu jet fanların motorları Avrupa normlarına göre sınıflandırılmıştır. Tablo 1 'de EN 12101-3 standardına göre fanların sıcaklık dayanım sınıfları verilmiştir.

Tablo 1. EN 12101-3 standardına göre fanların sıcaklık dayanımları

Sınıf	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)
F 200	200	120
F 300	300	60
F 400	400	120
F 600	600	60

Aksiyel jet fanlar isimlerini eksenel atıştan alır. Aksiyel pervane yapısı ile bir eksen etrafında dönen mile paralel hava emilir ve hava aynı eksende dışarı atılır.

Jet fanların üzerinde yer alan susturucular fanların emiş ve atış ağızlarına yerleştirilerek gürültüyü azaltır. Üretici kataloglarında genel olarak jet fanların belirli mesafelerdeki ses basınç seviyeleri yer almaktadır. Bu verilere göre susturuculu jet fanların, 3 metre mesafedeki ses basınç seviyesi, jet fanın itme gücü ile orantılı olarak 60 dB(A) ile 80 dB(A) aralığına kadar düşebilmektedir. Aksiyel fanlar, jet fan sistemleri içerisinde egzoz veya taze hava gereksinimini karşılamak için kullanılır. Jet fan sisteminin en önemli ana ekipmanları arasındadır. Kapalı otopark alanında rampalardan ve doğal açıklıklardan gelen hava yetersiz olduğunda sistemde taze hava ve egzoz havası için aksiyel fanların kullanımı zorunlu hale gelir. Ülkemizde duman tahliye sistemlerinde kullanılacak olan aksiyel fanların debileri için binaların yangından korunması hakkında yönetmelikte sınırlar getirilmiştir. Bu yönetmeliğe göre duman tahliye sisteminin binanın diğer bölümlerine hizmet veren sistemlerden bağımsız olması ve saatte en az 10 hava değişimi sağlaması gereklidir (T.C. Resmi Gazete, sayı 12937, 2007).

Gerekli olan egzoz hava debisi Q_e (m³/h), Eşitlik 1'de verilen formül ile hesaplanır.

$$Q_e = A \times h \times ACH \qquad (2)$$

Burada,

A (m²), otopark alanını,

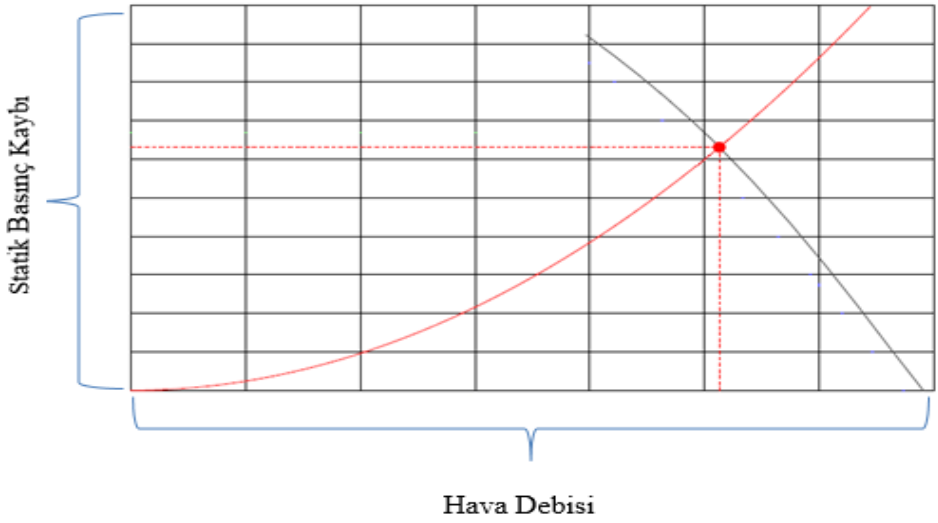
h (m), otopark yüksekliğini,

ACH, saatlik hava değişim sayısını ifade eder.

Aksiyel Fanların Seçimi

Egzoz debisi hesaplandıktan sonra cihaz dışı toplam basınç belirlenerek fan seçimleri yapılabilmektedir. Cihaz dışı toplam basınç, hava iletilirken havaya

karşı oluşan dirençtir. Sürtünme basınç kayıpları ve dinamik basınç kayıpları olmak üzere bu direnci oluşturan iki farklı etken vardır. Sürtünme basınç kaybı, kanalın iç yüzeyine temas eden havanın oluşturduğu kayıpları ifade eder. Dinamik basınç kayıpları ise kanal kesit değişiklikler, dirsekler, kullanılan ekipmanlar (örneğin susturucu) gibi fiziksel etmenlere bağlı olarak artan kayıplardır. Aksiyel fanlar seçilirken fana ait debi ve basınç kayıplarını gösteren eğriler kullanılır. Fan üreticileri kendi ürettikleri fanların, basınç değerlerini, debilerini ve ses seviyelerini ölçerek bu eğrileri oluşturur (Kılıç, 2017). Şekil 5'te örnek bir fan eğrisi verilmiştir.



Şekil 1. Örnek bir fan eğrisi

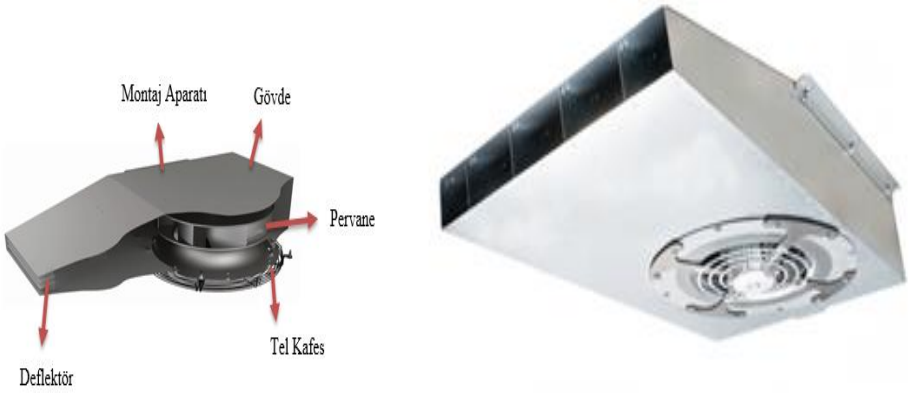
Aksiyel Fanlarda Test ve Sertifikalandırma

Acil durumlarda yüksek sıcaklıkta kullanılan, duman ve ısıyı tahliye eden fanlar EN 12101-3 standardına göre test edilmek ve CE sertifikalandırılmak zorundadır. Fanların olası bir yangında, ısı ve dumanı ortamdan tahliye edebilmesi için bu engellere karşı dayanımı olması gerekmektedir. Bu testte ilk olarak, motor normal çalışma sıcaklığına ulaşana kadar ısıtılır ve en az 1 saat çalıştırılır. İkinci olarak ise, 15 dakikalık süre boyunca, acil durum için belirtilen yüksek sıcaklık değerinde çalıştırıldıktan sonra 2 dakikalığına kapatılır ve yeniden devreye alınır. Daha sonra fan yüksek sıcaklıkta çalıştırılır. Fan yeniden devreye alındığı süreden itibaren geçen süre, fanın dayanım sınıfında belirtilen süredir (Kılıç, 2017).

Radyal Jet Fanlar

Radyal jet fanların yükseklikleri aksiyel jet fanlara kıyasla daha düşüktür. Bu sayede düşük kat yüksekliklerinde kullanım avantajı sağlarlar. Şekil 6'da radyal

jet fan gösterilmektedir. Aksiyel jet fanlarda olduğu gibi radyal fanların da Tablo 1 ’de belirtilen sıcaklıklara dayanabilmeleri istenmektedir.



Şekil 6. Radyal jet fan

Radyal jet fanları aksiyel jet fanlardan ayıran en belirgin özelliği pervanesidir. Hava fan miline paralel girer ve fan miline dik bir şekilde dışarı atılır (Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2007). Radyal çark ve hava giriş ve çıkışlarına ait görsel Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Radyal çark ve hava giriş-çıkış yönleri

Jet fanların itme güçleri, üretici kataloglarında 15 ile 85 N arasında otopark ihtiyacı ve jet fan tasarımına göre farklılık göstermektedir. Jet fanların itme güçleri fan içerisinden geçen hava debisine, havanın özgül ağırlığına ve fanın atış hızına bağlıdır.

Jet fanın itme gücü F (N) Eşitlik 2’de verilmektedir.

$$F = \dot{Q} \times V \times \rho \qquad (2)$$

Burada;

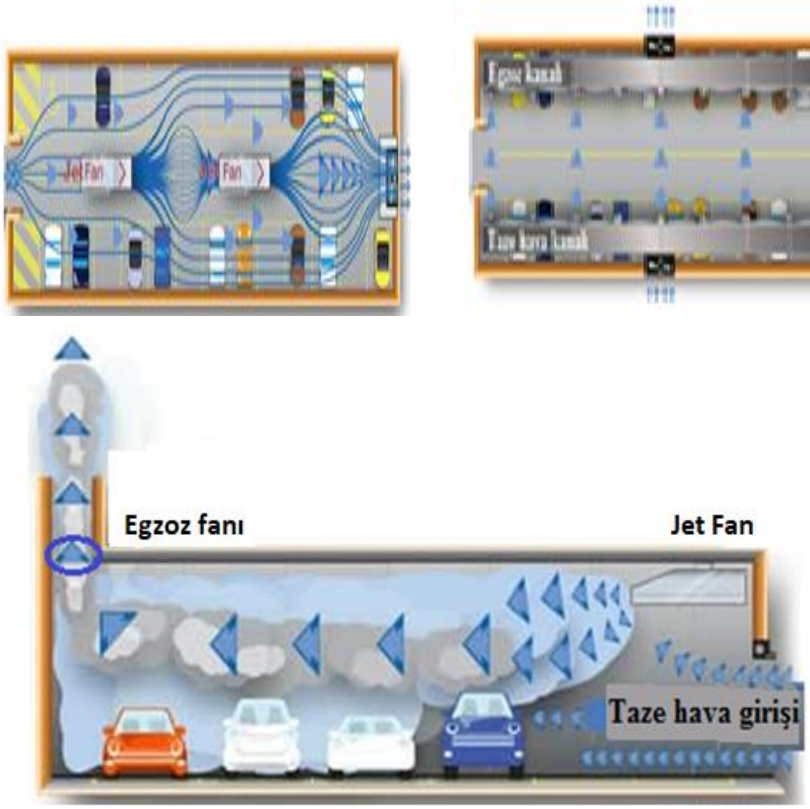
F (N), jet fanın itme gücünü,

$\dot{Q}$ (m³/s), fan debisini,

V (m/s), atış ağzındaki hava hızını,

ρ (kg/m³), havanın özgül ağırlığını

ifade etmektedir. Şekil 8'de Jet fanlı havalandırma sistemi görsel olarak verilmektedir.



Şekil 8. Jet fanlı havalandırma sistemi

KAPALI OTOPARKLARDA GÜNLÜK HAVALANDIRMA VE DUMAN KONTROLÜ

Jet fanlar olası bir yangında açığa çıkan duman ve zararlı gazları egzoz açıklıklarına taşıyabilmek için gereken itme gücünü sağlamaktadır (Viegas, 2010). Jet fanlar taze hava şaftlarından veya var ise otopark içerisindeki taze hava kaynaklarından (açıklık, rampa vb.) aldığı taze havayı hızlandırarak, itme gücü etkisiyle kirli hava ve dumanı egzoz fanlarına iletirler. Egzoz fanları tarafından emilen kirli hava ve duman şaftlardaki egzoz fanları aracılığı ile emilerek kapalı otopark dışına atılır.

Günlük Havalandırma

Kapalı otoparkları doğal yollar ile havalandırmak zordur, bu nedenle otoparklarda motorlu araçlardan yayılan kirli egzoz havasının seyreltilmesi ve uzaklaştırılması için özel havalandırma sistemlerinin kurulması gereklidir. Araç motorlarından yayılan kirli gazlar genellikle CO, hidrokarbonlar ve nitrojen oksitlerdir. İnsan sağlığı açısından hayati önem taşıyan faktör CO yoğunluğu olduğu için, genel olarak otoparklarda hava kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalar CO gazı üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak azot oksitler, kükürt oksitler, diğer kokulu ve kirli gazlar da otoparkların hava kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır (Goel, Singh, Jian, 2012).

CO, kokusuz, renksiz ve zehirli bir gazdır. Bu gazı görmek, tatmak veya koklamak mümkün olmadığından, hissetmeden bu gaza maruz kalmak mümkündür. CO gazı hemoglobin ile oksijenden daha hızlı bir şekilde birleşir ve oksihemoglobin oluşturarak oksijenin vücuda girişine engel olur (United States Environmental Protection Agency, 2019). Genellikle havalandırma sistemlerinde gaz konsantrasyonları belirtilirken birim olarak ppm kullanılır. Örneğin, CO ve hava karışımında toplam miktarın milyonda biri, 1 ppm olarak belirtilir.

Özellikle kapalı otoparklarda araç egzozlarından salınan CO gazının yoğunluğu yüksektir. Yüksek konsantrasyonlarda ölümcül olan CO gazının tahliyesi ve seyreltilmesi için otoparklarda CO yoğunluğuna göre çalışan havalandırma sistemlerinin kurulması şarttır. ASHRAE Araştırma Projesi RP-945 kapsamında yapılan çalışmada kapalı bir otopark için gerekli havalandırma oranının dört faktöre bağlı olduğu belirtilmiştir;

- Kapalı otoparkta kabul edilebilir kirletici seviyesi,
- En yoğun koşullarda kullanılan araç sayısı,
- Kapalı otoparkta seyahat süresi ve araçların çalışma süresi,
- Çeşitli koşullar altında tipik bir aracın emisyon oranı.

Dünya çapında birçok kurum zehirli gazlar için kabul edilebilir konsantrasyon seviyeleri ile ilgili kriterler yayınlamıştır. ACGIH (1998) 8 saatlik bir maruziyet için 25 ppm CO sınırını önermektedir. US EPA ise deniz seviyesinde ve deniz seviyesine yakın yüksekliklerde 1 saatlik maruziyet için 35 ppm CO konsantrasyonu sınır değer kabul eder. Deniz seviyesinden 1000 m yukarıda konumlanan kapalı otoparklar için daha düşük limitler gerekmektedir. Avrupa'da ise ortalama 35 ppm ve maksimum 200 ppm CO konsantrasyon değerleri sınır olarak kabul edilir (ASHRAE, 2007). Ülkelere göre kabul edilebilir CO seviyeleri

farklılık göstermektedir. Tablo 2'de farklı kurumlar tarafından yayınlanan kapalı ortamlar için CO gazı sınır değerleri verilmektedir.

Tablo 2. Kapalı ortamlar için CO gazı sınır değerleri

Kurum	CO (ppm)	Maruziyet süresi (saat)
NAAQS/EPA	9 35	8 1
WHO	90 50 25 10	0,25 0,5 1 8
OSHA	50	8

Otoparkın hizmet ettiği binaya göre, kapalı otopark alanında çalışan araç yoğunluğu değişkenlik göstermektedir. Sürekli kullanılan apartman ve alışveriş merkezlerinin otoparklarında bu oran %3 ile %5 arasında değişirken havaalanı ve stadyum gibi yerlerde bu oran %15 ile %20 arasında değişiklik gösterebilir.

Bir araçta iki durumda CO emisyonu olur. Bunlardan ilki motor yeni çalıştırıldığında oluşan soğuk emisyon, ikincisi ise motor ısınmış halde iken oluşan sıcak emisyondur. Araçlar otoparka girdiğinde çoğunlukla düşük hızda hareket ederler ve motorları sıcaktır. Otoparktan çıkarken ise, motor genellikle soğuk olur ve zengin bir yakıt karışımıyla düşük viteste çalışırlar. ASHRAE 2007 El Kitabında, sıcak ve soğuk emisyon değerlerini mevsimlere göre 1991 ve 1996 yılları için tablo halinde yayınlamıştır. Bu tabloda yer alan değerlere göre soğuk emisyon değerleri sıcak emisyon değerlerine göre daha yüksektir (ASHRAE, 2007)**.** Tablo 3'de motorlar için sıcak ve soğuk emisyon değerleri yaklaşık olarak verilmektedir.

Tablo 3. Motorlar için sıcak ve soğuk emisyon değerleri (ASHRAE, 2007)

Mevsim	Yıl	Sıcak Emisyonlar (mg/s)	Soğuk Emisyonlar (mg/s)
Yaz	1991	42,33	71,17
Kış	1991	60,17	345,67
Yaz	1996	31,5	61
Kış	1996	56,33	316

Toplam CO emisyonu C_T (mg/s), Eşitlik 3'de verilen formül ile hesaplanır;

$$C_T = N \times E \quad (3)$$

Toplam CO konsantrasyonu C_c (mg/m²s) ise Eşitlik 4'de verilen formül ile hesaplanır

$$C_c = \frac{C_T}{A} \quad (4)$$

Burada,

N, araç sayısını,

E, (mg/s), araç başına CO emisyonunu,

A (m²), bölgenin alanını ifade etmektedir.

Duman Kontrolü

Kapalı otoparklarda duman kontrol sistemleri, yangın sırasında ve yangının bastırılmasından sonra dumanın temizlenmesi, itfaiye ekiplerinin yangına müdahalesi, kolaylıkla arama kurtarma yapılabilmesi, yolcuların tahliyesi için bina çıkışına giden yol ve merdiven boşluklarının korunması amaçları ile kurulmaktadır. Dünya genelinde yayınlanan standartlar ile duman kontrol sistemlerinin tasarım kriterleri belirlenmiştir.

Bu standartlardan biri olan İngiliz BS 7346-7 standardına göre, duman kontrol sistemlerinin tasarımı, itfaiyecilerin büyük ölçüde temiz olan dumansız hava içerisinden geçebilecekleri ve yangına 10 metre yaklaşabilecek şekilde olmalıdır. Merdiven boşluklarının, kaçış koridorunun ve mevcut geçiş kapılarının bulunduğu yerlerin, duman girmesine neden olabilecek dinamik basınç etkilerine maruz kalmaması için jet fan konumlarının ve jet yönlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. Jet fanların otopark üzerindeki dağılımları günlük havalandırmada hiçbir ölü alan kalmayacak şekilde olmalıdır. Kaçış yollarındaki havanın hızı, insanların kaçışını engellememek için en fazla 5 m/s olmalıdır. Duman sirkülasyonuna engel olmak için ise taze hava girişlerinde hava hızı 2 m/s'yi aşmamalıdır. Aktif olarak

çalışan jet fanların harekete geçirdiği hava, egzoz fanları aracılığı ile tahliye edilen hava miktarından fazla olmamalı ve sistem yangının park içinde meydana gelebileceği her yerde duman akışını kontrol edebilmelidir. Aynı standarda göre kararlı halde yangın tasarımı için ısı salınım oranları aşağıda verilen Tablo 4'e uygun olmalıdır (British Standards Instutition, 2006).

Tablo 4. Kararlı hal yangın tasarımı (British Standards Instutition, 2006).

Yangın Parametreleri	Kapalı otopark (sprinksiz)	Kapalı otopark (sprinkli)
Boyutlar (mxm)	5x5	2x5
Görüş mesafesi	20	14
Isı salınım oranı (MW)	8	4

Yanma Ürünleri ve Tehlikeleri

Yanma, yakıtın oksijen ile birleştiği ve sonucunda büyük miktarda enerjinin oluştuğu kimyasal bir reaksiyondur. Bir yakıtın oksijenle yakın temasa getirilmesi yanmanın başlaması için yeterli değildir. Yanmanın başlaması için tutuşma sıcaklığına gelmesi gerekir. Yanma işleminde yakıt içindeki karbonun tümü CO_2, hidrojenin tümü H_2O ve kükürdün tümü (eğer varsa) SO_2 maddelerine dönüşüyorsa bu tam yanma olarak adlandırılır. Yanma ürünleri arasında C, H_2, CO ve OH gibi bileşenler varsa yanma işlemi eksik yanma olarak tanımlanır. (Çengel, Boles, 2008). Araçlarda yakıt olarak kullanılan oktana ait tam ve eksik yanma formülleri sırasıyla Eşitlik 5 ve 6'da verilmektedir.

$$C_8H_{18}+12{,}5(O_2+3{,}76\ N_2) > 8\ CO_2 + 9\ H_2O +47{,}25\ N_2 \quad (5)$$

$$C_8H_{18} + 8{,}5(O_2 + 3{,}76\ N_2) > 8CO + 9\ H_2O +31{,}96\ N_2 \quad (6)$$

Yangınların çoğunda ölümlerin boğulma ile gerçekleştiği tespit edilmiştir (Aydoğdu, 2009). Bu nedenle yangın ürünleri arasında yer alan, kandaki oksijeni tüketerek boğulmaya sebep olan CO gazının tahliyesi hayati önem taşımaktadır.

Şaft Yerleşimi ve Damperler

Damperler, jet fanlı sistemlerde egzoz ve taze hava şaftlarına yerleştirilerek, dumanın ve zehirli gazların diğer bölgelere yayılmasını engellemek amacı ile kullanılmaktadır. Jet fanlı sistemlerde yangın esnasında duman ve zehirli gazlar, jet fanların itme gücünün etkisiyle, egzoz şaftına sürüklenir ve ortama taze hava bes-

lemesi yapılır. Bu esnada diğer katlarda, egzoz şaftlarında bulunan damperler kapanır ve taze hava şaft damperleri açılır. Bu sayede dumanın diğer katlara yayılması engellenmiş olur. Şekil 9'da şaft damperi ve şaftların konumlandırılması verilmektedir.



Şekil 9. Şaft yerleşimleri ve damperi

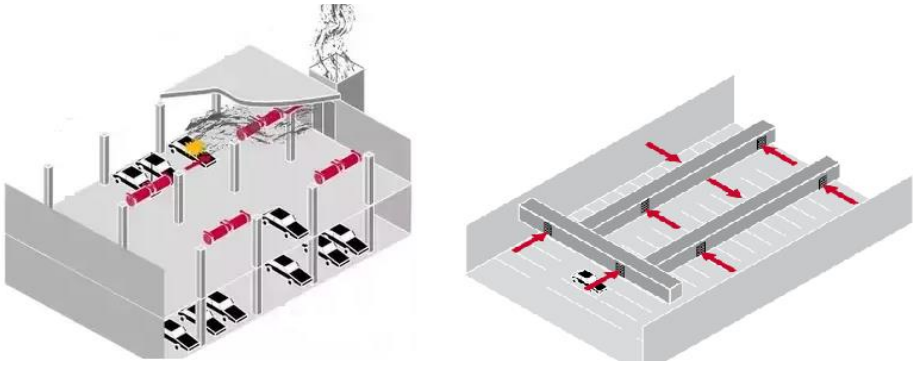
Sistem Kontrol Panosu

Sistem kontrol panosu, jet fan sisteminde yer alan tüm ekipmanları, şaftlarda bulunan aksiyel fanları ve jet fanları birbirinden bağımsız olarak, istenilen hızda, istenilen yönde, farklı zamanlarda programlanabilir şekilde kontrol eden panodur. Pano içerisinde CO, yangın sensörlerinin sinyalizasyonları ve sistemde herhangi bir arıza durumunda uyarı veren göstergeler bulunur.

Jet Fan Sisteminin Kanallı Duman Egzoz Sistemi ile Karşılaştırılması

Jet fan sistemleri herhangi bir kanal döşemesi olmadan, otopark içinde tavana yerleştirilmiş jet fanlar aracılığı ile günlük ve yangın durumunda duman tahliyesi yapmak amacıyla kullanılır. Geleneksel kanallı duman egzoz sistemleri ile jet fanları ayıran en büyük özellik jet fan sisteminde kanallara ihtiyaç olmamasıdır. Kanallı sistemlerde dumanı dış atmosfere taşımak için sacdan imal edilmiş kanallar kullanılır. Bu kanallarda havaya karşı oluşan direnç, taze ve egzoz havası fanlarını doğrudan etkilemektedir. Basınç kayıpları arttıkça fanın harcadığı güç artar ve sağladığı debi azalır. Bu yüzden fan kapasitelerinin artırılması ve boyutunun büyütülmesi gerekir. Jet fanlı sistemlerde bu kayıplar olmadığı için seçilen fanlar daha az enerji tüketir ve daha küçük boyutlarda daha fazla debi sağlarlar.

Mimari açıdan bakıldığında kapalı otoparklara büyük kanalların yerleştirilmesiyle, kat yükseklikleri azalır bu da otoparkın basık olmasına neden olur ve dizayn aşamasında kat yükseklikleri kanallar hesaba katılarak belirlenir. Jet fanlarda böyle bir durum söz konusu olmadığı için inşaat ve işçilik maliyetleri düşük olmaktadır. Şekil 10'da jet fanlı ve kanallı havalandırma sistemlere ait görsel yer almaktadır.



a) *b)*

Şekil 10. Otoparklarda havalandırma sistemleri a) jet fanlı b) kanallı

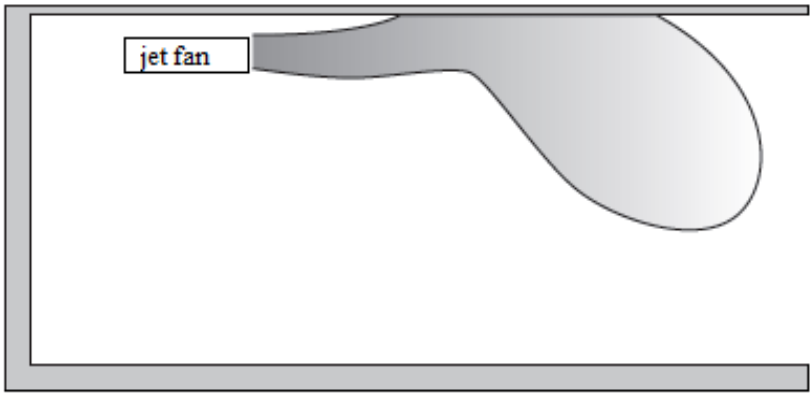
Yangın durumunda meydana gelen duman ve zehirli gazlar, yer seviyesinden tavana doğru hızlı bir şekilde yükselir, bir süre sonra tavanda yoğunlaşan duman otoparkın her yerine dağılma eğilimi gösterir. Kanallı sistemlerde, tavan seviyesinde bulunan menfezler öncelikli olarak duman tahliyesinde etkili olacaktır. Ancak yer seviyesindeki menfezler duman tahliyesinde etkili olana kadar duman otoparkın alt seviyelerine yayılmış olacaktır (ATC, Air Trade Centre, 2011). Jet fan sistemleri ise otoparkın tüm yüksekliklerine etki ettikleri için duman tahliyesinde menfez etkisinin azalması söz konusu değildir.

Jet fan ve kanallı sistemler arasındaki bir diğer önemli fark ise kanallı sistemlerin tamamen duman tahliyesine hizmet vermesidir. Jet fanlar ise hem duman tahliyesi hem de duman kontrolü yapabilmektedir. Duman kontrolü jet fanlar aracılığı ile sağlanmakta, kanallı sistemlerde ise bu mümkün olmamaktadır. Duman kontrolünde amaç, dumanı otopark içerisinde belirli bir bölgeye hapsederek yayılmasını engellemek, bu esnada artan görüş mesafesi sayesinde itfaiye ekibinin yangına müdahalesine yardımcı olmak ve otoparkın duman yoğunluğunun az olduğu bölgelere insanların kaçmasını sağlamaktır. Jet fanlı sistemlerde dumanı doğru şekilde kontrol edebilmek için dizayn aşamasında otopark zonlara bölünür. Zonlara yerleştirilen sensörler sayesinde CO yoğunluğunun arttığı zon tespit edilerek yalnızca bu bölgeye hitap eden fanlar ve ekipmanlar çalıştırılır. Bu sayede enerji tüketimi azaltılmış olur.

Jet Fan Sistemlerinde Coanda Etkisi

Fanların üfledikleri hava tavana yaklaştıkça, Şekil 11'de görüldüğü üzere hava tavana yapışık akış oluşturur. Jet fanların duvarlara çok yakın olduğu durumlarda, indüklenen hava, tek yönlü akış ve düşük basınç nedeniyle yakın olduğu

yüzeye yapışır. Yüzeye yapışan havanın hızı sürtünme kayıpları nedeniyle düşer ve hız profilleri bozulur. Bu duruma coanda etkisi denir.



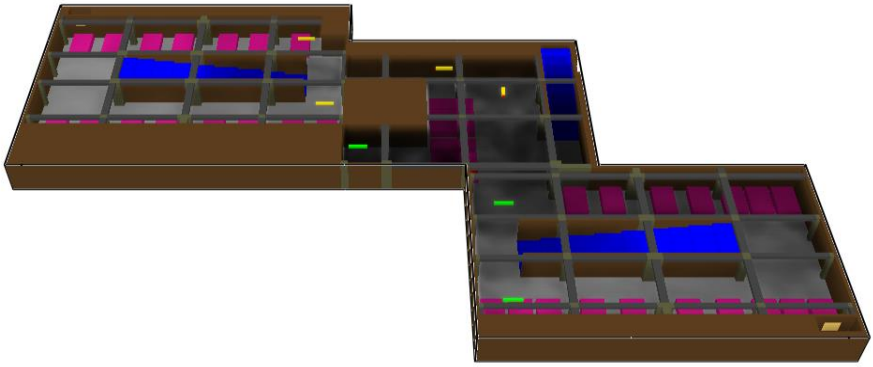
Şekil 11. Jet fan sistemlerinde coanda etkisi

Tünellerde kullanılan jet fanlarla ilgili olarak yapılan bir çalışmada geleneksel jet fanlar ile emiş ve atışındaki susturucu kısmı belirli açı ile bükülen jet fanlar ile karşılaştırılmıştır. Bükme işlemi sayesinde, hava akışı tavandan uzaklaşarak, tavan ile hava akışı arasındaki sürtünme kaybı etkilerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Witt, Schütze, Witt&Sohn, 2008).

Kapalı Otoparklar için CFD Analizi

CFD analizi prensibi akış alanının, küçük kontrol hacimlerine ayrılarak, sayısal çözüm ağı içinde kalan her bir hücre için Navier-Stokes denklemlerinin yakınsanmış bir çözüm ortaya çıkana kadar iteratif bir şekilde çözülmesine dayanır. CFD analizine başlamadan önce otoparkın 3 boyutlu çiziminin yapılması gereklidir. Modelleme, hareket takibi, video düzenleme, oyun oluşturma, animasyon ve simülasyon oluşturma gibi üç boyutlu çalışmaların bütününü destekleyen yazılımlar mevcuttur.

Üç boyutlu tasarımı yapılan modelin, CFD analizinin yapılabilmesi için yazılıma ihtiyaç vardır. Bu yazılımlar Navier-Stokes denklemlerini nümerik olarak çözer. Kapalı otoparklar için *CFD analizi ile 3 boyutlu modelleme yapılarak, sıcaklık, gaz, duman konsantrasyonu ve hava hızları deney yapmaya ihtiyaç olmadan tasarım aşamasında görülür. Bu sayede otoparka yerleştirilen jet fanların konumlarının doğruluğu, olası bir yangın durumunda meydana gelecek olan dumanın yayılım şekli, fan kapasitelerinin yeterliliği, otopark içerisinde bulunan engellerin hava hızına etkisi, rampa ve açıklıklardan gelen havanın dağıtılması gibi birçok konuda öngörü sahibi olunmasına yardımcı olur.* Şekil 12'de CFD analizi ile yapılan otoparkın duman yayılımına ait bir görsel verilmektedir.



Şekil 12. Otoparkta duman yayılımı

ÖRNEK UYGULAMA

Örnek Otoparkın Genel Özellikleri

Hesabı yapılan otoparkın net alanı 2033 m² ve yüksekliği 4,75 metredir. Bu bilgiler doğrultusunda otoparkın toplam hacmi 9656,75 m³ olmaktadır. Otopark iki ayrı zona bölünmüş ve yangın senaryoları bu zonlara göre oluşturulmuştur. Otopark zonlarının alanları Tablo 5'de yer almaktadır.

Tablo 5. Zon-1 ve Zon-2 alanları

Zon	Alan (m^2)
1	1006
2	1027

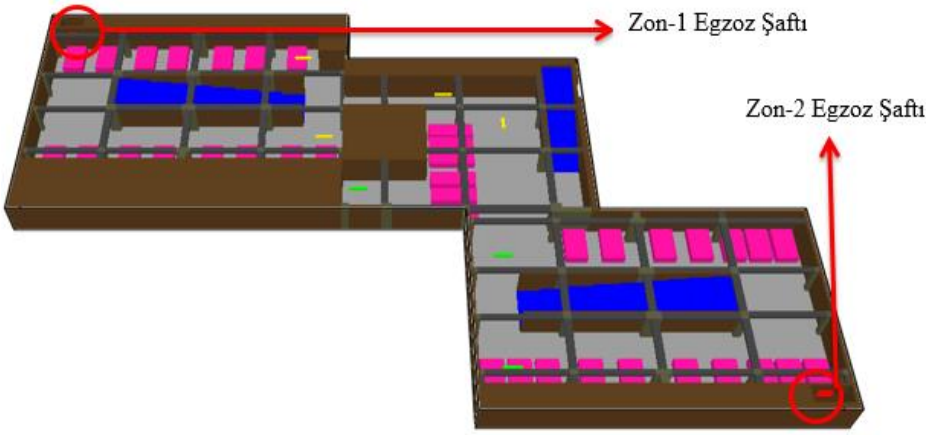
JET FAN SİSTEMİ EKİPMAN SEÇİMİ VE HESAPLARI

Egzoz hava debisi ihtiyacı

Türkiye'de binaların yangından korunması hakkında yönetmelikte saatte en az 10 hava değişimi sağlaması gerekmektedir. Otoparkın ihtiyacı olan egzoz debisi Eşitlik 1'de verilen formül ile saatte 10 hava değişimi şartına göre belirlenmiştir. Taze hava ihtiyacı, rampalardan sağlanacak şekilde dizayn edilmiş ve bu sebeple taze hava fanı (üfleme/basma fanı) kullanılmamıştır. Zon-1 ve Zon-2 için hesaplanan egzoz hava debisi ihtiyaçları Tablo 6'da verilmiştir. Zon-1 ve Zon-2'ye ait egzoz şaftlarının otopark üzerindeki yerleşimleri ise Şekil 13'de verilmiştir.

Tablo 6. Zon-1 ve Zon-2 için egzoz hava debisi ihtiyacı

Parametre	Zon-1	Zon-2
Alan (m^2)	1006	1027
Yükseklik (m)	4,75	4,75
Hacim (m^3)	4778.5	4878.2
Saatteki hava değişim sayısı (ACH)	10	10
Minimum egzoz hava debisi (m^3/h)	47785	48782



Şekil 13. Egzoz ve taze hava şaftları

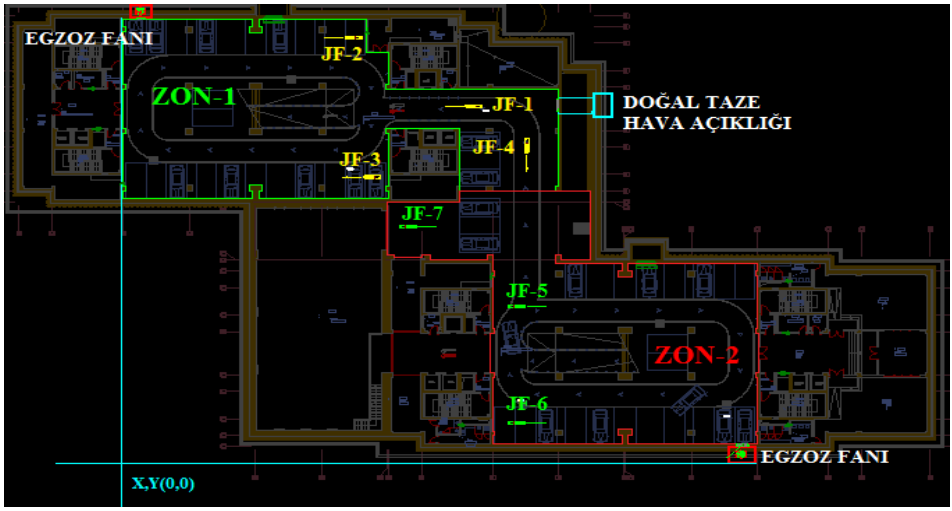
Jet Fanların Yerleşimi

Jet fanlar, otopark genelinde tüm havayı hareket ettirmeli bu sayede havalandırılmayan ölü alan kalmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Örnek otoparkta jet fan sistemi için 7 adet jet fan, üfleme mesafelerine göre otoparkta ölü alan kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı jet fanlar Zon-1 bölgesi, 4, 5, 6 ve 7 numaralı jet fanlar Zon-2 bölgesi için çalıştırılmıştır. Kullanılan jet fanların itme güçleri, üfleme mesafeleri, debileri ve çizim üzerindeki koordinatları (x,y) Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. Jet fan yerleşimi

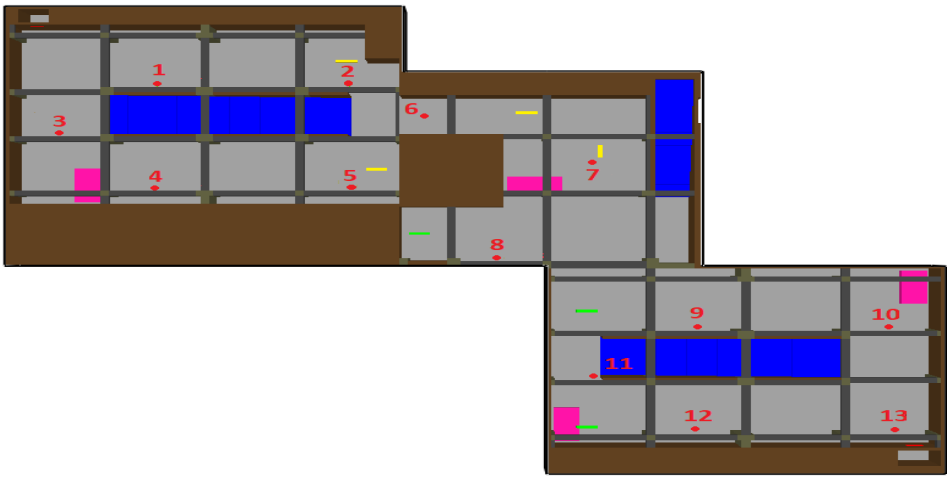
Jet fan No	X-Y koordinatları (m)	İtme gücü (N)	İtme mesafesi (m)	Debi (m^3/h)
1	43,38 - 49,50	50	34	8064
2	28,26 - 56,70	50	34	8064
3	30,78 - 41,58	50	34	8064
4	49,50 - 44,10	50	34	8064
5	48,42 - 21,78	80	50	11016
6	48,42 - 5,58	80	50	11016
7	34,38 – 32,58	80	50	11016

Jet fan, otopark zonları, taze hava açıklığı ve egzoz fanı yerleşimleri Şekil 14'de yer almaktadır.



Şekil 14. Jet fan sistem ekipmanları yerleşimi

Egzoz fanları yerleştirildikten sonra günlük havalandırma ve yangın senaryoları için otoparkın 13 farklı noktasına ölçüm noktaları yerleştirilmiştir. Bu ölçüm noktaları ile günlük havalandırma için CO ve hava hızı parametreleri 900 saniyelik simülasyon boyunca her iki saniyede bir ölçülmüştür. Yangın senaryolarında ise, yangına en yakın ölçüm noktasından CO, CO_2, hava hızı, duman ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür (Sultansu, Onat, 2019). Ölçüm noktalarının otopark üzerindeki yerleşimleri Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15. Ölçüm noktaları yerleşimleri

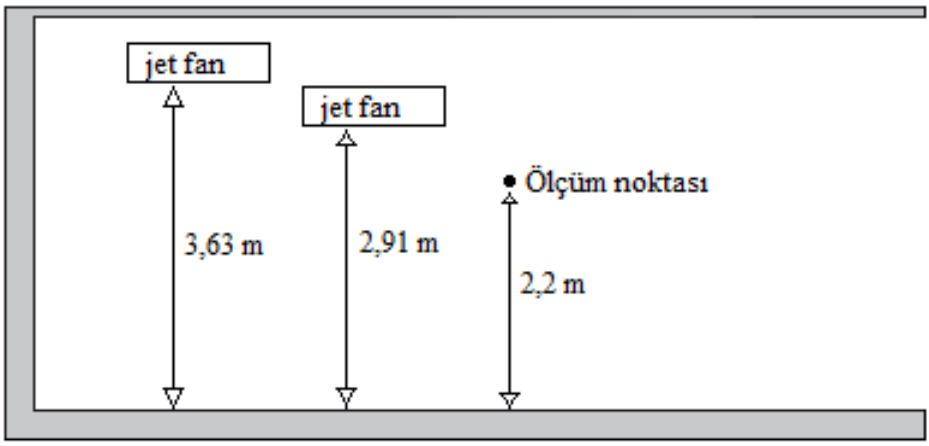
Günlük havalandırma ve Duman senaryoları

Alanı 2033 m² ve maksimum araç kapasitesi 38 olan otopark, günlük havalandırma senaryosu için başlangıçta 50 ppm CO ile doldurulmuştur. 7 adet jet fan, 2 adet ana egzoz fanı, bir taze hava açıklığından oluşan havalandırma sisteminin günlük havalandırmada CO yoğunluğu ve hız parametreleri otoparkın %10, %25, %50, %100 olmak üzere 4 ayrı araç doluluk oranına göre incelenmiştir. Günlük havalandırma senaryolarında Tablo 3'de yer alan soğuk ve sıcak emisyon değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 3'e göre motor soğuk iken emisyon 61 mg/s ısınmış iken ise 31,5 mg/s olmaktadır. Tüm günlük havalandırma senaryolarında, araçlardan yayılan emisyon değerlerinin yarısı sıcak, yarısı soğuk emisyon kabul edilmiş olup ortalaması hesaplanmıştır. E, araç başına emisyon değeri,

E=(31,5+61)/2 = 46,25 mg/s

Yangın esnasında otopark alanında meydana gelen CO_2, CO, sıcaklık, duman yoğunluğu ve hava hızı parametrelerini deneysel olarak ölçmek zordur. CFD analizi ile bu parametreler herhangi bir deneye ihtiyaç olmadan, olası bir yangın durumunda meydana gelecek olan değişikliklerin önceden tahmin edilebilmesine yardımcı olmaktadır.

Jet fanlar yerden 2,91 metre ve 3,63 metre olmak üzere, 2 farklı yüksekliğe konumlandırılarak; jet fan yüksekliğinin CO_2, CO, sıcaklık, duman ve hava hızı parametrelerine etkisi incelenmiştir. Jet fanların asılma ve ölçüm noktalarının yerden yüksekliği Şekil 16'da verilmiştir (Sultansu, Onat, 2020).



Şekil 16. Jet fanlar ve ölçüm noktalarının konumlandırıldığı yükseklikler

GÜNLÜK HAVALANDIRMA ANALİZLERİ

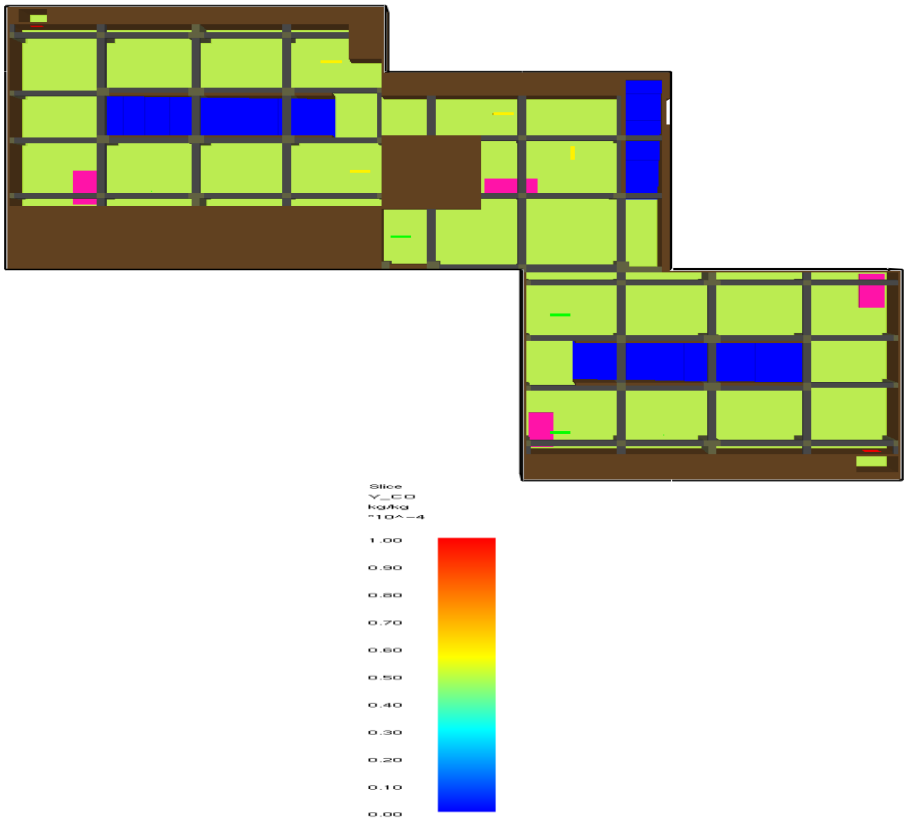
CO Yoğunluğu Değişimi

Yapılan bu senaryolara göre otopark araç kapasitesinin %10, %25, %50 ve %100'ü dolu varsayılarak Eşitlik 3 ve 4'de verilen formüller ile CO emisyonu ve CO konsantrasyonu hesaplanmış, sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. CO emisyon ve konsantrasyon değerleri

Oto-park alanı (m^2)	Otopark araç kapasi-tesi (adet)	Araç yoğun-luğu	E (mg/s)	C_T (mg/s)	C_c (mg/m^2s)
2033	38	10%	46,25	175,75	0,086448598
2033	38	25%	46,25	439,38	0,216121495
2033	38	50%	46,25	878,75	0,432242991
2033	38	100%	46,25	1757,50	0,864485981

Günlük havalandırma için yapılan tüm senaryolarda Şekil 17'de görüldüğü üzere başlangıçta tüm otopark hacmi 50 ppm CO ile doldurulmuş analiz işlemi daha sonra başlatılmıştır.



Şekil 17. Başlangıç koşullarında otopark alanında CO yoğunluğu

CO emisyonu modele otoparkın döşemesinden verilmiştir. Toplam simülasyon süresi 900 saniyedir. Jet fanlar simülasyonun başlangıcından itibaren aktif olarak çalıştırılmıştır. %10, 25, 50 ve 100 araç doluluk oranında, otopark döşemesinden itibaren 0,55, 1,65 ve 2,91 metre yüksekte alınan kesitlerde oluşan CO konsantrasyonları Tablo 9, Tablo 10, Tablo11 ve Tablo 12'de verilmiştir. Şekil 18'de ise CO konsantrasyonları karşılaştırılması gösterilmektedir (Sultansu, Onat, 2019).

Tablo 9. %10 araç doluluk oranına göre görülen maksimum CO değerleri

Döşemeden itibaren yükseklik (m)	**180.saniye CO_{max} (ppm)**	**540.saniye CO_{max} (ppm)**	**900.saniye CO_{max} (ppm)**
0,55	53	26	16
1,65	51	26	15
2.91	49	25	15

Tablo 10. %25 araç doluluk oranına göre görülen maksimum CO değerleri

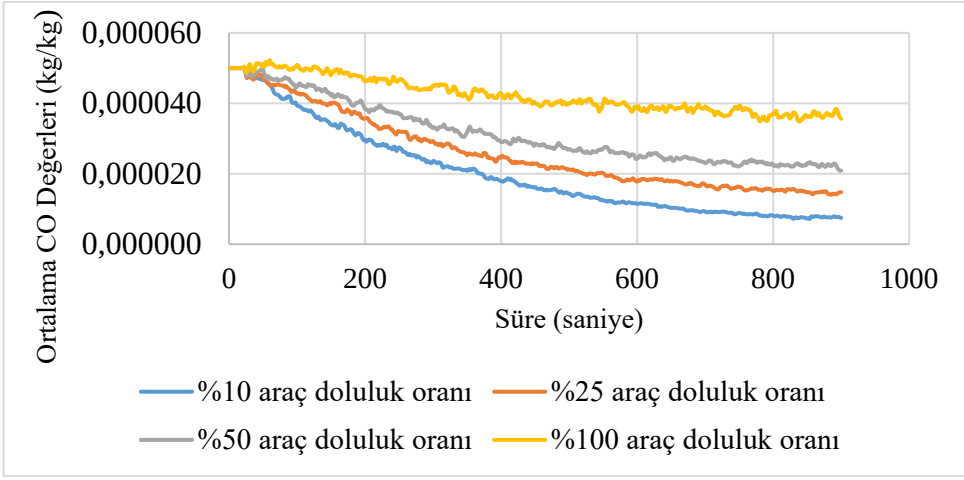
Döşemeden itibaren yükseklik (m)	**180.saniye CO_{max} (ppm)**	**540.saniye CO_{max} (ppm)**	**900.saniye CO_{max} (ppm)**
0,55	59	42	31
1,65	58	37	29
2.91	54	35	27

Tablo 11. %50 araç doluluk oranına göre görülen maksimum CO değerleri

Döşemeden itibaren yükseklik (m)	**180.saniye CO_{max} (ppm)**	**540.saniye CO_{max} (ppm)**	**900.saniye CO_{max} (ppm)**
0,55	73	62	52
1,65	65	53	45
2.91	63	49	42

Tablo 12. %100 araç doluluk oranına göre görülen maksimum CO değerleri

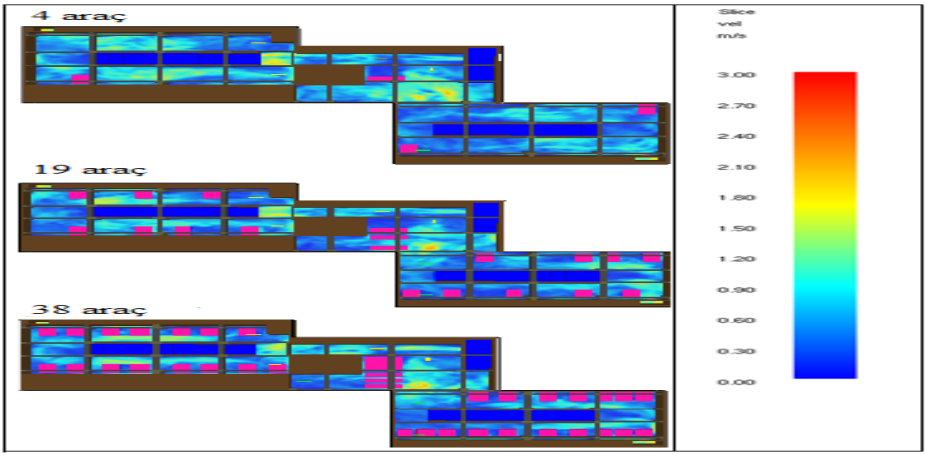
Döşemeden itibaren yükseklik (m)	**180.saniye CO_{max} (ppm)**	**540.saniye CO_{max} (ppm)**	**900.saniye CO_{max} (ppm)**
0,55	100	92	85
1,65	89	73	67
2.91	76	71	63



Şekil 18. Ortalama CO değerleri

Hava Hızı Dağılımı

Günlük havalandırma için farklı araç sayılarına göre otopark genelinde oluşan hava hızı dağılımları CFD analizi ile incelenmiştir. Otoparka sırasıyla 4, 19 ve 38 adet araç model olarak konumlandırılmıştır. Araçlar analizde 1,1 metre yüksekliğinde engel olarak tanımlanmış ve 0,55 metre yükseklikte elde edilen hız dağılımları Şekil 19'da verilmiştir. CFD sonuçlarına göre araçların yerleştirildiği bölgelerde hız profilleri incelendiğinde, araçların yoğun olduğu bölgelerde havanın durgun olduğu ve hızların düştüğü gözlemlenmiştir. Araçların bulunmadığı boş bölgelerde ise hava akışının hareketli olduğu ve hızların yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Sultansu, Onat, 2019).

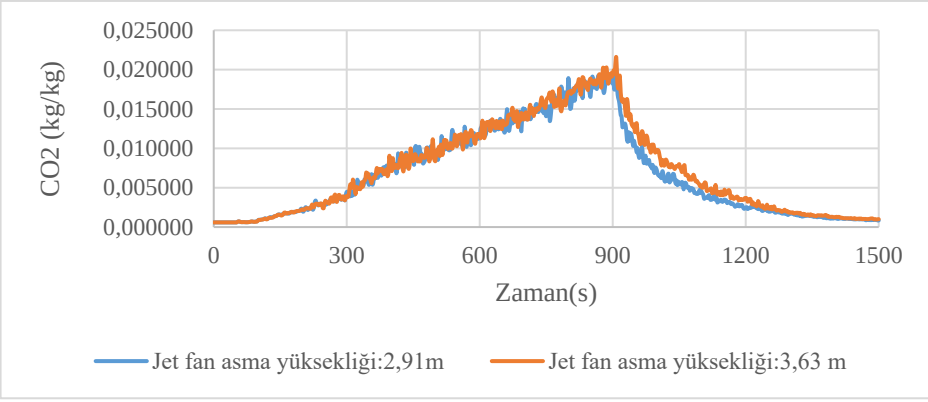


Şekil 19. Farklı araç sayılarına göre 0.55 metre yükseklikte hız dağılım profilleri

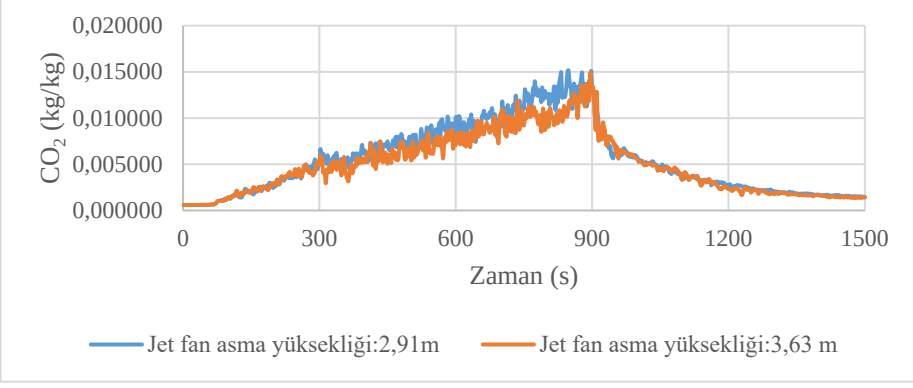
YANGIN VE DUMAN HAVALANDIRMASI ANALİZLERİ

CO_2 Yoğunluğu Değişimi

Yangın maksimum seviyeye ulaştığı anda Zon-1 ve Zon-2 alanları için yangın senaryolarında 2,91 m ve 3,63 m olmak üzere farklı iki jet fan asma yüksekliğinde, CO_2 gazının otopark içerisindeki dağılımları simülasyonda yerden 2,2 metre yüksekte bulunan ölçüm noktaları için, 1500 saniye süresi boyunca her iki saniyede bir CO_2 yoğunluğu ölçülmüş ve zamana bağlı değişimleri Zon-1 ve Zon-2 için sırasıyla Şekil 20 ve Şekil 21'de verilmiştir.



Şekil 20. Zon-1 yangın senaryosu/ Ortalama CO_2 yoğunluğunun zamana bağlı değişimi

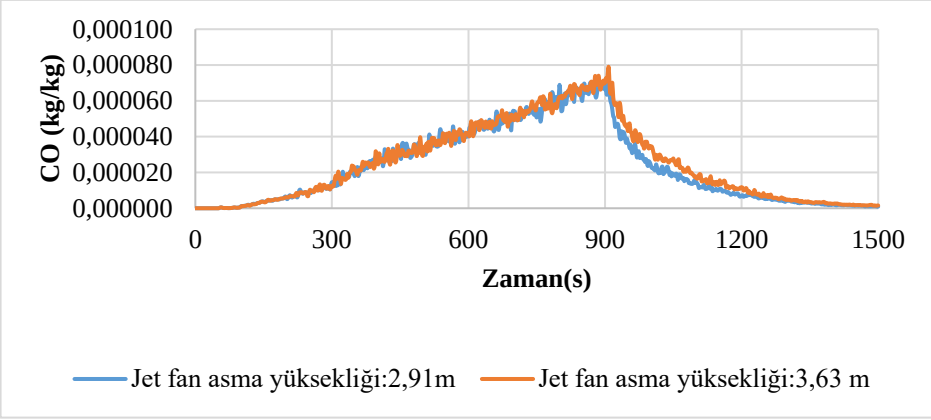


Şekil 21. Zon-2 yangın senaryosu/ Ortalama CO_2 yoğunluğunun zamana bağlı değişimi

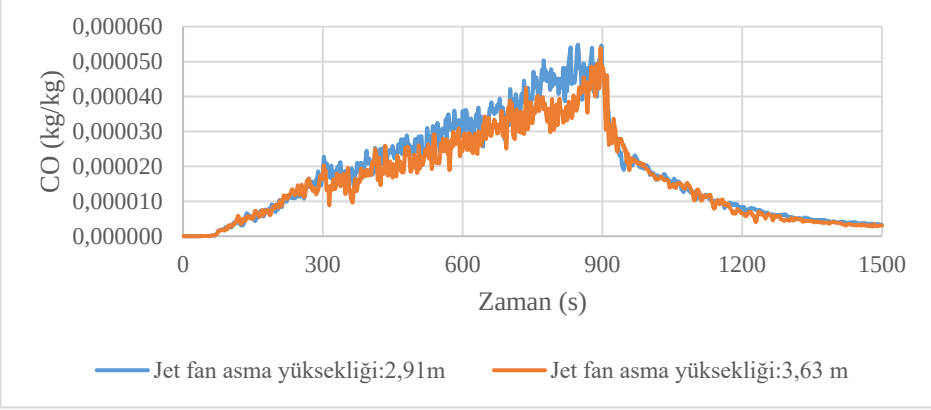
CO Yoğunluğu Değişimi

Yangın maksimum seviyeye ulaştığı anda Zon-1 ve Zon-2 alanları için yangın senaryolarında 2,91 m ve 3,63 m olmak üzere farklı iki jet fan asma yüksekliğinde, CO gazının otopark içerisindeki dağılımları simülasyonda yerden 2,2 metre yüksekte bulunan ölçüm noktaları için, 1500 saniye süresi boyunca her iki saniyede

bir CO yoğunluğu ölçülmüş ve zamana bağlı değişimleri Zon-1 ve Zon-2 için sırasıyla Şekil 22 ve Şekil 23'de verilmiştir.



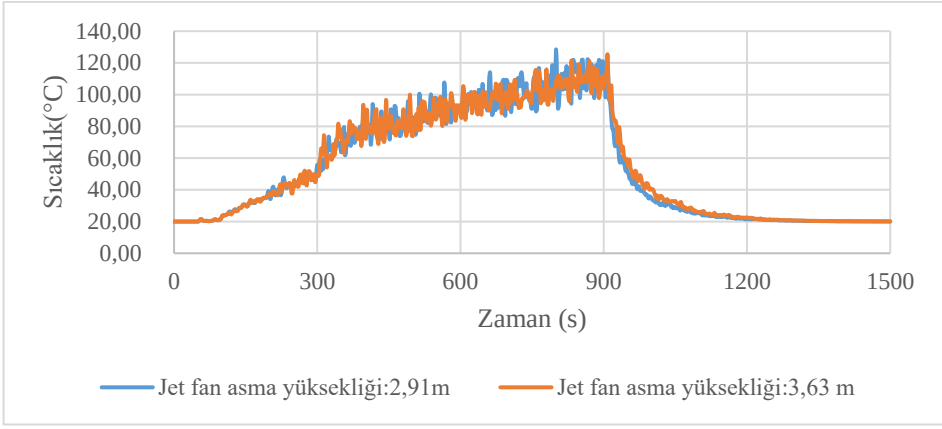
Şekil 22. Zon-1 yangın senaryosu/ Ortalama CO yoğunluğunun zamana bağlı değişimi



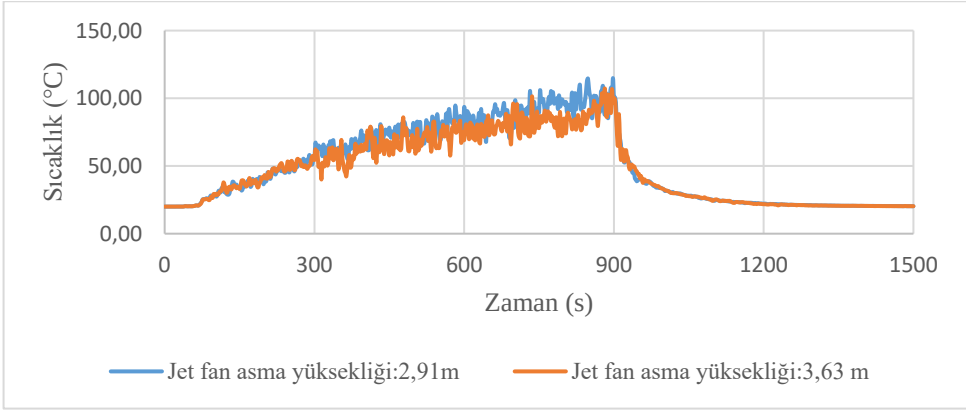
Şekil 23. Zon-2 yangın senaryosu/ Ortalama CO yoğunluğunun zamana bağlı değişimi

Sıcaklık değişimi

Yangın maksimum seviyeye ulaştığı anda Zon-1 ve Zon-2 alanları için yangın senaryolarında 2,91 m ve 3,63 m olmak üzere farklı iki jet fan asma yüksekliğinde, sıcaklığın otopark içerisindeki dağılımları simülasyonda yerden 2,2 metre yüksekte bulunan ölçüm noktaları için, 1500 saniye süresi boyunca her iki saniyede bir sıcaklık değerleri ölçülmüş ve zamana bağlı değişimleri Zon-1 ve Zon-2 için sırasıyla Şekil 24 ve Şekil 25'de verilmiştir.



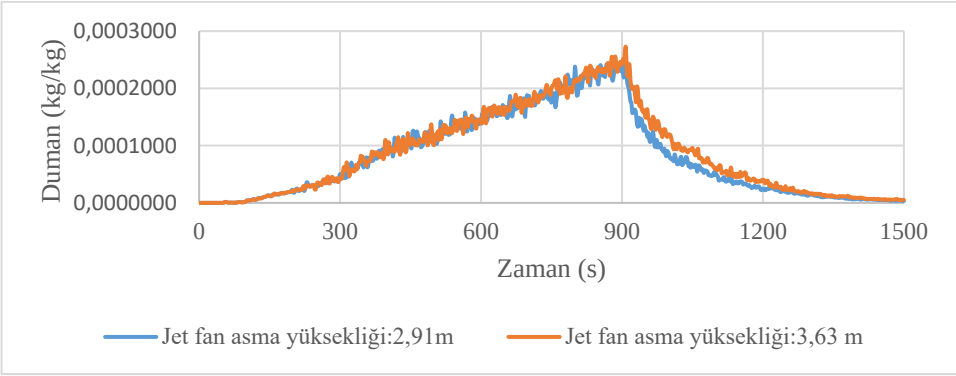
Şekil 24. Zon-1 yangın senaryosu/ Ortalama sıcaklığın zamana bağlı değişimi



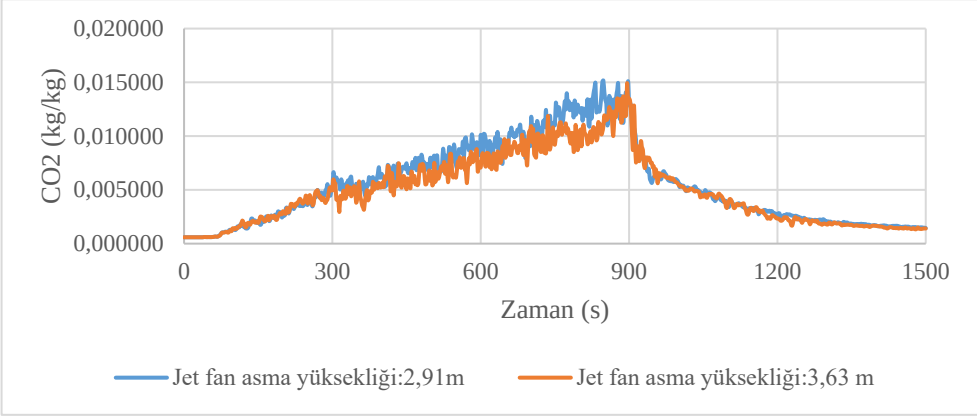
Şekil 25. Zon-2 yangın senaryosu/Ortalama sıcaklığın zamana bağlı değişimi

Duman Yoğunluğu Değişimi

Yangın maksimum seviyeye ulaştığı anda Zon-1 ve Zon-2 alanları için yangın senaryolarında 2,91 m ve 3,63 m olmak üzere farklı iki jet fan asma yüksekliğinde, dumanın otopark içerisindeki dağılımları simülasyonda yerden 2,2 metre yüksekte bulunan ölçüm noktaları için, 1500 saniye süresi boyunca her iki saniyede bir duman yoğunluğu ölçülmüş ve zamana bağlı değişimleri Zon-1 ve Zon-2 için sırasıyla Şekil 26 ve Şekil 27'de verilmiştir.



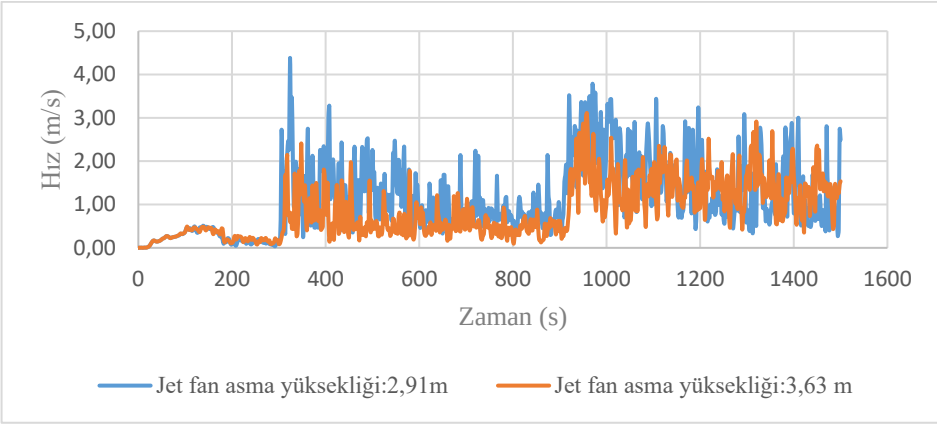
Şekil 26. Zon-1 yangın senaryosu/ Ortalama duman yoğunluğunun zamana bağlı değişimi



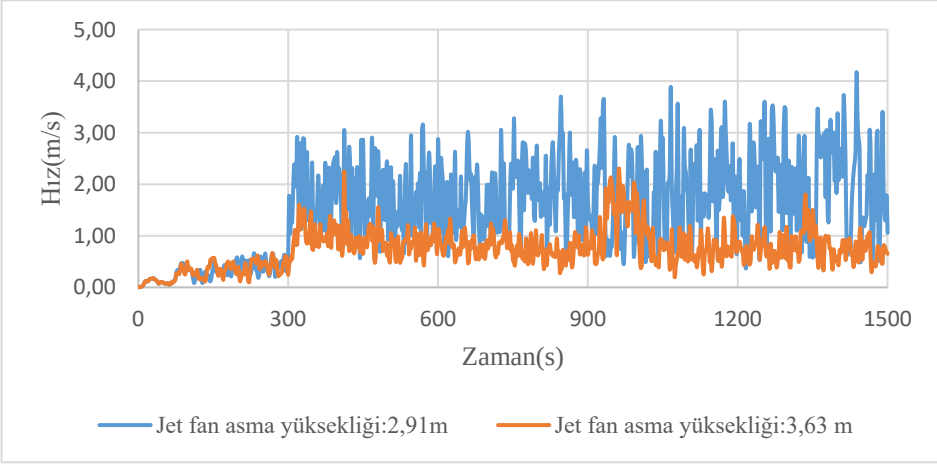
Şekil 27. Zon-2 yangın senaryosu/ Ortalama duman yoğunluğunun zamana bağlı değişimi

Hava hızı değişimi

Yangın maksimum seviyeye ulaştığı anda Zon-1 ve Zon-2 alanları için yangın senaryolarında 2,91 m ve 3,63 m olmak üzere farklı iki jet fan asma yüksekliğinde, hız profillerinin otopark içerisindeki dağılımları simülasyonda yerden 2,2 metre yüksekte bulunan ölçüm noktaları için, 1500 saniye süresi boyunca her iki saniyede bir hava hızları ölçülmüş ve zamana bağlı değişimleri Zon-1 ve Zon-2 için sırasıyla Şekil 28 ve Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 28. Zon-1 yangın senaryosu/ Ortalama hava hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 29. Zon-2 yangın senaryosu/ Ortalama hava hızlarının zamana bağlı değişimi

SONUÇ

Kapalı otoparklarda yangın ihtimaline karşı, bu sistemlerin sadece günlük havalandırma için değil, aynı zamanda yangın esnasında acil durum havalandırma sistemi olarak da çalışması gerekmektedir. Bu sistemlerden biriside, geleneksel havalandırma kanallarına ihtiyaç olmadan tasarlanmış ve havayı sistemdeki fanların itme gücünün etkisi ile hareketlendiren jet fan sistemidir. CFD analizlerinde günlük havalandırma için CO ve hava hızı olmak üzere iki ayrı parametre, yangın simülasyonlarında ise CO_2, CO, sıcaklık, duman konsantrasyonu ve hava hızı olmak üzere beş ayrı parametre değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2007). Fanlar: Özellikleri ve Analiz. Teknik Bülten(24).

ASHRAE. (2007). 2007 ASHRAE Handbook—HVAC Applications (SI).

ATC, Air Trade Centre. (2011). Kapalı Otopark Havalandırması için Yeni Jet Fanlı Sistemler ile Konvansiyonel Sistemlerin Karşılaştırması ve Jet Fanlı Havalandırma Sistemlerinin Tasarımındaki Kritik Faktörler. Tesisat(187), 78-86.

Aydoğdu, O. (2009). Kapalı Otoparklarda Jet Fan Tasarımı Tasarımı ve Kriterleri. Tesisat Dergisi.

British Standards Instutition (2006). Components for smoke and heat control systems. Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks.

Çengel, Y., Boles, M. (2008). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Mc Graw Hill.

Giesen, B., Penders, S., Loomans, M., Rutten, P., Hensen, J. (2011). Modelling and simulation of a jet fan for controlled air flow in large enclosures. Environmental Modelling & Software, 26(2), 191-200.

Goel, R., Singh, B., Jian, Z. (2012). Ventilation in Underground Car Parks, Underground Infrastructures - Planning, Design, and Construction (s. 118-119). USA, Elsevier.

Kılıç, A. (2017). Otopark ve Tünellerde Jet Fan Havalandırma ve Duman Kontrolü. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, İstanbul.

National Institute of Standards and Technology. (2013). Fire Dynamic Simulator User's Guide. (Sixth Edition), National Institute of Standards and Technology.

Özceviz, N., Tari B., Onat A., (2018). Pratik Havalandırma Kılavuzu, İstanbul.

Sultansu, S., Onat, A., (2020). "The CFD Analysis of Ventilation and Smoke Control System with Jet Fan in A Parking Garage" International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 1: 89-95 DOI: 10.7240/jeps.522037.

Sultansu, S., Onat, A. (2019) **"**Kapalı bir otoparkın jet fanlı havalandırma ve duman kontrol sisteminin CFD analizi", Yüksek lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

T.C. Resmi Gazete. 12937 (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik.

United States Environmental Protection Agency, Carbon Monoxide's Impact on Indoor Air Quality, https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/carbon-monoxides-impact-indoor-air-quality#Health_Effects

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.

Witt, K., Schütze, J., Witt&Sohn AG. (2008). Effective Thrust Transformation Inside Tunnels with Jet Fans (Banana Jet). 4th International Conference “Tunnel Safety and Ventilation”, Graz.