



tmmob
makina mühendisleri odası

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

ISSN 1300-3399 • E-ISSN 2667-7555 • Mart-Nisan 2020 • Yıl: 28 • Sayı: 176 • www.mmoistanbul.org



Farklı Amaçla Kullanılan Temizlik Malzemelerinin İç Hava Kalitesine Etkisi

Sibel MENTEŞE, Bahar AKÇA, Ali ÇAĞLAR

Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salınan Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri

İlknur AYRI, Mesut GENİŞOĞLU, Handan GAYGISIZ, Aysun SOFUOĞLU, Sait Cemil SOFUOĞLU

Toprak Kaynaklı Dirsek Tip Isı Borularıyla Buzlanmanın Önlenmesi

Ahmet ÖZSOY, Yavuz GÜLEÇ

Hava Kanalı Sızdırmazlık Testleri ve Commissioning (Cx) Sürecine Etkisi

Hasan Özgüç DİVARCI

Geriye Dönük Adım Akışında Karbon Tabanlı Nanoakışkanların Isı Transferi ve Akış Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi

Koray KARABULUT, Doğan Engin ALNAK

Farklı Standart Koşullar İçin İki Kademeli Bir Soğutma Sisteminin Deneysel İncelenmesi

Deniz YILMAZ, Ebru MANÇUHAN

Koronavirüs ve Salgın Hastalıkların HVAC Sistemleriyle İlişkisi



Yangın söndürme sistemlerinde
Türkiye'de bir ilk:

2500 GPM'DE UL/FM SERTİFİKASI* STANDART POMPA'DA!

Binalar ve endüstriyel tesisler
artık yangınlara karşı çok daha güvende.
Çünkü Standart Pompa,
1500 GPM ve 2000 GPM'den sonra
şimdi de Türkiye'de ilk defa 2500 GPM'de
hem **UL** hem de **FM** sertifikalarını aldı.

AYRILABİLİR GÖVDELİ
SANTRİFÜJ YANGIN POMPAZI



UÇTAN EMİŞLİ
SANTRİFÜJ YANGIN POMPAZI



*UL (Underwriters Laboratories) ürün güvenilirliği konusunda standartlar hazırlayan
ve bu standartlar kapsamında ürünlerin güvenilirliğini test eden bağımsız bir sertifikasyon kuruluşudur.

FM (Factory Mutual) ise, özel ve büyük riskleri sigortalayan FMI şirketinin, performans onayı veren bağımsız teknik kuruluşudur.
FM onayı, yangın pompaları ve çevre elemanlarına verilen kalite onayları arasında en zor kriterlere sahip olanıdır.

Standart
Pompa • Yangın Söndürme Sistemleri • Hidrofor



www.standartpompa.com

444 1 477



tmmob
makina mühendisleri odası

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ

Yayın Kurulu

Yük. Mak. Müh. C. Ahmet AKÇAKAYA

Orient Research

Yük. Mak. Müh. Muammer AKGÜN

BACADER

Zeki ARSLAN

Isiso Mühendislik

Yük. Mak. Müh. Uğur AYKEN

Adeks Mühendislik

Turgut BOZKURT

Ekin Mühendislik

Dr. Öğretim Üyesi Ali CELEN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Ali Metin DURUK

ISKAV

Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ

Çankaya Üniversitesi

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Ege Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

İstanbul Aydın Üniversitesi

Prof. Dr. Birol KILKIŞ

Başkent Üniversitesi

Muammer KOÇER

ATM Mühendislik

Dr. Burak OLGUN

Solution Home Bilişim

Prof. Dr. İsmail Cem PARMAKSIZOĞLU

İstanbul Gedik Üniversitesi

Tevfik PEKER

İSISO Sanayi Sitesi Yönetim Kurulu Üyesi

Prof. Dr. Galip TEMİR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Macit TOKSOY

İmbat

İsmail TURANLI

Norm Teknik

Doç. Dr. Nihal UĞURLUBİLEK

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Üzeyir ULUDAĞ

Artes Havuzculuk

ISSN 1300-3399

E-ISSN 2667-7555

Süreli-Teknik Yayın

Mart-Nisan 2020

Yıl: 28 Sayı: 176

TMMOB MMO Adına Sahibi

(Tüzel Kişi Temsilcisi)

Yunus YENER

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

İbrahim M. TATAROĞLU

Editör

Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ

Yayın Koordinatörü

Sema KEBAN

Dizgi ve Mizanpaj

Sema KEBAN

Baskı

Ezgi Matbaacılık

Çobançeşme Mah. Sanayi Cad.

Altay Sok. No: 14 Yenibosna/İst.

Tel: 0212 452 23 02

ezgimatbaa@gmail.com

Yayın Tarihi

15.05.2020

Yönetim Merkezi

Kâtip Mustafa Çelebi Mah. İpek

Sok. No: 9 Beyoğlu/İstanbul

Tel: 0212 252 95 00-01

www.mmoistanbul.org
yayin-istanbul@mmo.org.tr

1993'ten beri aralıksız olarak yayınlanmakta olan Tesisat Mühendisliği Dergisi'ndeki yazı ve çizimlerin her hakkı saklıdır. İzin alınmadan yayınlanamaz.

Hakem Kurulu

Doç. Dr. Eyüp AKARYILDIZ

Mak. Müh. C. Ahmet AKÇAKAYA

Yük. Mak. Müh. Muammer AKGÜN

Prof. Dr. Mahir ARIKOL

Prof. Dr. Ahmet ARISOY

Yük. Mak. Müh. Uğur AYKEN

Prof. Dr. Z. Düriye BİLGE

Dr. Mustafa BİLGE

Mak. Müh. Turgut BOZKURT

Prof. Dr. Ahmet CAN

Dr. Öğretim Üyesi Handan ÇUBUK

Prof. Dr. Taner DERBENTLİ

Yük. Mak. Müh. Metin DURUK

Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ

Mak. Müh. Serper GİRAY

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN

Mak. Müh. Ali Haydar KARAÇAM

Prof. Dr. Haluk KARADOĞAN

Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ

Prof. Dr. Olcay KINCA

Prof. Dr. Birol KILKIŞ

Doç. Dr. Levent KIRKAYAK

Mak. Müh. Tunç KORUN

Dr. Nuri Alpay KÜREKÇİ

Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN

Dr. Burak OLGUN

Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU

Prof. Dr. Rüknettin OSKAY

Prof. Dr. Derya Burcu ÖZKAN

Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK

Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU

Dr. Mustafa Kemal SEVİNDİR

Prof. Dr. Galip TEMİR

Prof. Dr. Macit TOKSOY

Mak. Müh. İsmail TURANLI

Mak. Müh. Üzeyir ULUDAĞ

Mak. Müh. Cafer ÜNLÜ

Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Prof. Dr. Tuncay YILMAZ

Prof. Dr. Zerrin YILMAZ

Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

Derginin Amacı ve Kapsamı

- Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, tesisat mühendisliği alanındaki güncel gelişmeleri içeren makaleler, sektörel ilgili haberler, sektöre yönelik akademik çalışmalar ve duyuruları ile bu alanda çalışan makina mühendisleri arasında iletişimi ve bilgi birikimi aktarımını sağlamak üzere çıkarılan bir yayındır.
- MMO adına İstanbul Şube tarafından 2 aylık periyotlarla hazırlanarak basımı gerçekleştirilen Tesisat Mühendisliği Dergisi, Tesisat alanında çalışmakta olan üyelerimiz için 1993 yılından beri yayınlanan hakemli bir dergidir.
- Derginin baskı adedi 1.500 olup, Serbest Mühendislik Müşavirlik Bürolarına (SMM), ülke çapında Makina Mühendisleri Odası üyelerine, firmalara, İstanbul il ve ilçe belediyelerine, sanayi ve ticaret odalarına, üniversitelerde konu ile ilgili öğretim üyelerine, kamu kurum ve kuruluşlarına ücretsiz olarak gönderilmektedir. Dergi ayrıca elektronik ortamda www.mmo.org.tr web sayfamızda yer alan "Yayımlar" bölümünden ve Makina Mobil uygulaması üzerinden takip edilebilmektedir.

Yazarlara Bilgi

- Makale Hazırlama: Dergimizde yayınlanacak makaleler, "Öz ve Makale Yazım Kuralları"nda belirtilenlere uygun olarak Microsoft Word programında hazırlanmalıdır.
- Makalenin Dergimize İletilmesi: Dergide belirlenen yazım kurallarına uygun bir şekilde düzenlenmiş makale, <http://omys.mmo.org.tr/tesisat/> adresinde yer alan online makale yönetim sistemine yüklenmelidir.
- Hakem Değerlendirme Süreci: Tüm yazılar, kimliği kapalı olarak bir hakem değerlendirme sürecinden geçirilir ve editör tarafından belirlenen, konusunda uzman en az iki adet hakeme değerlendirilmek üzere gönderilir. En az iki hakemden basım için onay alınan makaleler basım için kabul edilir; bir kabul, bir red durumunda üçüncü bir hakemin görüşüne başvurulur; iki olumsuz hakem raporu makalenin basılamayacağını belirler.
- Değerlendirme süreci sonunda olumlu görülen makaleler en kısa sürede yayımlanmak üzere baskı sıralamasına alınır ve makale sahibine bildirilir. Yazarlar, basımdan önce hakem raporunda yer alan düzeltmeleri yapmak ve derginin yazım kurallarına göre yazılarını düzenlemekle yükümlüdürler. Dergi yazım kurallarının yazar veya yazarlarca dikkatle uygulanması gerekmektedir. Dergi gerekli gördüğü yerlerde uygun redaksiyon yapma hakkını saklı tutar.

Etik Kurallar

- Dergiye gönderilen makalelerde COPE (Committee on Publication Ethics)'un Editör ve Yazarlar için Uluslararası Standartları dikkate alınmalıdır.
- Dergiye gönderilen makalelerde etik kurul kararı gerektiren klinik ve deneysel insan ve hayvanlar üzerindeki çalışmalar için ayrı ayrı etik kurul onayı alınmış olmalı, bu onay makalede belirtilmeli ve belgelendirilmelidir.
- Sunulan kaynakların ve verilerin doğruluğundan yazarlar sorumludur. Hatalı, aldatıcı veya yanlış yönlendirici bilgilerin varlığı fark edildiğinde editör makaleyi bilimsel literatürden çekme ve bunu duyurma hakkına sahiptir.
- Dergimizde yayınlanan veya yayınlama amacı ile gönderilen yazılarda intihal ve izinsiz veri kullanımına ilişkin tüm sorumluluk çalışmanın yazar ya da yazarlarına aittir. Böyle bir durumda Tesisat Mühendisliği dergisi herhangi bir sorumluluk kabul etmez.
- Tüm yazarların gönderilen makaleye akademik ve bilimsel açıdan katkıları bulunmalıdır. Yazarlar gönderilen yayının herhangi bir şekilde öncelikli hale getirilmesini isteyemez.

Yayın İlkeleri

1. MMO adına İstanbul Şube tarafından 2 aylık periyotlarla hazırlanarak basımı gerçekleştirilen Tesisat Mühendisliği Dergisi, Tesisat alanında çalışmakta olan üyelerimiz için 1993 yılından beri yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimiz, 1993 yılından bu yana düzenli olarak yayımlanan ulusal hakemli bir dergidir.
2. Makaleler internet ortamında da yayınlanmaktadır.
3. Makale metinleri ve öz üzerinde yer alan her türlü görüş, düşünce ve yazım hatası açısından sorumluluk tamamen yazarlara aittir.
4. Makalelerde, bölümler (giriş, tanımlamalar, incelemeler, araştırmalar, gelişmeler, sonuçlar, şekiller ve değerlendirmeler vb.) bir bütünlük içinde olmalıdır.
5. Dergimizde, Türkçe dilinde yazılmış özgün niteliği olan orijinal araştırma kategorisindeki veya derleme makaleler yayımlanır. Bu kategorideki makalelerin; üretilen bilginin yeni olması, yeni bir yöntem öne sürmesi ya da daha önce var olan bilgiye yeni bir boyut kazandırmış olması gibi niteliklere sahip olması beklenir.
6. Makalelerde kullanılan bütün birimler SI birim sisteminde olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde farklı birim sistemindeki değerleri parantez içinde verilmelidir.
7. Makalenin üslubu, formatı ve dili etkinlik yapısına ve mühendislik etiğine uygun olmalıdır.
8. Makalelerde belirli bir grup, sınıf veya toplumu oluşturan tabakalardan herhangi birinin, firma veya firma topluluklarının menfaati ön plana çıkartılmamalı, bu konuda reklam ve propaganda yapılmamalıdır. Makalelerde herhangi bir firmanın, ürünün (veya sistemin), cihazın veya markanın reklamı yapılmamalıdır. Şekil, resim ve tablolarda ticari bir kuruluşun adı, logosu yer almamalıdır.
9. Makaleleri değerlendiren hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez (blind peer review). Hakemlerin de yazar isimlerini görmeden (double-blind peer review) makaleleri değerlendirmeleri gerçekleştirilir.
10. Hakemlere gönderilen makalelerin 30 gün içerisinde değerlendirilmesi beklenir. Bu sürenin aşılması durumunda editörler yeni hakem ataması yaparak eski hakemden isteği geri çekerler.
11. Makale hakkında kabul-ret kararı editörler tarafından verilir. Hakem önerileri doğrultusunda yeterli görülmeyen makalelere geliştirilmesi hususunda major (değerlendirme için yeniden gönder) ya da minor (düzeltme gerekli) revizyon kararı verilir. İstenilen seviyeye ulaşmayan ve bilimsel açıdan yeterli görülmeyen makaleler reddedilir.
12. Yayımlanmak üzere gönderilen makalelerin herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere herhangi bir dergiye gönderilmemiş olması zorunludur.
13. Dergimizde yayımlanmak için gönderilen makalelerden herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti alınmamaktadır.

* Bilindiği üzere, araştırmacı, bilim insanı ve akademisyenlerin bilimsel çalışmalarındaki isim/kurum benzerliklerinden kaynaklanan bazı sorunların önüne geçilebilmesi amacıyla araştırmacı kimlik numaraları kullanılmaktadır. TÜBİTAK ULAKBİM ve YÖK arasındaki işbirliği ile yürütülen çalışmalar kapsamında, ORCID bilgisinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu bağlamda, makale yazarlarının uluslararası geçerliliği de bulunan "ORCID" bilgisine makalelerde yer verilmesi gerekmektedir. ORCID, Open Researcher ve Contributor ID'nin kısaltmasıdır. ORCID, Uluslararası Standart Ad Tanımlayıcı (ISNI) olarak da bilinen ISO Standardı (ISO 27729) ile uyumlu 16 haneli numaralı bir URL'dir. <http://orcid.org> adresinden bireysel ORCID için ücretsiz kayıt oluşturabilirsiniz.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA	Farklı Amaçla Kullanılan Temizlik Malzemelerinin İç Hava Kalitesine Etkisi Contribution of Different Types of Household Cleaning Products to Indoor Air Quality Sibel MENTEŞE Bahar AKÇA Ali ÇAĞLAR	ARAŞTIRMA
7-12		
ARAŞTIRMA	Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salverilen Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri Indoor Air Levels and Health Risk Assessment of Carbon Tetrachloride Emitted from Toilet-Bowl Cleaners İlknur AYRI Mesut GENİŞOĞLU Handan GAYGISIZ Aysun SOFUOĞLU Sait Cemil SOFUOĞLU	ARAŞTIRMA
13-17		
ARAŞTIRMA	Toprak Kaynaklı Dirsek Tıp Isı Borularıyla Buzlanmanın Önlenmesi Prevention of Icing by Using Ground Source Elbow Type Heat Pipe Ahmet ÖZSOY Yavuz GÜLEÇ	ARAŞTIRMA
18-26		
ARAŞTIRMA	Hava Kanalı Sızdırmazlık Testleri ve Commissioning (Cx) Sürecine Etkisi Air Duct Leakage Tests and Effect On Commissioning (Cx) Process Hasan Özgüç DİVARCI	ARAŞTIRMA
27-37		
	Geriye Dönük Adım Akışında Karbon Tabanlı Nanoakışkanların Isı Transferi ve Akış Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi Evaluation of the Carbon-Based Nanofluids in Terms of Heat Transfer and Flow Properties at Backward-Facing Step Flow Koray KARABULUT Doğan Engin ALNAK	ARAŞTIRMA
		38-52
	Farklı Standart Koşullar İçin İki Kademeli Bir Soğutma Sisteminin Deneysel İncelenmesi Experimental Investigation of a Two Stage Cooling System for Different Standard Conditions Deniz YILMAZ Ebru MANÇUHAN	ARAŞTIRMA
		53-58
	Koronavirüs ve Salgın Hastalıkların HVAC Sistemleriyle İlişkisi	ARAŞTIRMA
		59

Öz ve Makale Yazım Kuralları

- Makaleler, Open Office veya Microsoft Word belgesi şeklinde Windows ortamına uygun şekilde hazırlanmalıdır.
- Makaleler sayfada solda 3,5 cm, üstte, altta ve sağda 2,5 cm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
- Makale metinleri, kaynaklar ve şekiller dâhil en fazla 15 sayfadan oluşmalıdır.
- Makale başlığı en fazla 15 sözcük veya iki satırı geçmeyecek şekilde oluşturulacaktır. Başlıklar 14 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak yazılmalıdır.
- Makale başlığının ardından; yazar isimleri, yazarların çalıştığı kurumlar, yazara ait ORCID* bilgisi ve varsa e-posta adresleri bilgilerine yer verilmelidir.
- Yazar isimlerini takiben makalenin İngilizce başlığı, Türkçe ve İngilizce öz (abstract) ve anahtar kelimeler (keywords) bilgileri yer almalıdır.
- Makale öz metninin 200 sözcükten fazla olmamasına dikkat edilmelidir.
- Makale metninin tamamı 9 punto Times New Roman yazı tipi kullanılarak yazılmalıdır.

- Makalelerde yer alan resim, çizim, program ekran görüntüsü, şekil, tablo, grafik ve formüllerin yerleşimi metin akışına uygun olarak metin içinde olmalı ve referans edilmelidir.
- Tablo içermeyen bütün görüntüler (fotoğraf, çizim, diyagram, grafik, harita vs.) şekil olarak isimlendirilmelidir.
- Makalelerde ana konu başlıkları 1., 2., 2.1., 2.1.1. vb. şekilde numaralandırılmalıdır.
- Kullanılan semboller ve indisler kaynaklardan önce 8 punto ve italik olarak verilmelidir.
- Makalede geçen kaynaklar veya alıntılar [1], [2] vb. parantezler arasında gösterilmelidir. Makale sonunda "Kaynaklar" başlığı altında [1], [2] şeklinde verilmelidir.
- Makaleler: [1] yazar(lar) soyadı, adının baş harfi, makalenin açık adı, derginin açık adı, cilt numarası, sayfa aralığı, basım yılı. Kitap: [2] yazar (editör) soyadı, adının baş harfi., kitabın açık adı, basım evi, basım yeri, basım yılı. Tez: [3] yazar soyadı, adının baş harfi, tezin açık adı, tezin yapıldığı üniversite, tezin basıldığı yer/ülke, basım yılı düzeninde yazılmalıdır.
- Makale metninin elektronik kopyaları e-posta ve Online Makale Yönetim Sistemi üzerinden (<http://omys.mmo.org.tr/tesisat>) gönderilmelidir.

MMO TEKNİK YAYIN LİSTESİ

Y. No	Yayın Adı	Y. No	Yayın Adı
697	Asansör Avan Projesi Hazırlama Teknik Esasları	485	Motorlu Taşıtlar Temel ve Tasarım Es. Yapı Elemanları Cilt 2
687	Mekanik Tasarımda Korozyon ve Önlemleri	484	Motorlu Taşıtlar Temel ve Tasarım Es. Yapı Elemanları Cilt 1
671	Mekanik Tasarımda Titanyum ve Özellikleri	483	Krenlerde Çelik Konstrüksiyonlar II.Cilt
666	Hava Kirliliği Kontrol Teknolojisi Absorpsiyon Kuleleri İle Kirli Gaz ve P.T.	483	Krenlerde Çelik Konstrüksiyonlar I.Cilt
664	Yalıtım	481	Hastane İklimlendirme Tesisatı ve Denetim Es.
663	Klima Tesisatı	464	Uçak Tasarım Projeleri
650	Havalandırma Tesisatı	462	İmalat Sektöründe Proses Planlama
645	Soğutma Sistemleri	461	Paslanmaz Çelikler, Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri
644	Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Tes. Doğal Gaz Kullanımı ve Uyg. Es.	460	Sürtünen Eleman ile Kaynak (FSW) Yöntemi
638	Araç İmal ve Tadilatına Ait Tarifler, Bazı Esaslar ve Asgari Şartlar	448	Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Mardin ve Siirt İllerinde San. Gen. Gör.
633	10 Derste Şantiye Tekniği	445	Yanma ve Bacalar
632	Buharlaştırma Soğutma	442	Gaziantep, K.Maraş,ve Kilis İleri Tekstil Sektörünün Genel Görünümü
631	Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı ve Buharlı Isıtma Sistemleri	441	Pratik Risk Değerlendirme El Kitabı: Tolley Yaklaşımı
630	Atık Su Arıtma Tesisi Pratik Bilgiler El Kitabı	434	Yapılarda Doğal gaz Dönüşümü ve Denetimi
629	Krenlerde Çelik Konstrüksiyonlar	426	İngilizce-Türkçe Endüstri Müh. ve Müh. Yönetimi Terimleri Sözlüğü
625	Statik	425	Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri
623	Basınçlı Hava Tesisatı Tasarım ve Uygulama Kitabı	423	Geometrik Toleranslar
612	Endüstriyel Tesislerde Buharlaştırıcılar	422	Mekatronik Mühendisliği (Kavramlar ve Uygulamalar)
610	Plastisite Teorisi	417	Enerji Politikaları Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu
606	Uygulamalı Nitel Yöntemlerle Kalite İyileştirme Teknikleri	413	LPG'ye Dönüştürülmüş Araçlarda Denetim Uygulamaları
604	LPG Dolum Tesisleri ve Otogaz İstasyonları Sorumlu Müdür Kitabı	408	Türkiye'nin Doğal Gaz Temin ve Tüketim Politikalarının Değ. Raporu
599	Havanın Nemlendirilmesi	391	Kaldırma Makinaları (Krenler)
598	Motorlu Taşıtlarda Hibrit Tahrik	377	Doğal Gaz İç Tesisatı
596	Tesisatlarda Sismik Koruma	375	Sulama Tekniği
595	Duman Kontrolü ve Basınçlandırma Tesisatı Projelendirme Es.	369	Plastik Enjeksiyon Kalıpları
594	Mekanik Tasarımda Alüminyum ve Özellikleri	363	Yeni Mevzuatın Işığında İş Sağlığı ve Güv. Açıklama-Yorum-Uygulama
593	Biyoyakıt Üretimi ve Kullanımı	362	Teknik Terimler Sözlüğü
577	Geometrik Toleranslar	359	Makina İmalat Sanayi Sektörü Araştırması
576	Motor Konstrüksiyonu	358	Kaldırma-İletme ve Basınçlı Kaplarda Denetimsizlik
575	Doğal Gaz İç Tesisat Uygulama Es.	356	Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt-1 (Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri)
572	Kaldırma Makinalarında Yorulma Test ve Analizleri	355	Dökme LPG Sistemleri ve Dökme LPG Kullanımı
570	Çok Ölüçlü Karar Verme Yöntemleri ve Uygulamaları	354	Atık Su Arıtma Tesisi Pratik Bilgiler El Kitabı
560	Kompresörler	353	Mukavemet Değerleri
558	Tozlu Ortamlarda Patlama Güvenliği	352	Kalorifer Tesisatı
557	Uçak Mühendisliği Terimleri Sözlüğü	343	Basınçlı Hava Tesisatı ve Kompresörler
554	Sığınak Havalandırma Projesi Hazırlama Es.	325	Gaz Yakan Cihazlarda CE İşaretlemesi Uygulama Rehberi
552	Kompozit Malzeme Temelleri-Polimer Matrisli	325	Sıcak Su Kazanlarında CE İşaretlemesi Uygulama Rehberi
546	Yenilikçilik ve Mekan (Ankara'daki Teknoloji Geliştirme Bölgeleri)	325	Basınçlı Ekipmanlarda CE İşaretlemesi Uygulama Rehberi
545	Malzeme Bilimleri Serisi Cilt-2 Malzeme Bilgisine Giriş	325	Makinalarda CE İşaretlemesi Uygulama Rehberi
544	Sayısal Kontrol ve Takım Tezgâhları	324	Asansörlerde Denetimsizlik
543	İşletme Problemleri için Optimizasyon-Adım Adım Uygulama	318	Otomatik Kontrol Tesisatı
516	Mühendisler için Araç Proje El Kitabı	313	Hidrolik Pnömatik Türkçe-Almanca- İngilizce Sözlük
511	Motorlu Taşıtlar Çözümü Problemleri	308	Pres İşleri Tekniği Cilt-3
509	Pratik Proses Kontrol ve Otomasyon Sis. İçin Enstrümantasyon Kıl.	307	Pres İşleri Tekniği Cilt-2
508	Dönen Makinaların Kontrolü ve Hassas Bakımı	306	Pres İşleri Tekniği Cilt-1
507	Endüstriyel Fırçasız Servomotorlar	305	İş Makinaları El Kitabı-4 (Kazıma, Serme, Sıkıştırma Makinaları)
506	Mekanik Tahrik Sistemleri	304	İş Makinaları El Kitabı-3 (Kazıma ve Yükleme Makinaları)
505	Bağlama Elemanları (Cıvata ve Somun)	303	İş Makinaları El Kitabı-2 (Kaldırma Makinaları)
504	Geçme Toleransları	302	İş Makinaları El Kitabı Cilt-1 (Genel Konular)
503	Hastane ve Klinikler için HVAC Tasarım Kılavuzu	300	Yangın Söndürme Sistemleri
502	Taşıt Lastikleri ve Kaplanmış Lastikler Kitabı	299	LPG Tesisatı (Konutlarda ve Sanayide Dökmegaz Tesis)
501	Yangın Söndürme Tesisatı Proje Hazırlama Es. Kitabı	293	Pnömatik Devre Elemanları ve Uygulama Tek.
500	LPG Tanker Şoförleri Eğitim Kitabı	292	Hidrolik Devre Elemanları ve Uygulama Tek.
499	Tüplü LPG Dağıtım Personeli Eğitim Kitabı	282	Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı, Buharlı Isıtma Sis.
498	LPG Dolum ve Boşaltım Personeli Eğitim Kitabı	271	Malzeme Bilimleri Serisi Cilt -1
495	Hastane Hijyenik Alanlarının Klima ve Havalandırma Proje Haz. Es.	261	Psikrometri
492	LPG Dolum Tesisleri ve Otogaz İstasyonları Sorumlu Müdür El Kitabı		
488	Çalışma Yaşamı ve Ücretli Mühendisler		

tamamı www.mmo.org.tr/merkez/satistaki-kitaplar adresinde...

SUNUŞ

Merhaba Değerli Meslektaşlarımız,

Olumsuzluklara yeni olumsuzlukların eklendiği, kötü ve olağandışı bir dönemden geçmemize karşın Oda olarak bu süreçte örgütsel bütünlüğümüzü korumak için birçok adım attık.

Salgının Türkiye’de gündeme girmesiyle birlikte Oda çalışmalarında üyelerimizi ve çalışanlarımızı koruyucu yöntemlere ağırlık verdik. Çalışma düzenimizi; zorunlu durumlar dışında evden çalışma, kısa çalışma vb. tamamen değiştirdik.

Birlikte üretme, birlikte karar verme, birlikte yönetme geleneğimizi olağandışı bir dönemde de sürdürme gerekliliğini yerine getirmeye yönelik çalışmalar yaptık.

Online olarak OYK-ŞYK’ler, Başkanlar, Sekreterler-Müdürler hatta komisyon toplantıları yapıldı. Günlük işleyişi aksatmadık, gerekli temasları ve çalışmalarını bütün örgüt olarak sürdürdük, salgın sürecinde alınması gereken önlemlere ilişkin eğitimler düzenledik.

* * * *

11-12 Nisan 2020 tarihlerinde çoğunluklu, 18-19 Nisan 2020 tarihlerinde ise çoğunluksuz yapılması planlanan Odamız 48. Olağan Genel Kurulu, Dünya Sağlık Örgütü'nün pandemi olarak ilan edilen koronavirüs salgınının yarattığı riskler göz önüne alınarak TMMOB Ana Yönetmeliğinin 5. Maddesi uyarınca ertelendi.

Odamız Şube delege toplantılarının ardından Genel Kurul Delegeleri buluşmasını 586 delegenin katılımı ile online olarak 2 Mayıs 2020 tarihinde gerçekleştirdi.

* * * *

"İnsanca yaşamak için üreteceğimiz yeni bir toplumsal düzeni emek ve bilimle kuracağız!" diyen Odamız 25 Mart-30 Nisan tarihleri arasında pek çok webinar eğitim gerçekleştirdi.

* * * *

Covid-19 pandemisi sürecinde Odamız tarafından yürütülen teknik hizmetler faaliyetleri esnasında alınması gereken İSG önlemlerine yönelik eğitim düzenlendi.

* * * *

Bu sayımızda; *Temizlik Malzemelerinin İç Hava Kalitesine Etkisi, Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salıverilen Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri, Toprak Kaynaklı Dirsek Tip Isı Borularıyla Buzlanmanın Önlenmesi, Hava Kanalı Sızdırmazlık Testleri ve Commissioning (Cx) Sürecine Etkisi, Geriye Dönük Adım Akışında Karbon Tabanlı Nanoakışkanların Isı Transferi ve Akış Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi, Farklı Standart Koşullar İçin İki Kademeli Bir Soğutma Sisteminin Deneysel İncelenmesi* başlıklı makalelerin yanı sıra Odamız tarafından yayınlanan Koronavirüs ve Salgın Hastalıkların HVAC Sistemleriyle İlişkisi konulu önlemler içeren makale yer almaktadır.

* * * *

Dergimiz www.mmo.org.tr internet sitemizde yer alan “Yayınlar” bölümünden takip edilebilmektedir.

Esenlik dileklerimizle.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu
Nisan 2020



tmmob
makina mühendisleri odası
istanbul şubesi



HASTANE İKLİMLENDİRME TESİSATI TASARIM ve DENETİM ESASLARI

Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi

Yazan : MMO İstanbul Şube Hastane İklimlendirme Tesisatı
ve Denetim Esasları Kitap Komisyonu

Yayın No : MMO /481 /2

Birinci Baskı : Mayıs 2008

İkinci Baskı : Nisan 2019

ISBN : 978-605-01-1274-0

Sayfa Sayısı : 142

Ebat : 19,5*27,5 cm

İKİNCİ BASKIYA ÖNSÖZ

Merhaba,

Yaşamının herhangi bir döneminde hastane ile teması olmayan yoktur sanırım. Gerçekten de hastaneler kapısından girildiği anda kokusu, soğuk renkleri ve anlamadıkları dilden konuşan insanların koşuşturduğu, tüm kaosuna rağmen belirgin bir hiyerarşik düzenin hissedildiği, endişe verici hatta korkutucu bir ortam gelir pek çok kişiye... Kimse hastanelere “düşmek” istemez ancak kendisi, yakını, sevdiği bir insan için hastaneye uğramamış kimse de yoktur neredeyse. Sağlık çalışanları ise hastanelerde deyim yerindeyse bir ömür geçirmektedirler. Kimileri için şifa kaynağı, kimileri için çalışma ve yaşam alanı, kimileri için gelecek kapısı olan hastaneler gerek hasta, hasta yakını gerekse sağlık çalışanı ve öğrenciler için yaşamın vazgeçilmezidir... Sağlık hizmeti almaya gelen kişi için görece kısa dönemli bir temasın olduğu hastanelerde sağlık çalışanları koca bir ömür geçirmektedir. Hatta pek çok sağlık çalışanı için evden çok zamanın geçirildiği ortamlardır hastaneler. Tam da bu noktada sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarının önemi gündeme gelmektedir.

Hastaneler, ilgili mevzuat kapsamında sağlık ve güvenlik risklerine göre çok tehlikeli iş yerleri olarak sınıflandırılmıştır. Bu durum bize hastanelerde gerek sağlık hizmeti alanlar gerekse sunanlar açısından ciddi, yaşamı tehdit eden sağlık ve güvenlik risklerinin varlığını vurgulamaktadır. Bu sağlık ve güvenlik riskleri farklı şekilde sınıflandırılrsa da yaygın olarak Fiziksel, Kimyasal, Biyolojik,

Psikososyal ve Ergonomik riskler başlıkları altında toplanabilirler. Bu risklerin uygun yöntemlerle tanımlanması, yok edilmesi ya da kontrol altına alınması hasta ve çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlamak açısından yaşamsal önemdedir.

İlk baskısı 2007’de yapılmış olan ve şimdi 2. basımı yapılan “Hastane İklimlendirme Tesisatı Tasarım ve Denetim Esasları” kitabı, farklı disiplinlerin bir araya gelerek ekip anlayışı sağlık hizmetinin sunulduğu hastanelerde birçok disiplinin emeği ve katkısı ile yine bir ekip anlayışıyla TMMOB Makina Mühendisleri Odası tarafından hazırlandı. Kitap içeriği ve kapsamı ile ülkemizde mevzuatta yer almayan ve eksikliği hissedilen tasarım, steril alan planlama, klima ve havalandırma, seçilecek cihaz ve ekipman, test ve işletme konularında kriterler sunarak ülkemizde hastanelerde hasta ve çalışan sağlığını olumsuz etkileme olasılığı olan sağlık ve güvenlik risklerini en aza indirme noktasında rehber olacak niteliktedir.

Kitabın hastanelerde hasta ve çalışan sağlığı ve güvenliği sorunlarının çözülmesi yönünde politika belirleyiciler ve yöneticiler için yol gösterici olacağına, konuyla ilgili bireysel ve kurumsal farkındalığı artıracığına, meslek örgütlerimiz arasındaki işbirliğini geliştireceğine inanıyoruz. Sağlığın korunması, sürdürülmesi ve geliştirilmesi amacıyla hizmet eden “Hastane İklimlendirme Tesisatı Tasarım ve Denetim Esasları” kitabının hazırlanmasında emeği geçen, katkısı olan herkese teşekkürler...

Prof. Dr. Sinan Adıyaman

Türk Tabipleri Birliği Merkez Konseyi Başkanı, 2019

Farklı Amaçla Kullanılan Temizlik Malzemelerinin İç Hava Kalitesine Etkisi

Sibel MENTEŞE

Doç. Dr.

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği
Çanakkale
sibementese@gmail.com
orcid: 0000-0002-0395-3603

Bahar AKÇA

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği
Çanakkale
baharakca@yandex.com
orcid: 0000-0003-4827-1478

Ali ÇAĞLAR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği
Çanakkale
orcid: 0000-0002-5912-5751

ÖZ

Birincil kirletici olarak temizlik malzemelerinin iç ortama ilk yayıldıklarında oluşan konsantrasyonlar, maruz kalma ve soluma ile vücuda alınarak iç ortam havasındaki kirletici türlerine katkı sağlamaktadır. Bu uçucu kirleticilerden halojenli bileşiklerin çözücü olarak birçok tüketici malında ve temizlik malzemesinde bolca kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada temizlikte kullanılan, ülkemizdeki yerel marketlerde kendi sınıfında çok satış yapan çamaşır suyu, ahşap temizleme solüsyonu, oto kokusu, el sabunu, cam temizleme solüsyonu, kireç çözücü ve kolonya gibi temizlik malzemelerinin iç hava kalitesine olan etkisi standart koşullarda hazırlanan deneysel çalışmalar ile araştırılmıştır. Bu temizlik malzemelerinin uçucu organik bileşik (UOB) yayma potansiyelleri yapılan standart oda deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu malzemelerden özellikle oto kokusunun en yüksek UOB emisyonuna; cam temizleme solüsyonunun ve limon kolonyasının ise onu takip ettiği belirlenmiştir. Temizlik işleminde kullanılan temizlik malzemesinin sulandırılmış solüsyonunun da UOB yayma potansiyelleri araştırılmıştır. Sulandırılmış ahşap temizleme solüsyonunun, bulaşık el deterjanının ve sıvı el sabunun; saf hallerine göre daha yüksek UOB emisyonu yaydığı belirlenmiştir. Ayrıca, temizlik malzemesine göre değişkenlik göstermekle beraber, diğer temizlik ürünlerinde de düşük molekül ağırlıklı veya göreceli olarak yüksek molekül ağırlıklı UOB türlerinin salındığı belirlenmiştir. Dünyada farklı temizlik ürünleri ile yapılan çalışmalar bulunmasına karşın, ülkemizde market raflarında yer alan ve yerel tüketimde olan ticari ürünlere yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Ülkemizde bu amaçla daha çok araştırmanın yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler

İç Ortam Hava Kalitesi, Temizlik Malzemeleri, Uçucu Organik Bileşikler, Oda Deneyi.

Contribution of Different Types of Household Cleaning Products to Indoor Air Quality

ABSTRACT

As a primary pollutant, concentrations from the cleaning materials when they are first spread to the indoor environment are taken by exposure and inhalation. It is known that halogenated compounds from these volatile pollutants are used abundantly in many consumer goods and cleaning materials as solvents. In this study, household cleaning products which are in the national market in our country, such as bleach, glass cleaning solution, wood surface cleaning solution, car scent, hand soap, dish cleaning solution, and cologne were analyzed in experimental studies to investigate their emission profile in indoor air. Volatile organic compounds (VOC) emitting potentials of these cleaning materials were determined by standard chamber experiments. Of these materials, auto odor had the highest VOC emission; glass cleaning solution and lemon cologne were followed it. The solution of the cleaning agent mixed with water used in the cleaning process. higher VOC emissions were observed for diluted solutions of the cleaning product concerned than pure one for wood cleaning solution, dishwashing detergent and liquid hand soap. In addition, it has been determined that low molecular weight or relatively high molecular weight VOCs are released from the cleaning products, depending on the type of the product. Although there are studies conducted with different cleaning products in the world, it is seen that there are no studies for commercial products in national consumption in the markets in our country. It is thought that it would be beneficial to conduct more research for this purpose in our country.

Keywords

Indoor Air Quality, Household Cleaning Products, Volatile Organic Compounds, Standard Chamber Test.

Geliş Tarihi : 26.10.2018

Kabul Tarihi : 05.02.2019

Menteşe, S., Akça, B., Çağlar, A., Temizlik Malzemelerinin İç Hava Kalitesine Etkisi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1440-1447, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

Temizlik malzemelerinden çıkan emisyonun üç özelliği önem ihtiva etmektedir. İlk olarak, emisyonlar büyük oranda temizlik malzemesinin bileşimine bağlıdır. İkinci olarak ise, temizlik malzemesinin içeriğindeki uçucu bileşimin konsantrasyonu önemlidir. Son olarak ise, temizlik malzemesinin kullanım şekli, kullanım sıklığı ve miktarı önemlidir. Temizlik malzemelerinden salınan uçucu kirletici türlerin davranışını etkileyen faktörler; havalandırma, odadaki karışım, odalar arasındaki karışım, homojen ve heterojen dönüşümleri, yüzey üzerinde sorpsiyon etkileşimleri ve aktif hava temizliği. Temizlik malzemelerindeki uçucu bileşenler temizlik yapılırken ve sonrasında gaz fazında vücuda soluma yoluyla girebilir [1].

2. TEMİZLİK MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ve SAĞLIK ETKİLERİ

Amerika’da yapılan bir çalışmada yetişkinlerin günde ortalama 20-30 dakikalarını ev temizliği için harcadığı belirtilmektedir [2]. Temizlik; hijyen, estetik gibi bir çok faydasının yanı sıra sağlık riski de yaratmaktadır. Temizlik malzemeleri yerel ve kentsel fotokimyasal dumana neden olan UOBleri içermesi nedeni ile kaygı yaratmaktadır. California Hava Kaynakları Topluluğu (CARB), temizlik malzemeleri ve oda spreylere gibi tüketim mallarından çıkan emisyonların azaltılmasına yönelik olarak düzenlemeler yapmıştır [3]. CARB tarafından belirlenen bazı UOB türlerinin hangi temizlik malzemelerinde mevcut olduğu ve 70 yıllık yaşam süresince belirgin sağlık etkisine neden olmayan konsantrasyon limitleri (NSRL) ve kronik referans maruz kalma seviyeleri (REL) belirlenmiştir [4].

Temizlik işlemi, temizliği yapan kişi kadar orada bulunan insanlara da risk yaratmaktadır. Temizlik malzemelerindeki uçucu bileşenler temizlik yapılırken ve sonrasında gaz fazında vücuda soluma yoluyla girebilir. Temizlik malzemelerinden çıkan hava kirleticilere soluma yoluyla maruz kaldığında oluşan çeşitli durumlar vardır: uygun olmayan temizlik malzemelerinin karıştırılması suretiyle kazara zehirlenme ve astım, alerji ve solunum yolu rahatsızlıkları [5]. Halı şampuanından kalan kurumuş deterjan bir işyerindeki çalışanların çoğunda ve kreşteki çocukların çoğunda solunum yolu rahatsızlıklarına neden olmuştur [6]. Halı

şampuanın aşırı kullanılması konferans katılımcılarında geçici, hafif solunum yolu rahatsızlıklarına neden olmuştur [7]. Mesleki astım ile ilgili olarak yapılan popülasyon bazlı bir çalışmada “temizlikçilerin” bronşiyal hiperduyarlılık ve astım semptomları veya ilaç tedavisinde 4. en yüksek riskli grup olduğu bulunmuştur [8]. Göz, burun ve boğaz semptomları ile astım ve bronşit riskinin sprey temizleyiciler kullananlarda klasik temizleyiciler kullananlara göre daha fazla risk olduğu bulunmuştur [9]. İspanyadaki iç ortam temizleyicilerinde astım gözlenme sıklığı, ofis çalışanlarından 1.7 kat daha yüksek olduğu ve riskin büyük oranda “ev temizlikçilerinde” mutfak temizliği ve mobilya parlatma gibi işlerden dolayı daha belirgin olduğu belirtilmektedir [10]. Finlandiya’da kadınlarla yapılan popülasyon çalışmasında temizlik işlerinde çalışan kadınlardaki riskin diğer idari işlerde çalışan kadınlara göre 1,5 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir [11]. California, Michigan, Massachusetts ve New Jersey’de iş-ile-ilişkili astım vakalarının %12’sinin temizlik malzemelerine maruz kalınmasından kaynaklandığı belirlenmiştir [12]. Bina temizlikçileri ve ev temizlikçilerinin Sao Paulo, Brezilya’daki raporlanmış mesleki astım vakalarının en yükseği olduğu ve temizlik malzemelerinin maruz kalınan madde olarak gösterildiği bildirilmektedir [13].

Ülkemizde temizlik malzemelerinin hava kalitesine etkisini araştıran sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle klorlu çamaşır sularının ev temizliğinde kullanılması nedeniyle havaya salınan halojenli UOB seviyelerini araştırmaya yönelik olarak yapılmıştır [14-15].

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada Menteşe (2009)’da detaylı olarak anlatılan standart oda deneyi koşullarında çeşitli temizlik malzemelerinin Uçucu Organik Bileşik (UOB) yayma potansiyelleri saptanmaya çalışılmıştır [16]. Çalışma kapsamında dikkate alınan temizlik malzemeleri: ahşap temizleyici, çamaşır suyu, oto kokusu, kireç çözücü/porçöz, kolonya, cam temizleme solüsyonu, sıvı el sabunu ve bulaşık deterjanı’dır. Oda deneylerinde kullanılan temizlik malzemelerinin seçiminde; tüketici olarak ismini en çok duyduğumuz ve göreceli olarak kalite sayılabilecek markalar analize tabi tutulmuştur. Ayrıca, dikkate alınan temizlik malzemelerinin çoğu için görece daha ekonomik marketlerde satılan ve

TV'de reklamlarını pek görmediğimiz yerel ürünler de analize tabi tutulmuştur.

Standart temiz oda deneyleri $23 \pm 0,5$ °C sıcaklık ve $\%50 \pm 2$ bağıl nem koşullarında 22,5 litre hacme sahip kübik bir cam odada yapılmıştır. Deney prosedürü kabaca 3 aşamadan oluşmaktadır: i) standart odanın arka plan havasının UOB kompozisyonunun belirlenmesi (boş oda), ii) temizlik malzemesinin standart odaya alınmasını takiben hava örneklemeleri (vialli), iii) temizlik malzemesinin standart odadan çıkarılmasını takiben oda havasının örnekleme (vialsiz).

Ayrıca, sıvı fazda olan temizlik malzemeleri, genel temizlik amacıyla kullanıldıklarında su ile karıştırılarak kullanıldığından; çalışma kapsamında dikkate alınan temizlik malzemelerinden sıvı fazda olanları 1:1 oranında su ile karıştırıldıktan sonra standart oda deneyleri bu ürünler için tekrar yapılmıştır.

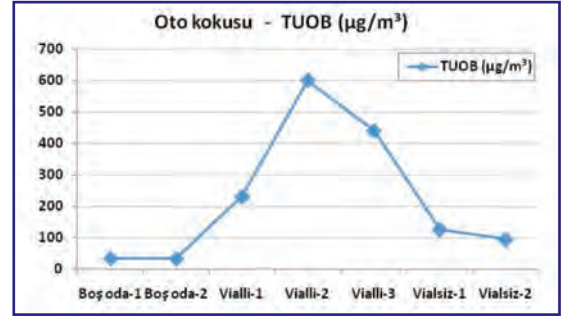
Çalışmanın UOB örnekleme ve analiz aşamalarında US EPA Method TO17 kullanılmıştır. Özetle, seçici sorbentler içeren thermal desorpsiyon örnekleme tüpüne düşük akışlı hava pompasıyla toplanan hava örnekleri Thermal Desorber-Gaz Kromatografi cihazları kullanılarak analiz edilmiştir. Sonrasında, kromogramlardan elde edilen tekil UOB türlerinin toplam konsantrasyonu (TUOB) toluen eşdeğeri olarak ISO standardında belirtildiği gibi [17] hesaplanmıştır ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

SONUÇ

Yapılan standart temiz oda deneyleri sonucunda evlerimizde kullandığımız temizlik malzemelerinin kapağının açılmasından kısa bir süre sonra çeşitli UOB emisyonları yayabildiği belirlenmiştir. Şekil 1-7'de sunulan çalışma sonuçları genel olarak benzer prensipte gerçekleştirilmiştir: Öncelikle standart temiz odanın hava kalitesi belirlenmiştir (boş oda). Sonrasında deneysel çalışmaya göre hedeflenen temizlik maddesi ağız açık bir vial içerisinde standart odanın içerisine konulmuştur ve belirli zaman aralıklarıyla hava örnekleri standart odadan alınmıştır (Vialli 1-3). Sonrasında içerisinde temizlik maddesi olan vial odadan çıkartılıp belirli zaman aralıkları ile standart odadan örnek alınmaya devam edilmiştir (Vialsiz 1-3).

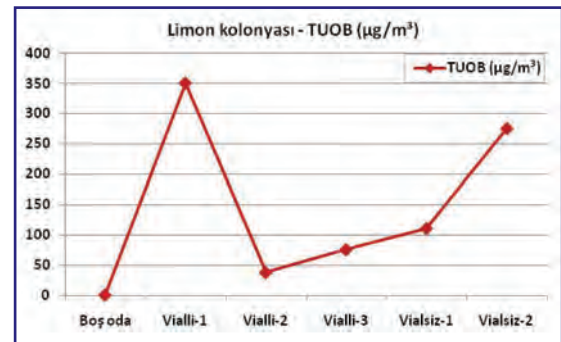
Şekil 1'de oto kokusunun odaya konulduktan sonraki TUOB emisyon profilleri verilmiştir. Buna

göre, UOB emisyonları oto kokusu standart oda içerisindeyken $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerine kadar ulaşmıştır. Oto kokusu odadan çıkarıldıktan sonra TUOB emisyonları hızla azalmaya başlamıştır. UOB kompozisyonu açısından 4-isopropil toluen, 1,3,5-TMB, 1,4 ve 1,2-diklorobenzen, 1,2,3-triklorobenzen ile naftalin seviyeleri ön plandadır.



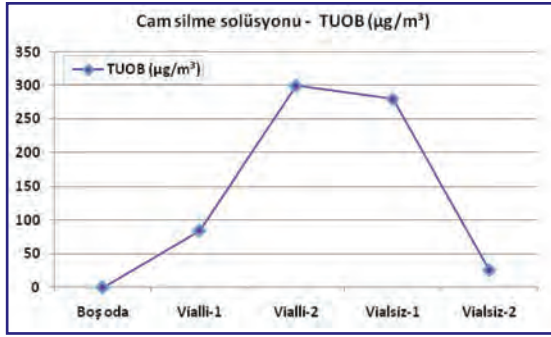
Şekil 1. Oto kokusunun oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) profili

Şekil 2'de limon kolonyasının standart odaya konulduktan sonraki TUOB emisyon profilleri verilmiştir. Buna göre, UOB emisyonları limon kolonyası standart oda içerisindeyken $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerine kadar ulaşmıştır. Limon kolonyası odadan çıkarıldıktan sonra TUOB emisyonları önce hızla azalmıştır ancak sonrasında tekrar artışa geçmiştir. Sıvı fazda kullanılan temizlik malzemelerinde bu trend gözlenmemiştir. Bunun nedeni olarak; limon kolonyasında hem çok uçucu, hem de az uçucu UOB türlerinin bir arada bulunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, çok uçucu olan bileşenlerin ortamdaki hızla ayrılmasından ancak bir süre sonra az uçucu olan UOB türlerinin azalmaya başlamış olabileceği düşünülmektedir. UOB kompozisyonu açısından 4-isopropil toluen, 1,3,5-TMB ile n-propilbenzen seviyeleri ön plandadır.



Şekil 2. Limon kolonyasının oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) profili

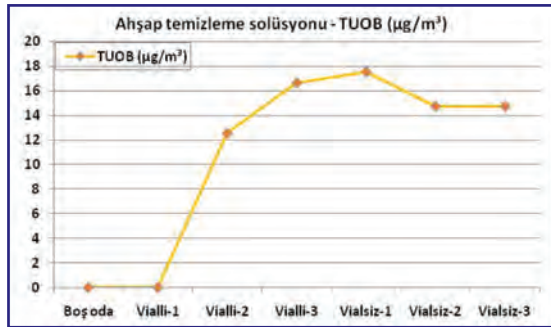
Şekil 3'de cam silme solüsyonunun odaya konulduktan sonraki TUOB emisyon profilleri verilmiştir. Buna göre, UOB emisyonları cam silme solüsyonu standart oda içerisindeyken $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerine kadar ulaşmıştır. Cam silme solüsyonu odadan çıkarıldıktan sonra TUOB emisyonları azalmaya başlamıştır. UOB kompozisyonu açısından 4-isopropil toluen, n-propil benzen, n-butil benzen ve 1,2,4-triklorobenzen seviyeleri ön plandadır.



Şekil 3. Cam silme solüsyonunun oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) profili

Sıvı fazda kullanılmasına rağmen, genellikle temizlik sırasında su ile karıştırılan çeşitli temizlik malzemeleri bulunmaktadır. Bunlardan çalışma kapsamında hem saf halleriyle, hem de 1:1 oranında su ile karıştırılmak suretiyle sulandırılarak standart oda deneylerine tabi tutulan temizlik malzemeleri: ahşap temizleme solüsyonu, sıvı el sabunu ve bulaşık el deterjanıdır.

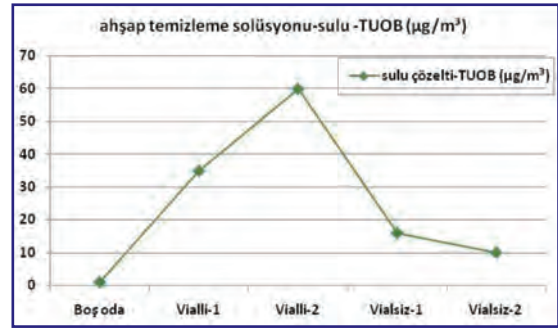
Şekil 4'de ahşap temizleme solüsyonunun saf halinin standart oda deneyi sonucunda elde edilen TUOB emisyon profili gösterilmektedir. TUOB seviyelerinin ahşap temizleme solüsyonu odaya koyulduktan kısa bir süre sonra artışa geçtiği; so-



Şekil 4. Ahşap temizleme solüsyonunun oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) profili

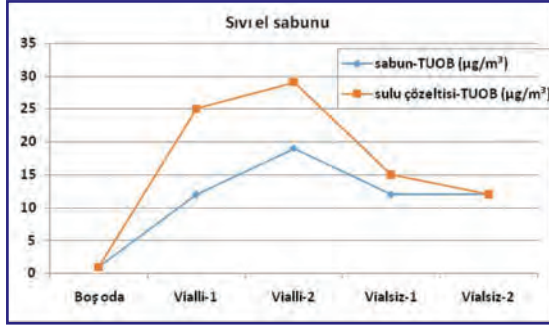
lüsyon odadan çıkarıldığında daha düşük seviyelerde gözlemlendiği belirlenmiştir.

Şekil 5'de ahşap temizleme solüsyonunun 1:1 oranında su ile karıştırılmış çözeltisinin standart oda deneyi sonucunda elde edilen TUOB emisyon profili gösterilmektedir. TUOB seviyelerinin ahşap temizleme solüsyonunun sulu çözeltisi odaya koyulduktan hemen sonra artışa geçtiği; solüsyon odadan çıkarıldığında ise düşüşe geçtiği belirlenmiştir. Ahşap temizleme solüsyonunun saf hali bu çalışmada denenen ilk temizlik malzemesidir. Ahşap temizleme solüsyonunun saf ve sulandırılmış hali için kurulan deneysel prosedürlerde örnekleme süresi açısından ufak bir farklılık söz konusudur. Ahşap temizleme solüsyonunun saf hali için standart oda içerisinde kalma süresi ve dolaylı olarak örnekleme süresi, sulandırılmış hali için yapılan deneysel çalışmadakinden 3 kat daha kısadır. Bu nedenle ahşap temizleme solüsyonunun saf ve sulandırılmış halleri aynı grafik üzerinde bir arada gösterilmemiştir. Zamansal bu farklılık nedeniyle ahşap temizleme solüsyonu içeren vial odadan çıkarıldıktan sonra bile UOB emisyonu tamamen ortamdaki uzaklaşmamış olduğu düşünülmektedir.



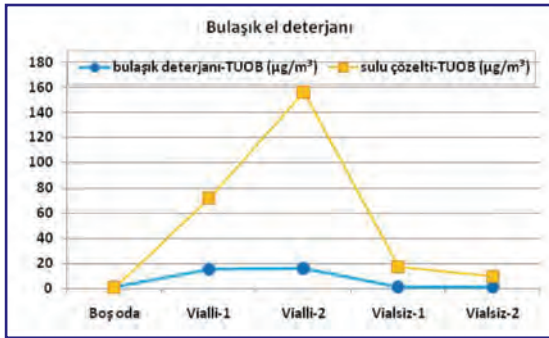
Şekil 5. Ahşap temizleme solüsyonunun sulu halinin (1:1 sulandırılmış) oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) profili

Şekil 6'da sıvı el sabununun saf halinin ve 1:1 oranında su ile karıştırılmış çözeltisinin standart oda deneyi sonucunda elde edilen TUOB emisyon profilleri bir arada gösterilmektedir. Her iki durumda da TUOB seviyelerinin sıvı el sabunu veya çözeltisi odaya koyulduktan hemen sonra artışa geçtiği; solüsyon odadan çıkarıldığında ise düşüşe geçtiği belirlenmiştir. Sıvı el sabununun saf halinin sulandırılmış halinden daha az UOB emisyonu yaydığı da belirlenmiştir.



Şekil 6. Sıvı el sabununun saf ve sulu halinin (1:1 sulandırılmış) oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB (µg/m³) profili

Şekil 7'de bulaşık el deterjanının saf halinin ve 1:1 oranında su ile karıştırılmış çözeltisinin standart oda deneyi sonucunda elde edilen TUOB emisyon profilleri bir arada gösterilmektedir. Her iki durumda da TUOB seviyelerinin bulaşık el deterjanı veya sulu çözeltisi odaya koyulduktan hemen sonra artışa geçtiği; solüsyon odadan çıkarıldığında ise hızla düşüşe geçtiği belirlenmiştir. Bulaşık el deterjanının saf halinin sulandırılmış halinden belirgin olarak daha az UOB emisyonu (özellikle klorlu bileşikler) yaydığı da belirlenmiştir.



Şekil 7. Bulaşık el deterjanının saf ve sulu halinin (1:1 sulandırılmış) oda deneyi sonucunda belirlenen TUOB (µg/m³) profili

Temizlik malzemelerinin dinamik davranışları: birincil kirleticilerin iç ortama ilk yayıldıklarında oluşan konsantrasyonlar, maruz kalma ve soluma ile vücuda alınması iç ortam havasındaki kirletici türlerin dinamik davranışları ile ilgilidir [1].

Farklı temizlik malzemelerinin saf ve sulandırılmış halleri ile gerçekleştirilen bu deneysel çalışmanın sonucunda, temizlik malzemelerinden en yüksek seviyede UOB emisyonu yayanlarının sı-

rasıyla; oda kokusu, cam silme solüsyonu ve limon kolonyası olduğu gözlenmiştir. Çalışma sonuçları TUOB cinsinden ifade edildiği için literatürde genellikle spesifik UOB türü veya UOB alt grubu için değerlendirme yapan çalışmalar ile kıyaslama imkanı halihazırda olmasa da; özellikle oto kokusu'nun oldukça yüksek UOB emisyon seviyelerine ulaşması, literatürde de son zamanlarda dikkat çeken; birincil UOB emisyonlarına ilaveten, ikincil organik bileşik yayma potansiyelinin de olması nedeniyle oto kokusu özelinde önem arz etmektedir [18]. Daha önce yapılan başka çalışmalarda klorlu temizlik malzemelerinin kayda değer miktarda halojenli UOB bileşiklerini ortam havasına yaydığı belirtilmiştir [14-15]. İlaveten, stiren, toluen ve n-hekzan gibi ortam havasında da yaygın olarak gözlenen bileşiklerin temizlik malzemelerinde de sıklıkla gözlendiği başka çalışmalar tarafından listelenmiştir [19-20]. Kreşlerde yapılan bir çalışmada da özellikle n-hekzan seviyesinin gün boyu aralıklarla uygulanan ıslak temizlik işlemi nedeniyle çok yüksek seviyelere ulaşabildiğine vurgu yapılmaktadır [1]. Olefinler ve halojenli bileşikler; hava temizleme spreyleri, temizlik malzemeleri, parfümler, spreylere, cilalar ve boyalar gibi iç ortamda sıklıkla kullanılan birçok tüketim malzemesinde bolca kullanılmaktadır [5,21].

Bu çalışmadan da görüleceği üzere; temizlik malzemelerinin farklı türleri farklı emisyon davranışları göstermekte; saf veya sulu kullanımının bile emisyon profillerinde etkili olduğu görülmüştür. Bazı temizlik malzemelerinin sulu hallerinin daha fazla UOB emisyonu yaymasında, temizlik malzemelerinin muhteviyatında bulunan bazı kimyasal maddelerin suda çözünmesi ve/veya reaksiyona girerek UOB oluşumuna katkı sağladığı düşünülmektedir. En sıklıkla gözlenen UOB bileşiklerinin aromatik ve halojenli bileşikler olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Mentşe, S., Bina İçi Hava Kalitesinin Belirlenmesi Ve Kaynaklarının Tespiti, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
- [2] Wiley, J. A., Robinson, J. P., Piazza, T., Garrett, K., Cirkseña, K., Cheng, Y. T., Martin, G., Activity Patterns of California Residents, Final Report Contract No. A6-177-33. California Air Resources Board, Sacramento, CA, 1991.

- [3] CARB, California Air Resources Board, “Consumer Products and Air Pollution”, 2001.
- [4] California Environmental Protection Agency, www.arb.ca.gov/consprod/regact/ccps/ccps.pdf
- [5] Nazaroff, W. W., Weschler, C. J., Cleaning Products and Air Fresheners: Exposure to Primary and Secondary Air Pollutants, *Atmospheric Environment*, 38(18): 2841-2865, 2004.
- [6] Kreiss, K., Gonzalez, M. G., Conright, K. L. and Scheere, A. R., Respiratory Irritation Due To Carpet Shampoo: Two Outbreaks. *Environment International* 8, pp. 337–341, 1982.
- [7] Robinson, P., Tauxe, R., Winkler, W. and Levy, M., Respiratory Illness In Conference Participants Following Exposure To Rug Shampoo, *Infection Control* 4: 158–160, 1983.
- [8] Kogevinas, M., Antó, J.M., Sunyer, J., Tobias, A., Kromhout, H., Burney, P., and the European Community Respiratory Health Survey Study Group, Occupational Asthma in Europe and Other Industrialized Areas: a Population Based Study, *Lancet* 353: 1750–1754, 1999.
- [9] Lynch, R. M., Modeling of Exposure to Carpet-Cleaning Chemicals Preceding Irritant-Induced Asthma In One Patient, *Environmental Health Perspectives* 108: 911–913, 2000.
- [10] Zock, J. P., Kogevinas, M., Sunyer, J., Almar, E., Muniozgueren, N., Payo, F., Sanchez, J. L. and Anto, J. M., Asthma risk, Cleaning Activities And Use Of Specific Cleaning Products Among Spanish Indoor Cleaners. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* 27: 76–81, 2001.
- [11] Karjalainen, A., Martikainen, R., Karjalainen, J., Klaukka, T. and Kurppa, K., Excess Incidence Of Asthma Among Finnish Cleaners Employed In Different Industries, *European Respiratory Journal* 19: 90–95, 2002.
- [12] Rosenman, K. D., Reilly, M. J., Schill, D. P., Valiante, D., Flattery, J., Harrison, R., Reinisch, F., Pechter, E., Davis, L., Tumpowsky, C. M. and Filios, M., Cleaning Products And Work-Related Asthma, *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 45: 556–563, 2003.
- [13] Mendonca, E. M. C., Algranti, E., de Freitas, J. B. P., Rosa, E. A., Freire, J. A. D., Santos, U. D., Pinto, J. and Bussacos, M. A., Occupational Asthma In The City Of Sao Paulo, 1995–2000, With Special Reference To Gender Analysis, *American Journal of Industrial Medicine* 43: 611–617, 2003.
- [14] Odabasi, M., Halogenated Volatile Organic Compounds From The Use Of Chlorine-Bleach-Containing Household Products, *Environ. Sci. Technol.*, 42: 1445-1451, 2008.
- [15] Odabasi, M., Elbir, T., Dumanoglu, Y., Sofuoglu, S.C., Halogenated Volatile Organic Compounds In Chlorine-Bleach-Containing Household Products And Implications For Their Use, *Atmospheric Environment*, 92: 376-383, 2014.
- [16] Mentese, S., “Materyal Analizi Ve Oda Deneyleri İle İç Ortam Kirleticilerinin Tespiti”, IX. TESKON Kongresi, s.611-617, 2009.
- [17] ISO, 2011. ISO 16000-6: Determination of Volatile Organic Compounds In Indoor And Test Chamber Air By Active Sampling on Tenax TA Sorbent, Thermal Desorption And Gas Chromatography Using MS or MS-FID.
- [18] JO, W. K., Lee, J. H., Kim, M. K. 2008. Head-Space, Small-Chamber And In-Vehicle Tests For Volatile Organic Compounds (VOCs) Emitted from Air Fresheners For The Korean Market, *Chemosphere*, 70(10): 1827-1834, 2008.
- [19] Akland, G, and Whitaker, D. A., Characterizing the Sources of Human Exposure to Proposition 65 Substances, RTI/6830/02-03 F, Research Triangle Institute, RTP, NC, 2000.
- [20] Sack, T. M., Steele, D. H., Hammerstrom, K., Remmers, J., A Survey of Household Products for Volatile Organic Compounds, *Atmospheric Environment*, 26: 1063-1070, 1992.
- [21] Toftum, J., Freund, S., Salthammer, T., Weschler, C. J., Secondary Organic Aerosols From Ozone-Initiated Reactions With Emissions From Wood-Based Materials and a “Green” Paint, *Atmospheric Environment*, 42(33): 7632-7640, 2008.

Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salıverilen Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri

İlknur AYRI

Arş. Gör.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Mühendisliği, İzmir
ilknurayri@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0002-2772-2754

Mesut GENİŞOĞLU

Arş. Gör.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Bilimi ve Mühendisliği, İzmir
mesutgenisoglu@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0002-4618-279X

Handan GAYGISIZ

Öğr. Gör.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Geliştirme Uygulama ve Araştırma
Merkezi, İzmir
handangaygisiz@iyte.edu.tr

Aysun SOFUOĞLU

Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Kimya Mühendisliği, İzmir
aysunsofuoglu@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0001-8076-6476

Sait Cemil SOFUOĞLU

Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Çevre Mühendisliği, İzmir
cemilsofuoglu@iyte.edu.tr
orcid: 0000-0001-6990-0275

ÖZ

İç hava kirliliği açısından temizlik ürünleri kullanımı önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bir Uçucu Organik Bileşik (UOB) olan karbon tetraklorürün emisyonu, diğer UOB'ler ile birlikte klorlanmış çeşme suyundan, özellikle su sıcaklığının artırıldığı yıkanma, çamaşır ve bulaşık yıkanması sırasında oluşur. Bununla birlikte, ağartıcı olarak hipoklorit (çamaşır suyu) içeren temizlik ürünlerinde ve kullanımı sırasında, çamaşır suyu ile organik maddelerin reaksiyona girmesiyle oluşumu bu bileşik için göreceli çok daha güçlü bir kaynak oluşturmaktadır. Karbon tetraklorürün hem kronik-toksik hem de karsinojenik sağlık etkileri olması sebebiyle bu temizlik ürünlerinin kullanımı durumunda iç ortam havasından etkin bir havalandırma ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, karbon tetraklorürün tuvalet ve banyolarda kullanılan klozet ve rezervuar tipi temizleyicilerden emisyonu deneysel olarak incelenmiş, iç hava düzeyleri modelleme ile tahmin edilmiş, solunum yoluyla maruziyet için kanser riski değerlendirilmesi yapılmıştır. Ürünlerin emisyon potansiyeli tepe boşluğu katı fazlı mikroekstraksiyonu takiben GC/MS yöntemiyle incelenmiş, iç hava düzeylerinin modellenmesi için 8,9 m³ oda hacmi ve 0,5 ach hava değişimi hızı kullanılmıştır. Kullanılan bu hız ile ürünlerin kullanımından kaynaklanan karbon tetraklorür konsantrasyonun sadece %0,6'lık kısmı uzaklaştırılabilmektedir. Ortalama ve 95. yüzdelik kanser risk değerleri kabul edilebilir risk olan milyonda birin altındadır ancak ürünler birer iç ortam karbon tetraklorür kaynağı oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler

İç Hava Kalitesi, Karbon Tetraklorür, Emisyon, Havalandırma, Tuvalet Temizlik Ürünleri.

Indoor Air Levels and Health Risk Assessment of Carbon Tetrachloride Emitted from Toilet-Bowl Cleaners

ABSTRACT

The use of household cleaning products constitute an important source of indoor air pollution. Carbon tetrachloride is a volatile organic compound (VOC) emitted from chlorinated water especially when heated for example for showering and washing clothes / dishes, along with other VOCs. However, hypochlorite (bleach) containing household cleaning products and their use is a relatively much stronger source of the compound due to reaction of bleach with organic matter. Because carbon tetrachloride has both chronic-toxic and carcinogenic health effects, removing it with an effective ventilation is necessary. In this study, the emission of carbon tetrachloride from automatic toilet bowl and reservoir cleaners was investigated experimentally. The emission potential of the products was studied by headspace - solid phase micro-extraction - GC/MS method, indoor air levels were modeled for 8,9 m³ bathroom volume and 0,5 ach air exchange rate, and associated carcinogenic risks were estimated. Only 0,6% of the carbon tetrachloride concentration resulting from the use of the products could be removed at the specified conditions. The mean and 95th percentile risk values for cancer are below one-in-a-million acceptable risk level, but the products are sources of carbon tetrachloride.

Keywords

Indoor Air Quality, Carbon Tetrachloride, Emission, Ventilation, Toilet Cleaning Products.

Geliş Tarihi : 26.09.2018
Kabul Tarihi : 05.02.2019

Ayrı, İ., Genişoğlu, M., Gaygisiz, H., Sofuoğlu, A., Sofuoğlu, S.C., Tuvalet Temizlik Ürünlerinin Kullanımı İle Salıverilen Karbon Tetraklorürün İç Hava Düzeyleri ve Sağlık Riskleri, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1448-1453, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

İnsanların, uygarlaşma yönündeki hareketleri çevre kirliliğini arttırmıştır. Kirlilik, nüfus artışıyla hızlı bir şekilde artmıştır [1]. Günümüzde, insanların günlük aktiviteleri, gittikçe daha fazla, enerjiye ve kimyasal kullanıma ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden, yeni ve daha karmaşık maddelerin üretilmesine (mobilyalar, giysiler, kumaşlar, temizleyiciler, deterjanlar, koruyucular vb.) ihtiyaç duyulmuştur. Bu ürünlerin, üretimleri sırasında dış havaya, kullanımları sırasında ise iç havaya, zararlı kimyasalların salımı olmaktadır [2].

Uçucu Organik Bileşikler (UOB'ler) çeşitli emisyon kaynakları olan kimyasallardır. Bu maddeler tüketici ve ticari ürünler, boya ve ilgili malzemeler, yapıştırıcılar, mobilya ve giyim, inşaat malzemeleri, yanma malzemeleri ve ev aletleri gibi çok çeşitli emisyon kaynaklarına sahiptirler [3]. Temizlik ürünlerinin kullanılması, insan sağlığının korunması için çok önemliken, bazı ürünler UOB'leri içerdikleri için risk oluşturmaktadır [4, 5]. Öte yandan, ağartıcı (sodyum hipoklorit, NaOCl) bazlı ürünlerin raf süresince içerisinde bulunan yüzey aktif madde, parfümler vb. organik maddeler ile reaksiyona girmesiyle UOB'ler, özellikle karbon tetraklorür oluşmaktadır. Ürünlerin kullanımı sırasında su ile temasında sudan gelen organik bileşiklerle olan reaksiyonu da halojenli UOB'lerin oluşumunu desteklemektedir. Bu iki durumda ortamda bulunan özellikle karbon tetraklorür konsantrasyonu artmakta [5]; bu temizlik maddelerinin havalandırması zayıf mekânlarda kullanılması, bina sakinleri ve temizlik personelinin kanserojen, üreme sistemini etkileyen veya tahriş edici olarak kabul edilen çeşitli hava kirliticilerine maruz kalmaları kaygısına sebep olmaktadır [4]. İçerisinde buldukları ürünlerde hem raf süresince, hem de kullanım sırasında oluştukları için ağartıcı içeren temizlik ürünlerinin kullanımı karbon tetraklorür maruziyeti açısından özel önem taşımaktadır.

Bazı UOB'lerin iç ortamlarda akut ve kronik sağlık etkilerine yol açabileceği yaygın olarak bildirilmiştir. Bu sağlık etkileri arasında duyuşsal tahriş, yorgunluk, baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı, uyuşukluk, alerji, hasta bina sendromu, akciğer fonksiyonunda azalma, astım ve hatta lösemi, nörolojik toksisite ve akciğer kanseri sayılabilir [3, 6]. Sağlık etkilerini azaltmak için bu maddelerin iç ortamdan etkin bir havalandırma ile uzaklaştırılması

gerekmektedir. Havalandırma hızı iç ortamda bulunan en yüksek kirlitici konsantrasyonunu belirli düzeylerin altında tutmak üzere belirlenmelidir [7].

Evlerde yaygın olarak kullanılan yüzey temizlik ürünlerinden kullanım sırasında oluşan kesikli emisyonlardan farklı olarak tuvaletlerde kullanılan rezervuar ve klozet blokları sürekli bir karbon tetraklorür emisyon kaynağı oluşturabilir. Rezervuar tipi ürünler sürekli bir su temasına ve ilintili fazladan UOB emisyonuna sahipken klozet üzerine takılan ürünlerden emisyon su ile temas etmesi durumunda artarak süreklilik arz edebilir. Bu çalışmada, ağartıcı içeren rezervuar/klozet temizleyicilerin kullanımı nedeniyle oluşabilecek karbon tetraklorür konsantrasyonu incelenmiş, havalandırma ile iç hava konsantrasyonu modellenmiş ve maruziyet - risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ortalama ve 95. yüzdeler risk olmak üzere iki risk senaryosu değerlendirilmiştir.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Deneysel

Tümü dezenfeksiyon maddesi olarak çamaşır suyu (sodyum hipoklorit) içeren, 7'si rezervuar ve 5'i klozet üzerine takılan olmak üzere toplam 12 ürün Türkiye, Avrupa ve ABD'de süpermarketlerden satın alınmıştır. Tüm ürünler analiz süresine kadar orijinal ambalajında muhafaza edilmiştir. Her bir üründen alınan birer gramlık numuneler, biri susuz ve biri 2 mL çeşme suyu ile birlikte olacak şekilde 20 mL'lik tepeboşluğu (headspace) viallerine yerleştirilmiş ve septum kaplı bir kapakla kapatılmıştır. Tüm deneyler iki tekrarlı yapıp ortalama değerleri kullanılmıştır. Örnekler hazırlanıp kapağı kapatıldıktan sonra 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiş ve ardından polidimetilsiloksan kaplı bir fiber kullanılarak 30 dakika vialin tepe boşluğunda bekletilmiştir. Fiber daha sonra kütle seçici dedektörü (Agilent 5973 inert MSD) olan bir gaz kromatografi sistemine (GC, Agilent 6890N) enjekte edilip desorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Analiz için kullanılan kromatografik kolon, HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm) ve taşıyıcı gaz, helyumdur. Analiz sırasında fırın sıcaklığı 40°C'de başlatılıp 5 °C'de bekletilmiş 5 °C dk-1'lik artışla 230 °C'ye yükseltilmiş ve 1 dk bu sıcaklıkta tutulmuştur. Enjeksiyon modu split-siz, iyonlaşma modu elektron etkisidir (EI). Kar-

bon tetraklorür kalibrasyonu için 5, 10, 25, 100 ve 250 ppb olmak üzere 5 farklı nokta hazırlanmıştır. Saf su içerisinde toplam hacim 2 ml olacak şekilde hazırlanan konsantrasyonların kalan 18 ml vial hacminde oluşturacağı gaz faz ile anlık dengede olduğu kabul edilmiştir. Analiz ile belirlenen ürünlerin analit konsantrasyonundan ($\mu\text{g/g}$) hareketle sulu örnekler için iç hava gaz faz konsantrasyonu Henry sabiti kullanılarak belirlenmiştir. Literatürde karbon tetraklorür için Henry sabiti $3,4 \times 10^{-4}$ mol/($\text{m}^3 \times \text{Pa}$) olarak bildirilmiştir [8]. Henry sabiti ile gaz faz karbon tetraklorür kısmi basıncı hesaplandıktan sonra, ideal gaz yasası kullanılarak karbon tetraklorür konsantrasyonu, ürün ömrü, kullanım sıklığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Susuz örnekler için ürün analit konsantrasyonunun ürün ağırlığıyla çarpılmasıyla elde edilen emisyon potansiyelinin kullanım sıklığı – ürün ömrü boyunca buharlaştığı varsayılarak iç hava konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu konsantrasyonlar havalandırma olmaması durumu için kullanılmıştır.

2.2. Havalandırma Modellemesi

İç hava karbon tetraklorür konsantrasyonları, tuvalet ve banyolarda otomatik klozet temizleyicilerin 8,9 m^3 [9] tuvalet/banyoda kullanımı için modellenmiştir. İç hava karbon tetraklorür konsantrasyonu Eşitlik-1 [10] ile hesaplanırken kirleticinin ürünün kullanım sırasında zamanla değişmeyen, sabit emisyonu olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca dış ortamda bulunan kirletici konsantrasyonu sıfır kabul edilmiş, ortamda bulunan kirleticinin ise homojen dağıldığı kabul edilmiştir. Hava değişim hızı olarak Avrupa'da en çok karşılaşılan hız olan 0,5 ach kullanılmıştır [7].

$$V \frac{dC_{ic}}{dt} = Q (C_{dis} - C_{ic}(t)) + E \quad (1)$$

V oda hacmi (m^3), t zaman (h), $C_{ic}(t)$ ise t zamanındaki iç mekan karbon tetraklorür konsantrasyonu (mg/m^3), Q havalandırma hızı (m^3/saat), C_{dis} dış mekan karbon tetraklorür konsantrasyonu (mg/m^3) ve E ürünlerin (mg/saat) emisyon hızını ifade etmektedir.

2.3. Maruziyet ve Risk Değerlendirmesi

Maruziyet ve risk değerlendirmesi solunum yolu ile maruziyet için yapılmıştır. Ürünlerin kullanımıyla iç havadan solunum yoluyla alınan günlük alım miktarı (CDI, $\text{mg}/\text{kg-gün}$) Eşitlik-11 kullanılarak hesaplanmıştır [11].

$$CDI = (C \times IR \times ET \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (2)$$

Burada C karbon tetraklorürün iç hava konsantrasyonu (mg/m^3); IR solunum hızı (m^3/saat), ET günlük maruz kalma süresi ($\text{saat}/\text{gün}$), EF maruz kalma sıklığı ($\text{gün}/\text{yıl}$), ED maruz kalma süresi (yıl), BW vücut ağırlığı (kg) ve AT ortalama ömürdür. Her bir ürün konsantrasyonu için CDI hesaplandıktan sonra kirleticinin eğim faktörü ile çarpılmış ve risk değeri hesaplanmıştır. Karbon tetraklorür için eğim faktörü $0,13 (\text{mg}/\text{kg-day})^{-1}$ olup hesaplanan risk birimsizdir [11].

$$\text{Risk} = CDI \times SF \quad (3)$$

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. İç Ortam Hava Konsantrasyonları

Klozet ve rezervuar bloklarında yapılan ikili ölçümlerin ortalaması kullanılarak her iki ürün tipi için elde edilen konsantrasyonların kutu grafikleri Şekil 1'de verilmiştir. Her iki tip ürün için de ortamda havalandırma olmaması durumunda ve havalandırma ile elde edilen konsantrasyonlar gösterilmiştir. Rezervuar tipi ürünler için havalandırma olmadan hesaplanan konsantrasyonlar $5,31 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $9,65 \times 10^{-1} \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiştir. Klozet tipi ürünler için bu konsantrasyonlar $2,32 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $3,1 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığındadır. Sürekli su ile temas halinde olan rezervuar tipi ürünler için muhtemelen sudaki organik maddeler ile tepkime sonucu ilave oluşum ile birlikte sudaki difüzyon katsayısının katıya göre çok yüksek olmasından dolayı daha yüksek karbon tetraklorür konsantrasyonları (aradaki fark ortanca değerler esas alındığında yaklaşık 51 kat, en yüksek değerler esas alındığında ise 31 kat) oluşmuştur. Ortamda havalandırma sisteminin bulunması ve 0,5 ach hava değişim hızında çalışması durumunda ortamda bulunan konsantrasyonların %0,6'lık kısmı uzaklaştırılmıştır.

Ürünlerin kullanıldığı ortamda havalandırma olması durumunda rezervuar tipi ürünlerin kullanımını sonucu oluşabilecek konsantrasyon aralığı $5,28 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $9,59 \times 10^{-1} \mu\text{g}/\text{m}^3$, klozet tipi ürünler için ise $2,31 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $3,09 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiştir.

Diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada hesaplanan konsantrasyon değerleri literatürde bildirilen düzeyler aralığında kalmaktadır.

Odabaşı [5] mutfak, banyo ve yer temizliği sırasında, çamaşır suyu içeren temizlik ürünlerinin kullanımından kaynaklanan UOB'leri incelemiştir. Temizlik maddeleri kullanılmadan önce iç hava karbon tetraklorür konsantrasyonu $0,27 \pm 0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ortalama ve standart sapma değeri ile $0,16-0,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında belirlenmiştir. Bu düzeyler, çalışılan ortamda farklı kaynakların bulunduğunu göstermektedir. Ürünlerin kullanımı sırasında ise karbon tetraklorür konsantrasyonları artarak bu istatistikler sırasıyla $55,2 \pm 144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $0,25-459 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Ürünlerin kullanımından 30 dk sonra yapılan ölçümlerde ise konsantrasyon değerleri $0,30-212 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında değişmiş, ortalama konsantrasyon ise $22,4 \pm 66,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bildirilmiştir [5]. Çalışmamızda incelenen tuvalet/rezervuar bloklarının kullanımıyla oluşabilecek konsantrasyonlar bu değerlerden daha düşüktür. Bu durumun, rezervuar ve klozet temizlik ürünlerinin diğer temizlik maddelerinin aksine kütlelerinin düşük olmasından ve görece uzun süreler kullanılabilmelerinden kaynaklanabileceği söylenebilir. Odabaşı ve arkadaşlarının [12] yaptığı diğer bir çalışmada ise modellenen iç hava konsantrasyonları $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $1124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama, $82 \pm 194 \mu\text{g}/\text{m}^3$) değerlerindedir; ki bunlar çalışmamızda hesaplanan düzeylerden epey yüksektir.

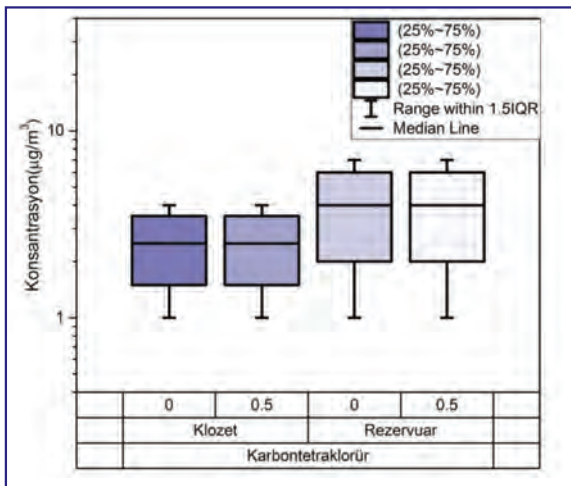
3.2. Kanser Riski Değerlendirmesi

Tuvalet ve rezervuar bloklarının kullanımı ile oluşabilecek kanser riski değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Ürünlerin kullanımına bağlı olarak ömür

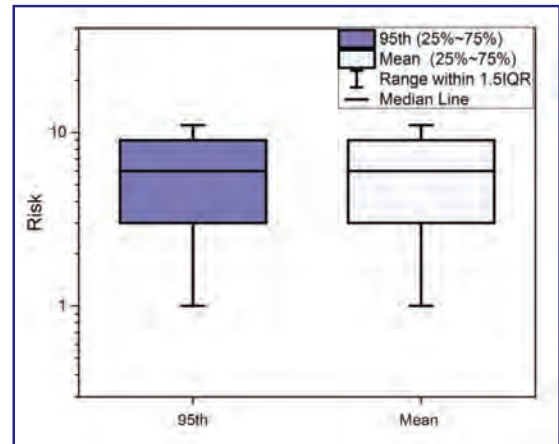
boyu kanser riski hesabı yapılmıştır. Kanser riski değerleri 95. yüzdelik ve ortalama risk olmak üzere iki şekilde hesaplanmış olup, tüm ürünler için hesaplanan en yüksek ortalama risk değeri $2,64 \times 10^{-7}$ iken 95. yüzdelik değeri $3,81 \times 10^{-7}$ 'dir. Odabaşı vd. [12] tarafından yapılan çalışmada temizlik ürünlerinin kullanımı ile oluşan karbon tetraklorür konsantrasyonundan kaynaklı risk değerleri 95. yüzdelik ve ortanca olarak hesaplanmıştır. Çamaşır suyu ile birlikte yüzey aktif madde içeren ürünler için ortanca risk değeri $8,1 \times 10^{-7}$ olarak hesaplanırken 95. yüzdelik için bu değer $2,4 \times 10^{-4}$ 'tür. Hem çalışmamızda hem de önceki çalışmada [12] hesaplanan ortalama risk seviyeleri kabul edilebilir risk değerinin (10^{-6}) altındadır. Çalışmamızda incelenen ürünlerin, en az 0,5 ach hava değişim hızı olan bir odada tek emisyon kaynağı olarak bulunması halinde dikkate değer bir risk oluşturmamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, rezervuar ve klozet tipi tuvalet temizlik maddelerinin potansiyel karbon tetraklorür emisyonu deneysel olarak incelenmiştir. Tuvalet/banyolarda temizlik ve koku giderme amaçlı kullanılan çamaşır suyu içeren rezervuar ve klozet bloklarının birer karbon tetraklorür emisyon kaynağı olduğu belirlenmiş, rezervuar tipi olanların emisyon potansiyelinin klozet tipi olanlardan göreceli daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hava değişim hızı 0,5 ach olan $8,9 \text{ m}^3$ hacminde bir tuvaletin iç havasında bulunabilecek konsantrasyonlar hesaplanmış ve solunum yoluyla maruziyet ile ilintili



Şekil 1. Ürün tipine ve hava değişim hızına bağlı karbon tetraklorür konsantrasyonları



Şekil 2. Tahmin edilen kanser riski dağılımları

kanser riski değerlendirmesi yapılmıştır. Bu şartlarda, bu ürünlerin kullanımıyla oluşabilecek en yüksek iç hava karbon tetraklorür konsantrasyonu $0,965 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak, bu konsantrasyona solunum yoluyla maruziyette oluşacak ortalama kanser riski değeri ise $2,64 \times 10^{-7}$ olarak hesaplanmıştır. Kullanılan hava değişim hızı ile, çalışılan ürünlerden kaynaklanan karbon tetraklorür konsantrasyonunun yüzde 5'lik kısmı iç ortamdan uzaklaştırılabilir olup ortalama ve 95. yüzdilik kanser riski değerleri kabul edilebilir değerin (10^{-6}) altında bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

Finansal destek İYTE BAP (2016-İYTE-34 ve 2017-İYTE-06) tarafından sağlanmıştır. Analitik çalışmalara katkıları için Dr. Figen Korel, Dr. Mustafa Odabaşı ve Dr. Yetkin Dumanoglu'na, yurtdışı ürün numunelerinin tedarigi için yardımlarından dolayı Sencer Sofuoğlu, Dr. Güleda Engin, Burçak Üçok'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Zabiegała, B., Organic Compounds in Indoor Environments. Polish Journal of Environmental Studies, 15(3), 383-393, 2006.
- [2] Kwon, K. D., & Jo, W. K., Indoor Emission Characteristics Of Liquid Household Products Using Purge-And-Trap Method, Environmental Engineering Research, 12(5), 203-210, 2007.
- [3] Wang, L. K., Advanced Air And Noise Pollution Control (pp. 3-33), L. K. Wang, N. C. Pereira, & Y. T. Hung (Eds.), Totowa, NJ, USA: Humana press, 2005.
- [4] Nazaroff, W. W., & Weschler, C. J., Cleaning Products And Air Fresheners: Exposure To Primary And Secondary Air Pollutants, Atmospheric Environment, 38(18), 2841-2865, 2004.
- [5] Odabasi, M., Halogenated Volatile Organic Compounds from the Use of Chlorine-Bleach-Containing Household Products, Environmental Science & Technology, 42(5), 1445-1451, 2008.
- [6] Dai, H., Jing, S., Wang, H., Ma, Y., Li, L., Song, W., & Kan, H., VOC Characteristics And Inhalation Health Risks In Newly Renovated Residences In Shanghai, China, Science of the Total Environment, 577, 73-83, 2017.
- [7] Ye, W., Zhang, X., Gao, J., Cao, G., Zhou, X., & Su, X., Indoor Air Pollutants, Ventilation Rate Determinants And Potential Control Strategies In Chinese Dwellings: A Literature review, Science of the Total Environment, 586, 696-729, 2017.
- [8] Sander, R., Compilation of Henry's Law Constants For Inorganic And Organic Species Of Potential Importance In Environmental Chemistry, 1999.
- [9] Mui, K. W., Wong, L. T., Yu, H. C., Cheung, C. T., & Li, N., Exhaust Ventilation Performance in Residential Washrooms for Bioaerosol Particle Removal After Water Closet Flushing, Building Services Engineering Research and Technology, 38(1), 32-46, 2017.
- [10] Liang, W., & Yang, X., Indoor Formaldehyde in Real Buildings: Emission Source Identification, Overall Emission Rate Estimation, Concentration Increase and Decay Patterns, Building and Environment, 69, 114-120, 2013.
- [11] Asante-Duah, D. K., Public Health Risk Assessment For Human Exposure To Chemicals (Vol. 6), Kluwer Academic, 2002.
- [12] Odabasi, M., Elbir, T., Dumanoglu, Y., & Sofuoğlu, S. C., Halogenated volatile Organic Compounds in Chlorine-Bleach-Containing Household Products and Implications for Their Use, Atmospheric Environment, 92, 376-383, 2014.

Toprak Kaynaklı Dirsek Tip Isı Borularıyla Buzlanmanın Önlenmesi

Ahmet ÖZSOY

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Makine Mühendisliği
Isparta
ahmetozsoy@isparta.edu.tr
orcid: 0000-0003-0911-9799

Yavuz GÜLEÇ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği
Isparta
yavuzgulec@hotmail.com
orcid: 0000-0003-2479-8216

ÖZ

Karayolları, havaalanı ve kaldırımlarda buzlanmanın olumsuz etkileri çoğunlukla kış sezonunda yaygın olarak görülür. Buzlanmanın önlenmesi için klasik yöntemlere alternatif olarak, toprak kaynaklı ısı boruları araştırmacılar için ilgi çekicidir. Toprak kaynaklı ısı boruları, toprağı ısı kaynağı olarak kullanıp, taşıdığı ısı enerjisi ile yüzeydeki buzlanmayı önleyebilir. Amaca yönelik olarak dört farklı dirsek tipi ısı borusu üretilmiştir. Bu ısı borularının beton yüzeyde buzlanmayı önleyebileceği alanın belirlenmesi deneyleri kontrollü bir soğuk odada yapılmıştır. Soğuk oda ortam sıcaklığı ve toprak sıcaklıkları değiştirilerek, beton yüzeyindeki sıcaklık dağılımı değişimi gözlenmiş ve sonuçlar şekillerle değerlendirilmiştir. Isı borusunun çapı arttıkça, taşıyacağı ısı akısı da artar. Bu artış, beton yüzeyinin sıcaklık değişimi ile gözlemlenmiştir. Sonuç olarak dirsek tipi toprak kaynaklı ısı boruları için uygun iş akışkanı, boru çapı ve ısı borusu uzunluğu seçimi ile yüzeydeki buzlanmanın önlenileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Isı Borusu, Termosifon, Dirsek Tipi Isı Borusu, Buzlanma.

Prevention of Icing by Using Ground Source Elbow Type Heat Pipe

ABSTRACT

Adverse effects of icing on highways, airports and sidewalks are common in winter season. As an alternative to conventional methods for the prevention of icing, ground-source heat pipes are studied by researchers. Ground-source heat pipes can use the soil as a heat source and prevent icing on the surface with the heat energy it carries. For this purpose, four different elbow type heat pipes were produced. The determination of the area where these heat pipes can prevent icing on the concrete surface was carried out in a controlled cold room. The temperature distribution on the concrete surface was observed by changing the cold room ambient temperature and soil temperatures and the results were evaluated with figures. As the diameter of the heat pipe increase, the heat flux that the heat pipe can carry also increase. This increase was observed by the temperature change at the concrete surface. As a result, it was observed that the icing on the surface can be prevented by choosing suitable working fluid, pipe diameter and heat pipe length for elbow type ground source heat pipes.

Keywords

Heat Pipe, Thermosyphon, Elbow Type Heat Pipe, Icing.

Geliş Tarihi : 17.12.2019
Kabul Tarihi : 20.04.2020

1. GİRİŞ

Ülkemizde çok yoğun olarak yolcu ve yük ve taşımacılığında kullanılan karayollarında özellikle kış aylarında, soğuk bölgelerde kar ve buz oluşumu büyük bir sorundur. Kaplama yüzeyindeki kar tabakasının trafiğin etkisiyle sıkışması veya yüzeyde bulunan suyun donması sonucu buzlanma meydana gelmektedir. Karayolu ve havaalanlarında buzla mücadele etmek amacıyla buzlanmayı engelleyici veya buz çözücü çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [1-3]. Günümüzde kar ve buzlanma ile mücadelede yaygın olarak kullanılan küreme, tuzlama ve kimyasal maddeler gibi klasik sistemler çok etkili olmayıp, bazılarının çevresel etkileri ve maliyetleri de yüksektir [2,4-6]. Bu nedenle araştırmacılar kar ve buzla mücadelede yeni yöntemlerin geliştirilmesine yönelmişlerdir. Bu yöntemler buzlanmanın içeriden ve dışarıdan uygulanacak ısıtma ile önlenmesi olarak iki grupta toplanabilir [3]. İçeriden ısıtmaya toprak kaynaklı ısı borusu, toprak kaynaklı ısı pompası, güneş enerjili ısı borulu sistemler, elektrikli ısıtma kablosu, karbon fiber ısıtma teli, manyetik kar eritme cihazı, karbon-nanofiber polimer levhalar, elektriksel olarak iletken çimento uygulaması gibi yöntemler, dışarıdan ısıtmaya da mikrodalga ve infrared lambalarla ısıtma örnek olarak verilebilir. Buzlanmanın önlenmesinde, toprak kaynaklı ısı boruları, toprak kaynaklı ısı pompaları, jeotermal kaynakların bulunduğu bölgelerde bu kaynakların kullanılması, güneş enerjisinin veya elektrikle ısıtma gibi sistemler üzerinde çalışmalar [3,7] yapılmıştır.

Buzlanmanın önlenmesi veya oluşan buzun çözülmesi için gerekli enerji güneş enerjisinden sağlanmasında, yazın güneşten alınan enerji toprak altında depolanıp, kışın bir pompa ile buzlanmanın olduğu bölge içine gömülü borulardan dolaştırılması çalışılmıştır. Bu sistemde sadece su pompası elektrik enerjisi tüketmekte, geriye kalan enerji güneş enerjisinden ve toprağın ısısından yararlanılmaktadır [7]. Ticari karbon fiber bant kullanan buz çözücü sistem deneysel olarak çalışılmış, bu sistemin maliyet açısından diğer buz çözme sistemlerine göre yüksek enerji verimliliği nedeniyle, soğuk bölgeler için büyük potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir [8].

Toprak kaynaklı ısı pompası ile birleştirilmiş CO₂ akışkanlı ısı borusu sisteminin topraktan ısı çekimi için uygun olabileceğini, akışkan sızıntısının da

diğer soğutucu akışkanlara kıyasla bir sorun oluşturmayacağı ifade edilmiştir [9].

Havaalanlarında buzlanmanın önlenmesi için ısı borularının kullanılmasında, piste iniş yapan uçak yükleri, sıcaklık yükleri ve bunların pist yapısına etkisi üç boyutlu sonlu elemanlar modeliyle incelendiği çalışmada, ısı borulu uygulamaların klasik kar eritme sistemleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar, ısı borusunun kullanılmasının, pistin mekanik tepkilerini değiştirmediğini göstermiş, beton katmanının iç sıcaklığını azaltarak ısıl gerilmeleri önemli ölçüde azalttığı görülmüştür [10].

Bu çalışmada, toprak kaynaklı dirsek tipi ısı borularıyla yüzeydeki buzlanmanın önlenmesi deneysel olarak incelenmiştir. Toprak ısı kaynağı olarak kullanılacağı için ısının aktarılacağı ortamın sıcaklığı da kaynak sıcaklığından (toprak) daha düşük olması gerektiği muhakkaktır. Toprak sıcaklığı da kışın dış ortam sıcaklığının üzerinde olup yıl boyunca fazla değişmez. Bu kaynaktan ısı çekilmesi, toprak kaynaklı ısı boruları, ısı pompaları veya farklı yöntemlerle yapılabilir. Toprak kaynaklı ısı borularını geleneksel ısı borusundan ayıran tek fark, ısının çekildiği veya atıldığı ortamın toprak olmasıdır. Toprak çok büyük bir kaynak olduğu için, ısı çekilmesi veya ısı verilmesi, genel anlamda onun sıcaklığında dikkate değer bir değişikliğe neden olmaz.

Isı borusu, yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki bir ortama faz dönüşümüyle ısı taşıyan, çalışması için dışarıdan bir enerji kullanmaya ihtiyaç duymayan, mekanik bir parçası olmayan, pasif bir ısı transfer cihazıdır. En genel haliyle içi vakum edilerek bir miktar çalışma akışkanı şarj edilen kapalı bir kaptan ibarettir. Üç bölümden oluşmakta olup, bunlar; evaporatör, adyabatik ve kondenser bölgeleridir. Dış ortamdan ısının alındığı ve içindeki sıvı haldeki akışkanın faz dönüşümü ile buharlaştırıldığı kısım evaporatör bölümüdür. Kaynama sonucu içi saf doymuş buharla dolan ısı borusunun daha düşük sıcak ortamlarla temas halindeki kondenser bölümünde iş akışkanı yoğunlaşarak buharlaşma gizli ısısını vererek sıvı halde tekrar evaporatöre, yerçekimi etkisi ve/veya kullanılan fitilin kılcal kuvvetlerinin etkisiyle geri döner. Bu döngü ısı borusunun çalışmasını sağlayacak seviyede, evaporatör sıcaklığının kondenser sıcaklığından yüksek olduğu sürece devam eder. Evaporatör bölgesi ile kondenser bölgesi arasında ısı alışverişinin olmadığı yalıtımlı bölge de adyabatik bölge olarak adlandırılır.

Buzlanma ve karla mücadelede toprak kaynaklı ısı borularıyla ilgili çalışmalar özet olarak verilmiştir. Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan yararlanarak yollardaki buzlanmayı önlemek için kazık gibi, ancak yapısal işlevi olmayan, toprağa yerleştirilmiş yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemeler vasıtasıyla jeotermal sıcaklık gradyanı kullanılarak yoldaki buzlanmanın önlenmesi teorik olarak çalışılmıştır. Böyle bir sistemin cadde veya sokaklar için etkili bir şekilde kullanılabileceği ifade edilmiştir [11].

Karayollarındaki buzlanmayı önlemek yerçekimi destekli ısı borusu için farklı boru çapları, boru aralıkları ile evaporatör ve kondenser bölgesi uzunluklarının, yol yüzeyine ısı transferindeki etkisi teorik olarak incelenmiştir. Çalışmada amonyağın çalışma şartları için ısı taşıma kapasitesi bakımından en uygun iş akışkanı olduğu ifade edilmiştir. Boru aralığı 150 mm olduğu durumda, yol yüzeyi sıcaklığının 2 °C'den fazla olabileceği çalışmadan elde edilmiştir. Birim alan başına maksimum ısı transferi dikkate alınarak, en uygun uzunluğun evaporatör için 30 m ve kondenser için de 10 m olduğu, birim ünite için taşınabilecek ısı akısının da 205 W/m² olduğu ifade edilmiştir [12].

Almanya'da 165 m²'lik bir alandaki kar ve buzlanmayı önlemek için iş akışkanı olarak CO₂ kullanılan toprak kaynaklı ısı borusu deneysel incelenmiş, 16x1 mm'lik yassı ve kanatçıklı ısı boruları sondaj boruları içine 4 adet yerleştirilmiş ve çok düşük sıcaklıklarda bile yüzeydeki sıcaklığın daima 0 °C'nin üzerinde olduğu görülmüştür [13]. Dirsek tipi ısı borularıyla topraktan yüzeye taşınabilecek ısı akısının analiz edildiği parametrik bir çalışmada [14] değişken olarak ısı borusu çapı, evaporatör ve kondenser uzunlukları, toprak sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızının değişimi alınıp, bu değişkenlerle topraktan yüzeye taşınabilecek ısı akısının değişimi incelenmiştir. Kar ve buzlanmayı önlemek için farklı akışkanların incelendiği toprak kaynaklı ısı borularında iş akışkanı olarak amonyağın diğer akışkanlara göre (pentan, aseton, metanol, propan, etanol, normal bütan, izobüten ve heptan gibi) daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir [15].

Düşük kaynak sıcaklıklarında, ısı borusu evaporatör uzunluğu ve akışkan şarj oranı ile ısı borusunun performansına etkisinin incelendiği çalışmada [16], çapı 25 mm, evaporatör, kondenser ve adya-

batik uzunlukları sırasıyla 2 m, 1 m ve 0,1 m olan ısı borusu için teorik bir model oluşturulmuştur. İş akışkanı olarak aseton ve metanol kullanılması durumlarında, akışkan şarj oranının artmasının, özellikle düşük kaynak sıcaklıklarında ısı borusunun performansına olumsuz bir etkisi olduğu görülmüştür. Düşük kaynak sıcaklıklarında asetonun metanolden daha iyi ısı transferi gerçekleştirdiği, yüksek sıcaklıklarda ise metanolün asetonun daha fazla ısı transferi gerçekleştirdiği görülmüştür.

İş akışkanı olarak amonyak, aseton veya metanol kullanılan ısı borularını düşük kaynak sıcaklıklarında topraktan yüzeye taşıyabilecekleri ısı akısı teorik olarak incelenmiştir [17]. Bu akışkanlardan amonyak, belirli çalışma koşullarında daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir. Buharlaştırıcı uzunluğu arttıkça, termosifonun ısı taşıma kapasitesi de artmıştır. Bununla birlikte buharlaştırıcı uzunluğu arttıkça, evaporatör bölgesindeki sıvı seviyesinin artması nedeniyle, sıvının doyma sıcaklığı, hidrostatik basıncın etkisiyle artmaktadır. Bu nedenle kaynak sıcaklığının çok düşük olduğu toprak kaynaklı ısı borularında özellikle evaporatör uzunluğunun çok uzun olduğu durumlarda ısı borularının hidrostatik basıncın yükselmesi nedeniyle çalışamayabileceği gözardı edilmemesi gerektiği ifade edilmiştir.

Kar ve buzlanma ile mücadelede klasik tuzlama ve kimyasallar kullanımı yerine, alternatif ısıtma sistemleri kullanılması durumunda bu sistemlerin ilk kurulum giderleri ve işletme maliyetleri ile güç tüketimleri Tablo 1'de verilmiştir [18]. Bu tablodaki mevcut verilere göre ısı borulu sistem, ilk kurulum maliyeti en fazla olan sistem olup, sistem çalışırken güç tüketimi gerekmemektedir. ısı borulu sistemin yıllık işletme maliyeti de çok azdır. İletken betonla ısıtma sistemi en düşük maliyette olmasına rağmen, yıllık işletme maliyeti en yüksek olduğu görülmektedir. Bu sistemlerin klasik küreme, tuzlama veya kimyasalların kullanımına göre en önemli avantajlarından birisi de buzlanma olduğunda veya kar yağdığında dışarıdan herhangi bir müdahaleye gerek duymadan kendiliğinden çalışmaya başlayabilmeleridir.

Kar ve buzlanma ile mücadelede toprak kaynaklı ısı borularının kullanılmasıyla ilgili literatürde, çoğunlukla teorik ve sayısal analizlerin yapılmış olduğu, deneysel çalışmaların fazla bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışmada da eksikliği hissedilen

dirsek tipi toprak kaynaklı ısı boruları ile yüzeydeki buzlanmanın ne derece önlenebileceği deneysel olarak incelenmiştir

Tablo 1. Buzlanmayı Önleme İçin Isıtma Sistemleri Maliyetleri [18]

Isıtma Türü	İlk Kurulum (\$/m ²)	İşletme Maliyeti (\$/m ²)	Güç Tüketimi (W/m ²)
Kızılötesi lamba	96	-	75
Elektrikli ısıtma	54	4,8	430
Sıcak sulu ısıtma	161	2,5	473
Isı borulu ısıtma	378	2,1	-
İletken betonla ısıtma	48	5,4	516
Karbon fiber bantlarla ısıtma	145	0,09	127

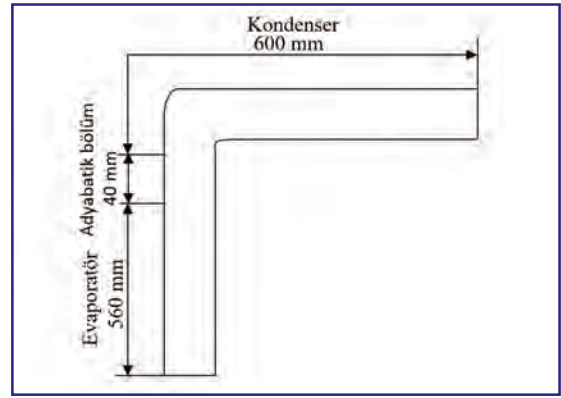
2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada toprak kaynaklı ısı borularının deneysel incelenmesi kontrollü bir soğuk oda içerisindeki hazneye doldurulan toprak üzerine dökülen beton yüzeydeki buzlanmanın, farklı ortam sıcaklıklarında ve belirli toprak sıcaklıklarında ne kadar önlenebileceği ile ilgili çalışmaları kapsamaktadır. Bu deneysel çalışmada dirsek tipi (L tipi) bakır borudan yapılmış, farklı dört ısı borusu kullanılmıştır. Kullanılan ısı boruların ölçüleri ve ısı borusu ile ilgili bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

İlk olarak belirlenen boyutlarda 4 adet (16 mm, 18 mm, 28 mm ve 35 mm çaplarında) dirsek tipi ısı borusu imal edilmiştir. Bir ucu kapatılıp içi temizlenmiş, diğer ucuna akışkan şarjı için sibop kaynak edilmiştir. Isı borusu içi vakum pompası ile vakumlanıp akışkan şarjı yapılmıştır. Akışkan miktarı hassas terazi ile kontrol edilmiştir. Akışkan şarj oranı, literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak [16,19-21]. evaporatör hacminin % 60’ı olarak seçilmiştir. Hazırlanan ısı boruları şematik

olarak Şekil 1’de verilmiş olup, deneysel çalışmada kullanılan ısı borularından birisi de Şekil 2’de görülmektedir.

Herhangi bir yüzeyde buzlanma olmaması için yüzey sıcaklığının sıfırın üzerinde olması gerekir. Ortam sıcaklığının istenilen sıcaklığa ayarlanabilmesi için deneyler kontrollü bir soğuk odada yapılmıştır. Soğuk oda içine konulan, dışı ısı yalıtımlı, 1 m derinliğinde, üstten 1,2 mx1,2 m ölçülerindeki sandık şeklindeki hazne içine doldurulan toprak içine, ısı borusu evaporatör bölgesi dikey konumda, kondenser bölgesi toprak dışında kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Toprak üstü 4 cm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi ile kaplanıp, üzerine 10 cm kalınlığında beton dökülmüştür.



Şekil 1. Dirsek tipi toprak kaynaklı ısı borusu



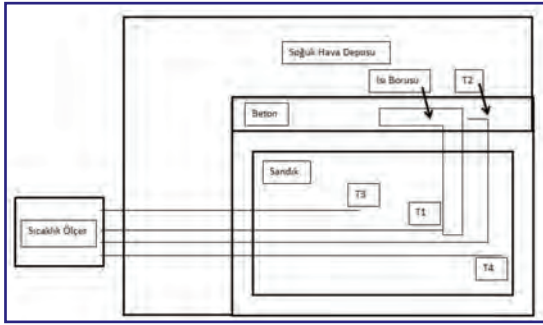
Şekil 2. Üretilen ısı borularından birinin görünümü

Tablo 2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Dirsek Tipi Isı Borularının Özellikleri

Isı borusu dış çapı (m)	0,016	0,018	0,028	0,035
Evaporatör bölgesi uzunluğu (m)	0,56	0,56	0,56	0,56
Kondenser bölgesi uzunluğu (m)	0,60	0,60	0,60	0,60
Adyabatik bölge uzunluğu (m)	0,04	0,04	0,04	0,04
Akışkan şarj oranı	%60 (Evaporatör hacminin)			
İş akışkanı	R410a			
Isı borusu malzemesi	Bakır			

Isı kaynağı olarak kullanılan hazne içindeki toprak sıcaklığının istenilen değerde olması için toprak içine farklı kademelere yerleştirilen 4 adet 2 kW gücünde U şeklinde ısıtma rezistansı ile sağlanmıştır. Toprak sıcaklığı belirli derinliklerde K tipi termokupullarla ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Hazne içerisine Türkiye’de yaygın olarak bulunan ve yol çalışmalarında altyapı malzemesi olarak kullanılan killi-çakıllı toprak konulmuştur. Toprağın tüm deneylerde özelliğinin değişmemesi ve nem kaybı olmaması için, sandık içi naylon ile kaplanmıştır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3’de görülmektedir.



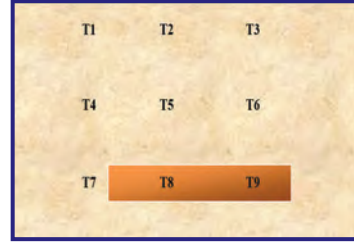
Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Yapılacak deneylerde farklı ortam ve toprak sıcaklıklarında, ısı borusunun taşıdığı ısı akısı ile beton yüzeyindeki sıcaklık değişimlerinin izlenmesi için yüzeye 9 adet K tipi termokupul yerleştirilmiştir. Termokupullar arasındaki mesafeler eşit olup 20 cm’dir. Beton yüzey üzerindeki termokupullar Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Beton yüzeydeki termokupullar

Şekil 5’de de beton yüzey üzerindeki termokupulların konumlarının üstten görünümü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ısı borusunun simetri ekseninin iki tarafında da sıcaklıklar aynı olacağı için, ölçümler simetri eksenin tek tarafından ölçülmüştür.



Şekil 5. Beton yüzeyindeki termokupulların konumları

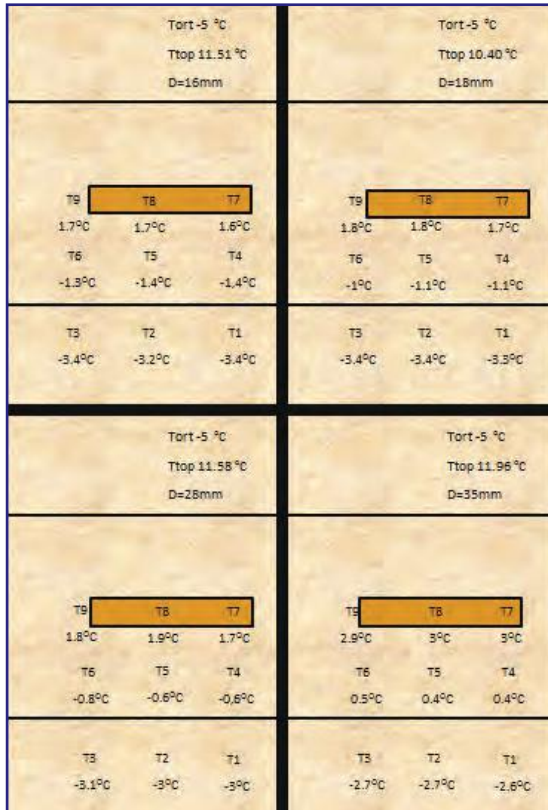
3. BULGULAR

Toprak kaynaklı, dirsek tipi ısı borularının beton yüzeyinde buzlanmayı önleyebilme kapasitelerinin gözlenmesi ile ilgili deney sonuçları Şekil 6-9’da ifade edilmeye çalışılmıştır. Bu deneylerde yaşanan en büyük sorun, bütün deneylerde aynı toprak sıcaklığının sağlanamamasıdır. Çünkü soğuk oda ortamı $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında istenilen değere soğutulduğu ve toprak kaynağı olarak kullanılan hazne bu odada olduğu için, etrafı yalıtılmış olmasına ve toprak içerisine ısıtıcı yerleştirilmiş olmasına rağmen toprak sıcaklığı istenilen değere getirilememiştir. Ortam sıcaklığının $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’e azalmasıyla, ortalama toprak sıcaklığı $11,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $6,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’e azalmıştır. Halbuki aynı sonuçların karşılaştırılabilmesi için aynı şartların sağlanması gerekirdi. Bu sorunun nedeni toprak sıcaklığını istenilen değerde tutabilmek için kullanılan çubuk tipi ısıtıcıların yetersiz kalmasıdır. Aynı şekilde toprak haznesi çevresindeki yalıtımın yetersiz kalması da bu sorun için bir etken olduğu düşünülmektedir. Tablo 3’de deneysel çalışmada kullanılan soğuk ortam sıcaklığında, deneylerin yapıldığı toprağın ortalama sıcaklıkları (ısı borusu kaynak sıcaklığı) verilmiştir.

Tablo 3. Soğuk Ortam Sıcaklığındaki Ortalama Toprak Sıcaklığı

$T_{\text{ortam}}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	-5	-10	-15	-20
$T_{\text{toprak}}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	11,36	9,22	8,16	6,65

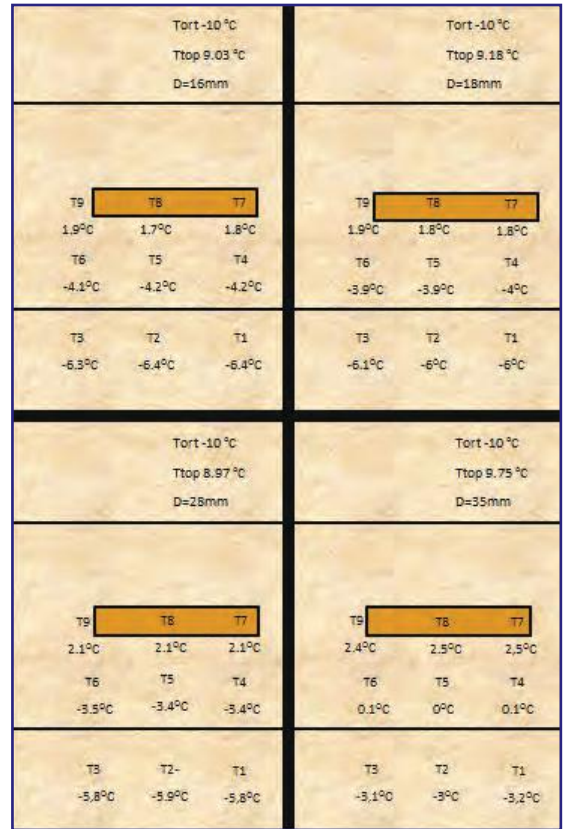
Ortam sıcaklığının $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu durumda beton yüzeyi sıcaklık dağılımının farklı ısı boruları için değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Yüzeydeki sıcaklık, ısı borusu kondenser bölgesi ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır. Örneğin 16 mm'lik ısı borusu deneylerinde, beton yüzey sıcaklığı T8 noktasında $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, T5 noktasında $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve T2 noktasında da $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Ortam sıcaklığı $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda beton yüzeyi sıcaklık dağılımı

Isı borusunun çapının büyümesi ile ısı borusunun taşıyabileceği ısı akısı da artacağından, bu artış, yüzeydeki sıcaklık artışı olarak kendisini göstermektedir. Örneğin Şekil 6'daki T8 noktasında yüzey sıcaklığı 16 mm'lik ısı borusu için $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 18 mm için $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 28 mm için $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 35 mm için ise $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Boru çapının artması ile yüzeydeki sıcaklık artışı (toprak sıcaklığındaki değişimler yok sayılarak) küçük de olsa fark edilebilmektedir.

Şekil 7'de soğuk oda ortam sıcaklığının $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu durumda beton yüzeydeki sıcaklık dağılımının değişimi görülmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi, ortam sıcaklığının $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu durumda



Şekil 7. Ortam sıcaklığı $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda beton yüzeyi sıcaklık dağılımı

ortalama toprak sıcaklığı 16 mm'lik ısı borusu deneyleri yapılırken $11,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştü. Ortam sıcaklığının $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu 16 mm'lik ısı boruları deneylerinde toprak sıcaklığı $9,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e düşmüştür. Toprak sıcaklığı 18 mm'lik deneylerde $9,18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 28 mm'lik ısı borusu deneylerinde $8,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 35 mm'lik ısı borusu deneylerinde ise $8,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak gerçekleşmiştir. Yüzeydeki sıcaklık göreceli olarak ısı borusu çapı ile artmaktadır. Örneğin T7 noktasının sıcaklığı ısı borusu çapının 16 mm'den 35 mm'ye artması ile $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e yükseldiği görülmektedir.

Şekil 8'de aynı dirsek tipi ısı borularının, ortam sıcaklığının $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e düşürüldüğü durumda beton yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerlerini, ısı borusu çaplarına göre vermektedir. Ortam sıcaklığının $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e düşürülmesi sonucu ortalama toprak sıcaklığı da (16 mm'lik ısı borusu deneyi için) $9,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $8,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e azaldığı görülmüştür. T9 noktası için yüzey sıcaklığının, ısı borusu çapının 16 mm'den 35 mm'ye artışı ile $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $-4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e yükseldiği görülmüştür. Ancak bu sıcaklıklar yüzeydeki buzlanmayı önlemeye yetmeyecektir.

Tort -15 °C Ttop 8.03 °C D=16mm			Tort -15 °C Ttop 8.13 °C D=18mm		
T9	T8	T7	T9	T8	T7
-6.8°C	-6.8°C	-6.7°C	-6°C	-6.1°C	-6°C
T6	T5	T4	T6	T5	T4
-10.3°C	-10.3°C	-10.3°C	-9.9°C	-10°C	-10°C
T3	T2	T1	T3	T2	T1
-13.5°C	-13.4°C	-13.4°C	-13°C	-13°C	-13°C
Tort -15 °C Ttop 7.92 °C D=28mm			Tort -15 °C Ttop 8.56 °C D=35mm		
T9	T8	T7	T9	T8	T7
-5.1°C	-5.2°C	-5.2°C	-4.5°C	-4.4°C	-4.4°C
T6	T5	T4	T6	T5	T4
-9.2°C	-9.2°C	-9.1°C	-8.4°C	-8.4°C	-8.5°C
T3	T2	T1	T3	T2	T1
-11.7°C	-11.9°C	-11.9°C	-11.2°C	-11.3°C	-11.2°C

Şekil 8. Ortam sıcaklığı -15 °C olduğunda beton yüzeyi sıcaklık dağılımı

Tort -20 °C Ttop 6.53 °C D=16mm			Tort -20 °C Ttop 6.36 °C D=18mm		
T9	T8	T7	T9	T8	T7
-8.7°C	-8.8°C	-8.6°C	-8.5°C	-8.6°C	-8.6°C
T6	T5	T4	T6	T5	T4
-13.2°C	-13.3°C	-13.3°C	-12.9°C	-13°C	-13°C
T3	T2	T1	T3	T2	T1
-16.5°C	-16.4°C	-16.6°C	-16.1°C	-16°C	-15.9°C
Tort -20 °C Ttop 6.69 °C D=28mm			Tort -20 °C Ttop 7.01 °C D=35mm		
T9	T8	T7	T9	T8	T7
-8.2°C	-8.2°C	-8.3°C	-7.3°C	-7.2°C	-7.2°C
T6	T5	T4	T6	T5	T4
-12.9°C	-13°C	-13°C	-12.8°C	-12.7°C	-12.8°C
T3	T2	T1	T3	T2	T1
-15.7°C	-15.8°C	-15.7°C	-15.2°C	-15.3°C	-15.2°C

Şekil 9. Ortam sıcaklığı -20 °C olduğunda beton yüzeyi sıcaklık dağılımı

Şekil 9'da ortam sıcaklığının -20 °C olduğu durum için, toprak kaynaklı ısı borusunun ısı taşınması ile yüzeyde oluşan sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bu şartlar altında ortalama toprak sıcaklığının 6,35 °C'e düştüğü görülmüştür. Yine 16 mm'lik ısı borusu deneyi için T8 noktasında yüzey sıcaklığı -8,8 °C, 18 mm'lik ısı boru için -8,6 °C, 28 mm'lik ısı borusu için -8,2 °C ve 35 mm'lik ısı borusu için de -7,2 °C olarak ölçülmüştür. Isı borusunun topraktan yüzeye kısmen de olsa ısı taşıdığı ama buzlanmanın önlenemediği görülmüştür.

Dirsek tipi toprak kaynaklı ısı borularının, bu çalışma kapsamında yapılan bütün deneylerde çalışıp topraktan yüzeye ısı taşıdığı, taşınan ısı enerjisinin, ısı borusu çapı ve toprak sıcaklığının artması ile ilişkili olarak arttığı görülmüştür. Isı borusunun ısı taşıdığına göstergesi yüzeydeki sıcaklık dağılımının değişmesidir. Yüzeyde ölçülen sıcaklığın, ısı borusu kondenser bölgesi ekseninden uzaklaştıkça azaldığı da açıkça görülmektedir. Bu sonuç, bir bölgedeki buzlanmanın önlenmesi için kullanılacak ısı borularının tasarımında, boru çapı ile evaporatör ve kondenser bölgesi uzunluklarının yanında borular arası mesafenin öneminin bir göstergesidir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Toprak kaynaklı dirsek tipi ısı borularının beton yüzeyinde buzlanmayı ne derecede önleyebildiği gözlemlendiği bu çalışmada toprak sıcaklığı bütün deneyler için birbirine yakın bir değerde tutulamamıştır. Ortam sıcaklığının -5 °C'den -20 °C'e doğru düşmesi ile ortalama toprak sıcaklığı da 11,36 °C'den 6,65 °C'e düşmüştür. Bu nedenle aynı ortam sıcaklığında, aynı ısı borusu çapında, farklı kaynak sıcaklığında çalışıldığı için, elde edilen verilerin doğrudan birbirleriyle karşılaştırılması hatalı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Ancak ortam sıcaklığının örneğin -5 °C olduğu durumda 16 mm, 18 mm, 28 mm ve 35 mm'lik ısı boruları deneyleri kendi içinde birbirleriyle karşılaştırılabilir. Örneğin -5 °C ortam sıcaklığı deneylerinde toprak sıcaklığı ortalaması 11,36 °C olarak elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta T9 noktasında ölçülen sıcaklık boru çapının 16 mm'den 35 mm'ye artması ile 1,7 °C'den 2,9 °C'e yükselmiştir. Yine aynı şekilde -10 °C, -15 °C ve -20 °C ortam sıcaklığında yapılan deneyler kendi içinde karşılaştırma yapılabilir.

Deney verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, ısı

borularını düşük sıcaklıklarda dahi çalıştığı ve yüzeye ısı taşıdığı, yüzeydeki sıcaklık dağılımından görülmektedir. Yüzeydeki sıcaklık, ısı borusundan (kondenser bölgesi ekseninden) uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu sonuç, buzlanmanın önlenmesi için kullanılacak ısı borularının tasarımında kaynak sıcaklığı ile birlikte borunun fiziksel büyüklüğü (boru çapı, evaporatör ve kondenser bölgesi uzunlukları) yanında borular arası mesafenin de önemini göstermektedir.

Türkiye’de karayolları, köprü veya kaldırımlarda buzlanmanın önlenmesinde çevresel zararlı etkileri bilinen, tuzlama veya kimyasal maddeler kullanımı yerine toprak kaynaklı ısı boruları kullanımına başlanabilmesi için daha fazla sayısal ve deneysel çalışmaya gereksinim vardır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular sınırlı sayıda deneyle dayandığından genellenebilir özellikte olmasa da, uygulamaya yönelik deneysel veri içermektedir. Isı boruları bu amaçla kullanıldığında kar yağışı veya buzlanma sonucu, dışarıdan bir işleme veya müdahaleye gerek duyulmadan buzlanma kendiliğinden önlenir. Sonuç olarak toprak kaynaklı ısı borularına kışın zorlu geçtiği bölgelerde uygulama alanları oluşturarak buzlanma nedeniyle gerçekleşen kazalardaki can ve mal kayıpları da azaltılabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Allison, E.K., Bernard, N.S., Effects of Highway Deicing Chemicals on Shallow Unconsolidated Aquifers in Ohio, Final Report, Scientific Investigations Report, 2004-5150, 2004. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/sir20045150>, (Erişim Tarihi: 14.10.2019).
- [2] Shi, X., Fay, L., Gallaway, C., Volkening K., Peterson, M.M., Pan, T., Creighton, A., Laylor, C., Mumma, S., Liu, Y., Nguyen, T.A., Evaluation of Alternative Anti-Icing and Deicing Compounds Using Sodium Chloride and Magnesium Chloride as Baseline Deicers, 2009. https://www.codot.gov/programs/research/pdfs/2009/antiicing.pdf/at_download/file, (Erişim Tarihi: 12.03.2019).
- [3] Yang, Z.H.J., Intersection-Pavement De-Icing: Comprehensive Review and the State of the Practice. Sciences in Cold and Arid Regions, 11, 1, 1-12, 2019.
- [4] Anonim, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Hava Alanları Kar Mücadele Yönergesi. Yönerge No:11, 11s., Ankara, 2018.
- [5] Lai, J., Qiu, J., Chen, J., Fan, H., Wang, K., New Technology and Experimental Study on Snow-Melting Heated Pavement System in Tunnel Portal. Advances in Materials Science and Engineering, 2015, 11, 2015, Article ID: 706536, 1-11, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/706536>
- [6] Anonim, The Use of Selected Deicing Materials on Michigan Roads: Environmental and Economic Impacts, 1993. https://www.michigan.gov/documents/toc-deice_51451_7.pdf, (Erişim Tarihi: 16.11.2019).
- [7] Zhao, H.M., Wang, S.G., Wu, Z.M., Che, G.J., Concrete Slab Installed with Carbon Fiber Heating Wire for Bridge Deck Deicing. Journal of Transportation Engineering, 136, 6, 500-509, 2010.
- [8] Yang, Z., Yang, T., Song, A.G., Singla, M., Experimental Study on an Electrical Deicing Technology Utilizing Carbon Fiber Tape, Alaska University Transportation Center, Final Report, DTRT06-G-0011. 2012. <https://pdfs.semanticscholar.org/fb33/356e580a68cf594dd50878a0c0d0fe296ff6.pdf>, (Erişim Tarihi: 16.11.2019).
- [9] Ochsner, K. Carbon Dioxide Heat Pipe in Conjunction with a Ground Source Heat Pump (GSHP). Applied Thermal Engineering 28, 2077-2082, 2008.
- [10] Tan, Y.Q., Fu, Y.K., Li, Y.L., Zhang, C., Responses of Snow-Melting Airfield Rigid Pavement under Aircraft Loads and Temperature Loads and their Coupling Effects, Transportation Geotechnics 14, 107-116, 2018.
- [11] Mauro, A., Grossman, J.C., Street-heat: controlling road temperature via low enthalpy geothermal energy, Applied Thermal Engineering, 110, 1653-1658, 2017.
- [12] Qing, Q., Zhang, D., Chen, D., Analysis of Gravity Heat Pipe for Anti-Icing and Snow Melting on Road Surface. Material Science Engineering, 592, 1-8, 2019.
- [13] Zorn, R., Steger, H., Kolbel, T., De-Icing and Snow Melting System with Innovative Heat Pipe Technology. World Geothermal Congress, 19-25 April, Melbourne, Australia, 1-6, 2015. <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/29041.pdf>, (Erişim Tarihi: 25.10.2018).
- [14] Ozsoy A., Yildirim R. 2016. Prevention of Icing with Ground Source Heat Pipe: A Theo-

- retical Analysis for Turkey's Climatic Conditions. Cold Regions Science and Technology, 125, 65-71.
- [15] Wang, X., Zhu, Y., Zhu, M., Zhu, Y., Fan, H., Wang, Y., Thermal Analysis and Optimization of an Ice and Snow Melting System Using Geothermy by Super-Long Flexible Heat Pipes. Applied Thermal Engineering, 112, 353-363, 2017.
- [16] Yildirim, R., Yidiz, A., Ozsoy, A., Influence of Fluid Charge Rate on Gravity Assisted Heat Pipe Performance at Low Temperatures, MAKÜ, Uygulamalı Bilimler Dergisi, 2, 2, 52-67, 2018.
- [17] Yildirim, R., Ozsoy, A., The Performance of Ground Source Heat Pipes at Low Constant Source Temperatures. International Journal of Green Energy, 15, 11, 641-650, 2018.
- [18] Seferoğlu, A.G., Seferoğlu, M.T., Akpınar, V., Karayolu ve Havayolu Kaplamalarında Kullanılan Kar ve Buzla Mücadele Yöntemlerinin Mali Analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C, Tasarım ve Teknoloji, 3, 1) 407-416, 2015.
- [19] Lin, T.F., Lin, W.T., Tsay, Y.L., Wu, J.C., Experimental Investigation of Geyser Boiling in an Annular Two-Phase Closed Thermosyphon. International Journal of Heat Mass Transfer, 38, 2, 295-307, 1995.
- [20] Faghri, A., Heat Pipe Science and Technology. Taylor and Francis, London, 874s., 1995.
- [21] Noie, S.H., Heat Transfer Characteristics of a Two-Phase Closed Thermosyphon. Applied Thermal Engineering, 2005.

Hava Kanalı Sızdırmazlık Testleri ve Commissioning (Cx) Sürecine Etkisi

Hasan Özgüç DİVARCI

Makine Y. Mühendisi
ozgucdivarci@gmail.com

ÖZ

Binalarda, tesislerde ve işletmelerde, işletme maliyetlerini minimum değerde tutarak tasarlanan mekanik sistemlerin verimli bir şekilde çalışması uygun sistem seçimi, projelendirme, kaliteli malzeme, uygun imalat ve montaj işlemleri ile doğrudan ilgilidir. Ancak sistemin istenilen parametreleri (sıcaklık, debi vb.) sağlayabilmesi ve sürdürülebilir olması bir commissioning süreci gerektirmektedir. Bu çalışmada iklimlendirme sistemlerinde uygulanan hava kanalı sızdırmazlık testlerinin temel prensipleri, uygulaması, uluslararası standartların kabul kriterleri ile uygulama sırasında karşılaşılan sorunlar ve çözüm yöntemlerine değinilerek, hava kanalı sızdırmazlık testlerinin commissioning sürecindeki yeri ve etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Hava Kanalı Sızdırmazlık Testi, SMACNA, Eurovent, Commissioning, Cx.

Air Duct Leakage Tests and Effect On Commissioning (Cx) Process

ABSTRACT

Efficient operation of mechanical systems designed in buildings, facilities and businesses by keeping operating costs to a minimum is directly related to proper system selection, project design, quality material, appropriate manufacturing and assembly processes. However, the system's ability to provide the desired parameters (temperature, flow, etc.) and to be sustainable requires a commissioning process. In this study, the basic principles, application, the acceptance criteria of international standards, the problems encountered during the application and the solution methods encountered during the application, the place and effect of the air duct leakage tests in the commissioning process were examined.

Keywords

Air Duct Leakage Test, SMACNA, Eurovent, Commissioning, Cx.

Geliş Tarihi : 27.01.2020

Kabul Tarihi : 30.04.2020

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok binada ve tesiste doğal havalandırma yerine, cebri havalandırma ve iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın binalardaki ve çeşitli tesislerdeki en önemli konu, bina ömrü boyunca gerekli bakım-onarım faaliyetleri gerçekleştirilen sistemlerin istenilen işletme şartlarını enerji tasarrufunu göz önünde bulundurarak sağlayabilmesidir. Bu amaçla binaların yapım aşamasından teslim aşamasına kadar bir test&commissioning işlemi gerçekleştirilmektedir. Commissioning kelimesinin Türkçe karşılığı bulunmadığından geçerlilik denetimi olarak ifade edilebilir. Bu kavramın tek bir kelime ile dilimize çevrilmesi çok zordur. Fonksiyon test kontrol (FTK), iş teslimi ve kabul/kontrol (İTK), işletmeye alma ve kabul (KİK) bu amaçla önerilen ve kullanılan bazı ifadelerdir[1].

Geçerlilik Denetimi (Cx), kısaca bir projenin teslimini iyileştiren kalite odaklı bir süreçtir. Projenin bütün sistemleri ve kuruluşları ile birlikte, tesis sahibinin gereksinimlerini yerine getirecek şekilde planlandığını, tasarlandığını, kurulduğunu, denendiğini, işletildiğini ve bakımının yapıldığını denetler. Bir başka ifade ile Cx, sistem tasarımının veya uygulamasının önceden belirlenen özelliklere ve tanımlara uygun olarak yapıldığını kanıtlamak için yapılan, test ve ölçme işlemlerini de içeren geçerlilik denetimidir şeklinde de tanımlanabilir [2].

Mekanik sistemler için kullanılan test ayar dengelme (TAB ya da TAD) veya test ve devreye alma işlemleri Cx ile karıştırılmamalıdır. TAB ve test devreye alma işlemleri Commissioning sürecinin bir parçasıdır.

Kullanım amacı belirlenen bir binada Cx sürecinin başarılı olabilmesi geniş bir perspektifte incelendiğinde mekanik, elektrik ve otomasyon sistemlerinin mimari yapı ile bir bütün olarak uyumlu olmasını gerektirir. Mekanik tesisatta Cx süreci incelendiğinde ise havalandırma, yangın, ısıtma & soğutma, sıhhi tesisat, medikal gaz vb. tesisatlar da, beş esas bölüm söz konusudur;

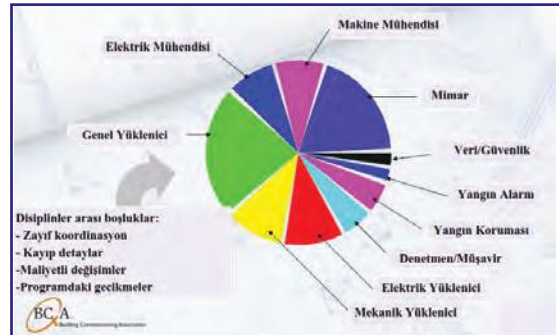
1. Tasarım öncesi (Pre-design)
2. Tasarım aşaması (Design)
3. Uygulama aşaması (Constuction)
4. Kabul (Acceptance)
5. Garanti süreci (Warranty Phase)

Sadece havalandırma ve iklimlendirme sistemleri incelendiğinde ise tasarım, projelendirme, malzeme & ekipman seçimi, imalat & montaj, kalite kontrol, performans testleri, devreye alma ve işletme süreçlerinin olduğu görülür. Hava kanalı sızdırmazlık testleri ise bu süreçte kalite kontrol ve performans testleri kapsamında yer alır.

1960'tan sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde aynı amaçla kullanılan otel, ofis vb. binaların iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin birbirine benzer olmasına rağmen işletme esnasında oluşturdukları enerji maliyetlerinin farklı olmasının sebebinin hava kanallarındaki sızıntı olduğunu tespit eden mühendisler deneysel uygulamalar sonucu 1985 yılında Smacna "HVAC air duct leakage test manuel" ile sorunun çözümü ve enerji sarfiyatının önüne geçmeyi amaçlamışlardır.

Smacna tarafından oluşturulan bu doküman günümüzde de hava kanalı sızdırmazlık testlerinin temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada geniş bir Commissioning süreci içinde küçük bir süreç olan hava kanalı sızdırmazlık testlerinin sürece olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 1. Disiplinlere göre Commissioning süreci

2. ULUSLARARASI STANDARTLAR

Bir iklimlendirme sistemindeki kaçak miktarı, hava kanallarındaki kaçak miktarı ile ekipman ve aksesuar kaçaklarındaki miktarın toplamından oluşur. Hava kanalları, klima santrali, CAV, VAV ve damperler vb. ekipmanlar hem üretim yöntemleri gereği hem de montaj yöntemleri nedeniyle tamamen sızdırmaz olarak imal & montaj edilemezler. Bu nedenle standartlar sistemdeki ekipmanlar için belirli miktarda havanın sızmasına izin vermektedir.

Hava kanalı sızdırmazlık testlerinde Smacna, Ashrae 90.1, BS EN 12237, BS EN 1507 (TS EN 1507 ve TS EN 12237), DW143 ve Eurovent 2/2 standartlarından yararlanılabilir. Bu standartlar dışında binanın veya tesisin kullanım amacına bağlı olarak şartnameler, ulusal standartlar ve farklı uluslararası standartlar göz önüne alınabilir. Örneğin, hastanelerde DIN 1946-4, NF S390:51 veya VDI 2167 vb. standartlarda belirtilen kaçak sınıflarına uyulurken, CBRN (Chemical, biological, radiological and nuclear) sistemleri içeren tesislerde UAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu), DOE (U.S. Department of Energy), NIOSH vb. kuruluşların iklimlendirme yönergeleri incelenebilir. CBRN koruması gerektiren sistemlerde sıfır kaçığın istendiği durumlar ise ayrı bir çalışma konusudur. Binalardaki duman tahliye kanallarının testi ile ilgili NFPA ve yangın danışmanın önerileri göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1. Standartlara Göre İzin Verilebilir Kaçak Miktarları

Hava kanalı sızdırmazlık testlerinde genellikle “Smacna HVAC air duct leakage test manuel” ile “Eurovent 2/2 Air leakage rate in sheet metal air distribution systems” ve “DW143 A Practical Guide to Ductwork Leakage Testing” kullanılmaktadır.

Tablo 1. Smacna’ya Göre Test Sınıflandırması [3]

İmalat Basınç Sınıfı	½-, 1-, 2- inch.s.s	3- inch.s.s	4-, 6-, 10- inch.s.s
Sızdırmazlık Sınıfı	C	B	A
Sızdırmazlık Uygulaması	Sadece flanşlı ek yerlerine	Flanşlar ve boy kenetlerine	Flanşlar, boy kenetleri ve kanal cidarını delen her yerde
Sızdırma Sınıfı (C _L)			
Dikdörtgen Metal Kanal	24	12	6
Yuvarlak Metal Kanal	12	6	3

Smacna’ya göre Tablo 1 kullanılarak yapılan test uygulamalarında $F = C_L \times P^{0.65}$ formülizasyonu ile 1 m² kanal alanı için izin verilebilir kaçak miktarı hesaplanarak, test alanına bağlı olarak ölçülen kaçak miktarının izin verilen değerden küçük olduğu

ispatlanır. [Formülde F kaçak miktarı (cfm/100ft²), CL sızdırmazlık sınıfı, P kanal içi statik basınç (inch.s.s)]. Sızdırmazlık önlemi alınmamış dikdörtgen metal kanallar için C_L= 48 alınır [3].

Tablo 2. Eurovent 2/2’ye Göre Kanal Sızdırmazlık Sınıfları [4]

Hava Sızdırmazlık Sınıfı	Statik Basınç Limiti (Pa)		Kaçak Limiti l/s/m ²
	Pozitif	Negatif	
A	500	500	0,027xP _t ^{0,65}
B	1000	750	0,009xP _t ^{0,65}
C	2000	750	0,003xP _t ^{0,65}
D*	2000	750	0,001xP _t ^{0,65}

*Özel uygulamaya uygun kanal konstrüksiyonu
P_t = Test basıncı

“Eurovent 2/2 Air leakage rate in sheet metal air distribution systems” ve “DW143 A Practical Guide to Ductwork Leakage Testing” göre hava kanallarında yapılacak sızdırmazlık testleri yukarıdaki tabloda belirtilen formüller aracılığıyla 1 m² hava kanalındaki kaçak miktarı tespit edilerek ölçülen değerler daha düşük olduğu ispatlanmalıdır. Test basıncının sistemin tasarım basıncından düşük olmaması gerekir.

Hava kanalı sızdırmazlık testinin yapılacağı bölgede rakım deniz seviyesinden çok farklı ve sıcaklık değerinin +20 °C değerinden çok yüksek veya alçak olması durumunda kaçak havanın miktarı düzeltme faktörü aracılığı ile hesaplanmalıdır. BS EN 1507’e göre düzeltme faktörü aşağıdaki şekildedir[5].

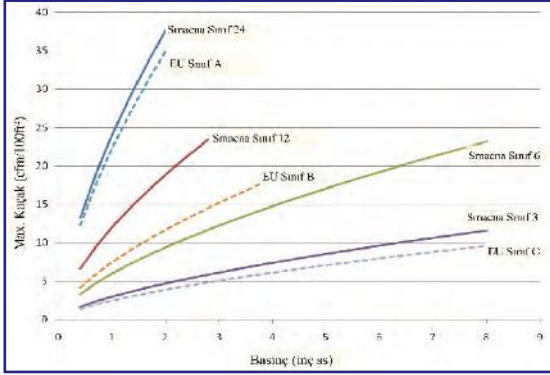
$$Q_v = Q_{ölçülen} \times [293 (°K) / [273 (°K) + t(°C)]] \times [P (Pa) / 101325 (Pa)]$$

Smacna ise aşağıdaki koşullar sağlanmadığı durumda düzeltme faktörü kullanımını önermektedir [3].

1. Hava sıcaklığı <40 °F veya >100 °F
 2. Deniz seviyesinden <1500 ft yükseklik
 3. Kanal statik basıncı <-20 inwg veya >+20 inwg
- Kullanılabilecek düzeltme faktörleri;

1. ACFM = SCFM x (460+T)/530
T = Ölçülen kuru termometre hava sıcaklığı
Basınç <-20 inwg veya >+20 inwg arasında olmalıdır.

- ACFM = SCFM x 0,075/d
d = Psikometrik diyagramdan elde edilen hava yoğunluğu değeri
- ACFM = lb kuru hava/dk x nem miktarı (ft³/lb kuru hava)



Şekil 2. Smacna ve Eurovent karşılaştırması

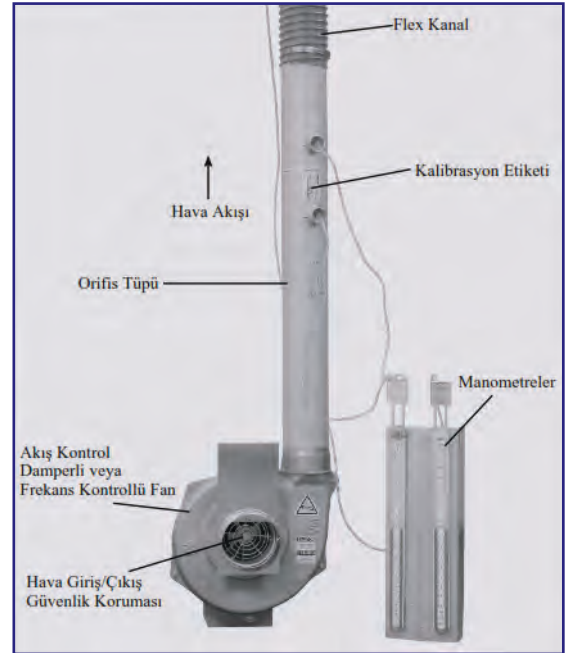
Smacna ve Eurovent 2/2 karşılaştırılacak olursa, iki standartta temelde birbirine benzemekte olup yukarıda grafikteki eğriler incelendiğinde test sınıfları arasındaki kaçak miktarlarının düşük seviyelerde ve birbirine yakın matematiksel değerlerde olduğu görülür.

Ashrae 90.1, Smacna ve Eurovent'e göre orta basınç sınıfındaki hava kanallarında, toplam kanal alanının %25'nin test edilmesi gerektiği belirtilmiştir [3][4][6]. DW 143 ise orta basınç sınıfı için toplam alanın en az %10'unun test edilmesini öngörür [7]. A sınıfı düşük basınçlı hava kanallarında otopark, depo veya açık alanda bulunan hava kanalları test edilmeyebilir veya gerekli olması durumunda bir bölümü duman testine tabii tutulabilir. İşverenin inisiyatifine bağlı olarak hava kanallarının daha büyük bir bölümünün test edilmesi istenebilir. C ve D sınıfı yüksek basınçlı sistemlerde ise kanalların %100'nün test edilmesi gereklidir.

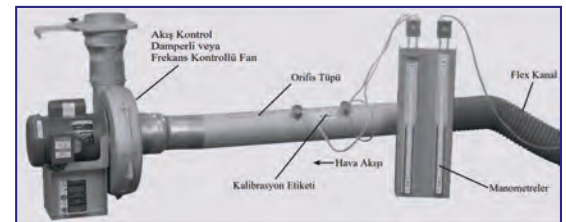
Hava kanalı sızdırmazlık testleri pozitif veya negatif basınç altında yapılabilir. Standart bir test cihazında orifisin bulunduğu borunun ve kanal bağlantısı için kullanılan flexible hava kanalının test cihazı fanının hava emiş tarafına takılması ile negatif basınçlı test yapılabilir. Pozitif veya negatif basınçlı testlerde en önemli konu havanın akış yönünün doğruluğudur[8].

U.S. Department of Energy kendisine bağlı bulunan tesislerde aynı kanal bölümü üzerinde 2,5" wg pozitif basınçlı ve 2,5" wg negatif basınçlı sızdırmazlık testleri uygulamıştır. Pozitif basınçlı testte 15 dakika içinde bir değişim olmazken, negatif basınçlı testte 15 dakika içerisinde değişim gözlemlenmiştir. Aynı kanalın negatif basınç altında iken pozitif basınç altında olduğundan daha fazla sızıntı eğilimi gösterdiği Smacna tarafından da doğrulanır[9].

Hava kanalı sızdırmazlık testlerinin, hava kanalı negatif basınçta çalışacak dahi olsa Ashrae 90.1 ve DW 143'te belirtildiği üzere her zaman pozitif basınçta yapılması önerilir. Çünkü bir kanal negatif basınç altında test edildiğinde kaçak noktalarının tespiti imkansızdır.



Şekil 3. Pozitif basınçlı test düzeneği [8]



Şekil 4. Negatif basınçlı test düzeneği [8]

2.2. Sistem Kaçak Kaybı

Taşınan hava debisi ile kanal yüzey alanı arasındaki ilişki, bina yapısına bağlı olarak değişkendir. Bu nedenle, hava kaçağını toplam hava debisinin bir yüzdesi olarak ifade etmek zordur.

Benzer şekilde, hava kanallarında çalışma basıncı da sistem içinde değişkenlik gösterir ve kaçaklar basınç ile ilgili olduğundan, hesaplamalar karmaşıktır. Yine de kaliteli sistemlerde, her bir sınıfa ait olmak üzere aşağıda belirtilen yaklaşık kaçak yüzdeleri verilebilir[10].

- A sınıfı düşük basınçlı sistem için %6
- B sınıfı orta basınçlı sistem için %3
- C sınıfı yüksek basınçlı sistem için %2
- D sınıfı yüksek basınçlı sistem için %0,5

2.3. Bina Kullanım Amacına Göre Test Sınıfları

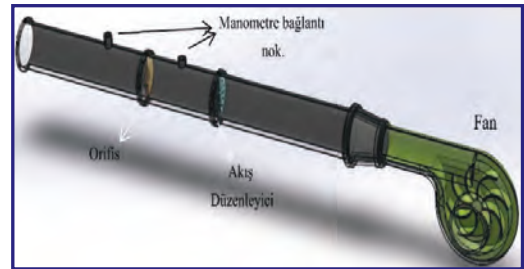
Hava kanalı sızdırmazlık testleri için kullanılan uluslararası standartlar bina kullanım amacına uygun olarak bir sınıflama yapmazlar. Standartlar sızdırmazlık testinin, sistem basıncına bağlı olarak belirtilen sınıflarda yapılması gerektiğini belirtmektedir. Ancak hastane, laboratuvar, endüstriyel ya da askeri tesisler vb. yapılarda yüksek nitelikli alanlar için bazı standartlarda belirtildiği üzere sistem basıncına bakılmaksızın C veya D sınıfı test ön görülebilir. Örneğin, “T.C. Sağlık Bakanlığı hastane steril alanlarının hijyenik kontrolleri ve havalandırma sistemlerinin gereksinimlerine yönelik kılavuz standart” hastanelerde hava kanalı sızdırmazlık testlerinin TS EN 1507 standardına uygun olarak gerçekleştirmesini isterken otopark ve ofis alanları için A sınıfı, hasta odaları ve genel tedavi alanları için B sınıfı, ameliyathane, yoğun bakım ve tüm HEPA filtreli alanlar için C sınıfı sızdırmazlık sağlanmasını istemektedir[11]. DIN 1946-4 ve VDI 2167’de ise EN 13779 standardına uygun olarak steril mahallerde C sınıfı sızdırmazlık testinin uygulanması gerektiği belirtilmiştir [12][13].

Enerji tesisleri, nükleer santraller, CBRN korumalı binalar, laboratuvarlar vb. tesislerde ortamın basınç, sıcaklık ve neminin hassas kontrolü, çalışma ortamındaki gazların insan sağlığına etkisi vb. nedenlerden dolayı özel konstrüksiyon hava kanalı kullanılarak C veya D sınıfı test gerçekleştirilmesi istenebilir.

3. HAVA KANALI SIZDIRMAZLIK TESTLERİ

3.1. Hava Kanalı Sızdırmazlık Testinin Temel Prensipleri

Proses kontrolü amacıyla debi ölçülmesinde, çoğunlukla tercih edilen yöntem orifis ile debi ölçülmesidir. Bunun sebepleri, bu güne kadarki pratik uygulamalarda kazanılmış zengin deneyimler ve en küçük değerlerden en büyük değerlere, yaklaşık 1500 m³/h değerine kadar, yöntemin geniş ölçme değerleri aralığında yaygın olarak kullanılmasındır [14]. Test cihazlarında fan kapasiteleri 400 m³/h ile 1500 m³/h değerleri arasında değişiklik gösterdiğinden orifis ile debi ölçümü kullanılmaktadır. Hava kanallarında sızan hava miktarının tespiti Smacna’ya uygun olarak imal edilmiş hava kanalı sızdırmazlık test cihazı ile ölçülür. Bu cihaz frekans invertörlü bir fan ile hava kanalı içerisinde atmosfer basıncında bulunan havaya ek olarak cebri bir basınç oluşturur. Hava önce boru içerisindeki akış düzenleyiciden geçerek, fan çıkışındaki türbülanslı akışın laminar akış formuna dönmesi sağlanır. Orifis ile debi ölçülmesi, ne hacimsel debiyi ne de kütleli debiyi doğrudan belirleme olanağı vermez. Doğrudan ölçülen, orifis olarak adlandırılan akış engelini oluşturduğu basınç farkıdır[14]. Orifisin önündeki ve arkasındaki manometre bağlantı noktaları yardımıyla ölçülen fark basınç değeri standartlarda belirtildiği şekilde birim dönüşümleriyle basınç değerinden debi değerine dönüştürülerek 1 m² hava kanalındaki kaçak miktarı tespit edilir.



Şekil 5. Test cihazı ölçüm prensibi şematik gösterimi

“Smacna HVAC air duct leakage test manuel” beşinci bölümünde test cihazının tasarımı ve ölçülen- dirilmesi ile ilgili detaylar verilerek, orifis katsayısının belirlendikten sonra kaçak hava miktarının tespiti için equation 5-1’deki denklemin kullanılması



Şekil 6. Hava kanalı sızdırmazlık test cihazları

ması gerekmektedir [3].

$$Q_{\text{kaçak}} = 21,8 \times K(D_2)^2 \times \sqrt{(\Delta P)} \quad (\text{Deniz seviyesi } +20 \text{ }^\circ\text{C})$$

Denklemdede;

$$Q_{\text{kaçak}} = \text{Hesaplanan kaçak miktarı (cfm)}$$

$$\Delta P = \text{Cihazda okunan basınç farkı (inch.s.s)}$$

K = Diyafram katsayısı

$$D = \text{Diyafram çapı (inch) } (D_2)$$

Tablo 3. Smacna'ya Göre Orifis Katsayıları [3]

D_2 / D_1	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
A_2 / A_1	0,490	0,360	0,250	0,160	0,090
K	0,699	0,650	0,623	0,608	0,600
K_p	0,52	0,63	0,73	0,82	0,88

Test cihazı üreticileri Smacna'da belirtilen yöntemler aracılığıyla equation 5-1 denklemi ve orifis katsayıları aracılığıyla elde ettikleri formülüzasyonu kaçak hava debisinin ölçümü için kullanıcı ile paylaşırlar.

Hava kanallarında statik, dinamik, aerostatik ve toplam basınç olmak üzere dört tip basınç vardır. Statik basınç (P_s), kanal sisteminin potansiyel enerjisini temsil etmektedir, akış doğrultusunda ölçülür pozitif veya negatif olabilir. Dinamik basınç (P_v), kanal sisteminin kinetik enerjisini temsil etmektedir, akış doğrultusunda ölçülür her zaman pozitifdir. Aerostatik basınç (P_A), akışkanın yoğunluğu, yüksekliği ve yerçekimine bağlı olarak oluş-

turduğu basınçtır ve küçük değerlere sahip olduğundan genellikle ihmal edilir. Toplam basınç (P_T) ise, kanal sistemindeki statik basınç ile dinamik basıncın toplamıdır, pozitif veya negatif olabilir.

Hava kanallarında test işleminin temel prensibi iki boyutlu, kararlı ve sıkıştırılmaz bir akış için Bernoulli denkleminin yazılması ile elde edilir.

$$\oint \frac{dP (N/m^2)}{\rho (kg/m^3)} + \frac{1}{2} \cdot dV^2 (m^2/s^2) + g (m/s^2) \cdot dZ (m) = C$$

Hava kanalındaki akışın kararlı hale gelmesi, hava kaçaklarının stabil olması ve kanal içi statik basıncın sabitlenmesi için geçen sürede (genellikle 5-15 dk);

$$\oint \frac{dP (N/m^2)}{\rho (kg/m^3)} + \frac{1}{2} \cdot V^2 (m^2/s^2) + g (m/s^2) \cdot z(m) = C$$

Akış kararlı hale geldikten sonra, akışın sıkıştırılmaz olduğu yani hava kanalının sızdırmaz olmadığı ve kaçakların meydana geldiği göz önüne alınırsa;

$$\frac{P (N/m^2)}{\rho (kg/m^3)} + \frac{1}{2} \cdot V^2 (m^2/s^2) + g (m/s^2) \cdot z(m) = C$$

Akım çizgisi boyunca enerjinin sabit kaldığı düşünülürse fark basıncını tespit edebilmek için toplam enerji eşitliği;

$$\frac{P_1 (N/m^2)}{\rho (kg/m^3)} + \frac{1}{2} \cdot V_1^2 (m^2/s^2) + g (m/s^2) \cdot z_1 (m) = \frac{P_2 (N/m^2)}{\rho (kg/m^3)} + \frac{1}{2} \cdot V_2^2 (m^2/s^2) + g (m/s^2) \cdot z_2 (m)$$

Eşitlik ρ ile çarpılarak sistem basınç eşitliği haline getirilirse;

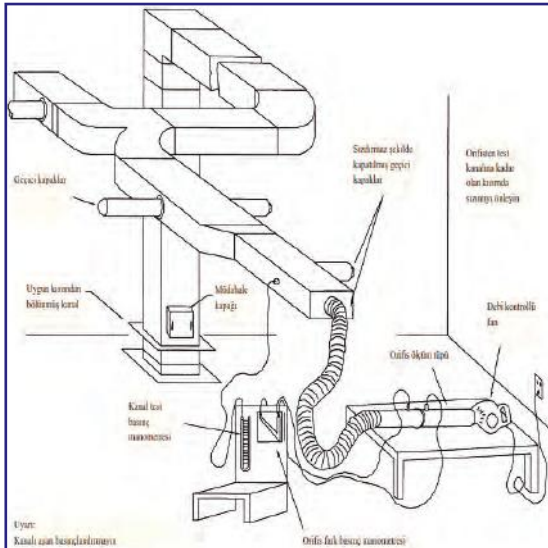
$$P (N/m^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho (kg/m^3) \cdot V^2 (m^2/s^2) + \rho (kg/m^3) \cdot g (m/s^2) \cdot z(m) = C$$

Bernoulli denkleminin ilk kısmı kanal içerisindeki statik basıncı, ikinci kısmı dinamik basıncı (hava kanalından kaçan havanın hızından dolayı meydana gelen basınç miktarını) ve üçüncü kısmı ise aerostatik basıncı temsil etmektedir. Test cihazının ölçüm mantığı, test sırasında hava akışının iki boyutlu, kararlı ve sıkıştırılmaz bir akış formuna dönüştükten sonra orifis ile dinamik basıncın (kaçak basıncının) ölçülmesine dayanır.

3.2. Hava Kanalı Sızdırmazlık Testi Uygulaması

Hava kanalı sızdırmazlık testi, test cihazının fan kapasitesine (m^3/h) bağlı olarak kanal sisteminin bölünerek kapalı bir alan haline getirilmesinden sonra başlanır.

- Test alanı $10 m^2$ 'den küçük ve test cihazı fan kapasitesine bağlı olarak doğru sonuç elde edebilmek için $150 m^2$ 'den büyük olmamalıdır.
- Teste başlanmadan önce kanal imalatının ve montajının uygunluğu kontrol edilmelidir.
- Hava kanallarının ısı izolasyonu yapılmamış olmalıdır.
- Sızdırmazlık testleri hava kanalı temizleme işleminden önce yapılmalıdır. Aksi takdirde test cihazının üflediği hava içindeki toz ve kirleticiler hava kanalının iç yüzeyinin tekrar kirlenmesine neden olur.
- Mevcut kurulu sistemde test işlemi yapılıyorsa hava kanalının kirlenmemesi amacıyla test cihazı fanının giriş kısmına filtre konulabilir. Ancak filtrenin oluşturacağı basınç kaybına dikkat edilmelidir.
- Kanal sistemi üzerinde VAV, CAV, damper vb. ekipman olmamalıdır. Eğer ekipmanlı test yapılması zorunluysa ekipmanlar hava sızdırmayacak şekilde izole edilmeli ya da gövde kaçak sınıflarına bağlı olarak kaçak miktarları EN 1751 uygun olarak hesaplanarak (veya üreticiden temin edilerek) kaçak miktarına dahil edilmelidir[15].



Şekil 7. Hava kanalı sızdırmazlık testi uygulaması [3]

3.3. Hava Kanalı Sızdırmazlık Testlerinde Dikkat Edilecek Hususlar

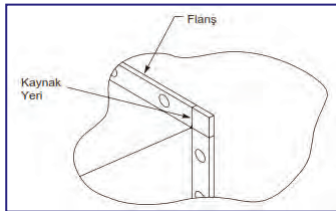
Hava kanalı sızdırmazlık testlerinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Sistem tasarım aşamasında kanal basınç sınıfı tespit edilerek standartlarda belirtildiği şekilde hesaplanan kaçak hava miktarı klima sant-rali hava debisine eklenmelidir.
- Uzun hava kanalı sistemleri orantısız hava kaçağına yol açabilir. Bu durumda tasarımcı kanal basınç sınıfına göre izin verilen kaybın belirli bir yüzdesini (%80 gibi) isteyebilir[10].
- İmal edilen hava kanalı basınç sınıfına uygun olmalıdır. B sınıfı bir kanal için C sınıfı bir test talep edilmemelidir. Aksi takdirde kanal kenet bölgelerinde açılma, conta vb. sızdırmazlık elemanlarının yüksek pozitif basınç altında dışa kaymasına sebebiyet verilebilir.
- Kanalların montajında kullanılan civataların otoblokajlı (mukavemet sınırlarında taşıyacağı yük altında konumunun bozulmaması) olması hem hava kanalındaki titreşimlerden hem de deprem vb. durumlarda çözümleri engelleyerek olası kaçaklar önlenmiş olur. (Civata ile beraber fiberli somun kullanılabilir.)
- Çakma flanşlı hava kanallarında g-klipsin aşırı sıkılması punta kaynaklarının kırılmasına ve dolayısıyla hava kaçaklarına sebep olabilir.
- Teste başlamadan önce Smacna'da belirtildiği şekilde basınç sınıfına uygun olarak, flanşlar, boyuna kenet ve yüzey alanı boyunca olan açıklar uygun bir sızdırmazlık elemanı ile kapatılması zaman açısından önemlidir.
- Sızdırmazlık için kullanılacak olan silikon veya kimyasal içerikli yapı elemanlarının MSDS (material safety data sheet) formları incelenmeden uygulaması yapılmamalıdır.
- Silikonların çabuk kuruyan, sıcaklık ve nemden etkilenmeyen ve zaman içerisinde yüzeyinde kılcal çatlaklar meydana getirmeyen özellikte olması gerekir.
- Bazı uygulamalarda kanal iç yüzeyine herhangi bir uygulama yapılmasına izin verilmeyebilir.
- Hava kanalındaki sızıntı standartlara uygun olsa bile izin verilen kaçağın ısı sesine benzer bir ses veya gürültü oluşturup oluşturmadığına dikkat edilmelidir.
- Cihaz bağlantı detaylarına dikkat edilmeli ve ölçüm için kullanılan manometreler belirli zaman aralıklarında kalibre edilmelidir.

4. YÜKSEK BASINÇLI SİSTEMLERDE HAVA KANALI SIZDIRMAZLIK TESTLERİ

Hastanelerde hijyen konusundaki yüksek nitelikli alanlar, farklı amaçlar için kullanılan laboratuvarlar, deney tesisleri, tıp bilimi ile ilgili arge merkezleri, nükleer enerji santralleri, endüstriyel tesisler, CBRN saldırılarına karşı önlem alınmış sivil ya da askeri binalar vb. operasyonel tesislerde filtrasyon fazla olduğundan yüksek basınçlı sistemler olarak tasarlanan ve örümcek ağı benzeri binanın her noktasına hizmet eden iklimlendirme sistemlerindeki ekipmanların seçiminden, hava kanalı sızdırmazlık testlerine kadar tüm aşamalar önem arz etmektedir.

Bu tip uygulamalarda hava kanalı sızdırmazlık testleri incelendiğinde ilk dikkat edilecek konu çok farklı potansiyel tehlikelere sahip olan bu yapıların hangi bölümünde hangi basınç sınıfında test yapılacağıının belirlenmesidir. Bu kapsamda tasarım aşamasında tamamen yüksek basınçlı olarak tasarlanmış sistem üzerinde hangi bölgelerde C ve D sınıfı test uygulanacağı ile sıfır sızdırmazlığın istendiği bölgeler belirtilmelidir. C ve D sınıfı sızdırmazlığı sağlamak için Şekil 9'daki kanal konstrüksiyonları kullanılabilir. Hastane, laboratuvar vb. ortamlarda kendinden flanşlı hava kanalı kullanımı istenen sızdırmazlık sınıfının elde edilmesinde kolaylık sağlayabilir.



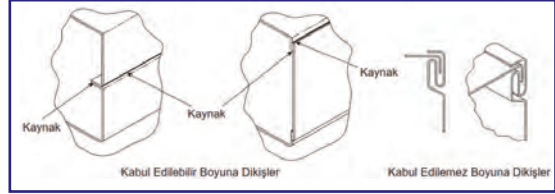
Şekil 8. Kabul edilebilir flanşlı bağlantı

Kaynaklı imal edilen kanallarda, kaynağın güvenilir yapılabilmesi ve test basıncı altında kaynak bölgesi ve kanal malzemesinde meydana gelebilecek hasarı önlemek için uygun ölçüde saç kalınlığı kullanılması gerekmektedir.



Şekil 9. Kabul edilebilir kaynaklı kanal bağlantıları

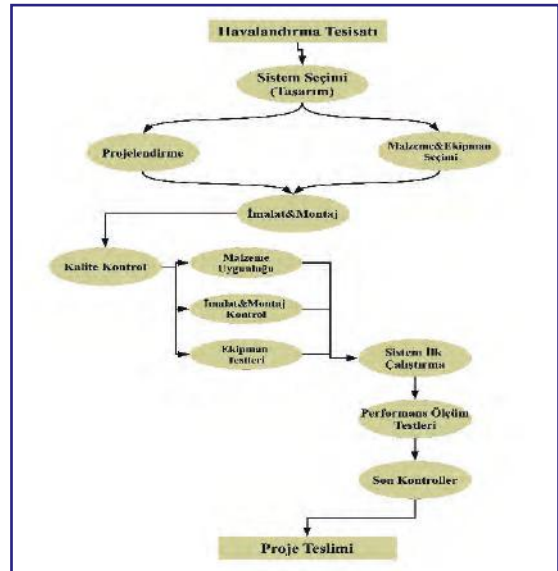
Nükleer enerji tesisleri, bazı endüstriyel tesisler, özel deney laboratuvarları ve CBRN koruması bulunan binalarda istenen kaçak sınıfını sağlayabilmek için kanaldaki boyuna kenet bölgesinin tamamen kaynaklı olması gerekmektedir.



Şekil 10. Kabul edilebilir boyuna dikişler

5. COMMISSIONING SÜRECİNDE HAVA KANALI SIZDIRMAZLIK TESTLERİ

Havalandırma tesisatı için iş akış şeması Şekil 11'de verilmiştir. Bu iş akış şemasına göre havalandırma kanal sızdırmazlık testleri kalite kontrolün içerisinde ekipman testlerine dahildir. Ekipman testlerinde klima santrali gövde sızdırmazlık testi, VAV, CAV, elektrikli ısıtıcı, ısıtıcı & soğutucu bataryalar, fan vb. ekipmanların fabrika ortamında sızdırmazlık ve fonksiyonellik testleri yapılarak belgelenmektedir.



Şekil 11. Havalandırma tesisatı iş akış şeması

Hava kanalı üreticileri, ürettikleri kanallardan oluşturulmuş küçük bir sistem kurarak bir test cihazı vasıtasıyla kanalları üçüncü bir kuruluş göze-

timinde sızdırmazlık testine tabi tutular. Ancak bu test üçüncü kuruluş tarafından hava kanalının hangi basınç sınıflarında kullanıma uygun olduğunu belgelemek amaçlı bir testtir. Bu nedenle inşaat sahasında miktarı binlerce m³'yi bulan hava kanallarında malzeme, imalat ve montaj kalitesinin standartlara uygun olduğunu ispatlamak adına hava kanalı sızdırmazlık testleri yapılır.

Havalandırma tesisatı Şekil 1'de gösterilen disiplinler arası commissioning sürecinde tasarım, projelendirme, malzeme ve ekipman seçimi makine mühendisi iş diliminde kalırken, geriye kalan tüm işler mekanik yüklenici iş diliminde kalmaktadır. Hava kanalı sızdırmazlık testleri ise mekanik yüklenici iş diliminde diğer tesisatlardaki (yangın, sıhhi vb.) iş kalemleri de göz önüne alındığında çok küçük bir iş dilimini kapsamaktadır. Ancak hava kanalı sızdırmazlık testlerinin başarısız olması sistemin ilk çalıştırılması sonrasında performans testlerinin başarısız olmasına sebep olacaktır. Hava kanalının çeşitli bölümlerinden asma tavan arasına, shaft vb. bölgelere sızan ısıtılmış & soğutulmuş hava iklimlendirme sağlayacağı ortamlara istenilen hava debilerini sağlayamayacaktır. Bu durumda hastane, laboratuvar vb. binalarda pozitif, negatif ya da nötr basınçta olması istenen mahallerde şartlar yerine getirilemeyecektir. Havalandırmanın yetersiz olması bina sakinlerinin veya ziyaretçilerin baş ağrısı, yorgunluk hissi, konsantrasyon güçlüğü ve kötü kokulara karşı hassasiyet vb. sebebi tanımlanamayan ve binanın terk edilmesinden sonra kaybolan rahatsızlık olarak tanımlanan hasta bina sendromuna neden olabilir.

Yangından korunma amaçlı kullanılan duman tahliye ve basınçlandırma sistemlerindeki hava kanallarının sızdırmazlık testlerinin başarısız olması, yangın esnasında kaçış koridorları ve merdivenlerinde yetersiz basınç oluşmasına sebep olabilir. Aynı şekilde duman tahliye sistemlerinde sızdırmazlık testlerinin istenilen şartları sağlamaması durumunda, dumanın istenilen debide ortamdan tahliye edilememesi sonucu insanların yaralanmasına veya can kaybına sebebiyet verebilir.

Sonradan gerçekleştirilecek iyileştirme faaliyetleri hem işçilik hem de sarf malzeme konusunda ekstra harcama anlamına gelmektedir. Havanın ısıtılması ve soğutulması sırasında kullanılan yakıt ve enerji için yapılan yıllık işletme giderleri boşa gitmiş olacaktır. Araştırmacılar işletme maliyetini ortalama

1 CFM/ft² için yaklaşık maliyeti \$2/ft² olarak öngörmektedir[16]. Bu durumda maliyet;

$$\text{Maliyet / Yıl} = \% \text{Kaçak} \times \text{Debi} \times 2\$$$

Olarak hesaplanabilir. Hava değişim katsayısının fazla olduğu sistemlerde ise yapılan tespitlerde maliyetin 4 \$-8 \$ seviyesine arttığı tespit edilmiştir. Uygulaması yapılan bazı farklı amaçlar için kullanılacak binalardaki hava kanalı sızdırmazlık testleri sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda sistem kaçağının yıllık işletme maliyetine etkisi aşağıda incelenmiştir.

Proje 1: Sağlık tesisi olan bu projede şartname gereği B ve C sınıfı kanal sızdırmazlık testi uygulanmıştır. İklimlendirmenin yapılacağı alanlar için projedeki hava debileri B sınıfı alanlar için 2300000 m³/h, C sınıfı alanlar içinse 1400000 m³/h'dir. Bu hava debilerinden yola çıkarak, izin verilebilir sistem kaçağına uygun olarak sızan havanın yıllık maliyeti B sınıfı alanlar için (%3 sistem kaçağı) 81.000 \$, C sınıfı alanlar içinse (%2 sistem kaçağı) 32.960 \$ olarak hesaplanmaktadır. Kaçak limitlerindeki %1'lik bir artış B sınıfı için 108.000 \$, C sınıfı içinse 49.440 \$ olarak tespit edilmiş, yani %1'lik artış yıllık B ve C sınıfı kanal sistemleri için toplamda 43.840 \$ maliyet oluşturmuştur.

Proje 2: Bir endüstriyel tesis uygulamasında sadece egzoz hatlarında yapılan sızdırmazlık testlerinde şartnameye göre Smacna A sınıfı Class 6 sızdırmazlık ve 1500 Pa test basıncında %1 (C sınıfının yarısı) sistem kaçağı istenmiştir. Ölçümler sonucu kanal sisteminin farklı bölgelerinde kaçak oranı %8-10 arasında olduğu belirlenmiştir. Bunun temel sebebinin kanalın üst bölümlerindeki montaj yetersizliği ile sızdırmazlık malzemesinin uygulanmaması olmuştur. Düzeltme faaliyeti sonucu sistem kaçağı %1,5-2 (ort. ≈1,75) seviyesine kadar düşürülmüştür. Toplam hava debisi 300000 m³/h olan sistemin %1'lik sistem kaçağının yıllık işletme maliyetine etkisi 3.600 \$ iken, %1,75 sistem kaçağında 6.300 \$'lık maliyet oluşmuş yani 2.700 \$ artış meydana gelmiştir.

Proje 3: Bir öğrenci yurdunda yemekhane, çalışma salonları vb. ortak alanlar ile 650 kişilik bir konferans salonunu iklimlendirmek için 275000 m³/h hava debisine sahip cihazlar kullanılmıştır. Kanal sızdırmazlık testlerinin B sınıfında yapılması ve sistem kaçağının %3 olması gerektiği belirtilmiştir. Devreye alma işlemi sonunda sistem kaçağının

≈%8 seviyesinde olduğu görülmüştür. Yani izin verilebilir sistem kaçağında sızan havanın yıllık işletme maliyetine etkisi 9.711 \$ olması gerekirken, 16186\$ fazla maliyetle yıllık 25.897 \$ olmuştur.

SONUÇ

Dünyadaki enerji kaynaklarının azalması ve küresel ısınmanın etkileri doğrultusunda ülkeler yenilenebilir & temiz enerji, çevre & iklim ve enerji tasarrufu üzerine çalışmalar yapmakta ve yasalar ile çalışmaların uygulanabilir hale gelmesini amaçlamaktadırlar. Bu çalışmada yapılan uygulamalar ve elde edilen veriler göstermektedir ki bir binanın yapım aşamasında ≈%1-2 gibi küçük bir iş kapsamına sahip olan hava kanalı sızdırmazlık testlerinin Commissioning ve sonrasında işletme sürecinde etkili olduğudur. Daha kapsamlı olarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- Tesisin büyüklüğüne ve işlevine bağlı olarak hava kanalı miktarının artması ve sızdırmazlık sınıfını C ya da D sınıfı istenmesi durumunda fazladan %1’lik kaçağın yıllık işletme maliyetine etkisi büyük olmaktadır. Örneğin binanın ömrünün 50 yıl gibi bir süre olması, bu süre zarfında çok büyük bir enerji sarfiyatı anlamına gelecektir.
- İzin verilen sistem kaçağının meydana getirdiği yıllık işletme maliyetini engellemek veya düşürmek amacıyla eğer ilk yatırım maliyeti uygun ise yenilenebilir enerji kaynakları kullanılabilir. Örneğin, fan motorlarına gerekli olan gücün bir kısmı veya tamamı güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi ile karşılanabilir.
- Sonradan yapılacak düzeltme uygulamalarında, düzeltme faaliyeti nedeni ile maliyetin arttığı ve istenen sistem kaçağının elde edilmesinin zor olduğu gözlemlenirken diğer disiplinlerin tesisatlarının zarar görme ihtimali bulunmaktadır.
- İşletme maliyetine etki hesaplanırken sadece fanın harcadığı güç üzerinden yapılan değerlendirmeler doğru sonuç vermemektedir. Çünkü serpantinlerde ısıtma veya soğutma amacıyla kullanılan su vb. akışkanların sirkülasyonunu sağlayacak olan pompa ile bu akışkanın ısıtılması veya soğutulması için kullanılan ekipmanların (kazan, soğutma kulesi vb.) harcadığı enerji (yakıt, elektrik vb.) göz ardı edilmemelidir.

- Hava kanalı sızdırmazlık testleri inşaat aşamasında standartlara uygun yapılsa bile, hava kanalı sistemi üzerinde fazla sayıda bulunabilecek damperler, CAV, VAV ve flexible hava kanalları uygun sızdırmazlık sınıfında değil ise sistem kaçağının izin verilen seviyenin üzerinde olmasına neden olabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Heperkan, H., Gürsel, D., Avrupa’da Geçerlilik Denetimi Çalışmaları Commissioning, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- [2] Bilge, M., Yeşilbaş, M., Geçerlilik Denetimi (Commissioning-Cx) Kavramına Bir Yaklaşım, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- [3] Smacna, “HVAC Air Duct Leakage Test Manual”, 7th Printing, 2003.
- [4] Eurovent 2/2 “Air Leakage Rate In Sheet Metal Air Distribution Systems”.
- [5] BS EN 1507 Standard, “Ventilation For Buildings - Sheet Metal Air Ducts With Rectangular Section - Requirements For Strength and Leakage”, 2006.
- [6] Ashrae Standard 90.1, “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings”, 2007.
- [7] DW 143, “A Practical Guide to Ductwork Leakage Testing”, 2000.
- [8] System Pressure Testing for Leaks, McGill Air Flow, 2014.
- [9] Nuclear Air Cleaning Handbook, U.S. Department of Energy, Washington, 2003.
- [10] DW 144, “Sac Kanal İmalat ve Montaj İşleri Teknik Şartnamesi, MTMD Yayınları, 2018.
- [11] T.C. Sağlık Bakanlığı, “Hastane Steril Alanlarının Hijyenik Kontrolleri ve Havalandırma Sistemlerinin Gereksinimlerine Yönelik Kılavuz Standart DIN 1946-4 2008 Std. Uyarınca”, Haziran 2012.
- [12] DIN 1946-4 Standard, “VAC Systems In Buildings And Rooms Used In The Health Care Sector”, 2008.
- [13] VDI 2167 Standard, “Building Services in Hospitals Heating, Ventilation and Air-Conditioning”, 2007.
- [14] Can, A., “Orifis ile Debi Ölçülmesinde Güvenilirlik ve Hassasiyetin Termodinamik Değerlendirmesi”, 8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.

- [15] EN 1751 Standard, “Ventilation for Buildings - Air Terminal Devices – Aerodynamic Testing of Dampers and Valves”, 2014.
- [16] Engineered Air Balance Co. Teknik Dokümanları.
- [17] Ashrae Standard Guideline 0, “The Commissioning Process”, 2005.
- [18] Aydın, Ç., Özerdem, B., “Air Leakage Measurement and Analysis In Duct Systems”, Energy and Buildings 38, sf. 207-213, 2006.
- [19] Tosun, H., Söylemez, E., Onat, A., “Kanal Tipi Isıtma Soğutma Bataryalarında Hava Kaçaklarının İncelenmesi”, Friterm, 2013.
- [20] BS EN 12237 Standard, “Ventilation For Buildings – Ductwork – Strength and Leakage of Circular Sheet Metal Ducts”, 2003.
- [21] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), “Guidance for Protecting Building from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks Environments”, May 2002.
- [22] TSI Teknik Dokümanları.
- [23] Tetisan Teknik Dokümanları.

Geriye Dönük Adım Akışında Karbon Tabanlı Nanoakışkanların Isı Transferi ve Akış Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi

Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Elektrik ve Enerji Bölümü
Sivas
kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr
orcid: 0000-0001-5680-0988

Doğan Engin ALNAK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Bölümü
Sivas
dealnak@cumhuriyet.edu.tr
orcid: 0000-0003-0126-1483

ÖZ

Geriye dönük adım akışı, büyük hücum açısında kanat uçlarında, bir aracın arkasındaki ayrılma akışında, bir gaz türbinindeki akışta ve ayrıca bir tekne veya binanın etrafındaki akış gibi günlük yaşamımızdaki uygulamalarda görülmektedir. Isı ve kütle transferi miktarını artırmak açısından geriye dönük adım bölgesinin kontrolü oldukça önemlidir. Bu çalışmada, dikey olarak konumlandırılmış geriye dönük adım akışı geometrisinde $h/4$ ve h olmak üzere farklı pah uzunluklu adım köşe yapılarının pahsız geometriye göre türbülanslı ısı transferi ve akış özellikleri hacimce %0,01 konsantrasyonlara sahip GO (Grafen Oksit)-saf su ve MWCNT (Çok Katmanlı Karbon Nanotüp)-saf su nanoakışkanlarının kullanılmasıyla saf su ile karşılaştırılarak sayısal olarak incelenmiştir. Geriye dönük adımın arkasındaki duvarlardan biri sabit sıcaklıkta tutulurken diğerleri adyabatiktir. Çalışmanın sonuçları, üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak korunum denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli, Boussinesq yaklaşımı ANSYS-FLUENT bilgisayar programıyla çözülmesiyle elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan nanoakışkanlar tek fazlı kabul edilmiş olup, deneysel olarak elde edilen termodinamik değerler kullanılmıştır. Geriye dönük adımın genişleme oranı 1,5'tir. Çalışma, 7500 ve 10000 olmak üzere farklı Reynolds sayılarında gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışma, literatürde bulunan çalışmanın sayısal sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup birbirleriyle uyumlu ve kabul edilebilir oldukları görülmüştür. Sonuçlar, Nu sayısı, akışkan sıcaklık, türbülans kinetik enerjisi ve basınç değişimleri olarak sunulmuştur. Ayrıca, geriye dönük adım akışı geometrisinde, sıcaklık, hız konturları ve akım çizgisi dağılımları görselleştirilmiştir. $Re=10000$ için %0,01 GO-saf su nanoakışkan akışında $h/4$ pah uzunluklu geriye dönük adım geometrisinin ortalama Nu sayısının saf su kullanılan geometriden %11,51 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Ayrılmış Akış, Geriye Dönük Adım Akışı, Nanoakışkan, Türbülanslı Isı Transferi.

Evaluation of the Carbon-Based Nanofluids in Terms of Heat Transfer and Flow Properties at Backward-Facing Step Flow

ABSTRACT

The backward-facing step flow is seen in applications in our daily life, such as high attack angle at airfoil, the separation flow behind a vehicle, the flow in a gas turbine, and also the flow around a boat or building. In terms of increasing the amount of heat and mass transfer, the control of the backward step region is fairly important. In this study, the heat transfer and flow properties with turbulence of step corner structures with different chamfer lengths as $h/4$ and h according to geometry of without chamfer have been numerically searched by using GO (Graphene Oxide)-distilled water and MWCNT (Multi-Walled Carbon Nanotube)-distilled water nanofluids having 0,01% volumetric concentration comparing with distilled water at the vertically positioned backward-facing step flow geometry. One of the walls behind the backward-facing step has been kept at a constant temperature while the others are adiabatic. The results of the study have been achieved by solving conservation equations with three dimensional and steady $k-\epsilon$ turbulence model with Boussinesq approach using ANSYS-FLUENT computer program. The nanofluids used in the study have been considered as single-phase and experimentally obtained thermophysical values have been employed. The expansion rate of the backward-facing step is 1,5. The study has been carried out in different Reynolds numbers of 7500 and 10000. The present study has been compared with the numerical results of the work found in the literature and it has been found that they are compatible and acceptable to each other. The results have been presented as the variations of Nu number, fluid temperature, turbulence kinetic energy and pressure. In addition, the contours of the temperature and velocity and streamline distributions have been visualized at the backward-facing step flow geometry. For $Re=10000$, the average Nu number value of the step geometry with $h/4$ at the 0,01% GO-distilled water nanofluid flow has been determined to be 11,51% higher than the geometry of distilled water.

Keywords

Separated Flow, Backward-Facing Step Flow, Nanofluid, Turbulent Heat Transfer.

Geliş Tarihi : 11.03.2020
Kabul Tarihi : 24.04.2020

Karabulut, K., Alnak, D.E., Geriye Dönük Adım Akışında Karbon Tabanlı Nanoakışkanların Isı Transferi ve Akış Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 176, sf. 38-52, Mart-Nisan 2020

1. GİRİŞ

Birçok mühendislik uygulamasında bir ayrılmış akış modeli olan geriye dönük adım (basamak) akışıyla karşılaşmaktadır. Bir aracın arkasındaki ayrılmış akışı, bir yoğunlaştırıcı/yakıcının iç kısmı veya bir motorun giriş kısmındaki akış, büyük hücum açısında (kanat profilinin uçuş doğrultusu ile referans çizgisi arasında kalan açı) kanat uçlarında, hız kesici kanat (spoiler) akışlarında ve ayrıca bir tekne veya binanın etrafındaki akış geriye dönük adım akışı örnekleridir.

Enerji dönüşümü uygulamalarında kullanılan ısı değiştiriciler, güneş ısıtıcıları, nükleer reaktörler, soğutucular ve hidrojen depolama üniteleri gibi sistemlerin ısı performansları temel olarak su, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel ısı transferi akışkanlarının termofiziksel özelliklerine bağlıdır. Bununla birlikte, su, yağlar ve glikoller sahip oldukları düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle zayıf ısı transferi performansı sergilemektedirler. Günümüzde de bu doğrultuda akışkanların ısı transferi özelliklerini iyileştirmek amacıyla araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, katı malzemeler, sıvılardan daha yüksek ısı iletkenlik değerlerine sahip olduklarından sıvıya eklenen katı parçacıklar kullanılan (taban) akışkanının ısı iletkenliğini ve ısı transferi performansını artırmaktadırlar [1]. İlk başlarda, mikrometre hatta milimetre boyutlu katı parçacıklar süspansiyon oluşturmak için taban akışkanlarına (nanoparçacıkların içerisinde karıştırıldığı akışkan) karıştırılmıştır. Buna ek olarak, nanoparçacıklara kıyasla büyük boyutlu olan bu katı parçacıklar, boru hatlarını aşındırıcı etkide bulunması, mikro kanallarda tıkanmalara yol açması ve basınç düşüşünü artırması gibi uygulamada kısıtlayıcı birtakım istenmeyen sonuçlara sebep olmaktadır. Bunun yanında, parçacıkların büyük boyuta sahip olması ve üretim aşamasında küçük boyutlu parçacıklarda yaşanan zorluklar uygulamayı kısıtlayıcı diğer faktörler olmuştur. Bununla birlikte, başlangıçta yalnızca teorik bir ilgi alanı olan sıvı çözelti şeklindeki karışımlar araştırmacıların yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde gelecek vaat edici etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Bu sebeple, 1881 yılında Maxwell'in öncülüğünde başlatılan ve ısı iletkenlik değerini artırmak amacıyla geleneksel ısı transferi akışkanlarına katı parçacıkların eklenmesi düşüncesi yeni bir fikirdir [2-3]. Bu akışkanların özelliklerindeki iyileşmeler son derece kritik bir öneme sahip oldu-

ğu için nanoakışkan olarak adlandırılan yenilikçi çalışma akışkanları üzerindeki araştırmalar da son zamanlarda ilgi odağı haline gelmiştir [4-5]. Nanoakışkan, 100 nm ve daha küçük boyuttaki metal, metal oksit, tek ve çok katmanlı karbon nanotüp, grafit, grafen, grafen oksit, grafen nano ribbon gibi parçacıkların genelde deformasyon hızının kayma gerilmesi ile doğru orantılı olarak değiştiği Newton kuralına uyan akışkanlar içerisine düşük konsantrasyonlarda eklenmesiyle oluşturulan süspansiyon şeklindeki akışkanlara denilmektedir. Nanoakışkanlar, ısı yayılım ve ısı iletkenlik gibi termofiziksel özellikleri iyileştirirken, mükemmel bir kararlılık ve taşınım ısı transferi katsayısı değerleri sağlamaktadırlar ve ayrıca basınç düşüşü ve pompalama gücünde taban akışkanına göre çok az bir artış meydana getirmektedirler [6-7]. Geleneksel olarak kullanılan akışkanlara nanoparçacıkların eklenerek yeni akışkan elde edilmesi düşüncesinin ısı iletkenlikte iyileşme sağlanarak akışkanın ısı transferi performansını artırmak amacıyla olduğu düşünüldüğünde nanoakışkanlar üzerinde yoğun olarak araştırma yapılması olağan kabul edilmektedir. Metal ve metal oksitlerle karşılaştırıldığında karbon kökenli malzemeler yüksek ısı iletkenliğe ve düşük yoğunluğa sahip oldukları için daha çok ilgi görmektedirler [8].

Son yıllarda, ayrılma ve yeniden birleşmeli akışlar için prototip olarak geriye dönük basamak akışında çeşitli çalışma akışkanlarıyla çalışılmıştır. Armaly ve ark. [9] hava ile yaptıkları deneylerinde girişte Re sayısını artırarak akış tipini değiştirmişlerdir. Yeniden birleşme noktasının bu genel parametreye bağlı olduğunu ve esasen laminer, geçiş ve türbülanslı akış arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca, yeteri kadar büyük Re sayısı ve tam gelişmiş türbülanslı akış için yeniden birleşme noktası Re sayısından bağımsız olmaktadır. Nadge ve Govardhan [10] yeniden dolaşım bölgesinin şekli üzerinde Re sayısı ve adım yüksekliği gibi genel parametrelerin etkilerini çalışmışlar ve bu bölgenin eğer yeniden birleşme uzunluğu ve adım yüksekliği boyutsuzsa incelenen değişken aralığı boyunca tamamen değişmeden kaldığını göstermişlerdir. Kasagi ve Matsunaga [11] üçlü korelasyonları ve tam gelişmiş türbülanslı geriye dönük basamak akışında türbülans kinetik enerji yığımlarını ölçmüşlerdir. Le ve ark. [12] yapmış oldukları sayısal araştırmalardan birinde detaylı olarak türbülans hareketlerinin etkileşimlerini incelenmişlerdir. Onların yüksek çözünürlükteki verileriyle deney-

lerde ölçümü oldukça zor olan duvar kayma oranı ve Reynolds gerilme yığınları hesaplanabilmiştir. Bununla birlikte, zamanla büyük ölçüde değişen bir yerleşimde tam gelişmiş türbülanslı akış ani yeniden birleşmesi meydana gelmektedir. Bu konu, ileri sıvı akışının belirli bir yüzdesine kadar yeniden bağlanma ile ilgili olarak bazı araştırmacıları teşvik etmiştir [13].

Geriyeye dönük adımlı (basamaklı) akışlardaki ısı transferi çalışmaları hala oldukça azdır. Vogel ve Eaton [14] tarafından yapılan deney çalışmasında sık kullanılan bir kıyaslama durumu olarak havada türbülanslı ısı transferi incelenmiştir. Araştırmacılar, klasik Re karşılaştırmasının ortalama akışı sürdürmediğini fakat özellikle yeniden birleşme bölgesinde dalgalanan değerlerin fazla olduğunu göstermişlerdir. Reynolds karşılaştırması, duvardaki ısı transferinin duvardaki kaymayla orantılı olduğunu varsaymaktadır. Keating ve ark. [15] sayısal olarak bu durumu başarılı bir şekilde çalışmışlar ve duvar yakınındaki ısı transferini etkileyen türbülanslı yapıları tanımlamışlardır. Bir adım arkasındaki türbülanslı ısı transferinin diğer bir durumu taşıma aracı olarak havanın kullanıldığı durumu düşünen Avancha ve Pletcher [16] tarafından sayısal olarak araştırılmıştır. Yapılan her iki sayısal çalışma da Reynolds benzeşiminin yeniden birleşme bölgesini sürdürmediğini göstermiştir.

Bu çalışmada, dikey olarak yerleştirilmiş geriye dönük adım akışı geometrisinde $h/4$ ve h olmak üzere farklı pah uzunluklu adım köşe yapılarının düz (pahsız) kanala göre türbülanslı ısı transferi ve akış özellikleri Reynolds sayısının 7500 ve 10000 değerleri için sayısal olarak incelenmiştir. Geriye dönük adımın arkasındaki duvarlardan biri sabit sıcaklıkta tutulurken diğerleri adyabatiktir. Çalışma akışkanları olarak %0.01 hacimsel konsantrasyonlu GO (Grafen oksit)-saf su ve MWCNT (Çok tabakalı karbon nanotüp)-saf su nanoakışkanları ve saf su kullanılmıştır. Akışkanların kanala giriş sıcaklıkları 303 K iken geriye dönük adımın arkasındaki duvarın sıcaklığı 316.5 K'dir. Geriye dönük adımın genişleme oranı 1.5'dir. Literatürde yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi uygulamada sıvı akışkanlarla çalışılması durumunda özellikle dikey konumlandırmalarda sıcaklık farkı büyük olursa kaldırma etkilerinin dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada da bu amaçla kaldırma etkileri Boussinesq yaklaşımı kullanılarak dikkate alınmıştır. Çalışmanın so-

nuçları, üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak korunum denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli, Boussinesq yaklaşımıyla ANSYS-FLUENT bilgisayar programıyla çözülmesiyle elde edilmiştir. Sunulan çalışma, literatürde bulunan çalışmanın sayısal sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup birbirleriyle uyumlu ve kabul edilebilir oldukları görülmüştür. Sonuçlar, Nu sayısı, akışkan sıcaklık, türbülans kinetik enerji ve basınç değişimleri olarak sunulmuştur. Ayrıca, geriye dönük adım akışı geometrisinde, sıcaklık, hız ve akım çizgisi dağılımları görselleştirilmiştir.

2. SAYISAL YÖNTEM

Sayısal çalışma, üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin ANSYS-FLUENT sonlu hacimler yöntemine dayalı bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Çalışmada türbülans modeli olarak $k-\epsilon$ modeli kullanılırken, Boussinesq yaklaşımıyla kaldırma etkileri de dikkate alınmıştır.

Sonlu hacimler yöntemi, hesaplaması yapılacak geometriyi çözüm yapmak için parçalara bölme ve sonra her bir parça için elde edilen bu çözümleri bir araya getirerek probleme ait genel bir çözüm elde etme temellidir. Bu yöntemde, kontrol hacmi esaslı bir teknik kullanılarak korunum denklemleri sayısal olarak çözümlenebilen cebirsel denklemlerine dönüştürülür. Bu yöntem, her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerinin integre edilmesiyle ulaşılan ve değişkenler için kontrol hacmine ait ayrık eşitliklerin bulunması tekniğidir. Ayrık eşitliklerin doğrusal denklemlerine dönüştürülmesinden sonra iterasyona bağlı çözümlüyle istenen yakınsaklık ölçüsü sağlanıncaya kadar hız, basınç ve sıcaklık gibi değişkenler güncellenir. En kullanışlı ağ yapısı için hız, sıcaklık ve basınç değişkenliğinin önemli olduğu bölgelerde ağ yapısının sıklığı artırılmalıdır. Süreklilik ve momentum denklemleri için hesapların yakınsaması, yakınsaklık ölçeği 10^{-6} 'dan daha az olduğunda durdurulurken, bu değer enerji denklemi için 10^{-7} 'dir. Simülasyon için dörtyüzlü (tetrahedral) ağ yapısı kullanılmıştır.

Geometri boyunca akış ve ısı transferi aşağıda açıklandığı gibi gövde kuvvetinin olmadığı kararlı durum koşullarında kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden elde edilen kısmi diferansiyel denklemler ile çözülmüştür [17].

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

x momentum denklemi

$$\left[\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{u}'^2)}{\partial x} \right] + \left[\bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial (\bar{u}'\bar{v}')}{\partial y} \right] + \left[\bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial (\bar{u}'\bar{w}')}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) \quad (2.1)$$

y momentum denklemi

$$\left[\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{v}'^2)}{\partial x} \right] + \left[\bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial (\bar{v}'\bar{v}')}{\partial y} \right] + \left[\bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial (\bar{v}'\bar{w}')}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) + \beta g \Delta T \quad (2.2)$$

z momentum denklemi

$$\left[\bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{w}'^2)}{\partial x} \right] + \left[\bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \frac{\partial (\bar{w}'\bar{v}')}{\partial y} \right] + \left[\bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial (\bar{w}'\bar{w}')}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) \quad (2.3)$$

burada \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} sırasıyla x, y, z yönlerindeki ortalama dalgali hız bileşenleridir.

Enerji denklemi

$$\left[\bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right] + \frac{\partial (\bar{u}'\bar{T}')}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{v}'\bar{T}')}{\partial y} + \frac{\partial (\bar{w}'\bar{T}')}{\partial z} = \left(\frac{k}{\rho c_p} \right) \left(\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

Bu denklemlerde, ρ yoğunluk (kg/m^3), ν kinematik viskozite (m^2/s), p basınç (N/m^2), k ısı iletkenlik (W/mK), ortalama sıcaklık (K), c_p özgül ısı (J/kgK), ve sırasıyla x, y ve z yönlerindeki ortalama hızlardır (ms^{-1}).

Bu çalışmada kullanılan türbülans modelinde (k - ϵ), ϵ türbülans dağılım terimini belirtirken (m^2/s^3), k' ve ϕ sırasıyla türbülans kinetik enerji (m^2/s^2) ve viskoz dağılım terimini (m^2/s^3) göstermektedir.

Daimi akış için türbülans kinetik enerjisi denklemi

$$\frac{\partial (\rho \bar{u} k')}{\partial x} + \frac{\partial (\rho \bar{v} k')}{\partial y} + \frac{\partial (\rho \bar{w} k')}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial z} \right) + \mu_t \phi - \rho \epsilon \quad (4)$$

Türbülans viskozitesi

$$\mu_t = C_{\mu} \rho \frac{k'^2}{\epsilon} \quad (5)$$

Türbülans kinetik enerji

$$k' = \frac{1}{2} (\bar{u}'^2 + \bar{v}'^2 + \bar{w}'^2) \quad (6)$$

Viskoz dağılım terimi

$$\phi = 2\mu \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu \left[\left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (7)$$

Burada, μ dinamik viskozitedir ($\text{kgs}^{-1}\text{m}^{-1}$).

Türbülans kinetik enerji dağılım denklemi

$$\frac{\partial (\rho \bar{u} \epsilon)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho \bar{v} \epsilon)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho \bar{w} \epsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) + C_{1\epsilon} \mu_t \frac{\epsilon}{k'} \phi - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k'} \quad (8)$$

Model sabitleri olan C_{μ} , $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, σ_k ve σ_ϵ standart $k-\epsilon$ türbülans modelinde kullanılan genel saptanmış değerlerdir [17]. Bu sabitlerin değerleri, birçok türbülanslı akış için çok sayıda veri uyumuyla sağlanmıştır. Bu sabitlerin değerleri $C_{\mu}=0,09$, $C_{1\epsilon}=1,44$, $C_{2\epsilon}=1,92$, $\sigma_k=1$ ve $\sigma_\epsilon=1,3$ 'tür.

Reynolds sayısı (Re) aşağıda verilen denklemle hesaplanmaktadır.

$$Re = \frac{U_b D_h}{\nu} \quad (9)$$

Burada D_h geriye dönük adım akışlı kanalda girişteki hidrolik çap (m) ve U_b kanala girişte akışkanın ortalama hızıdır (m/s).

$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{4(2h)(4h)}{2(2h+4h)} = \frac{4h}{3} \quad (10)$$

Burada A^c ve P sırasıyla geriye dönük adım akışı kanalının giriş kesit alanı (m^2) ve kanalın çevre uzunluğudur (m).

Nu sayısı (Nu) taşınım ısı geçişinin iletimle ısı geçişine oranı olarak değerlendirilir.

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_s = h(T_\infty - T_s) \text{ ve } Nu = \frac{hL}{k} \quad (11)$$

Burada h yüzey üzerindeki yerel ısı taşınım katsayısı (W/m^2K), n yüzeye dik yön olup yerel Nu sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (12)$$

Ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m L}{k} \quad (13)$$

Basınç düşüşü

$$\Delta p = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho U_b^2}{2} \quad (14)$$

Burada Δp kanal boyunca akış yönündeki basınç düşüşü, f sürtünme faktörü ve $L=20h$ olmak üzere sabit yüzey sıcaklıklı kanal kısmının uzunluğudur.

3. GEOMETRİK MODEL

Şekil 1a'da geriye dönük adım modelinin pahsız düz model geometrik yapısı gösterilirken, Şekil 1b'de ise $h/4$ ve h olmak üzere farklı pah uzunluklu

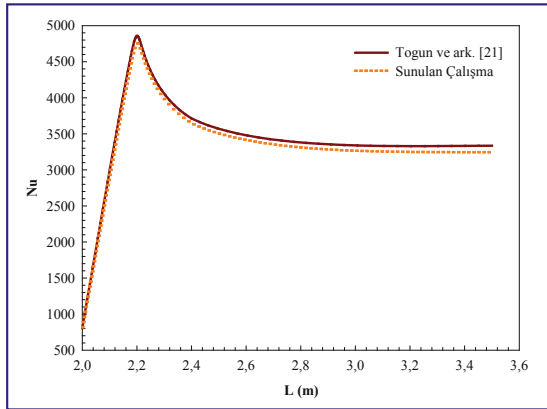
adım köşe yapıları verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi ısıtılan bölümün uzunluğu $20h$ uzunluğunda olup, h 'in değeri $0,05$ m'dir. Kanalın sonundaki yanal uzunluk ($3h$) ile akışkanların kanala giriş yaptıkları kısım ($2h$) arasındaki uzunlukların oranı olan geriye dönük adımın genişleme oranı $1,5$ 'dir. Köşelere verilen pah uzunlukları, $h/4$ ve h uzunluklarındadır. Kullanılan akışkanlar saf su, %0,01 GO-saf su ve %0,01 MWCNT-saf su nanoakışkanları olup, Reynolds sayısının 10000 olduğu değer için sırasıyla akışkanların kanala giriş hızları (U_b) $0,1612$ m/s, $0,2707$ m/s ve $0,1859$ m/s'dir. Akışkanın kanala giriş sıcaklığı 303 K iken geriye dönük adımın arkasındaki kısmın sıcaklığı ise $316,5$ K'dir. Ayrıca, $13,5$ K'lik sıcaklık farkı nedeniyle kaldırma etkilerinin dikkate alınması amacıyla çözümlenelerde g yerçekimi ivmesi ($9,81$ m/s²) de hesaba katılmıştır. Saf su, %0,01 hacimsel konsantrasyonlara sahip GO-saf su ve MWCNT-saf su nanoakışkanlarının deneysel termofiziksel değerleri sırasıyla $\rho=995,8$ kg/m³, $c_p=4178,4$ J/kgK, $k=0,6172$ W/mK, $\mu=0,0008034$ Ns/m², $\rho=996,1$ kg/m³, $c_p=4178,4$ J/kgK, $k=0,6696$ W/mK, $\mu=0,001$ Ns/m² [18, 19] ve $\rho=998$ kg/m³, $c_p=4179,8$ J/kgK, $k=0,676$ W/mK, $\mu=0,0009281$ Ns/m²'dir [20]. Ayrıca, Grafen, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan iki boyutlu, bir atom kalınlığında, karbon allotropu bir yapıdır. Tek tabakalı grafen nanotabakasının oda sıcaklığındaki ısı iletkenliği 5000 W/mK ve yüzey alanı 2630 m²/g'dır. Bununla birlikte, grafen suyu sevmez bir özelliğe sahiptir. Grafit oksitlenerek grafen oksite (GO) dönüştüğünde ısı iletkenliği grafitten daha düşük olmaktadır. Fakat GO suyu sever özellikle olduğundan kullanıldığı nanoakışkanda kararlılık artmakta ve çökme olmamaktadır [18, 19]. Çok katmanlı karbon nanotüpler (MWCNT) ise karbonun silindirik allotropları olup, tekli grafen tabakalarının oluşturduğu çok tabakalı eş merkezli silindirlere ve uzunluk olarak mikron boyutunda fakat çap olarak nanometre boyutunda borusal yapılardır. Karbon nanotüplerin sahip oldukları yüksek en-boy oranları ve ayrıca ısı iletkenlik değerleri metalik ve metal oksit nanoparçacıklardan daha yüksek olduklarından ısı taşınımı için ideal yapılar olacağı açıktır. [20]

Bu çalışma şu kabuller altında gerçekleştirilmiştir. a) Geriye dönük adım akışı için akış alanı üç boyutlu, zamandan bağımsız ve türbülanslıdır, b) Hesaplamalar sıkıştırılamaz akış için yapılmıştır,

c) Çalışma akışkanları olarak saf su, hacimce %0,01 GO-saf su ve MWCNT-saf su nanoakışkanları kullanılmıştır, d) Geriye dönük adımın arkasındaki duvar yüzeyine sabit 316,5 K yüzey sıcaklığı uygulanırken diğer duvarlar adyabatiktir, e) Akışkanların ısıl özellikleri sabittir, f) Hem akışkanlar hem de duvarlar için ısı üretimi yoktur.

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Şekil 2'de giriş uzunluğu 1.25 cm, genişleme oranı 2, yukarı akım uzunluğu 200 cm ve 150 cm'lik ısıtılmış (4000 W/m²) aşağı akım uzunluğuna sahip bir geriye dönük adım geometrisi modelinde Re= 10000'de su akışkanı için Togun ve ark. [21] tarafından yapılan sayısal çalışma ile sunulan çalışma karşılaştırılmış ve sonuçların birbirleriyle oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmanın sonuçlarının makul ve kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. Togun ve ark. [21]'nin sayısal çalışması ile sunulan çalışmanın sonuçlarının karşılaştırılması

Ağ sayısının ortalama Nu sayısı (Num) ve akış hızı (Vm) üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla düz model geriye dönük adım akışı kanalında akışkan olarak su kullanılarak Re= 5000 değeri için ağ bağımsızlık testleri yapılmıştır (Tablo 1). Yapılan testler sonucu, düz kanal için 988942 adet ağ elemanının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, düz, h/4 ve h pah uzunluklarına sahip geriye dönük adım akışına sahip kanallarda kullanılan ağ elemanı sayıları da Tablo 2'de gösterilmiştir.

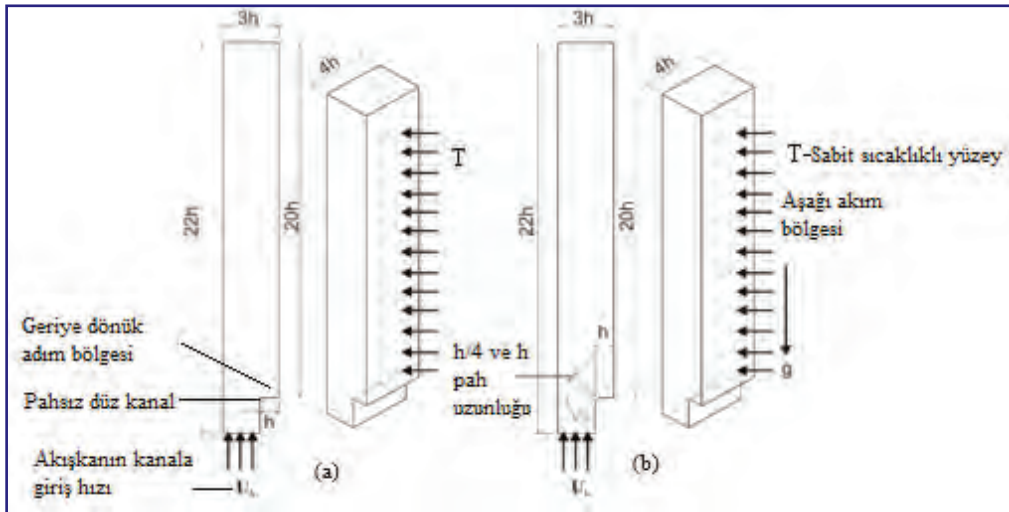
Tablo 1. Pahsız (Düz Model) Kanalda Num ve Vm için Ağ Testi Sonuçları

Ağ Sayısı	Num	Vm (m/s)
939495	1185.25	0.034254
988942	1196.56	0.034824
1080420	1196.48	0.034471

Tablo 2. Pahsız, h/4 ve h pah Uzunluklu Kanaldaki Ağ Sayıları

Kanal Tipi	Ağ Sayısı
Düz Model	988942
h/4 Model	988406
h Model	991830

Çalışmada ulaşılan tüm sonuçlar, 20h (1 m) uzunluklu ve sabit yüzey sıcaklıklı geriye dönük adım akışı kısmı için elde edilmiş olup değişimleri grafiklerle gösterilmiştir. Düz model, h/4 ve h pah uzunluklu geriye dönük adım akışı geometrilerinde Re sayısının 7500 ve 10000 değerlerinde %0.01 hacimsel konsantrasyonlara sahip GO (Grafen Oksit)

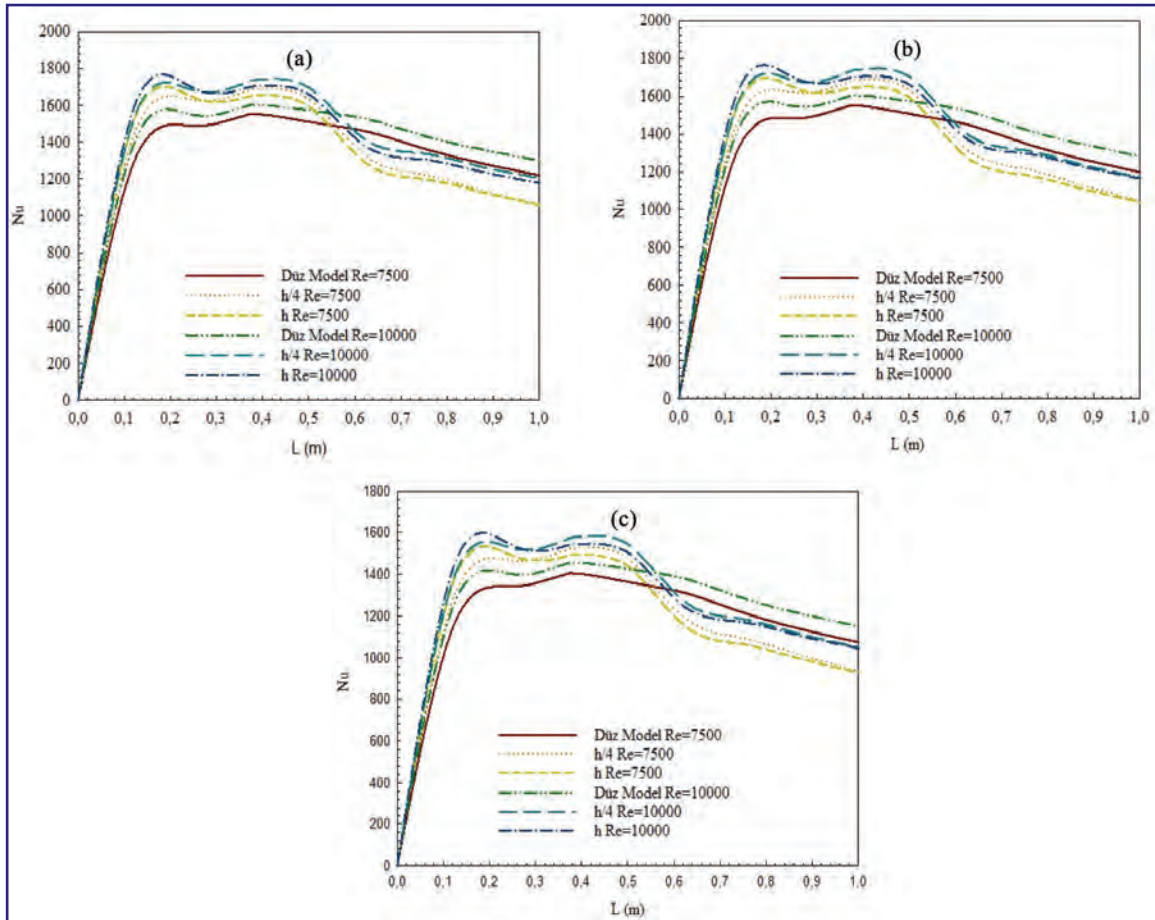


Şekil 1. Geriye dönük adım modeli (a) Düz (b) h/4 ve h pah uzunluklu

ve MWCNT (Çok Tabakalı Karbon Nanotüp) nanoakışkanları ve saf su akışkanı için kanal boyunca Nu sayısının değişimi sırasıyla Şekil 3 (a), (b) ve (c)'de gösterilmektedir. Tüm akışkanlar için geriye dönük akışın ayrılmış akış bölgesinde kanalın 0,27 m'lik kısmında h pah uzunluklu kanal için diğer kanallara göre (h/4 pah uzunluklu ve düz model) daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilirken bu noktadan sonra akış karışmasının daha iyi olduğu h/4 pah uzunluklu kanalda Nu sayısı değerlerinin daha fazla olduğu Şekil 3'den görülebilmektedir. Bununla birlikte, kanalın 0,52 m'lik uzunluğundan itibaren ayrılmış akış bölgesindeki ısı transferi sonucu sıcaklığı artan akışkanların, yeniden birleşme bölgesinden sonra Nu sayısı değerleri hem saf su hem de nanoakışkanlar için düz modelden daha düşük olmaktadır (Şekil 3 (a), (b), (c)). Re sayısının artışıyla Nu sayısı değerleri artış göstermektedir. Ayrıca, Re= 10000 için h/4 pah uzunluklu geriye dönük adım geometrisinin ortalama Nu sayısının sırasıyla %0,01 GO-saf su ve %0,01 MWCNT-saf su nanoakışkanlarının akışında saf su kullanılan

geometriden sırasıyla %11,51 ve %10,61 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, akış ayrılmasının olduğu özellikle geriye dönük adım akışı uygulamalarında geometride köşe kısmına verilen pah uzunluğu yanında nanoakışkan kullanımının ısı transferini artırıcı etki oluşturduğu görülmektedir.

Düz model, h/4 ve h pah uzunluklu kanallara ait sırasıyla %0,01 GO-saf su, %0,01 MWCNT-saf su nanoakışkanları ve yalnızca saf su akışkanının kullanıldığı geriye dönük adım akışı modellerinde h uzunluklu kanal adım yüksekliğinin yarı yüksekliği olan 0,5h uzunluğu boyunca akışkanların sıcaklık değişimleri Şekil 4 (a), (b) ve (c)'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde en düşük akışkan sıcaklığı %0,01 hacimsel konsantrasyonlu GO-saf su nanoakışkanı için elde edilirken, en yüksek sıcaklık değerine saf su akışkanının olduğu geriye dönük adım akışlı modelde ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, Şekil 3'deki Nu sayısı grafiklerine paralel olarak 0,27 m kanal uzunluğuna kadar h pah uzunluklu modelde ısı transferinin daha iyi



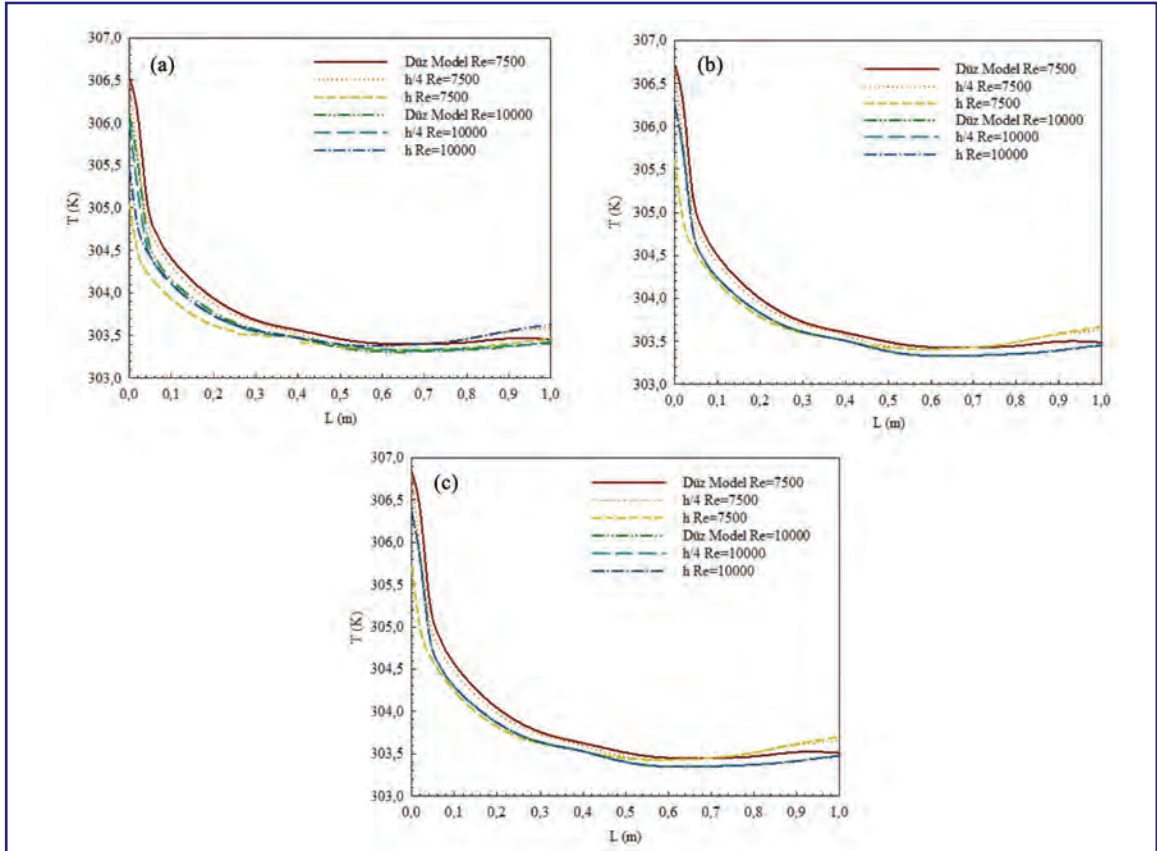
Şekil 3. Nu sayısı değişimi (a) GO-saf su (b) MWCNT-saf su (c) Saf su

olması sonucu diğer modellere göre akışkan sıcaklığı düşük iken, kanal uzunluğunun bu kısmından sonra akışkan sıcaklıkları $h/4$ pah uzunluklu modeldekinden daha yükseğe çıkararak kanal sonuna doğru düz modeldeki sıcaklık değerlerinden daha yüksek olmaktadır.

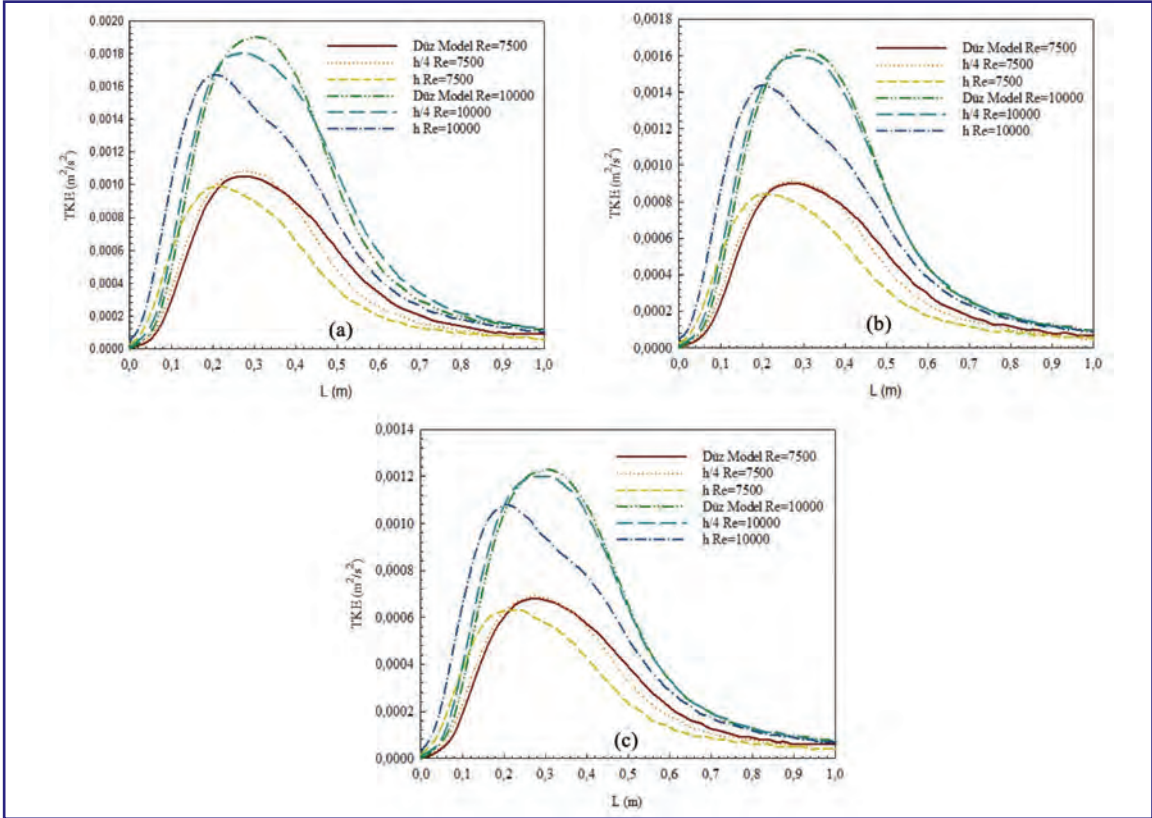
Farklı Re sayılarında kanalın $0,5h$ adım yüksekliği boyunca sırasıyla %0,01 hacimsel konsantrasyonlu GO-saf su, MWCNT-saf su nanoakışkanları ve saf suya ait türbülans kinetik enerji (TKE) değişimleri Şekil 5 (a), (b) ve (c)'de sunulmaktadır. Türbülans kinetik enerjinin yüksek olması, akışkanın karışmasının bir ölçüsüdür. Bu nedenle, Re sayısının 10000 olduğu değerinde tüm pahlı kanallar ve akışkan tipleri için daha yüksek TKE değerleri elde edilmektedir. Ayrıca, kanalların giriş kısmında ayrılmış akış bölgesinde h pah uzunluklu geriye dönük adım akışı modeli için daha yüksek TKE değeri elde edilirken, kanalların ilerleyen kısımlarında $h/4$ pah uzunluklu kanallar için ulaşılan TKE değerleri daha fazla artış göstermektedir. Yalnızca, ayrılmış akış bölgesinin sonuna doğru düz model için TKE değeri pahlı kanallara göre artış

göstererek en yüksek seviyesine ulaşırken, yeniden birleşme bölgesinde kanal sonuna doğru özellikle $Re=10000$ değeri için pahlı kanalların TKE değerleri düz modele göre daha fazla olmaktadır. Ayrıca, en yüksek akışkan karışma değerine (TKE) GO-saf su nanoakışkanında ulaşılmaktadır.

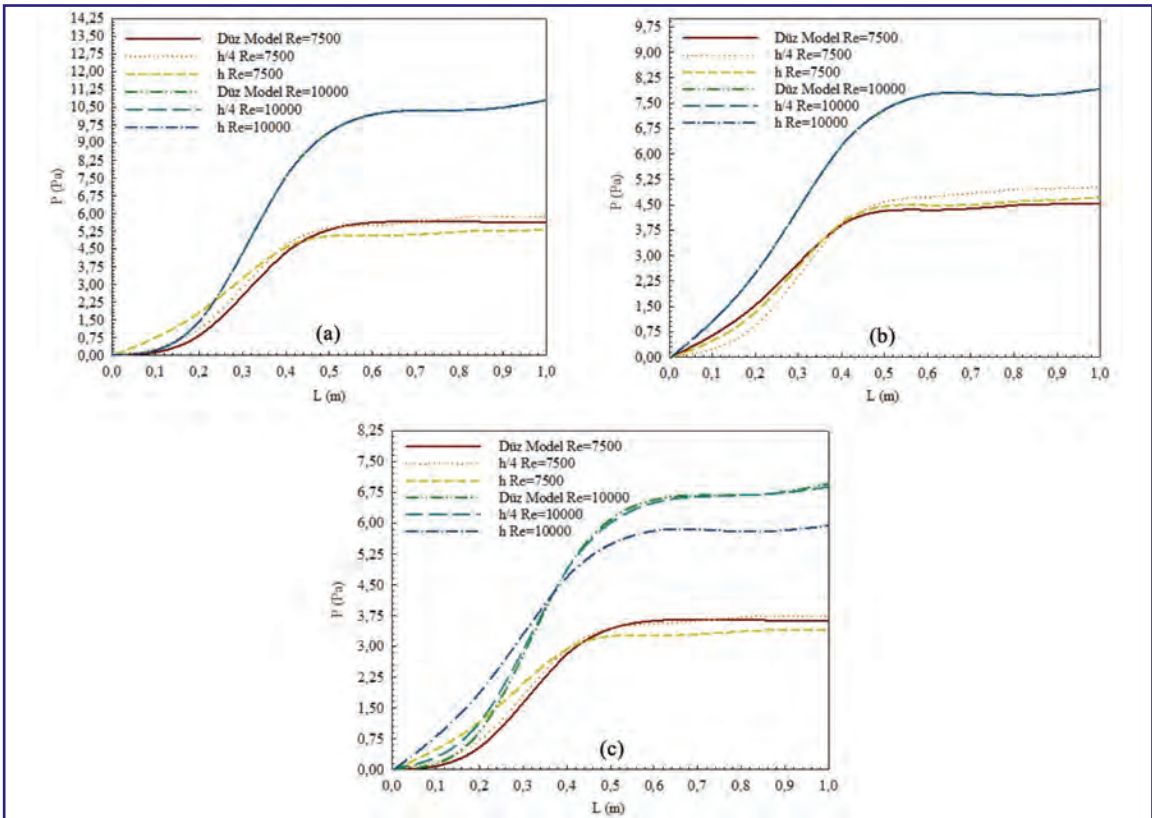
Şekil 6 (a), (b) ve (c)'de farklı Re sayılarında sırasıyla GO-saf su (%0,01) ve MWCNT-saf su (%0,01) nanoakışkanları ve saf suya ait farklı pah uzunluklu kanallar (düz model, $h/4$ ve h) için $0,5h$ adım yüksekliğinde kanal boyunca basınç değişimleri gösterilmektedir. Şekil 5'deki TKE değişimlerine paralel olarak akışkan karışmasının daha iyi olduğu nanoakışkanlar için daha yüksek basınç değişimi değerleri elde edilmekle birlikte saf su için ulaşılan basınç değerleri daha düşüktür (Şekil 6 (c)). Ayrıca, özellikle $Re=10000$ 'de nanoakışkanlar (GO-saf su ve MWCNT-saf su) için akışın geriye dönük adım kısmına yönlendirilerek daha iyi bir karışma sağlanması sonucunda pahlı kanallar için düz modelle karşılaştırıldığında birbirine çok yakın değerler elde edildiği Şekil 6 (a) ve (b)'den görülebilmektedir. Bununla birlikte, akışın yeniden birleşme bölgesin-



Şekil 4. Akışkan sıcaklık değişimi (a) GO-saf su (b) MWCNT-saf su (c) Saf su



Şekil 5. Türbülans kinetik enerji (TKE) değişimi (a) GO-saf su (b) MWCNT-saf su (c) Saf su

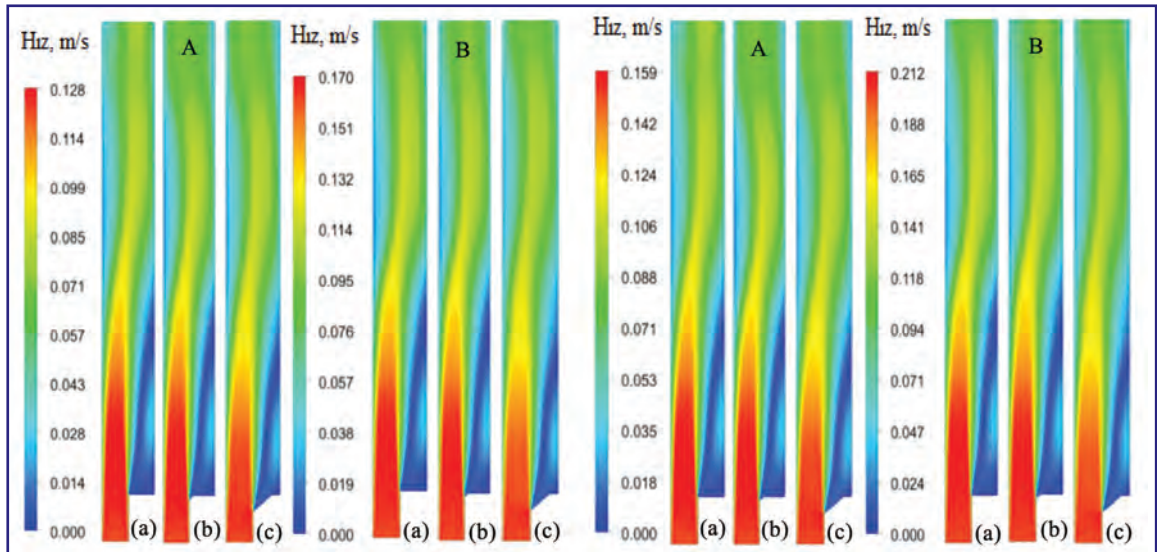


Şekil 6. Basıncı değişimi (a) GO-saf su (b) MWCNT-saf su (c) Saf su

den sonra $Re=7500$ değerinde saf su (Şekil 6 (c)) ve nanoakışkanlarda TKE değeri azalan akışkanlar için pahlı kanallarda düz modele göre basınç değerlerinde artışlar olduğu saptanmıştır.

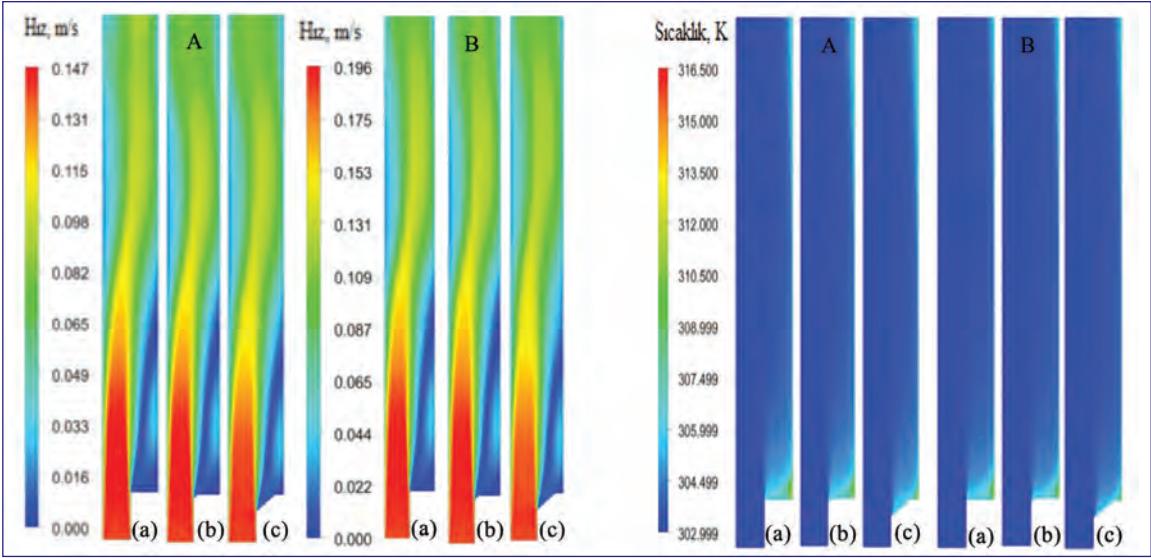
Düz (pahsız) ve farklı pah uzunluklu kanallara ait hız dağılımı konturları Şekil 7,8 ve 9 (a), (b) ve (c)'de sırasıyla saf su, GO ve MWCNT nanoakışkanları için Re sayısının 7500 (7A-8A-9A) ve 10000 (7B-8B-9B) olmak üzere farklı değerlerinde gösterilmektedir. Kanal girişlerinde kırmızı renk ile belirtilen yüksek hızlı akışkan, geriye dönük adım kısımlarında azalarak mavi renk ile belirtilmektedir. Bununla birlikte, kanala pah verildiğinde akışın geriye dönük adıma doğru yönlenebilmesi sağlanarak bu bölgedeki akış hızlanarak açık mavi renk almaktadır. Ayrıca, özellikle h pah uzunluklu kanalda geriye dönük adım kısmında ayrılmış akış bölgesinde akıştaki koyu mavi renkli kısmın açık maviye doğru dönmesi akışın bu kısımda daha iyi hareketlendiğinin bir göstergesi olarak düşünülebilir. Bununla birlikte, akışın yeniden birleşmesiyle $h/4$ pah uzunluklu kanallarda kanal sonuna doğru akış hızının h pah uzunluklu kanallardan daha fazla olduğu açık renkli sarı kısmın kanal sonuna kadar şiddetini belirgin şekilde devam ettirmesinden anlaşılabilmektedir. Buna ilaveten, GO-saf su nanoakışkanı için akış hızının hem $Re=7500$ hem de $Re=10000$ için en yüksek değerlere ulaştığı şekillerdeki hız dağılımı konturu skalalarındaki maksimum değerlerden görülebilmektedir.

Şekil 10, 11 ve 12'de sırasıyla saf su, %0.01 GO-saf su ve %0.01 MWCNT-saf su nanoakışkanlarına ait sıcaklık dağılımı konturları Reynolds sayısının 7500 (Şekil 10A-11A-12A) ve 10000 (Şekil 10B-11B-12B) değerlerinde düz model ve geriye dönük adımın $h/4$ ve h pah uzunluklu modelleri için sunulmaktadır. Bütün akışkanlar için sıcaklık konturu dağılımlarından görüldüğü gibi kanala pah verilmemiş düz modelde geriye dönük adım kısmında akışkanın hareketliliği az olduğundan pah verilmiş modellere göre daha fazla ısınma meydana gelmektedir. Bu nedenle, bu kısımda sıcaklık daha açık mavi renktedir (Şekil 10A-B(a), Şekil 11A-B(a) ve Şekil 12A-B(a)). Bununla birlikte, kanala pah verildiğinde, geriye dönük adıma doğru olan ayrılmış akış bölgesinde h pah uzunluklu kanalda akış hareketliliği arttığından köşe kısmında bulunan açık mavi renkli kısım azalarak sıcaklık değişimi tüm kanaldaki akışa yayılmaktadır. Böylece, kanaldaki ısı transferi artırılmış olmaktadır. Ancak, $h/4$ pah uzunluklu kanallarda kanal uzunluğu boyunca ilerledikçe h pah uzunluklu kanallara göre akışın yeniden birleşme bölgesinde sıcaklıkta meydana gelen artış ısı transferindeki iyileşmenin açık bir göstergesidir. Ayrıca, nanoakışkanın kullanıldığı kanallarda kanala pah verilmesiyle birlikte geriye dönük adım kısmında akışkanın başlatılan hareketlenme ile ısı transferinde daha fazla artış olduğu açık mavi renkli kısımdaki azalmayla belirlenebilir. Çünkü pahla birlikte akış adım kısmına daha iyi nüfuz ederek ısının taşınmasını hızlandırmıştır.



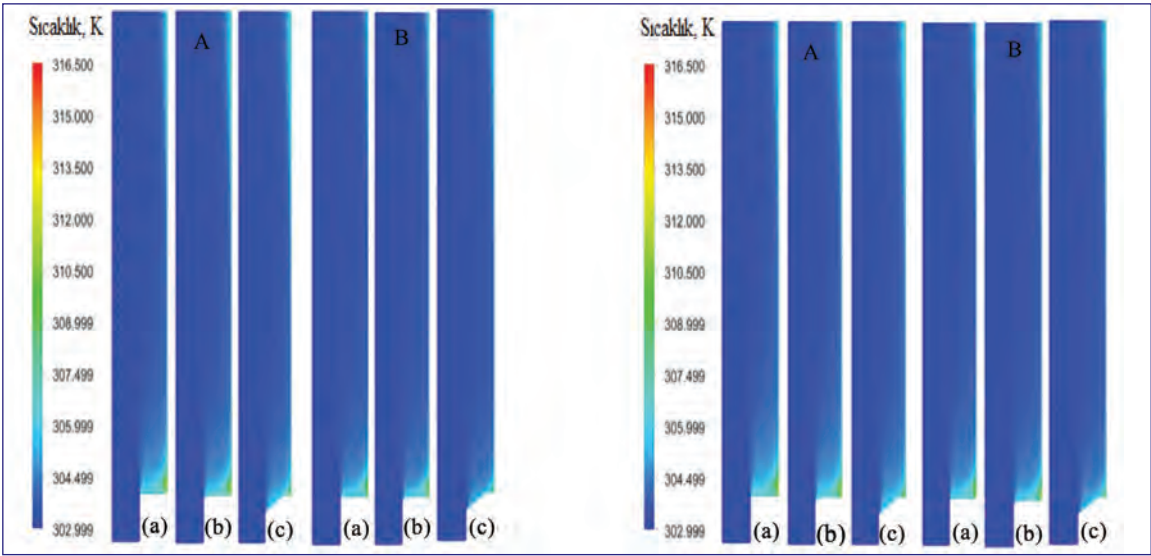
Şekil 7. Saf su akışkanı için hız dağılımları
A- $Re=7500$ B- $Re=10000$ (a) Düz (b) $h/4$ (c) h

Şekil 8. GO-Saf su akışkanı için hız dağılımları
A- $Re=7500$ B- $Re=10000$ (a) Düz (b) $h/4$ (c) h



Şekil 9. MWCNT-Saf su akışkanı için hız dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h

Şekil 10. Saf su akışkanı için sıcaklık dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h

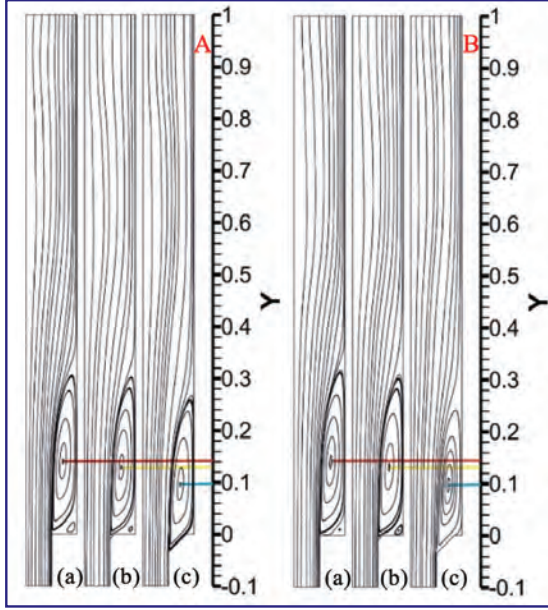


Şekil 11. GO-Saf su akışkanı için sıcaklık dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h

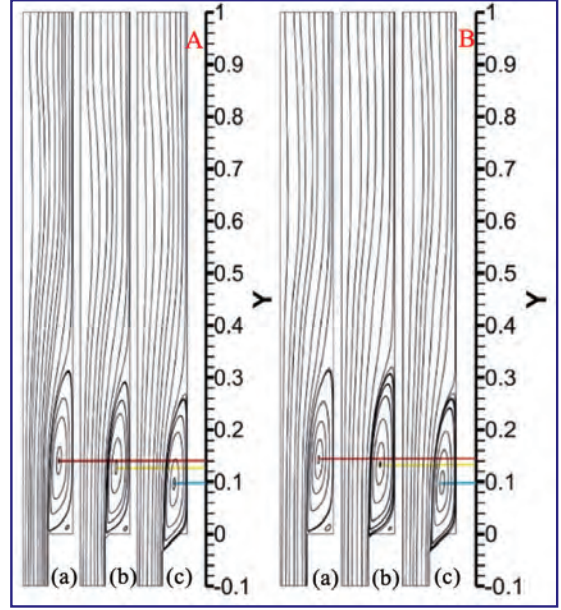
Şekil 12. MWCNT-Saf su akışkanı için sıcaklık dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h

Sırasıyla Şekil 13, 14 ve 15'de A-Re=7500 ve B-Re=10000 için düz ve farklı pah uzunluklu (h/4 ve h) kanallardaki saf su ve %0.01 hacimsel konsantrasyonlara sahip GO-saf su ve MWCNT-saf su nanoakışkanları için akım çizgisi dağılımları görselleştirilmiştir. Yeniden birleşme noktasının uzunluğunun belirlenebilmesi, pahlı kanallarda geriye dönük adım kısmında akışın hareketlendirilebilme durumu hakkında fikir sahibi olunabilmesini sağlamaktadır. Bu amaçla, akım çizgisi dağılımları üzerinde merkez noktasının düşey koordinat uzunlukları belirlenmiştir. Şekillerden de

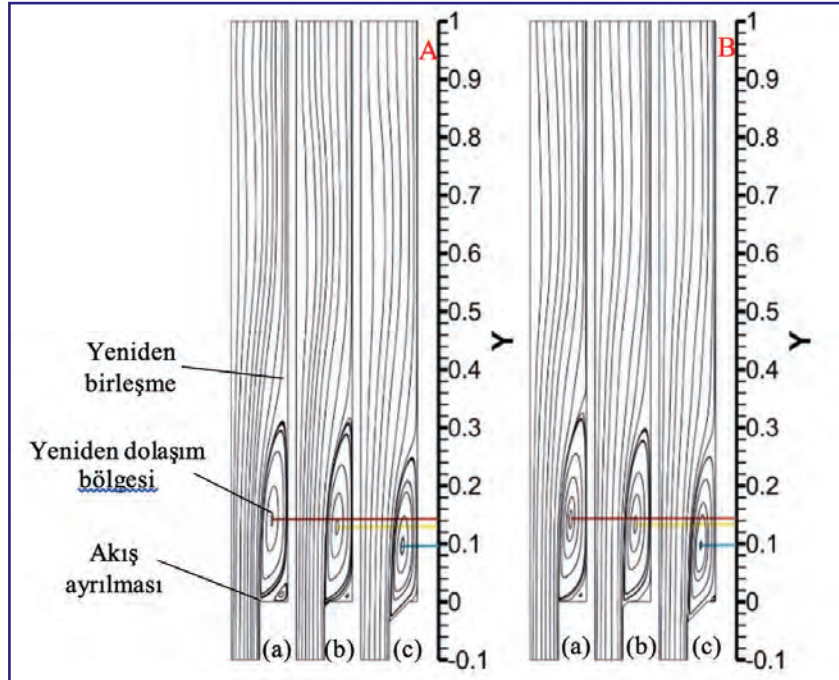
görülebildiği gibi pahlı kanallarda merkez noktası koordinatları düz modele göre daha geridedir dolayısıyla merkez noktasının düşey uzunluğu daha kısadır. Bu durum da bize akışın geriye dönük adıma doğru hareketlendiğinin bir göstergesi olmaktadır. Bununla birlikte, h pah uzunluklu model en kısa merkez noktası çizgisine sahiptir. Bu nedenle, h pah uzunluklu kanalda ayrılmış akış bölgesinde h/4 pah uzunluklu ve düz modeldeki kanala göre geriye dönük adım kısmındaki hareketlenme daha fazla iyileştirilmiştir. Ayrıca, birbirine çok yakın olmakla birlikte hem nanoakışkanlar için hem de



Şekil 13. Saf su akışkanı için akım çizgisi dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h



Şekil 14. GO-Saf su akışkanı için akım çizgisi dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h



Şekil 15. MWCNT-Saf su akışkanı için akım çizgisi dağılımları
A-Re=7500 B-Re=10000 (a) Düz (b) h/4 (c) h

saf su için Re sayısının 10000 değerinde akış hareketlenmesi sonucu artan ısı transferinin yanı sıra akım çizgisinin merkez noktası uzaklığı da azalmıştır. Ayrıca, yeniden dolaşım bölgesi, akış ayrılması ve yeniden birleşmenin olduğu kısımlar Şekil 15 üzerinde gösterilmiştir.

5. GENEL SONUÇLAR

Geriye dönük adım akışına güç dönüştürme sistemlerinin toplayıcıları ve ısı depolama kaplarının iç ve dış akışları gibi birçok cihazda rastlanmakta olup akışın karmaşık yapısı nedeniyle önemli geometrik modellerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, dikey olarak yerleştirilmiş geriye dönük adım akışı geometrisinde h/4 ve h olmak üzere farklı pah uzunluklu adım köşe yapılarının düz modele göre ısı transferi ve türbülanslı akış özellikleri Reynolds sayısının 7500 ve 10000 değerleri için sayısal olarak incelenmiştir. Geriye dönük adım geometrisinde duvarlardan yalnızca bir tanesi sabit sıcaklıkta tutulurken, diğer duvarlar adyabatiktir. Çalışma akışkanı olarak saf su, hacimce %0.01 konsantrasyonlara sahip GO (Grafen oksit)-saf su ve MWCNT (Çok katmanlı karbon nanotüp) nanoakışkanları kullanılmıştır. Modellerde kullanılan adım genişleme oranı 1.5 (3h/2h)'dir. Çalışmanın sonuçları, üç boyutlu, zamandan bağımsız olarak korunum denklemlerinin k-ε türbülans modeli, Boussinesq yaklaşımıyla sonlu hacimler yöntemi olan ANSYS-FLUENT programının kullanılarak çözülmesiyle elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi uygulamada sıvı akışkanlarla çalışılması durumunda özellikle dikey konumlandırmalarda sıcaklık farkı büyük olursa kaldırma etkilerinin dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada da bu amaçla kaldırma etkileri Boussinesq yaklaşımı kullanılarak dikkate alınmıştır. Sunulan çalışma, literatürde bulunan çalışmanın sayısal sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup birbirleriyle uyumlu ve kabul edilebilir oldukları görülmüştür. Sonuçlar, Nu sayısı, akışkan sıcaklık, türbülans kinetik enerji ve basınç değişimleri olarak sunulmuştur. Ayrıca, geriye dönük adım akışı geometrisinde, hız ve sıcaklık konturu ve akım çizgisi dağılımları görselleştirilmiştir. Bununla birlikte, bu çalışmanın sayısal sonuçlarından ulaşılan çıkarımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Re=10000 için h/4 pah uzunluklu geriye dönük adım geometrisinin ortalama Nu sayısının sırasıyla %0.01 GO-saf su ve %0.01 MWCNT-saf su nanoakışkanlarının akışında saf su kullanılan geometriden sırasıyla %11.51 ve %10.61 daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Sıcaklık değişimleri incelendiğinde, en düşük akışkan sıcaklığı %0.01 hacimsel konsantrasyonlu GO-saf su nanoakışkanı için elde edilirken, en yüksek sıcaklık değerine saf su akışkanının olduğu geriye dönük adım akışlı modelde ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, ayrılmış akış bölgesinde h pah uzunluklu modelde ısı transferinin daha iyi olması sonucu diğer modellere göre akışkan sıcaklığı düşük iken, akışın yeniden birleşmesiyle birlikte akışkan sıcaklıkları h/4 pah uzunluklu modeldekinden daha yükseğe çıkarak kanal sonuna doğru düz modeldeki sıcaklık değerlerinden daha yüksek olmaktadır.
- Kanalların giriş kısmında ayrılmış akış bölgesinde h pah uzunluklu geriye dönük adım akışı modeli için daha yüksek TKE değeri elde edilirken, kanalların ilerleyen kısımlarında h/4 pah uzunluklu kanallar için ulaşılan TKE değerleri daha fazla artış göstermektedir. Yeniden birleşme bölgesinde kanal sonuna doğru özellikle Re=10000 değeri için pahlı kanalların TKE değerleri düz modele göre daha fazla olmaktadır. Ayrıca, en yüksek akışkan karışma değerine (TKE) GO-saf su nanoakışkanında ulaşılmaktadır.
- Karışmasının daha iyi olduğu nanoakışkanlar için daha yüksek basınç değişimi değerleri elde edilmekle birlikte saf su için ulaşılan basınç değerleri daha düşüktür. Ayrıca, özellikle Re=10000'de GO-saf su ve MWCNT-saf su nanoakışkanları için akışın geriye dönük adım kısmına yönlenecek daha iyi bir karışma sağlanması sonucunda pahlı kanallar için düz modelle karşılaştırıldığında birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte, akışın yeniden birleşme bölgesinden sonra Re=7500 değerinde saf su ve nanoakışkanlarda TKE değeri azalan akışkanlar için pahlı kanallarda düz modele göre basınç değerlerinde artışlar olduğu saptanmıştır.
- Hız konturu dağılımlarından görüldüğü gibi özellikle h pah uzunluklu kanalda geriye dönük adım kısmında ayrılmış akış bölgesinde akıştaki koyu mavi renkli kısmın açık mavie doğru dönmesi akışın bu kısımda daha iyi hareketlendiğinin bir göstergesi olarak düşünülebilir. Bununla birlikte, akışın yeniden bir-

leşmesiyle h/4 pah uzunluklu kanallarda kanal sonuna doğru akış hızının h pah uzunluklu kanallardan daha fazla olduğu açık renkli sarı kısmın kanal sonuna kadar şiddetini belirgin şekilde devam ettirmesinden anlaşılabilir.

- Sıcaklık konturu dağılımlarına bakıldığında ise kanala pah verilmemiş düz modelde geriye dönük adım kısmında akışkanın hareketliliği az olduğundan pah verilmiş modellere göre daha fazla ısınma meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle, bu kısımda sıcaklık daha açık mavi renktedir. Bununla birlikte, kanala pah verildiğinde, geriye dönük adıma doğru olan ayrılmış akış bölgesinde h pah uzunluklu kanalda köşe kısmında bulunan açık mavi renkli kısım azalarak sıcaklık değişimi tüm kanaldaki akışa yayılmaktadır. Ayrıca, h/4 pah uzunluklu kanallarda kanal uzunluğu boyunca ilerledikçe h pah uzunluklu kanallara göre akışın yeniden birleşme bölgesinde sıcaklıkta meydana gelen artış ısı transferindeki iyileşmenin açık bir göstergesidir.
- Akışkanlar için pahlı kanallarda merkez noktası koordinatları düz modele göre daha geridedir dolayısıyla merkez noktasının düşey uzunluğu daha kısa olmaktadır. Bu durum da akışın geriye dönük adıma doğru hareketlendiğinin bir göstergesi olmaktadır.
- Sonuç itibarıyla, ısı transferini artırmak için ayrılmış akış bölgesini azaltacak kanal tasarımları yapılması gerekmektedir. Ayrıca, nanoakışkanlar gibi yüksek ısı iletim katsayılı akışkanların seçimi ısı transferi miktarının fazla olması istenen uygulamalarda son derece önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından SMYO-026 proje numarası ile desteklenmiştir.

SEMBOLLER

D_h	: Kanalın hidrolik çapı, m
h	: Taşınım ısı transfer katsayısı, $Wm^{-2}K^{-1}$
k	: Isıl iletkenlik katsayısı, $Wm^{-1}K^{-1}$
L	: Kanal uzunluğu, m
U_b	: Kanal girişinde akışkanın ortalama hızı, ms^{-1}
c_p	: Akışkanın özgül ısı, $Jkg^{-1}K^{-1}$
P	: Kanalın çevre uzunluğu, m
p	: Basınç, Nm^{-2}
\bar{T}	: Ortalama sıcaklık, K

\bar{u} , \bar{v} , \bar{w} : x,y,z yönlerindeki ortalama dalgali hız bileşenleridir, ms^{-1}

\bar{u} , \bar{v} , \bar{w} : x,y,z yönlerindeki ortalama hız bileşenleridir, ms^{-1}

Re : Reynolds sayısı ($=V_{\infty} D_h/\nu$), boyutsuz

Nu : Nusselt sayısı ($=h D_h/k$), boyutsuz

μ : Dinamik viskozite, $kgm^{-1}s^{-1}$

μ_t : Türbülans viskozitesi, $kgm^{-1}s^{-1}$

ν : Kinematik viskozite, m^2s^{-1}

ρ : Yoğunluk, kgm^{-3}

ϕ : Viskoz dağılım terimi, m^2s^{-3}

k' : Türbülans kinetik enerji, m^2s^{-1}

ϵ : Türbülans dağılım oranı, m^2s^{-3}

Alt İndisler

s : Yüzey

∞ : Akışkan

m : Ortalama

KAYNAKLAR

- [1] Trisaksri, V., Wongwises, S., “Critical Review of Heat Transfer Characteristics of Nanofluids”, Ren. Sust. Energy Reviews, vol. 11, pp. 512-523, 2007.
- [2] Maxwell, J.C., A Treatise on Electricity and Magnetism, 2nd ed., Oxford Clarendon Press, Cambridge, England, 1904.
- [3] Gupte, S.K., Advani, S.G., Huq, P., “Role of Micro-Convection Due to Non-Affine Motion of Particles in A Ono-Disperse Suspension”, Int. J Heat and Mass Transf., vol. 38, pp. 2945-2958, 1995.
- [4] Kim, S.J., Bang, I.J., Buongiorno, J., Hu, L.W., “Surface Wettability Change During Pool Boiling of Nanofluids and Its Effect on Critical Heat Flux”, Int. J Heat and Mass Transf., vol. 50, pp. 4105-4116, 2007.
- [5] Kwark, S.M., Kumar, R., Moreno, G., Yoo, J., You, S.M., “Pool Boiling Characteristics of Low Concentration Nanofluids”, Int. J Heat and Mass Transf., vol. 53, pp. 972-981, 2010.
- [6] Hong, K.S., Hong, T.K., Yang, H.S., “Thermal Conductivity of Fe Nanofluids Depending on the Cluster Size of Nanoparticles”, Applied Physics Lett., vol. 88, pp. 1-3, 2006.
- [7] Hwan, L., Hwang, K., Janga, S., Lee, B., Kim, J., Choi, S.U.S., Choi, C., “Effective Viscosities and Thermal Conductivities of Aqueous Nanofluids Containing Low Volume Concentrations of Al₂O₃ Nanoparticles”, Int. J Heat and Mass Trans., vol. 51, pp. 2651-2656, 2008.

- [8] Xie, H., Lee, H., Youn, W., Choi, M., “Nanofluids Containing Multiwalled Carbon Nanotubes and Their Enhanced Thermal Conductivities”, *J Applid Physics*, vol. 94, pp. 4967-4971, 2003.
- [9] Armaly, B.F., Durst, F., Pereira, J.C.F., Schönung, B., “Experimental and theoretical Investigation of Backward-Facing Step Flow”, *J. Fluid Mech.*, vol. 127, pp. 473-496, 1983.
- [10] Nadge, P., Govardhan, R., “High Reynolds Number Flow Over A Backward-Facing Step: Structure of the Mean Separation Bubble”, *Exp. Fluids*, vol. 55, pp. 1-22, 2014.
- [11] Kasagi, N., Matsunaga, A., “Three-Dimensional Particle-Tracking Velocimetry Measurement of Turbulence Statistics and Energy Budget in A Backward-Facing Step Flow”, *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 16, pp. 477-485, 1995.
- [12] Le, H., Moin, P., Kim, J., “Direct Numerical Simulation of Turbulent Flow Over A Backward-Facing Step”, *J. Fluid Mech.*, vol. 330, pp. 349-374, 1997.
- [13] Simpson, R.L., “Turbulent Boundary-Layer Separation”, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, vol. 21, pp. 205-232, 1989.
- [14] Vogel, J.C., Eaton, J.K., “Combined Heat Transfer and Fluid Dynamic Measurements Downstream of A Backward-Facing Step”, *J. Heat Transfer*, vol. 107, pp. 922-929, 1985.
- [15] Keating, A., Piomelli, U., Bremhorst, K., Nei, S., “Large-Eddy Simulation of Heat Transfer Downstream of A Backward-Facing Step”, *J. Turbul.*, vol. 5, pp. 1-27, 2004.
- [16] Avancha, R.V., Pletcher, R.H., Large Eddy Simulation of the Turbulent Flow Past A Backward-Facing Step with Heat Transfer and Property Variations”, *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 23, pp. 601-614, 2002.
- [17] ANSYS Inc., ANSYS FLUENT User’s Guide, Fluent, Netherland, Lebanon, ANSYS Press, 2003.
- [18] Karabulut, K., Buyruk, E., Kılinc, F., “Grafen Oksit Nanoparçacıkları İçeren Nanoakışkanın Taşınım Isı Transferi ve Basınç Düşüşü Artışı Üzerindeki Etkisinin Düz Bir Boruda Deneysel Olarak Araştırılması”, *Mühendis ve Makina*, cilt. 59, sayı. 690, s. 45-67, 2018.
- [19] Karabulut, K., Buyruk, E., Kılinc, F., “Experimental and Numerical Investigation of Convection Heat Transfer in a Circular Copper Tube Using Graphene Oxide Nanofluid”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 42, pp. 1-16, 2020.
- [20] Karabulut, K., Buyruk, E., Yapıcı, K., Kılinc, F., “Karbon Nanotüp İçeren Nanoakışkanın Isı Transferi Artışı ve Basınç Düşüşü Performansının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi”, in *Proc. ULIBTK’15*, 2015, p. 96.
- [21] Togun, H., Safaei, M.R., Sadri, R., Kazi, S.N., Badarudin, A., Hooman, K., Sadeghinezhad, E., “Numerical Simulation of Laminar to Turbulent Nanofluid Flow and Heat Transfer Over A Backward-Facing Step”, *App. Mathematics and Comp.*, vol. 239, pp. 153-170, 2014.

Farklı Standart Koşullar İçin İki Kademeli Bir Soğutma Sisteminin Deneysel İncelenmesi

Deniz YILMAZ

Dr. Öğretim Üyesi
İstanbul Arel Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
denizy.80@gmail.com
orcid: 0000-0003-1109-6397

Ebru MANÇUHAN

Doç. Dr.
Marmara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Mühendisliği
İstanbul
emancuhan@marmara.edu.tr
orcid: 0000-0002-7108-4497

ÖZ

Endüstriyel soğutma sistemlerinin enerji verimliliğini ve ekonomisini iyileştirmek için farklı tasarım seçenekleri günümüzde yoğun olarak çalışılmaktadır. Daha iyi çevrim performansı elde etmek için çevrim modifikasyonlarına yoğun bir ilgi literatürden görülmektedir. Son yıllarda, geleneksel çevrimleri değiştirmek, en verimli soğutucu akışkanları aramak, daha iyi kompresörler geliştirmek ve çevrim sistemi yapılandırmalarını optimize etmek de dâhil olmak üzere buhar sıkıştırma çevrimi teknolojilerini geliştirmek için önemli çabalar sarf edilmiştir. Bu çalışmada, farklı standart koşullar altında değişken hızlı kompresörlü buhar sıkıştırma soğutma sisteminin deneysel analizi yapılmıştır. Sistem, SC5, SC4 ve SC3 olan standart koşullara göre farklı oda sıcaklıkları için test edilmiştir. Belirlenen standart koşullarda buharlaştırıcı kapasitesi ve sistemin performans katsayısı (COP) değerlendirilmiştir. Hem hava tarafı hem de soğutucu tarafı hesaplamaları yapılmış ve bu standart koşullar için karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Soğutma Sistemi, Soğutucu Akışkan, Endüstriyel Soğutma.

Experimental Investigation of a Two Stage Cooling System for Different Standard Conditions

ABSTRACT

Different design options are being studied extensively today to improve the energy efficiency and economy of industrial cooling systems. An intense interest in cycle modifications is seen from the literature to achieve better cycle performance. In recent years, significant efforts have been made to develop vapor compression cycle technologies, including replacing traditional cycles, searching for the most efficient refrigerants, developing better compressors, and optimizing cycle system configurations. In this study, experimental analysis of variable speed compressor vapor compression cooling system under different standard conditions has been done. The system has been tested for different room temperatures according to standard conditions, SC5, SC4 and SC3. Evaporator capacity and coefficient of performance (COP) of the system were evaluated under the specified standard conditions. Both air side and cooler side calculations were made and compared for these standard conditions.

Keywords

Refrigeration System, Refrigerant, Commercial Refrigeration.

Geliş Tarihi : 07.04.2020

Kabul Tarihi : 08.05.2020

1. GİRİŞ

Günümüzde soğutma teknolojileri, yokluğunun insanın günlük yaşamını ciddi şekilde etkileyebileceği toplumun önemli bir parçası haline gelmiştir. Soğutma endüstrisi, gıdaların ve ilaçların korunması gibi insan sağlığına önemli katkıları olan farklı alanlarda dikkate değer bir rol oynamaktadır. Yıllar boyunca, soğutma sistemleri gıda işleme, dağıtım ve depolama yapan gıda endüstrileri, sağlık sektörü ve kimya endüstrileri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır [1-2]. Yoğun tüketim talebi nedeniyle depolanan ürün miktarları arttıkça cihaz amortisman süreleri de kısalmıştır [3]. Soğutma sistemlerinin verimliliğini artırmak için son yıllarda yoğun olarak çalışılmaktadır. Konuyla ilgili birçok yeni sistem konfigürasyonları mevcuttur. Bu tür endüstriyel ölçekli soğutma sistemlerinin tasarımı uzman mühendisler tarafından yapılsa da, enerji tüketimini azaltabilecek termal verimlilik iyileştirmelerini araştırmak geliştirme çalışmaları açısından önemlidir. Günümüzde merkezi ticari soğutma cihazlarında enerji verimliliğini artırmak için farklı teknolojik çözümler yapılmaktadır.

Çevrim verimini etkileyen en önemli parametrelerden olan soğutucu akışkanlardan sentetik soğutucu akışkanların aksine, karbondioksit kullanılan uygulamalar araştırmacılar için farklı bir yön belirlemektedir. Çünkü daha ayrıntılı termodinamik çevrimler ve gelişmiş ürün teknolojisi gereklidir. Basit tek kademeli çevrim, birçok yazar tarafından geniş bir şekilde araştırılmıştır [4-5]. Diğer olası çevrim konfigürasyonu intercooler ile iki aşamalı sıkıştırıcıdır [6-8]. Bir ısı değiştiricisinde, evaporatörden ve gaz soğutucusundan çıkan akışkanın ısı transferinde bulunduğu çevrimler ve kütle akışının bir kısmının orta basınç tankından döktüğü, kısıldığı ve daha sonra ikinci kısma valfine doğru akan gazın sıcaklığını düşürmek için kullanılan ekonomik iki aşamalı sıkıştırma çevrimleri gibi farklı konfigürasyonlar da literatürde mevcuttur [9-11]. Sarkar ve Agrawal [12] teorik olarak üç farklı konfigürasyon üzerine çalışmışlar ve paralel sıkıştırıcı çevrimin özellikle düşük sıcaklık uygulamalarında, seçilen aralıklarda temel çevrim üzerinde %47'lik bir COP iyileştirmesi elde etmişlerdir. Literatürden görüldüğü üzere, birçok araştırmacı, temel çevrim modifikasyonları hakkında hem teorik hem de deneysel olarak, belirli çalışma koşullarında elde edilebilecek faydaların altını çizen sonuçlarla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bek-

lenen performans artışı açısından en umut verici çevrim düzenlerinden biri paralel sıkıştırıcıdır.

Merkezi soğutma sistemlerinde karbondioksitin soğutucu akışkan olarak verimli kullanılmasının çeşitli olanakları vardır. Tek kademeli transkritik soğutma çevriminde soğutucu akışkan veya kaskat sistemlerinin düşük sıcaklık çevriminde ikincil soğutucu akışkan olarak kullanılabilir. Kaskat sistemler, özellikle yüksek basınç oranlarının karşılanması gereken uygulamalarda etkilidir; bu nedenle, gıda dondurma için ticari soğutmada [13] veya yüksek sıcaklıklı ısı pompalarında bulunabilirler [14]. Çeşitli çalışmalarda, karbondioksitin sıcak iklimlerde kaskat sistemlerinin düşük sıcaklık çevriminde soğutucu olarak kullanılması ve soğuk iklimlerde transkritik çevrimlerde soğutucu akışkan olarak kullanılması önerilmektedir. Literatürde soğutucu akışkan olarak karbondioksit kullanılan kademeli soğutma sistemleri hakkında çok sayıda sayısal ve deneysel çalışma bulunmaktadır [15-17]. Casson [18], -10 °C ila -30 °C buharlaşma sıcaklıkları arasında çalışan CO₂ kaskat soğutma çevriminin COP değerini hesaplamış ve deneysel ve sayısal çalışmalardan toplanan verilerle artan ortam sıcaklıklarıyla COP değerinin düştüğünü bildirmiştir. Bansal [19] düşük sıcaklıktaki uygulamalarda CO₂'in geleneksel çevrimlere göre daha uygun soğutucu olduğunu ve termo-fiziksel özelliklerine göre diğer soğutucu akışkanlara göre daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada Bansal, CO₂ kullanılan kaskat soğutma sisteminin, soğutucu akışkanın yaygın olarak kullanılan soğutma sistemlerine göre %60 daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir. İki kademeli soğutma sistemlerinde verimli bir sistem projelendirmek için, performans iyileştirme çalışmaları, çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Sun vd.'leri yapmış oldukları çalışmada, yüksek verimli bir iki kademeli sistem elde etmek için soğutucu akışkanların performansını araştırmıştır. Genel olarak, önerilen geliştirilmiş iki kademeli CO₂ sistemin, süpermarket soğutma uygulaması için mevcut tek kademeli R134a soğutma sistemi yerine iyi bir alternatif olduğu sonucuna varmıştır [20].

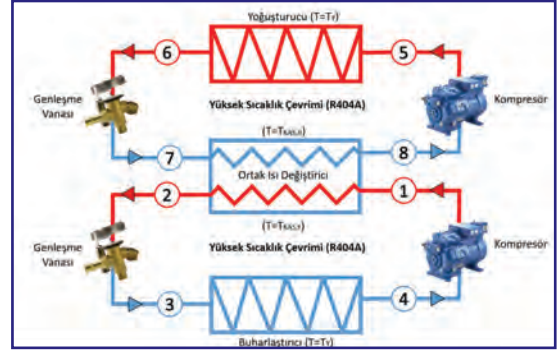
Bu çalışmada, kritik şartlar altında çalışan iki kademeli bir soğutma sistemi ele alınmıştır. Soğutma sistemlerinde sentetik soğutucular yerine kademeli olarak doğal soğutucuların alması amacıyla düşük sıcaklık çevriminde CO₂, yüksek sıcaklık çevriminde ise soğutma sistemlerinde sıkça kul-

lanılan R404A soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Sistem, SC5, SC4 ve SC3 olan standart koşullarının referans alındığı farklı oda sıcaklıkları için test edilmiştir. Evaporatör kapasiteleri ve sistemin verimliliği belirlenen koşullar için değerlendirilmiştir. Hem hava tarafı hem de soğuk oda tarafı için hesaplamaları yapılmış ve seçilen SC koşullar için karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

R404A/CO₂ kaskat soğutma sisteminin deneysel kurulumu birbiriyle ilişkili 2 temel sistemden oluşur. İklimlendirilmiş test odaları, iç odanın ortam koşullarının tüm etkilerini izole etmesini sağlamak için birbiri içinde iki yalıtımlı odadan oluşmaktadır. Dış odada, iç oda ile senkronize deney sıcaklığına ulaşmak için bir klima santrali bulunmaktadır. İç odada ayrıca bir klima santrali vardır ancak alanı soğutmamaktadır. Çünkü testin kendisi evaporatör performansını istenen koşullara kadar geçen süre ile ölçmektedir. Böylece CO₂ evaporatörü iç odayı soğutmaktadır (Şekil 1). Kaskat soğutma sistemi, kaskat sistem yoğuşturucusu ile birbirine bağlanan iki ayrı çevrimden oluşur. R404A tarafı, CO₂ soğutucu akışkanının yoğuşturucu basıncını ve sıcaklığını kontrol eden Yüksek Sıcaklık Çevrimidir (YŞÇ). CO₂ tarafı, iç odadaki soğutma alanının sıcaklığını kontrol eden Düşük Sıcaklık Çevrimidir (DŞÇ). YŞÇ’de hava soğutmalı bir yoğuşturucu kullanılır ve kaskat yoğuşturucusu evaporatörüdür. YŞÇ soğutucuyu çevrimde dolaştırmak için invertörlü bir kompresör kullanır ve DŞÇ yoğuşturucu çıkış basıncı ve sıcaklığı nedeniyle frekans kontrolü gerçekleşir. YŞÇ evaporatöründen önceki genişlemeyi ayarlamak için bir termostatik genişleme valfi kullanılmıştır. DŞÇ’de, sistemin sıcaklığını istenen soğutma alanı sıcaklıklarına göre düzenlemek için invertörlü yarı hermetik bir kompresör kullanılmıştır. Evaporatörde hassas sıcaklık ayarı için bir elektronik genişleme valfi kullanılmıştır. İç odada SC5 için sırasıyla 7,75 kW, SC4 için 7,48 kW ve SC3 koşulları için 9,51 kW kapasiteli bir CO₂ evaporatörü bulunmaktadır.

YŞÇ ve DŞÇ çevrimlerinde, çalışma aralıklarında ayrı ayrı ve eşzamanlı olarak basit soğutma çevrimleri meydana gelir. İç odanın istenen sıcaklığı ASHRAE 33 Standart Koşullar Standartlarına göre belirlenmiştir. Deneyler, sırasıyla -34 °C , -25 °C ve -18 °C oda sıcaklıkları ve -40 °C , -31 °C ve -25 °C evaporasyon sıcaklıkları gerektiren SC5, SC4



Şekil 1. Deney sistemi şematik gösterimi

Tablo 1. Ölçüm Cihazları ve Hassasiyetleri

Ölçülen Değer	Ölçüm Aleti	Çalışma Aralığı	Hassasiyet
Sıcaklık (°C)	PT-1000	-70,0/+240,0	±0,3%
Basınç (bar)	Basınç sensörü	-1,0/159,0	±0,5%
Akışkan debisi (kg/s)	Coriolis Debimetre	0,00/0,18	±0,1%
Güç (kW)	Enerji analizörü	0,0 to 99,0	±0,5%
Ortam sıcaklığı (°C)	NTC	-50,0/+150,0	±0,3%

ve SC3 Standart Şartları için gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, her çevrimin debisini belirlemek için CO₂ ve R404A çevrimleri için akış ölçümleri yapılmıştır. Evaporatörün toplam soğutma kapasitesi, iç odada çalışan klima santralindeki oransal ısıtma kontrolü kullanılarak belirlenmiştir. Toplam güç tüketimi, kontrol ünitesine yerleştirilmiş bir enerji analizörü ile ölçülür. Hem R404A, hem de CO₂ tarafı güç tüketimini ölçen ek enerji analizörleri de sisteme yerleştirilmiştir. Tüm COP değerleri, analizörlerden kaydedilen değerlere göre hesaplanmıştır. Ölçüm cihazları ve hassasiyetleri Tablo 1’de verilmiştir. Termodinamik hesaplamalar, boru hattına yerleştirilen sensörlerden toplanan verilere dayanmaktadır. Her bileşenin giriş ve çıkış sıcaklık ve basınç değerleri ölçülmektedir. Soğutma sisteminin kontrolünü sağlamak amacıyla sistemin belirli noktalarına sıcaklık, nem, basınç, debi ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Bu ölçüm cihazlarından alınan bilgiye ve sistemin çalışma aralıklarına göre bir kontrol senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryo PLC ünitelere programlama dili kullanılarak akta-

rlmıştır ve sistemin istenilen şartlarda çalışması sağlanmıştır. Kontrolün daha sağlıklı ve sürekli yapılabilmesi için bir kullanıcı ara yüzü tasarlanmış ve bu ara yüze internet üzerinden belirli kişilerin ulaşabilmesi ve sistemi kontrol edebilmesi olanağı sağlanmıştır. Sensörlerden gönderilen değerler belirli aralıklarla kaydedilerek istenilen zamana ait kayıt verilerine ulaşım sağlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kademeli soğutma sistemi birbirine bağlı iki soğutma çevriminden oluştuğu ve sistemin genel COP değerine odaklandığımız için, sıcaklık, basınç ve kütle akış hızı, hem DŞÇ hem de YŞÇ'nin her bir bileşeninden ölçülmüştür. Sistemin genel COP'si, düşük sıcaklık çevrimin evaporatör kapasitesi ve hem yüksek hem de düşük sıcaklık çevrimlerinin güç tüketimi ile hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık çevriminin sıcaklık ve basınç ölçümü sadece düşük sıcaklık çevriminin gözlemlenmesi ve kontrolü için yapılır. CO₂ soğutucu akışkan debisi helisel dişli debimetre kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümlere dayanarak, kaskad sisteminin COP'sini hesaplamak için CO₂ ve R404A çevrimlerinin kütle ve enerji denklemleri geliştirilmiştir.

İç odanın oda sıcaklığı standart koşullara (SC3-SC4-SC5) göre ayarlanmıştır. Kabuk oda sıcaklık değeri iki oda arasında ısı transferi olmaması için iç oda ile aynı değere ayarlandı. İç oda sıcaklığı istenilen değere ulaştıktan sonra, oda içinde sabit sıcaklık değeri elde etmek için CO₂ çevriminin evaporatör kapasitesine eşit ısı kapasitesi yüklendi. Deneyler boyunca iç oda sıcaklık değişimleri Şekil 2, 3 ve 4'te görülmektedir. Isıtma yükü oransal olarak kontrol edilen elektriksel direncine ulaşır ve güç tüketimi bir enerji analizörü tarafından kaydedilir. Ölçülen ortalama sıcaklık ve basınç değerleri, sırasıyla Tablo 2, 3 ve 4'te SC5, SC4 ve SC3 için verilmiştir. Şekil 2, 3 ve 4'de görüldüğü gibi, SC5 koşulunda -34 °C istenen oda sıcaklığına, 25 °C oda sıcaklığından başlayarak 350 dakika sonra ulaşılmıştır. SC4 için iç oda hava sıcaklığı ortalama -25 °C'ye yaklaşık 250 dakika, SC3 için iç oda havası sıcaklığı -18 °C'ye yaklaşık 200 dakikada ulaşılmıştır.

Daha önce belirtildiği gibi; elektrikle çalışan elemanların (kompresörler, fanlar) güç tüketimi, her biri için enerji analizörü kullanılarak ölçülmüştür ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 2. SC5 Koşullarında Düşük Sıcaklık Çevrimi Ortalama Sıcaklık, Basınç ve Entalpi Değerleri

Ölçüm Noktası	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)
Kompresör Girişi	9,24	-22,11	454,35
Kompresör Çıkışı	24,82	75,48	532,39
Yoğuşturucu Çıkışı	24,69	-11,87	172,14
Expansion Valf Çıkışı	9,42	-41,86	109,19
Buharlaştırıcı Çıkışı	9,36	-37,41	439,27

Tablo 3. SC4 Koşullarında Düşük Sıcaklık Çevrimi Ortalama Sıcaklık, Basınç ve Entalpi Değerleri

Ölçüm Noktası	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)
Kompresör Girişi	13,08	-12,48	458,15
Kompresör Çıkışı	26,52	47,41	502,84
Yoğuşturucu Çıkışı	26,06	-10,48	173,00
Expansion Valf Çıkışı	13,42	-31,86	129,17
Buharlaştırıcı Çıkışı	13,22	-26,94	441,88

Tablo 4. SC3 Koşullarında Düşük Sıcaklık Çevrimi Ortalama Sıcaklık, Basınç ve Entalpi Değerleri

Ölçüm Noktası	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)
Kompresör Girişi	16,12	-9,45	455,43
Kompresör Çıkışı	25,61	32,74	488,09
Yoğuşturucu Çıkışı	25,13	-12,51	170,73
Expansion Valf Çıkışı	16,38	-26,14	141,15
Buharlaştırıcı Çıkışı	16,15	-21,18	442,21

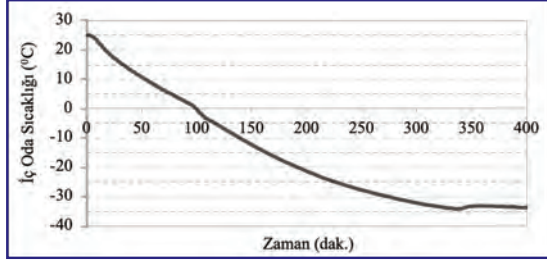
Ölçülen CO₂ debileri, standart koşullara göre Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Farklı Çalışma Şartları İçin Akışkan Debileri (CO₂ Çevrimi)

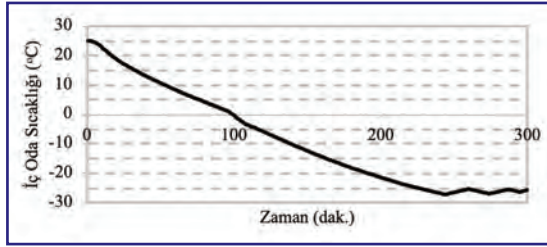
Çalışma Şartı	Debi (kg/s)
SC3	0,0031
SC4	0,0023
SC5	0,0022

Tablo 6. Sistem Elemanlarının Güç Tüketimleri

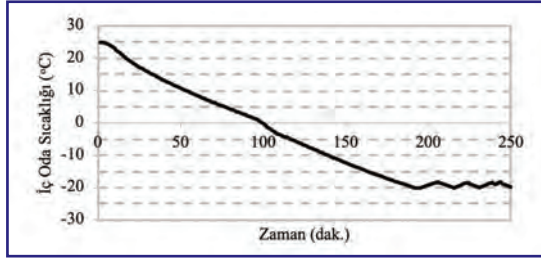
Komponent	Güç (kW)		
	SC5	SC4	SC3
CO ₂ Kompresörü	1,9	1,28	1,09
R404a Kompresörü	3,62	3,00	2,85
CO ₂ Evaporator Fanı	0,33	0,33	0,33
R404a Yoğuşturucu Fanı	0,49	0,49	0,49



Şekil 2. İç oda sıcaklığının zamana bağlı değişimi (SC5 için)



Şekil 3. İç oda sıcaklığının zamana bağlı değişimi (SC4 için)



Şekil 4. İç oda sıcaklığının zamana bağlı değişimi (SC3 için)

Evaporasyon sıcaklığı arttıkça, CO₂ kompresörünün termodinamik olarak güç tüketimi azalmaktadır. Bu esnada kompresörün emiş ve basma basıncı arasındaki fark azaldığından kompresör daha az iş yapmakta ve daha az elektrik tüketmektedir.

Evaporatör kapasitesi ve performans katsayısı, termodinamik yasalarına ilişkin Tablo 7'deki denklemlere göre hesaplanır.

Kaskat sisteminin COP'sini hesaplamak için her iki çevrimindeki tüm bileşenlerin toplam elektrik tüketimi gereklidir. Bu nedenle, DSC'nin toplam elektrik tüketimi, Denklem 7'deki gibi hem kompresör iş tüketiminin hem de evaporatör fanlarının toplamı olarak hesaplanır.

$$\dot{W}_{\text{toplam,DSC}} = \dot{W}_{\text{comp,CO}_2} + \dot{W}_{\text{e,fan}} \quad (7)$$

Tablo 7. Sistem için kullanılan Termodinamik Denklemler

Çevrim	Sistem Elemanları	Denklemler
DSC	Buharlaştırıcı	$\dot{Q}_{e,CO_2} = \dot{m}_{CO_2}(h_{e,o} - h_{e,i})$ (1)
	Yoğusturucu	$\dot{Q}_{c,CO_2} = \dot{Q}_{e,R404A} = \dot{Q}_{c,R404A}$ (2)
	Kompresör	$\dot{W}_{\text{comp,DSC}} = \dot{m}_{CO_2}(h_{\text{comp,o}} - h_{\text{comp,i}})$ (3)
YSÇ	Buharlaştırıcı	$\dot{Q}_{e,R404A} = \dot{m}_{R404A}(h_{e,o} - h_{e,i})$ (4)
	Yoğusturucu	$\dot{Q}_{c,R404A} = \dot{m}_{R404A}(h_{c,i} - h_{c,o})$ (5)
	Kompresör	$\dot{W}_{\text{comp,YSÇ}} = \dot{m}_{R404A}(h_{\text{comp,o}} - h_{\text{comp,i}})$ (6)

Ayrıca, YSÇ'nin toplam elektrik tüketimi, hem kompresör iş tüketiminin hem de yoğusturucu fanlarının toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\dot{W}_{\text{toplam,YSÇ}} = \dot{W}_{\text{comp,R404A}} + \dot{W}_{\text{e,fan}} \quad (8)$$

R404A/CO₂ kaskad sistemi COP değeri;

$$\text{COP}_{R404A/CO_2} = \dot{Q}_{e,CO_2} / [\dot{W}_{\text{toplam,DSC}} + \dot{W}_{\text{toplam,YSÇ}}] \quad (9)$$

Evaporatörün soğutma kapasitesi, CO₂ çevriminde ölçülen basınç ve debi değerleri ile hesaplanır. CO₂ evaporatörünün sıcaklık ve basınç değerleri evaporatör giriş ve çıkışında ölçüldü. Aynı zamanda, hava tarafı ölçümleri, bir hava akış kanalı kullanılarak CO₂ evaporatörünün giriş ve çıkışında yapıldı. Evaporasyon sıcaklığı arttıkça, kompresör güç tüketimi ve soğutulan ortamdan çekilen ısının azalmasının bir sonucu olarak toplam performans katsayısının artması beklenir. Tablo 8'de görüldüğü gibi -34 °C, -25 °C ve -18 °C soğuk oda SC şartları için sırasıyla 1,14; 1,40; 1,96 COP değerleri deneysel veriler kullanılarak hesaplandı. Ayrıca Tablo 8'de, evaporatör kapasite değerlerinin deney düzeneğinin hava tarafından ölçülen değerlerden hesaplanan ile yaklaşık aynı olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Farklı Standart Şartlar için Evaporatör Kapasiteleri ve COP Değerleri

Standart Şartlar	Q _{evap} (kW)	W _{CO₂+R404A} (kW)	COP
SC3	9,33	4,76	1,96
SC4	7,19	5,10	1,40
SC5	7,26	6,34	1,14

Sistemin COP değerlerini arttırmak için, düşük sıcaklık çevriminde kullanılan aşırı soğutma ve aşırı ısıtma değerleri yeniden seçilerek test edilmelidir. Ayrıca özellikle çalışma koşulları dikkate alınarak evaporatör tasarımındaki farklı kombinasyonlar, sistemin daha iyi COP değerlerine elde edilmesini sağlayabilir.

SEMBOLLER

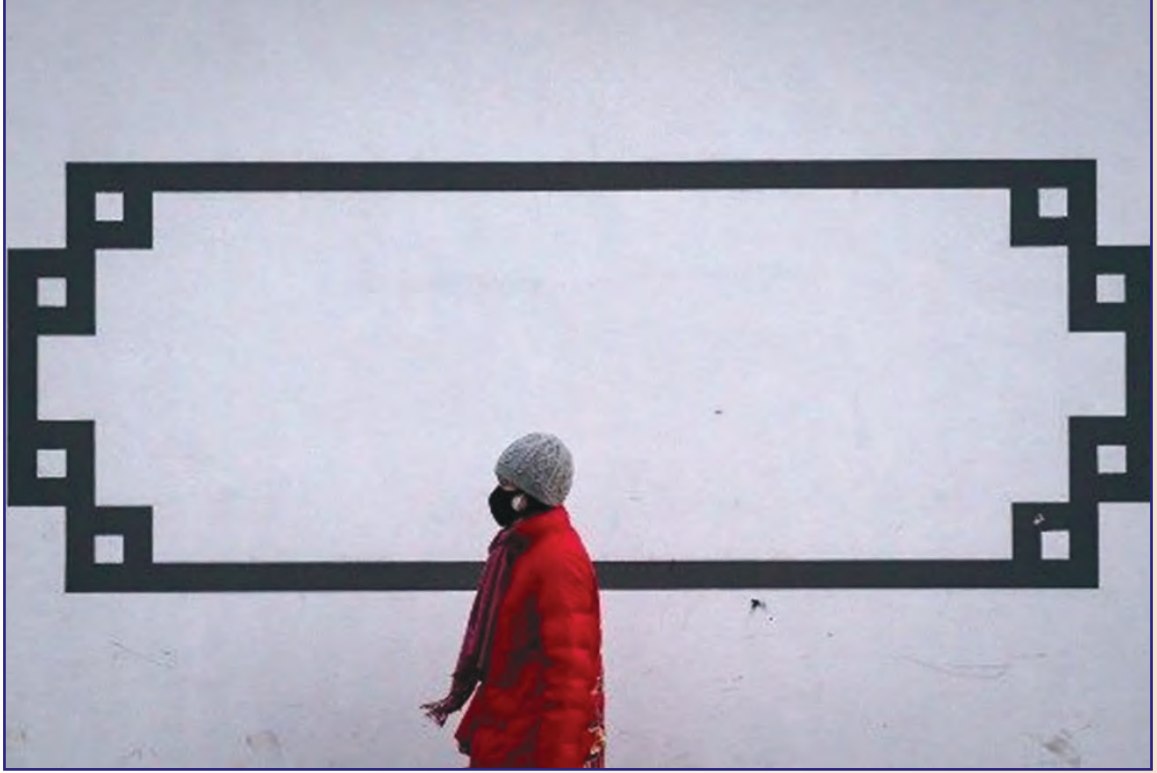
COP	Performans Katsayısı [boyutsuz]
CO ₂ _{evap}	Buharlaştırıcı, CO ₂ tarafı
h	Entalpi [kJ.kg ⁻¹]
m	Debi [kg/s]
P	Güç tüketimi [kW]
PLC	Programlanabilir Mantık Devresi
Q _{evap}	Buharlaştırıcı soğutma kapasitesi [kW]
RH	Bağıl nem [%]
SC3	Standart Şart 3 [°C]
SC4	Standart Şart 4 [°C]
SC5	Standart Şart 5 [°C]
YŞÇ	Yüksek Sıcaklık Çevrimi
DŞÇ	Düşük Sıcaklık Çevrimi

KAYNAKLAR

- [1] Stoecker, W.F., Industrial Refrigeration Handbook, McGraw-Hill, 1998.
- [2] The Role of Refrigeration in the Global Economy 29th Informatory Note on Refrigeration Technologies, International Institute of Refrigeration, November 2015.
- [3] Yilmaz, D., Yilmaz, I.C., Comparative Cost Assessment of Cold Storage Plants and Natural Storage Structures for Potato, Potato Res., 1-9, (2020).
- [4] Lorentzen, G., Revival of Carbon Dioxide as a Refrigerant, Int J Refrig., 17:292-301, 1994.
- [5] Cavallini, A., Neksa, P., Prospects for the Return of CO₂ as a refrigerant, Buenos Aires (Argentina): CIAR, 761–790, 2001.
- [6] Cavallini, A., Cecchinato, L., Corradi, M., Fornasieri, E., Zilio, C., Two-stage Transcritical Carbon Dioxide Cycle Optimisation: a Theoretical and Experimental Analysis, Int J Refrig., 28:1274–1283, 2005.
- [7] Cho, H., Ryu, C., Kim, Y., Cooling Performance of a Variable Speed CO₂ Cycle With an Electronic Expansion Valve and Internal Heat Exchanger, Int J Refrig., 30:664–671, 2007.
- [8] Agrawal, N., Bhattacharyya, S., Studies on a Two Stage Transcritical Carbon Dioxide Heat Pump Cycle With Flash Intercooling, Appl Therm Eng., 27:299–305, 2007.
- [9] Rigola, J., Ablanque, N., Pérez-Segarra, C.D., Oliva, A., Numerical Simulation and Experimental Validation of Internal Heat Exchanger Influence on CO₂ Transcritical Cycle Performance, Int J Refrig.,33:664–74, 2010.
- [10] Torrella, E., Sánchez, D., Llopis, R., Cabello, R., Energetic Evaluation of an Internal Heat Exchanger in a CO₂ Transcritical Refrigeration Plant Using Experimental Data, Int J Refrig., 34:40–9, 2011.
- [11] Agrawal, N., Bhattacharyya, S., Studies on a Two Stage Transcritical Carbon Dioxide Heat Pump Cycle With Flash Intercooling, Appl Therm Eng., 27:299–305, 2007.
- [12] Sarkar, J., Agrawal, N., Performance Optimization of Transcritical CO₂ Cycle With Parallel Compression Economization, Int J Therm Sci., 49:838–43, 2010.
- [13] Llopis, R., Sánchez, D., Sanz-Kock, C., Cabello, R., Torrella, E., Energy and Environmental Comparison of Two-Stage Solutions for Commercial Refrigeration at Low Temperature: Fluids and Systems, Appl. Energy, 138:133–142, doi:10.1016/j.apenergy.2014.10.069, 2015.
- [14] Mota-Babiloni, A., Mateu-Royo, C., Navarro-Esbrí, J., Molés, F., Amat-Albuixech, M., Barragán-Cervera, Á., Optimisation of High-Temperature Heat Pump Cascades With Internal Heat Exchangers Using Refrigerants With Low Global Warming Potential, Energy, 165:1248–1258, doi:10.1016/j.energy.2018.09.188, 2018.
- [15] Lee T., Liu C., Chen T. , Thermodynamic Analysis of Optimal Condensing Temperature of Cascade Condenser in CO₂/NH₃ Cascade Refrigeration Systems, Int J Refrig., 29: 1100–1108, 2006.
- [16] Bansal, P.K., Jain, S., Cascade Systems: Past, Present, and Future, ASHRAE Trans., 113 (1): 245–252, 2007.
- [17] J. Alberto Dopazo, J. F. Seara, F. J. Uhia, Theoretical Analysis of a CO₂-NH₃ Cascade Refrigeration System for Cooling Applications at Low Temperatures, Appl. Therm Eng., 29:1577-1583, 2007.
- [18] V. Casson, Theoretical and experimental analysis of CO₂ as a refrigerant in retail refrigeration (in Italian). PhD. Thesis, Università di Padova, Italy, (2002).
- [19] P. Bansal, A Review - Status of CO₂ as a Low Temperature Refrigerant: Fundamentals and R&D Opportunities, Appl. Therm Eng, 41:18-29, 2012.
- [20] Sun, Z., Li, J., Liang, Y., Sun, H., Liu, S., Yang, L., Wang C., Dai, B., Performance Assessment of CO₂ Supermarket Refrigeration System in Different Climate Zones of China, Energy Convers Manage., 208:112572, 2020.

Koronavirüs ve Salgın Hastalıkların HVAC Sistemleriyle İlişkisi

Sayın Serdar Ulu ve Aytekin Çakır tarafından hazırlanan ve birçok Oda üyemizin katkı verdiği koronavirüs özelinde Sağlık ve HVAC İlişkisi adlı yazılarını bilginize sunuyoruz.



A. 2019 nCoV: YENİ KORONAVİRÜSÜ

A1. Coronavirüs (CoV) Nedir?

Koronavirüsler (CoV), önceki dönemlerde hayvanları konak olarak seçen fakat son yıllarda MERS-CoV (Orta Doğu Solunum Sendromu) ve sonra SARS-CoV (Şiddetli Akut Solunum Sendromu) şimdi de Covid-19 mutasyonları ile insanlara bulaşım gösteren oksidatif koruması olmayan bir virüs ailesidir. Yeni koronavirüs (nCoV), daha önce insanlarda tanımlanmamış yeni bir suştur (*1)

Koronavirüsler zoonotiktir, yani hayvanlar ve insanlar arasında bulaşır. Ayrıntılı araştırmalar SARS-CoV'nin misk kedilerinden insanlara ve MERS-CoV'un dromedary develerden insanlara bulaştığını buldu. Bilinen birkaç koronavirüs ise henüz insanları enfekte etmeyen hayvanlarda da yaşamaktadır.

Enfeksiyon (*2) belirtileri arasında solunum semptomları (*3), ateş, öksürük, nefes darlığı ve solunum güçlüğü bulunur. Daha ciddi vakalarda, enfeksiyon zatürreye, ciddi akut (çabuk ilerleyen) solunum sendromuna (bir araya gelen bulgular bütünü), böbrek yetmezliğine, kalp-damar hastalıklarına ve hatta sonuçta ölüme neden olabilir.

Bu riskler özellikle çocuklarda virüsün akciğerlere tutunmasını sağlayan ilgili reseptörler tam olarak gelişmediğinden hafif olarak belirti vermeden atlatılabilmektedir.

Enfeksiyonun yayılmasını önlemek için standart öneriler arasında düzenli el yıkama, öksürme ve hapşırma sırasında ağız ve burnun kapatılması, et ve yumurtaların iyice pişirilmesi yer alır. Öksürme ve hapşırma gibi solunum yolu hastalık belirtileri gösteren herhangi biriyle yakın temastan kaçınılmalıdır. Hastalık Çin'de ilk vakalar ortaya çıktığında genel

tanı SARS-CoV salgınının tekrar gündeme geldiği şeklinde düşünülmüştür. Yapılan vaka analizleri ile vakaların SARS-CoV2 yani Covid-19 mutasyonu ile ortaya çıktığı kabul edilmiştir.

Özellikle Uzakdoğu ülkeleri önceki salgın hastalık tecrübelerini kullanarak enfekte alan dezenfeksiyonu ve bireysel dezenfeksiyonda ozon ve UV (ultraviyole) unsurlarını kullanarak virüs ile mücadelede hızlı ve etkin bir süreç geçirmişlerdir. Özetle, 2019 n-CoV, hızlı yayılma becerisi olan zararlı mikroorganizma(*4) türlerinden birisidir. İki şekilde bulaşma şekli bulunduğu WHO (World Health Organization-Dünya Sağlık Örgütü) tarafından bilimsel olarak açıklanmaktadır.

A2.1. Havada asılı parçacıklar

Virüsün bulaştığı kişi açık ortamda hapsirme yolu ile mikrop taşıyan parçacıkları etrafa saçabilir. Burada dikkat edilecek detay ise parçacıkların bir insan boyu mesafesinde havada asılı kalacağıdır. Aynı ortamda eğer etkili bir hava filtreleme sistemi devreye girerse risk ortadan kalkabilir (HEPA filtreli).

Potansiyel enfekte alan ya da enfekte alan dezenfeksiyonu için filtrasyon sistemine ek olarak HVAC sistemine entegre edilecek Ozon Jeneratörü/UV

(Ultraviyole) ekipmanları ile saha güvenliği sağlanabilir.

Bu uygulamalar alan içerisinde mobil üniteler ile de gerçekleştirilebilir. Coronavirüs ailesi mikroorganizmaların ozon karşısındaki dayanım süresi literatürlerde 0,3 sn. mertebesinde verilmektedir Ortamda 0,03-0,05 ppm konstrasyon sürekli uygulamada çok hızlı sonuçlar vermektedir. Şoklama uygulamasında ise 1-1,5 ppm değere çıkılabilir (OHSA). Ozon ile uygulama genel ortamlardaki temizliği sağlamaktadır ancak 2019 n-Cov Corona virüsü çok yeni olduğu için klinik sonuçlar mevcut değildir.

A2.2. Temas ile aktarmalar

Temas önlemi için ellerin basit hijyen kuralları içinde elin içinin ve dışının sabun veya deterjan ile 20 sn ovuşturulması, temizlenen ellerin başka bir yere dokunmadan kağıt havlu ile kurulanması önemlidir.

Havalimanı vb. kalabalık alanlarda el dezenfeksiyonu için el kurutucu (hand dryer) tipi cihazlarla ozon ve UV uygulamaları yapılmaktadır. Konuyla ilgili WHO (Dünya Sağlık Örgütü) sitesinde bulunan görsel ve videolar incelenebilir.

Aşağıda Sağlık Bakanlığı tarafından da yayımlanan el yıkama görseli yer almaktadır.



B. HASTANE ve SAĞLIK KURULUŞLARINDA VİRÜS RİSKLERİ

Sağlık hizmetleri tesisleri ve hastaneler kontrollü tehlikelerin olduğu ortamlardır. Yine aerosollü ilaçlara, hava yoluyla bulaşan hastalıklara ve kuvvetli temizlik kimyasallarına maruz kalmak tehlikelerin önemli bir bölümüdür.

Özellikle havadan bulaşan bulaşıcı mikroorganizmalar hastaneler için büyük tehlike yaratacaktır.

Koronavirüsünün ise sadece enfeksiyon hastalarını değil hastanede yatılı ve ayakta tedavi görenler, ziyaretçiler, yanında bulunan refakatçiler, hastane çalışanları için büyük tehlike yaratacağı açıktır.

Bulaşıcı hastalık belirlenen hastalar, teşhis konulduktan sonra karantinaya alınır. Bu hastalar teşhis öncesi hastane koridorlarından geçerek gözlem laboratuvarlarına nakledilir. Gözlem laboratuvarı steril prosedürler için tasarlanmamış ve enfeksiyonlu hastaya hizmet ettikten sonra uygun temizlik ve dezenfeksiyon(*5) için tasarlanmamış olduğu için çok daha fazla invaziv(*6) prosedürler gerçekleştirilmelidir. Bulaşıcı hastalık henüz belirlenmemiş hastalarla ilişki halinde olan hastane personeli henüz teşhisi konulmamış diğer hastalarla da temas edebilirler.

B1. Afet Yönetimi

Afet yönetimi; hastanelerin mekanik sistemlerine zarar verebilecek içten veya dışarıdan gelecek felaketlere maruz kaldığında hastane hizmetlerinin aksamasına neden olacak deprem, tren, uçak vb. kazaları, kimyasal döküntü, biyolojik terör, bulaşıcı veya salgın hastalıklar sırasında halka hizmet verebilecek imkanları içeren tedbirlerin alınması ve uygulanmasıdır.

Hava temizleme sistemi havadaki çeşitli sebeplerle oluşan mikroorganizmalar, tozlar, duman, solunabilir partiküller (*7) gazlar vb. havada dolaşan kirletici maddeleri azaltmak amacıyla kullanılan cihaz ve cihaz guruplarıdır.

Hijyen için steril olması gereken bölümlerin diğer bölümlerle olan ilişkilerinin ve septik (*8) hastane bölümlerinin, diğer bölümlerden yapı elemanlarıyla veya sızdırmazlık sağlanarak izole edilmesi gerekir.

Enfeksiyona sebep olan havada dolaşan bulaşıcı ajanlar, patojenler aslında havada dolaşan partiküllerdir.

Virüsler, bakteriler mantarlar, asbestler solunum patojenlerine örnek olarak verilebilir.

Salgın hastalıklarda hastanelere ulaşan hastalar karantina bölümlerine alınacaktır.

Karantina odalarını enfeksiyonlu hastalar için düzenlenmiş hastayı havada dolaşan hastalıklardan korumak ve diğer alanlara bulaşmasını engellemek amacıyla düzenlenen, bekleme odalarını ise karantina odası ile ulaşımı sağlayan koridorlarla ayıran odalar olarak değerlendirebiliriz.

Biraz daha açarsak;

Havada dolaşan bulaşıcılar için karantina odası bütün yüzeylerinden içeri doğru hava akışını tüm bitişik iç odalara göre negatif hava basıncın sağlanmasını, temiz alandan daha temiz alana genel hava akışını sağlayan %100 hava egzoz ve durumu sürekli testlerden geçerek kanıtlanan odadır.

Koruyucu ortam odası ise bulaşıcı olmayan hasta odası, bekleme odası gibi bütün yüzeylerinden dışarıya doğru hava akışı ve dış duvar dahil bütün yüzeylere göre pozitif basınç şartlarını sağlayan periyodik ve sürekli testlerden geçerek kanıtlanan bir mahaldir.

(Bazı tıbbi terimler zorunlu olarak kullanılmak zorunda kaldığından konuyu daha iyi anlayabilmek için lütfen yazımızın sonundaki tanımlara bakınız!)

B2. Bulaşıcı Organizmalar-Bulaşma Şekilleri

B2.1. Bulaşıcı organizmaların kaynağı

Sağlık hizmetleri ortamındaki patojenik organizmaların başlıca kaynağı bulaşıcı hastalığı olan hastalardır. Bunlara maruz kalan kişiler;

- Travma yanık cerrahi müdahale nedeniyle açık yarası olan hastalar mikrobun vücudun koruyucu dış katını yani derisini kolayca geçmesine fırsat sunarlar.
- Bazı hastalarda vücudun doğal bağışıklık sistemi yaralanma veya tıbbi tedavi süresince zayıfladığı için mikrop ve/veya virüsle savaşıması zorlaşacaktır.
- Bu hastalık aynı zamanda ziyaretçiler ve sağlık hizmeti çalışanlarına da bulaşabilir.

B2.2. Bulaşma şekilleri

Hastalık iki yolla bulaşır;

- Doğrudan temasla,
- Hava yoluyla.

B2.2.1. Doğrudan temasla buluşma

Patojenin yıkanmamış eller, enfeksiyonlu vücut sıvısı, aksırık ve öksürükle gelen damlacıklar veya diğer malzemeler vb. aracılığıyla yara, açık yara korunmasız yerler (ağız, göz, vb.) geçerek vücuda girmesiyle meydana gelir.

- El ile: Yıkanmamış el ile temas
- Enfeksiyonlu vücut sıvısının korunmasız vücut bölümü ile temas laboratuvar örnekleri arasında bulunan bulaşıcı ile kirlenmiş kan damlacığının kazayla sıçraması,
- İğne batması: Sağlık personelinin kendine iğneyi yanlışlıkla batırması
- Böcek taşıma ısırma sonucu veya patojenin bulaşıcı ile kirlenmiş maddeden (Çöp, hayvan dışkısı gibi) insan gıdasına veya gıda hazırlama yüzeylerine doğrudan taşınmasıyla meydana gelir
- Bulaşıcı hastalığı olan kişinin aksırması öksürmesi veya konuşmasıyla üretilen enfeksiyonlu sıvı damlacıklarıyla temas bu damlacıkların birçoğunun kütlesi ve boyutu (<5 mikron) havadan hızla ayrılmaya uygun değerdedir olduğundan bulaşma çapını bir kaç metreyle sınırlar. Tek aksırık 100.000 civarında aerosol-partikül bir öksürük ise dakikada 10.000 partikül üretebilir.
- Bulaşıcı enfeksiyonunun yayılmasının en büyük sebebi ellerin yıkanmamasıdır.
- Böcek ve sineklerle bulaşma da bir olasılıktır. Net bir veri olmamasına ve bilim kurullarının bu konuyu fazla dikkate almamasına karşın değerlendirilebilir.
- Ambalajlı gıdalar için de süreli olarak orta seviyede bir risk bulunmaktadır.

B2.2.2. Hava yoluyla bulaşma

Çok uzun süreler (sonsuz) havada asılı kalabilen küçük kütleli ve boyutlu (1-5 mikron) partikül , aerosol vb. solunumu sonucunda ortaya çıkar.

- Bulaşıcı hastalığı olan kişinin aksırması ile hem doğrudan ve hem de havadan yayılır
- Ortamda önceden var olan ekipmanların mobilyaların üzerine çökmüş veya içinde hapsedilmiş mikroplar yeniden havada kalmasına sebep olan yatak yapma bakım tamirat gibi aktiviteler
- Bulaşıcı taşıyan su damlacıklarının aerosol haline gelmesine neden olan duş başlığı sprey nemlendirici veya evaporatif soğutma ekipmanları(soğutma kulesi), vb.

- İnsan derisi pulları üzerinde taşıma: Sıradan bir kişi 1000 adet döküntüyü ortaya döker
- Mikropların HVAC ekipmanları içinde özellikle soğutma serpantinine yoğunlaşma tavaları, ıslak filtreler ve gözenekli kanal kaplamaları gibi doğrudan neme maruz kalan nemin ve kirin birikebileceği yerlerde çoğalması

B3. Öneriler

B3.1. Hastanelerde havalandırma sistemi ilkeleri

Hastane havalandırma sistemlerinde doğru mühendislik uygulamaları ile HVAC sistemleri aşağıdaki özelliklere göre yapılmalıdır. Yapılan sistemlerin;

- Optimum sıcaklığı, nemi ve personelin ve hastaların sağlığını koruyacak özellikte bir hava akımını sağlamalıdır.
- Herhangi bir binanın havalandırma sistemi düzenlenirken havalandırma kanallarının ve fanların büyüklüklerinin ve kanallardaki hava akım hızlarının doğru hesaplanması büyük önem taşır.
- Isıtma-soğutma düzenekleri, gürültüyü azaltıcı düzenekler ve partikül tutucu filtreler havalandırma sistemlerinin diğer önemli bileşenleri uygun şekilde oluşturulmalıdır.
- AVM, iş merkezleri, rezidans, otel, sinema gibi merkezi klima sistemi kullanılan binalarda, ısı ekonomisi açısından karışım havası kullanılmaktadır (egzoz havası ile taze havayı karıştırarak sisteme gönderen). Bulaşıcı ve salgın hastalık vb. riskler nedeniyle bu tür konfor klima ve havalandırma sistemlerinde %100 taze havayla çalışacak şekilde uygulama yapılmalıdır.
- Klima santralının iç temizliği güvenlik tedbirleri alınarak yapılmalı, daha sonra alkol veya başka dezenfektanlar ile dezenfekte edilmelidir.
- Hastane ve sağlık tesislerinde ise; bulaşıcı ve salgın hastalık durumunda hava sirkülasyonu boyunca, hava içindeki gaz kontaminasyonu (*9) giderek artacaktır.

Havanın temizlenebilmesi için sadece filtrasyon yeterli değildir. Sistemin ozon ya da UV ile desteklenmesi çok önemlidir. (UV ışınları canlı mikro organizmaları öldürür, ancak bu mikro organizmaların protein yapıları hava içinde kalır. Bunlar HEPA filtrelerde tutulur. HEPA filtreler, canlı olsun olmasın bütün partikülleri tutar).

Hastane içindekilerin sağlığını korumak ve konforunu sağlamak amacıyla gerekli havanın tamamı % 100 taze hava alınarak sağlanmalıdır. Bilindiği üzere santrallarda geri kazanımlı sistemler varsa belli oranlarda dönüş havası kullanılmaktadır. HEPA filtreli sistemlerde enerji tasarrufu amacıyla bir miktar dönüş havası kullanılabilir.

B3.2. Filtreler

Bulaşıcı hastalıkların önlenmesi için gerekli ek özellikler nedeniyle, hastane ventilasyon sistemlerinde filtrasyon önem kazanır. Uygun filtrasyon teknolojisi kullanılarak, bulaşma kontrolü açısından gerekli görülen yerlere partikül den arındırılmış hava vermek mümkündür.

Hastanelerdeki tüm havalandırma sistemlerinde iki ayrı filtre sisteminin bulunması; bunlardan birincisinin etkinliğinin %30 veya üzerinde, ikincisinin etkinliğinin ise %90 veya üzerinde olması gereklidir. Bazı filtre sistemleri $\geq 0,3$ μm partiküllerin %99,97'sini tutabilir. Bu filtrelere "High Efficiency Particulate Air" (HEPA) filtresi adı verilir. Bu sistem pahalı olması nedeniyle hastanelerin özel bölümlerinde kullanılmakla birlikte salgın hastalıklarda bu filtreler bulaşmayı engellemede önem kazanır.

Seyreltme havalandırmasının amacı ise bulaşıcı taşıyan havanın egzoz edilmesi yoluyla, havada dolaşan bulaşıcıların yoğunluğunun azaltılması ve temiz havanın ilgili mahalle verilmesi ile sağlanmalıdır.

Yönlü hava akımı; özel gereksinimlere göre odaya, odanın dışına veya tek yönlü olarak tanımlanmış temiz oda alanına doğru giden hava akışının kontrolüdür.

Yönlü hava akımının uygulaması ise;

İlgili mahalden bitişindeki mahal içine veya mahallin dışına yönlü hava akımının düzenlenmesi ve mahaller arasında bağıl diferansiyel basıncın kurulmasıyla yönlü hava kontrolü şeklinde üç yöntemle yapılır.

Mahal dışındaki havada dolaşan bulaştırıcılardan oda sakinlerini ve materyallerinin korunması gerektiği zaman mahal dışına doğru yönlü hava akımı kullanılmalı (pozitif basınçlandırma), mahallin içine serbest bırakılmış bulaşıcılarının bitişik mahalle yayılmasını önlemek istendiğinde hava akımı mahallin içine doğru kullanılmalıdır (negatif basınçlandırma). Pozitif veya negatif basınç farkının

başarısı sadece odanın besleme-dönüş-egzoz hava akımına bağlı değil odanın inşai yapısına ve hava sızdırmazlığı ile sağlanmalıdır.

Min. 35 l/sn akış diferansiyeli ve/veya 2,5 Pa basınç farkı sistemin başarılı olmasını sağlar (Basınç farkı literatürde 2,5 Pa olup uygulamalarda 10-15 Pa değerine kadar çıkılmalıdır).

Mevcut santrallarda farklı filtreler varsa filtreler derhal HEPA ile değiştirilmelidir. Değişimleri de zamanı geldiğinde geciktirilmeden yapılmalı ve kaliteli filtreler kullanılmalıdır.

B3.3. İzole odalar

Çeşitli hastalık grupları, bulaşıcı hastalıklar, organ nakli vb. çok kritik operasyonlar için izole odalar kullanılmaktadır.

İzole odaların iklimlendirme sistemlerinin nasıl tasarlanacağı ve yapımı çok önemli bir konudur. Dünyada sağlık kuruluşlarının mimarisi ve tasarım kriterleri olarak belirlenen temiz oda standartları, işletme şartları ve standart işletme prosedürleri, çapraz ve hava yoluyla hastalıkların bulaşmasını önlemek için yapının mimarisi ve havalandırmasına yönelik standartların uygulanıp uygulanmadığı mutlaka denetlenmeli, bakım ve periyodik kontrolleri tekniğine uygun olarak yapılmalıdır.

Corona virüsünün sadece hastanelerde yatan hastaları değil ayakta tedavi görenler, ziyaretçiler, refakatçiler ve hastane çalışanları için büyük tehlike yaratacağı bilinmektedir. Dolayısıyla bulaşıcı hastalık taşıdığı düşünülen hastaların izolasyonu için hastanelerin hasta, ziyaretçi, personel yoğunluğundan uzak alanlarında enfeksiyon odaları yada izolasyon odaları bulunması gerekli önlemler arasındadır.

Uluslararası standartlarda üç tip izole oda tanımı vardır.

1) Pozitif basınçlı izole odaları

Enfeksiyon kapma riski olan yanık tedavisi gören ya da organ nakli yapılan hastalar gibi her an enfeksiyon kapabilme riski olan hastalar için yapılan pozitif basınçlı izole odalardır. Odaya verilen klima havası emiş yapılan havadan daha fazla olduğunda da odanın pozitif basınçta tutulması sağlanır.

Organ nakli yapılan hastalarda alıcının organ reddini önlemek amacıyla uygulanan yoğun tedavilerde nakil yapılan hastalarda fırsatçı enfeksiyonların görülme riskinde ciddi bir artışa neden olmaktadır.

Bağıışıklık oluşma riski yüksek olan hastaların bulunduğu ortamlar için pozitif basınçlı ventilasyon ve HEPA filtresi önerilir ($\geq 0,3 \mu m$ partikülleri %99,97'sini tutabilen filtreler). Hasta odası ile oda dışındaki alanlar arasında $>2,5 Pa$ 'lık bir basınç farkı bulunmalı ve saatte 12'den fazla hava değişimi sağlanmalıdır (Basınç kaybı uygulamalarda 10-15 Pa olmalıdır). Filtre edilen havanın akım yönü hastadan koridora doğru olmalıdır. Kemik iliği alıcıları için laminer hava akım sistemi önerilmektedir. Ortam sıcaklığı 21-24° ve relatif nem %40-60 olmalıdır.

2) Negatif basınçlı izole odaları

Hastanelerde enfeksiyon taşıma ve yayma riski olan hastalar için özel olarak tasarlanmış negatif basınçlı izole odalar kullanılır. Bu odalarda enfekte olmuş yani virüs veya mikrop taşıyan hastaların bakımları yapılır. Bu odalar klima havalandırma sistemleri yardımıyla negatif basınçta tutulur. Bir mekâna verilen klima havasından daha fazlası emilerek o mekân negatif basınçta tutulabilir.

Bu odalarda iklimlendirme ve havalandırma sistemi, negatif basıncı sağlayacak şekilde, yani havanın dışarıdan odanın içine doğru yayılmasına yönelik olarak tasarlanır.

Hava yolu ile bulaşan bir enfeksiyon hastalıklarında ve bulaşıcı salgın hastalıklar, tüberküloz, suçiçeği, kızamık, SARS, virüslere bağlı ateş, virüs, bakteri, vb.) da ise hastaların hastaneye yatması durumunda sağlık personelinin de aynı mikroorganizmalara maruz kalma riski ortaya çıkar.

Bu hastaların hastaneye yatması durumunda negatif basınçlı izolasyon odalarında takibi uygundur. Bu odalarda hastanın bulunduğu bölüm kirli olarak kabul edilir. Hasta odasının oda dışındaki alanlara oranla negatif basınçta tutulması gerekir. Oda havasının hastane içinde resirküle olması engellenmeli ve hava hastane dışına HEPA filtreden geçirilerek verilmelidir. Böylelikle, hem oda içindeki mikroorganizma yükü azaltılmış hem de kirli havanın hastanenin diğer bölümlerine ve çevreye yayılması önlemiş olur. Egzoz havasına konan HEPA filtrelerde yoğun bir şekilde bakteri/virüs birikimi olacağından, "Güvenli Değişim Kabinleri (Canister/Bag In-Bag Out)" kullanılmalı, bu kabinlerde değiştirilen kirli HEPA filtreler, yakma tesisine gönderilmelidir. Saatte 12-15 hava değişimi sağlanmalıdır. Negatif basınç sistemlerinin sürdürülmesi oldukça

güçtür, hava kaçaklarını önlemek amacıyla odanın izolasyonunun çok iyi yapılmış olması gerekir. Ortam sıcaklığı 21-24 °C ve relatif nem %40-60 olmalıdır.

Ayrıca laboratuvar gaz bacaları vb. 0,5 m/sn davlumbaz ağzı hızıyla tasarlanmalı ve tüm hastane egzoz ekipmanları ve çıkış yükseklikleri, pozisyonları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yönetmeliđi'ne uygun olmalıdır.

Yüksek verimli filtreleme mikroorganizmaları hava beslemesinden uzaklaştırmak için kururur.

0,1 mikron büyüklüğündeki virüsler, daha büyük partiküllere asılarak hareket ettiğinden HEPA filtrelerde tutulabilir.

Ultraviyole antiseptik ışınlama havada dolaşan canlı mikroorganizmalar uygun şartlarda 200-270 nanometre dalga boyunda ışına maruz kalması ile öldürülür.

Bakteri, virüs vb. mikroorganizmaların, %40-%60 bağıl nem aralığında daha az üredikleri saptanmıştır. Aşırı kuru koşullar solunan partikülleri akciğerdeki yakalama görevi olan mukoza örtüsünü kurumasına sebep olacağı için tercih edilmemelidir.

Yüksek sıcaklık ile %60'dan daha fazla nem hastanın terleyerek enfeksiyon bulaşmasına da ayrıca sebep olabilir.

3) Kombine tip odalar

Çok az rastlanan kombine tip odalar denilen, enfeksiyon kapma ve aynı zamanda yayma riski de olan hastalar için yapılan ve sızdırmaz odalar olarak da anılan özel odalar.

B3.4. Salgın hastalıklara karşı izole odalar hakkında görüşlerimiz

Yeni yapılan ve yapılmakta olan 700-3.000 yataklı şehir hastanelerinde odaların yüzde 2-3'ünün izole oda olarak tasarlandığı bilinmektedir. Bunların bir kısmı pozitif basınçlı, bir kısmı da negatif basınçlı olarak tasarlandığından hastanelerimizdeki negatif basınçlı odalar oranı yüzde 1 civarındadır denilebilir. Ancak mevcut negatif basınçlı izole odaların, koronavirüs gibi çok yaygın ve hızlı şekilde yayılan virüsleri taşıyan hastalara hizmet verebilecek nitelikte olduğu tartışmalıdır. Dolayısıyla bu tip virüsü taşıyan hastaların 700-3.000 yataklı hastanelerde tedavi edilmesi risk taşımaktadır.

Büyük hastaneler yerine, mevcut ve bazıları 100-150 yataklı olan küçük hastaneleri esas alarak enfeksiyonla mücadele amaçlı İzolasyon Hastaneleri (karantina hastaneleri) tasarlamak ya da mevcut hastanelerden bazılarını karantina hastaneleri haline dönüştürmektir.

100-150 yataklı bir hastanenin havalandırma ve iklimlendirme tesisini, komple negatif basınçta tutacak şekilde yeniden tasarlayıp, hızlı bir şekilde uygulaması yapılabilir.

B3.5. Hastanelerde oda sınıflandırması

1. Sınıf odalar yüksek seviyede hijyenik şartlar gerektiren mikroorganizmasız bölgeler

2. Sınıf odalar normal sağlıklı şartlar gerektiren mikroorganizmasız bölgeler Enfeksiyon tehlikesi olan odaları yönünden irdelersek:

Enfeksiyon tehlikesi olan bu odaları havalandırma yönünden irdelersek:

1. ve 2.sınıf odalardaki kontamine (*7) olmuş havanın personel odaları veya bitişik mahaller gibi mekanların havalandırmasına veya genel hastane havalandırma sistemine karışmaması gerekir. Bu mahallerin hava değişimi yeterli olmalıdır.

İzolasyon odaları hava ile bulaşabilen hastalıklı hastalar için hazırlanan odalardan diğer odalara bulaşmaması için negatif basınç altında olmalıdır. Yine yüksek hava değişimi olmalıdır.

Bu odaların bağlantılı olduğu kanal sisteminin kontaminasyonundan kaçınılmalıdır ve temel personel korunmalıdır atılan hava egzoz hava bağlantısına girişten önce filtreden geçirilmelidir.

B3.6. Temiz su, pis ve atık suların dezenfeksiyonu

Havalandırma dışında ayrıca karantina vb. kritik mahallere bağlanan pis su rögarlarının şehir sisteminden ayrı foseptik çukurlarına veya kimyasal ve biyolojik, vb. arıtma tesislerinde dezenfekte edildikten sonra şehir kanalizasyonuna bağlanması da salgın hastalığın kanalizasyon aracılığıyla bulaşmasını engelleyecektir.

Dezenfeksiyon için gerekli kullanım suyunun yüzeylerin sağlıklı hale getirilmesi ve sterilizasyonunda çok önemi vardır.

Bu suyun tesisat girişinde bir ozon jeneratörü ile su ozonlanarak sisteme verilebilir (düşük kapasitede 3-5 gr/h gibi). Ya da musluk ve batarya armatürleri

Tablo 1. Genel Olarak Ozonlamanın Uygulandığı Alanlardaki Ozon Dozajları ve Temas Süreleri

Uygulama Alanları	Uygulanan Ozon Dozu (mg/L)	Temas Süresi (dakika)
Şişelenmiş su (Dezenfeksiyon)	0,25-1,0	5-10
Kullanma suyu		
Dezenfeksiyon	1,5-3,0	5-10
Bulanıklık giderimi/ mikroflok.	0,5-1,5	3-10
THM yapıcıların giderimi	1,5-3,0	5-10
Tat ve koku giderimi	1,0-5,0	5-10
Renk giderimi (tannin-lignin)	2,0-10,0	15-30
Saflaştırılmış su		
Toplam organik karbon giderimi	1,0-3,0	1
Boruların sanitasyonu	1,0-3,0	5-10
Atık su	5,0-15,0	15-30
Soğutma kuleleri	0,1-0,4	1

veya aksesuarları ile % 100 el dezenfeksiyonu sağlanabilir. Benzer şekilde özellikle tuvaletlerde tesisat içi veya harici ozon enjeksiyonu ile sterilizasyon çok etkilidir. Ozonlanmış su ile saf alkolden %30 daha fazla dezenfeksiyon sağlanabilir.

Ozonun en geniş çapta kullanıldığı sahalardan biri de, ikinci derecede veya biyolojik işlem görmüş atık suların dezenfeksiyonudur.

Büyük rezervuarlara veya içinde canlıların bulunduğu yerlere atılan atık sularda geniş çapta kullanılmaktadır. Klora nazaran ozonla yapılan dezenfeksiyonlarda ozon virüsleri klordan çok daha etkin şekilde ortadan kaldırır. Bu sularda yaşayan canlıların klordan zarar görmesinin aksine bir yandan da sudaki oksijeni zenginleştirdiğinden suların doğal dengesini korur ve diğer taraftan suyun rengini ve bulanıklığını gidererek kimyasal oksijen ihtiyacını da azaltır.

Klorlamada temas süresi olarak ortalama debilerde 30-120 dakika, pik debilerde 20-60 dakika alınmalıdır. En az 2 adet klor tankı yapılmalıdır. Klor temas tankında katı maddelerin çökmesinin önlenmesi için yatay akış hızı 2-4.5 m/dk olmalıdır. Reaktör içerisine şaşırtma duvarları ve perdeler ilave edilmesi durumunda perdeler üzerindeki açıklıkların toplam alanı, akımın geçtiği kesit alanının %6-10'u arasında değişmelidir.

Ozon, arıtma tesisinde ozon jeneratörleri ile üretilir ve temas tankları vasıtasıyla atık suya karıştırılır. Ozon reaktöre boru hattı üzerine döşenen statik karıştırıcılarla transfer edilir. Doğru tasarlanmış bir difüzörde ozon transfer verimi % 90'dır.

Elektromanyetik enerji, UV lambasından hücrelerin protein ve nükleik asitlerine (RNA-DNA) transfer edilir. UV ışını, organizma tarafından absorbe edilir. Organizmaya absorbe olan UV ışını, yansıma ile ölçülür. UV ışınının en önemli hedefi, DNA molekülüdür. DNA tarafından emilen ışığın hasar derecesi, UV ışınının dalga boyu ile ilgili olup en çok etki, 250-265 nm dalga boylarındadır. Bunun en elverişli değeri 254 nm dalga boyudur.

UV lambaları, atıksu ile temas eden ve etmeyen şekilde iki türdedir.

Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, arıtılmış atık suda bulunan bakteri, tek hücreli canlı (protozoa) ve virüslere olan etkisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2

Mikroorganizma tipi	Klorlama	Ozonlama	UV
Bakteri	Çok etkili	Çok etkili	Etkili
Protozoa	Etkisiz-az etkili	Etkili	Çok etkili
Virüs	Çok etkili	Çok etkili	Etkili

B3.7. Diğer konular

Hastane havalandırma raporu hazırlanmasının özellikle önemli olduğu, hastane bakım personeli ve ihale ile bu tesislerin bakımını yapan bakım firmalarının afet yönetimine dahil edilerek alınacak önlemlerin birlikte kararlaştırılmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

Etkin önlemler için yapılması gerekenlerden bazıları ise

- Ülkemiz genelinde kısıtlı sayıda hastanede yapılan "standartlara uygun" testler sonucunda, hepa filtreli olarak tabir edilen hijyenik havalandırmaya sahip olan işletmelerin havalandırma sistemlerinin, kurulum aşamasından itibaren doğru test yöntemleri ile test edilmediği ya da hiç test edilmediği,
- Tasarım aşamasından kurulum ve bu sistemlerin işletilmesine kadar görev almış teknik kadroların genel bilinçsizliği yüzünden sistemlerin gerekli iyileştirmeler yapılmadıkça ülke

genelinde en az %90'ının doğrulanamadığı,

- Hepa filtre olmasına rağmen hatalı kurulumdan dolayı sistemin ortamdaki partikül ve mikroorganizmaları seyrelteceği yerde ortamı daha çok kendisinin kontamine ettiği, gözlenmektedir.

Çözüm toplum sağlığımızla ilgili risklerle iyi mücadele edilmesi ve konuyla ilgili her sektörün üzerine düşen görevi tam olarak yerine getirmesidir.

B4. Test-Kabul ve Periyodik Kontroller

Bulaşıcı hastalıklar ve koronavirüsü türü hastalıkların hızlı yayıldığına dikkate alarak özellikle iklimlendirme tesisatıyla ilgili önlemlerin yaşamsal öneme sahip olduğunu belirtmek isteriz. Hastaneler, oteller, alışveriş merkezleri, okullar, iş merkezleri, büyük ofisler, uçaklar, trenler gibi genel ve büyük hacimli mahallerin iklimlendirme tesisatlarında uygun düzenlemeler ve ayrıca bunların bakım ve periyodik muayeneleri tekniğine uygun olarak yapılmalıdır.

Bu konuda hastaneler ve tüm sağlık merkezleri, ilgili kurum ve kuruluşlardan destek alarak gerekli iyileştirmeleri yapmalı; ayrıca hastanelerin bakım personeli ve ilgili bakım firmalarının elemanları uygulama konusunda eğitilmelidir.

B4.1. Test ve kontroller

Aralık 2008 tarihinde yayınlanan DIN 1946-4:2008-07 Standardına göre ameliyathane hijyenik havalandırma sistemlerinde Performans Doğrulaması EN 12599 temelinde gerçekleştirilir.

Sistem performansının belirlenmesi amacıyla yapılması gereken asgari testler aşağıda sıralanmıştır;

1. Oda başına besleme havası debisinin ölçülmesi,
2. Taze hava debisinin ölçülmesi, (olanaklıysa, oda başına)
3. Çekme havası debisinin ölçülmesi,
4. Odalar arası hava akış yönlerinin tespiti ve basınç farkının ölçülmesi,
5. Hava kanalları sızdırmazlık gerekliliklerinin kanıtlanması,
6. Hepa filtre sızdırmazlık testi ve sızdırmazlık testleri,
7. Sınıf 1 odalarda, asma tavan arasında odaya göre fazla hava basıncının oluşmadığının kanıtlanması, (oda kapısının açık olması halinde de şartlar korunmalıdır)

8. Hepa filtrelerin nominal çalışma debilerinde basınç kayıplarının ölçülmesi,
9. Oda içerisinde ses basınç seviyelerinin ölçülmesi,
10. Oda sıcaklığı ölçümü,
11. Bağıl nem ölçümü.

Yukarıda belirtilen ölçüm işlemleri aynı zamanda teknik kabul testlerinde yapılması gereken ölçme işlemlerini de kapsamaktadır. İlave olarak tesisin teknik kurulum gerekliliklerinin sağlanması, teknik kabul testlerinin yapılması ve sonuçların başarılı olması koşulu ile asgari olarak aşağıda belirtilen hijyenik kabul testleri yapılmalıdır;

Sınıf 1a ve 1b odalar için;

- Odalar arası hava akışının görselleştirilmesi, Sınıf 1a (Düşük türbülanslı hava veriş "TAV" sistemine sahip odalar için; 3,2x3,2 m laminatör alanı)
- TAV çıkışındaki hava akımı davranışının görselleştirilmesi,
- Ameliyat lambaları/uyduları altındaki hava akışı davranışının görselleştirilmesi,
- Korunmuş alandaki perdeleme etkisinin görselleştirilmesi,
- Türbülans derecesinin ölçülmesi (koruyucu etkinin belirlenmesine alternatif olarak yapılabilir) Besleme hava hızı, besleme hava sıcaklığı ve TAV çıkışı ile koruma alanı türbülans derecelerinin ölçümlerinden oluşur.
- Koruma derecesinin belirlenmesi (türbülans derecesinin ölçülmesine alternatif olarak yapılabilir)

Sınıf 1b (türbülanslı olarak havalandırılan) ve 3,2x3,2 m' den küçük boyutlu mevcut laminar flow ünitelerine sahip odalar için;

- Yeniden temizleme süresinin belirlenmesi

B4.2. Test periyotları

Teknik testler; en fazla 36 aylık süreyle asgari teknik kabul testleri kapsamı dahilinde periyodik olarak gerçekleştirilir.

Hijyenik testler; en fazla 12 aylık süreyle asgari hijyenik kabul testleri kapsamı dahilinde periyodik olarak gerçekleştirilir.

Tüm havalandırma sistemlerinin bakımı ve idamesi, enfeksiyon kontrolü açısından büyük önem taşır. Uygun izleme ve bakımı yapılmayan havalandırma sisteminde aksaklıklar meydana gelir. Gerekli pe-

riyodik bakım yapılmadığı takdirde havalandırma sistemleri patojen mikroorganizmalar için bir rezervuar haline gelebilir. Hastane içinde oluşturulan her tür özel havalandırma sisteminin bakımı teknik ekip tarafından düzenli olarak yapılmalı, filtreler değiştirilmeli, sıcaklık, nem ve akım kontrolü yapılmalıdır.

B5. Pozitif-Negatif Basınçlandırma Gereken Alanlar

Tablo 3 Oda Kullanım Özelliklerine Göre Açıklamalar, Gereksinimler ve Koruyucu Ölçüler (VDI 2167 Kısım 1, Ağustos 2007/Tablo 1)

B6. Bakteri ve Virüslere Karşı Ozon Çözümü

Virüs hastalıklarına karşı korunmada ozon kullanılabilir. Yukarıda B3.6 maddesinde pıssu dezenfeksiyonunda ozon kullanımı açıklanmıştır. Ancak; mekanik tesisatta kullanılan cihaz ve sistemlerde ozon kullanımı konusunda değişik görüşler ve karşıt görüşler söz konusudur;

Yeryüzünde insanların yaşadığı yerlerde bulunan ozon "Kötü Ozon" , atmosferin üst tabakalarında bulunan ozon ise "İyi Ozon" olarak tanımlanmaktadır.

Çevre şartları konusunda en çok referanslardan birisi EPA'dır (ABD Environmental Protection Agency), diğeri de California Eyaleti'nin çevre ile ilgili kurumları ve kararlarıdır. EPA Okullardaki İç hava Kalitesi konusunda da çok ciddi yayınlar yapmaktadır. Birçok uygulamada proje ve uygulama alanlarında referans alınan EPA vb. kurumlar, bilimsel olarak emin olmadıkları hiçbir şeyi tavsiye etmezler, onaylamazlar. California Eyaleti tüm dünyada çevre kuralları en sıkı olan yerlerden biridir.

Ozon jenaratörü olarak piyasada satılan, evlerde ve her yerde kullanılması tavsiye edilen, hijyen açısından neredeyse mucize cihaz olarak sunulan büyük küçük cihazlar vardır. Ama ne yukarıda bahsettiğimiz kurumlar (EPA vb.) bu cihazlara onay vermemekte ve kendi sitelerinde geniş olarak detaylarıyla ne olduğunu anlatmaktadırlar. Bu tür cihazlar evlerde ve ofislerde kullanılmamalıdır.

İncelenen değişik literatürlerde ozon kullanımı konusunda elde ettiğimiz bazı bilgiler aşağıda kısaca özetlenmiştir;

Tablo 3. Oda Kullanım Özelliklerine Göre Açıklamalar, Gereksinimler ve Koruyucu Ölçüler (VDI 2167 Kısım 1, Ağustos 2007/Tablo 1)

Odanın kullanımı	Açıklamalar / Gereksinimler	Koruyucu ölçüler
Steril bakım (koruma odaları)	Steril koruma odaları immün sistemi düşük olan hastaların korunması için kullanılır (örneğin kemik iliği nakli öncesi ve sonrası). Hava kaynaklı mantarlar ve sporlar başlıca risk oluştururlar Bu sebeple risklerin düşürülmesi amacıyla terminal HEPA filtrelerin (H13) kullanımı kayda değer bir fayda sağlamaktadır. Kemik nakli yapılan hastaların diğer organ (kalp, böbrek, akciğer, karaciğer) nakli yapılan hastalara oranla enfeksiyon kapma riski daha yüksektir.	Pozitif basınç dış hava miktarı >100 m ³ / (h.kişi) H13 terminal filtre
Tam steril koridor (OP. odası ile bağlantılı)	Saklanan materyallerde dolaylı kontaminasyonu önlemek amacıyla ortam havasındaki mikroorganizma yükü azaltılmalıdır. Ekipman masaları daima cerrahi koşullara hazırlıklı olmalıdır.	Pozitif basınç dış hava miktarı >100 m ³ / (h.kişi) H13 terminal filtre tek yönlü olmayan akış yeterli
Steril depo (OP Odası ile bağlantılı olmayan)	Saklanan materyallerde dolaylı kontaminasyonu önlemek amacıyla ortam havasındaki mikroorganizma yükü azaltılmalıdır Ekipman masaları daima cerrahi koşullara hazırlıklı olmalıdır	Pozitif basınç dış hava miktarı >100 m ³ / (h.kişi) F9 terminal filtre tek yönlü olmayan akış yeterli
Anjiyografi, kalp kateter laboratuvarı, ikinci derecede yabancı madde girişi yapılan cerrahi anjiyografi	Güvenlik nedeniyle, koroner stentleri, TIPIler ve endo-aort gibi protezlerin takıldığı, implantların yapıldığı anjiyografi odaları ve kalp kateter laboratuvarlarında implant kullanılmayan bölümlerden daha yüksek bir hava kullanılacaktır. Cerrahi anjiyografi yakın gelecekte daha büyük bir önem kazanacaktır. Özellikle, yabancı maddelerin vücut içine implant edilme olasılığının daha da artması tahmin edilmektedir. Kural olarak vücuda implant edilen bu yabancı maddeler tekrar vücut dışına çıkarılmaz. Bu durumda enfeksiyondan korunma çok büyük önem taşır. Hastanın derisi ve hava ile taşınan mikroorganizmalar enfeksiyonun kaynaklarıdır.	Pozitif basınç dış hava miktarı >100 m ³ / (h.kişi) F9 terminal filtre tek yönlü olmayan akış yeterli
Organ nakli alıcıları için ameliyat sonrası odaları	Hastanın korunması yüksek derecede önceliklidir. Bu odalardaki hava aspergillus sporları azlığı bakımından olabildiğince uygun olacaktır. Oda çevreye öre pozitif basınçta tutulur. Pasif bir hava kilidinden giriş tavsiye edilir. Özellikle hastanenin inşaatı sırasında bunu hedeflemenin önemi büyüktür. Bununla beraber, günlük servis sırasında bile, havadaki aspergillus derişiminin mevsimsel değişimleri nedeniyle mikroorganizmalardan korunmuş bir alan gerekmektedir.	Pozitif basınç dış hava miktarı >100 m ³ / (h.kişi) F9 terminal filtre
Yoğun bakım üniteleri (yenidoğan dahil)	Odada enfeksiyon taşıyan hastanın bulunması durumunda aerosol ya da ara sıra da damlacıkların bulaşması riskini hariç tutarsak, yoğun bakım ünitelerinde hava ile enfeksiyon kapma riski düşüktür. Burada tüberküloz ve varicella örneğini verebiliriz. Bu durumdaki hastaların yoğun bakım alanlarında karantinaya alınması önerilir.	Pozitif basınç F9 terminal filtre özel koruma durumunda H13
Enfeksiyon hastaları için izolasyon odası (tüberküloz, varicella vb.)	Diğer hastalar ve personelin korunması yüksek derecede önceliklidir. Mikrobiyal açıdan kirlenmiş olan hava diğer odalara yada hastane havalandırma sistemine karışmamalıdır (negatif basınç). Oda havası hızla mikroorganizma konsantrasyonunu düşürebilecek etkinlikte olmalıdır	Negatif basınç H13 çekme havası filtresi F9 resirkülasyon filtresi
Yüksek aktiviteli ilaçlar için nefes alma odaları	Personelin korunması yüksek derecede önceliklidir. Nadiren kullanılırlar (özel klinikler). Tüberküloz bakterisinin serbest olarak ortamda bulunabileceği durumlardır.	Negatif basınç Yönlü akış

Odanın kullanımı	Açıklamalar / Gereksinimler	Koruyucu ölçüler
Hasta odaları	Normal hasta odaları doğal havalandırma ya da ısı gen kazanımlı mekanik havalandırma sistemleri ile havalandırılabilir. (Psikiyatri kliniğinde ve özel sigara alanlarında sigara içilebileceği göz ardı edilmemelidir.) Taze hava gereksinimi Genel odalarda (sigarasız) Sigara alanlarında Psikiyatri	36 m ³ /(h.kişi) 72 m ³ /(h.kişi) 72 m ³ /(h.kişi)
İkmal müdahale, dermatoloji, yaralanma vb. acil müdahaleler için	Enfeksiyon tehlikesi oldukça azdır. Havalandırma ile ilgili arttırılmış bir talep ile karşılaşılmaz. Odaların müdahale odası ya da ameliyat odası olarak sınıflandırması müdahalenin tipine bağlıdır.	
Acil işlem	Acil birimlerinde muayene odaları ve günlük odalar için arttırılmış havalandırma talepleriyle karşılaşılmaz. Küçük cerrahi müdahaleler yapılmak üzere kullanılacak odalar bunlardan hariçtir. Aktif pulmoner (akciğer) tüberkülozlu ya da hava ile bulaşmaya neden olacak diğer enfeksiyon taşıyan hastalar bu gibi acil birimlerinde çok seyrek görülmeyeceğinden bir kapı yardımıyla acilden izole edilebilecek bir oda, yeni ve modifiye edilen acil bölümlerine konulmalıdır. Bu oda izolasyon odalarındaki gibi havalandırılmalıdır.	
Gözlem odası Toparlanma odası	Bu odaların havalandırma sistemleri hastane hijyeni açısından yüksek gerekliliklere ihtiyaç göstermez. Yüksek oranda anestezi gazı solunması durumunda taze hava miktarı.	150 m ³ /(h.yatak)
Doğum odaları	Normal doğum yaptırılan odalar için normal bir havalandırma sistemi yeterlidir. Doğum esnasında oluşabilecek kötü kokuların yayılmaması açısından negatif basınç sağlanmalıdır. Ancak sezaryen ameliyatı yapılan doğum ameliyathaneleri Sınıf 1b operasyon odalarının performans özelliklerine sahip olmalıdır.	Negatif basınçlı havalandırma

- Ozonun sadece biyolojik ajanlara ilgisi olduğunu varsaymak yanlış olur. Ozon çok aktif bir oksitleyicidir, yaşam hacimlerimizde kullanılan malzemelerle de ilişkiye geçerek insan sağlığına zararlı yeni bileşenlerin oluşmasına sebep olabilir. Bu reaksiyonlar sonucunda çevreye de zarar vermektedir.
- Ozon çok aktif bir gaz ve temas ettiği hemen herşey ile reaksiyona girmekte ve İnsanlara sorun yaratmayacak kadar düşük konsantrasyonda ozon virüsleri öldürmez, virüsü öldürecek konsantrasyondaki ozon da insana çok zarar verir.
- Konsantrasyon EPA'nın verdiği sınırların üzerine çıkarsa en başta insanlar olmak üzere, hayvanlar, bitkiler dahil her şey için zararlı olmakta, yaşam hacimlerindeki hemen herşey ile de reaksiyona girerek zararlı ürünler ortaya çıkarmaktadır.

Zorunlu halde ozonun en az riskle kullanılabilceği tek tesisat şekli %100 taze havalı sistemde dışarıya atılan havanın ozonla dezenfekte edilmesidir.

Bu yol seçildiği takdirde:

- Dışarıya atılan havanın ulaşacağı yerler iyi etüd edilmelidir. Hava ile birlikte çevreye atılacak ozonun insanlar, hayvanlar, bitkiler dahil hiçbir canlıya ve cansıza zarar vermemesi sağlanmalıdır. En azından insanların ve hayvanların dolaştığı yerler olmamalıdır.
- Binaya basılan taze havanın, egzoz çıkışından çok uzaktan bir yerden alınması, böylelikle binaya ozon basılmayacağından emin olunması gerekir.
- Egzoz kanalında ozon konsantrasyonunun olması gerektiği için de iyi bir çalışma yapılmalıdır.

Gece vakti yüksek debide egzoz havasında ozonun kullanıldığı %100 taze havalı bir operasyon yaşam hacimlerinde, varsa virüs konsantrasyonu ciddi olarak düşürebilir.

Ancak havalandırma verimi burada etkili olabilir. Eğer taze hava iyi dağıtılmamışsa, kirli, kontamine olmuş havanın da temizlenmesi tam olarak iyi olmayacaktır. Çevreye zarar vermemek koşuluyla gündüz de bu operasyona devam edilebilir.

C. HASTANE KLİMA SİSTEMLERİNDE ALINACAK DİĞER ÖNLEMLER

- Yoğun bakımlar, ameliyathaneler, müdahale odaları, hasta gözetim ve personel dinlenme odaları vb. hijyenik bölgelerde kullanılan klima santralleri başka mekanlar için kullanılmalıdır.
- % 100 taze havalı hijyenik klima santrallerinde mevcut frekans kontrollü vantilatör ve aspiratörlerde elektrik rölelerinin müsaade ettiği sınırlarda kalmak koşuluyla motor hız kontrolü yapılarak aspirasyon havası artırılarak ortamda negatif basınç oluşturulmalıdır. Bu uygulama otomasyon sistemi ile yapılmalıdır. Bu bölgelerdeki kapalı hasta gözetim ve personel dinlenme odalarında pozitif basınç yaratmak için emiş menfezleri manuel olarak kısımlıdır. Otomasyon sisteminin çalıştırılmadığı durumlarda vantilasyon damperi kısıp taze hava azaltılarak ortamda negatif basınç oluşturulabilir.
- Karışım havalı hijyenik klima santrallerindeki by pass damperi %100 kapatılmalıdır. Damperin sızdırmazlığını sağlamak için damper önüne PVC benzeri levha konulabilir. Diğer hususlar % 100 taze havalı hijyenik klima santrallerindeki gibidir.
- Enfeksiyon riski olan Hasta yatak odalarında, koridorlarda ve hollerde acil ve poliklinik muayene odalarında, test laboratuvarlarında taze hava miktarları emiş havasını geçmemelidir. Böylece negatif basınç oluşturulabilir. Enfeksiyondan korunması gerekli olan personel ofis ve dinlenme odalarında vb. emiş menfezi kısılarak pozitif basınç oluşturulur.

Emiş havasındaki virüslerin çevreye bulaşmaması için fiziki duruma uygun önlemler alınmalıdır. Zorunlu hallerde atış ağızlarına HEPA filtre konulmalıdır. Ayrıca taze hava ve emiş havasının karışmadığından emin olmak gereklidir. Bu bölgelerdeki canlı hareketini önleyecek önlemler alınmalıdır

D. ÇALIŞANLARININ KORUNMASI

Standart yoğun bakım odaları direnci çok düşük ancak enfekte olmamış hastaların kullanımı için pozitif basınçlı olarak tasarlanırlar. Enfekte olmuş hastaların kullanacağı izole odalarını ve izole yoğun bakım odaları negatif basınçta tutularak öncelikle sağlık çalışanlarının hayatı güvence altına alınabilir, sonrasında kontamine olmuş uçucuların hastanelerin diğer genel hacimlerine transfer olmasının

önüne geçilebilir.

Ayrıca odaları negatif basınçta tutmak için doğrudan dışarı atmamız gereken kirli havayı çok yüksek verimli filtrelerden geçirerek (HEPA Filtreler) havanın dışarı atıldığı bölgelere yakın çevredeki insanları da koruma altına almamız mümkündür.

Yeni yapılan şehir hastanelerimizde de oda sayısının ancak % 2 kadarı izolasyon odası olarak % 15-20 arası ise POZİTİF yoğun bakım odası olarak tasarlanmaktadır. Covid 19 gibi yaygın bir virüs tehdidi ile karşılaşıldığında hastanelerdeki negatif basınçlı izole odaların çok yetersiz kalacağı aşikârdır. Ayrıca pozitif basınçlı yoğun bakım odalarında enfekte olmuş hastaların bakımının yapılması çok sakıncalıdır.

Ülkemizde pozitif basınçlı yoğun bakım oda sayısının 40.000 civarında olduğunu tahmin etmekteyiz.

Yetkililerin açıklamalarına göre Covid 19 nedeniyle yüzde 63'ü enfekte olan hastalar ve diğer şikâyeti olan hastalar tarafından kullanılmaktadır.

Bu hastalığın yayılma hızı dikkate alındığında 10-15 gün içinde mevcut yoğun bakım odaları çok büyük bir olasılıkla dolacaktır.

Tesisat işletme ve bakım ekipleri de enfeksiyona karşı koruyucu önlemler alınmadan klima cihazlarına ve diğer cihazlara yaklaştırılmamalı ve korunmalıdır.

D1. Acil Önlemler

Toplumu yaygın olarak tehdit eden bu tip virüslere karşı mücadele edebilmek için sağlık merkezlerinde acil olarak aşağıdaki önlemleri almamız gerekmektedir;

D1.1. Kullanımda olan hastaneler ve şehir hastanelerinde alınacak acil önlemler

1. Mevcut hastanelerimizde pozitif basınçlı olarak tesis edilmiş olan yoğun bakım ünitelerinin bir kısmı çok acil olarak klima sistemlerinde alınacak önlemler ile negatif basınçta çalışır hale getirilerek virüs nedeniyle enfekte olmuş hastalara hizmet verilecek hale getirmek mümkündür.
2. Hastanelerde negatif basınçlı oda sayısı ve izole odaların sayısı çok kısıtlı olduğu için yoğun bakım odası dışındaki standart hasta odalarının da çok acil olarak negatif basınçlı odalar haline dönüştürülmesi gerekmektedir.

3. Mevcut hastanelerin standart odaları, klima sistemlerinde alınacak önlemlerle en kısa zamanda negatif basınçlı yoğun bakım odalarına dönüştürmek mümkündür.
4. Mevcut bina tesisatlarında kış şartlarında %100 taze havaya göre ısıtma kapasitelerinin yetmemesi durumunda, ısıtıcı cihazlarının büyütülmesi gerekir. Isıtma kapasitesini artırma imkanı yoksa, üfleme havası hepa filtrelerden geçirilmeli, hepa filtrenin direncini yenmesi için vantilatörde tadilat yapılmalı veya vantilatörler değiştirilmelidir.

D1.2. Kullanım dışı olan hastanelerde alınacak önlemler

Özellikle Şehir Hastaneleri nedeniyle boşa çıkan hastanelerin bazıları bu yöntem ile çok hızlı şekilde karantina hastanelerine dönüştürülmelidir. Buradaki hasta odaları standartlara uygun negatif basınçlı yoğun bakım odaları veya izole odalar olarak yeniden revize edilmelidir. Bu binaların kullanıma uygunluğunun, tesisatlarının ve cihazlarının gerekli şartları sağladığının değerlendirilmesi ilgili uzmanlar tarafından yapılmalıdır.

D1.3. Mevcut diğer binaların hastaneye dönüştürülmesi

Oteller, AVM'ler, plazalar, okullar, spor salonları, vb.. yapıların çoğu pandemiye uygun hastaneler haline getirilebilir. Bu binalarda kullanılan klima santralleri yukarıdaki maddelerde belirtilen şartlara göre revize edilerek kullanılabilirler.

Yaygın olarak kullanılan roof top klima cihazları ise büyük oranda iç havayı geri çevirerek kullandığından bu cihazların olduğu yapılar pandemi hastanesi olarak kullanıma uygun olmayacaktır.

D1.4. Genel olarak

Pandemi amaçlı kullanılacak hastane ve sağlık merkezleri başka amaçlarla kullanılmamalıdır. Küçük hastaneler tercih edilmelidir. Büyük hastaneler içinde pandemi merkezleri oluşturulacaksa tamamen bağımsız bölümler tercih edilmelidir.

Yeni yapılacak hastanelerden bazıları küçük kapasiteli özel karantina hastaneleri olarak düşünülmelidir.

Yukarıda açıklanan önlemler için özellikle şehir hastaneleri yapımında uzmanlaşan firmalar devlet otoritesi tarafından özendirilmelidir.

E. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yukarıda önerdiğimiz tamamı enfeksiyonlarla mücadeleye yönelik 100-150 yataklı karantina hastanelerinin bilgi ve işletme birikimi ile özel tıbbi giysi ve donanıma sahip olması da önemlidir.

Bu hastaneler olağan zamanlarda normal hastane hizmeti verebilirler, ihtiyaç halinde, hızlı bir şekilde iklimlendirme ve atık su tesisatında düzenlemeler yapılarak karantina hastaneleri haline dönüştürülmesi mümkündür.

Önerdiğimiz bu tip hastanelerin oluşturulması ve sayısının artırılması gerekmektedir.

Sağlık Bakanlığı acilen ilgili uzmanlarla bir araya gelerek mevcut hastanelerin, karantina (enfeksiyonla mücadele merkezi) hastanelerine dönüştürülmesine yönelik projelere başlamalıdır.

Şimdi ve gelecekte tekrar küresel bulaşıcı hastalık olması durumunda büyük şehirlerde her ilçeye, ve diğer şehirlere 200 yataklı izole hastaneler yapılmalıdır. Bu hastaneler normal zamanlarda normal hastane işlevi görebilirler fakat küresel ve ülkesel bir salgın durumunda izole ya da karantina hastane şekline dönüştürülecek şekilde düşünülmelidir.

Diğer taraftan koronavirüsünün hızlı yayıldığını dikkate alarak özellikle iklimlendirme tesisatıyla ilgili önlemlerin yaşamsal öneme sahip olduğunu belirtmek isteriz. Hastaneler, oteller, alışveriş merkezleri, okullar, iş merkezleri, büyük ofisler, uçaklar, trenler gibi genel ve büyük hacimli mahallerin iklimlendirme tesisatlarında uygun düzenlemeler ve ayrıca bunların bakım ve periyodik muayeneleri tekniğine uygun olarak yapılmalıdır.

Bu konuda hastaneler ve tüm sağlık merkezleri, ilgili kurum ve kuruluşlardan destek alarak gerekli iyileştirmeleri yapmalı; ayrıca hastanelerin bakım personeli ve ilgili bakım firmalarının elemanları uygulama konusunda eğitilmelidir.

Yapı üretim sürecinde yer alan Mühendis ve kişilerin yeterli bilgi ve beceriye sahip olması, Odalarınca ve/ veya akredite kuruluşlarca belgelendirilmesi ve sicillerinin tutulması gerekir.

Kamu kurum ve kuruluşlarının İlgili meslek odaları, meslek örgütleri ve STK'lar ile birlikte hastanelerin yapım kriterlerine uygun olarak proje, uygulama, işletme ve bakım konularında birlikte çalışması gerekmektedir.

TMMOB ve MMO bu konularda ve hastanelerin, bütün tesislerin ve araçların hijyenik sistemleri için görev almaya ve teknik destek vermeye hazırdır.

AÇIKLAMALAR

- (*1) Suş: Bir bakteri veya virüsün farklı alt türlerinin, aralarında genetik farklılıklar bulunan gruplar,
- (*2) Enfeksiyon: Zararlı mikroorganizmaların vücutta yayılma süreci,
- (*3) Semptom: Belirti,
- (*4) Mikroorganizma: Gözle görülemeyen canlı virüs, bakteri, mantar, vb.,
- (*5) Dezenfeksiyon: Bir maddenin veya materyalin içerdiği mikroorganizmalardan enfeksiyon oluşturabilecekleri uzaklaştırma işlemi,
- (*6) İnvaziv: Girişimsel, Bir mikroorganizmanın bir konağa girme, orada gelişebilme ve konağın vücudunda yayılarak üreme yeteneği, (Tıp'ta müdahale derinliği)
- (*7) Partikül: 0,1-5 mm'ye kadar boyut aralığındaki katı veya sıvı cisimler,
- (*8) Septik: Mikrop içeren ortam,
- (*9) Kontaminasyon: İstenmeyen zararlı maddelerin ve mikroorganizmaların herhangi bir yolla doğrudan ya da çapraz bulaşması, kirlilik

Yeterlilik: Herhangi bir ekipmanın doğru çalıştığı ve istenen sonuçları sağladığını teyit etmek için yapılan çalışmalar,

Validasyon: Herhangi bir prosedür ekipman sistem ve faaliyetin beklenen sonuçları verdiğini belli prensiplere göre kanıtlama,

Temiz alan: Partiküller ve mikrobiyal açıdan belirli şekilde bulaşması kontrol altında tutulan içerisinde bulaştırıcıların oluşması birikmesi ve dışarıdan o alana girişleri azaltacak şekilde inşa edilen kullanılan alanlar,

Sterilizasyon: Bir maddenin üzerinde veya içinde bulunan tüm mikroorganizmaları temizleme işlemine,

Pozitif basınç: Çevre ortamlardan iç ortama hava kaçacağını önlemek amacıyla iç ortam basıncının komşu hacimlere göre yüksek tutulması,

Negatif basınç: İç ortamdan çevre ortamlara hava kaçacağını önlemek amacıyla iç ortam basıncının komşu ha-

cimlere göre düşük tutulması,

Filtre: Katı partikül taneciklerini tutarak havayı temizleyen değişik malzemelerden yapılabilen elemanlara,

Hepa Filtre: Tutma verimi %99.95 veya daha yüksek 0,3 mikrondan büyük partikülleri süzen bir filtre,

Partikül konsantrasyonu: Havada birim hacimde bulunan partikül sayısı,

Tek yönlü hava akımı: Bir temiz bölgenin sabit hızda yaklaşık olarak paralel çizgiler halinde hareket eden kontrollü hava hareketi.

TEŞEKKÜR

Yunus Yener, Tevfik Peker, Macit Toksoy, Mustafa Bilge, Yılmaz Yıldırım, Coşkun Özbaş ve DEMAKD'lı Makina Mühendislerine (Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademileri Kültür Derneği) katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] TMMOB, Hastane ve Klinikler HVAC Tasarım Kılavuzu.
- [2] TMMOB, Hastane İklimlendirme Tesisatı ve Denetim Esasları.
- [3] Çeşitli Kaynaklar (WHO vb.)
- [4] Serdar Sağlamtunç (Coronavirüs)
- [5] SUMAE (Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü) - Yunus Araştırma Bülteni 9:2, Haziran 2009.
- [6] Çevre ve Orman Bakanlığı, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20.03.2010/27517 R.G.
- [7] EPA (ABD Environmental Protection Agency) ve California Eyaleti Çevre Dökümanları.
- [8] TMMOB ve MMO Duyuru ve Açıklamaları.

DÜNYANIN EN BÜYÜK HAVALİMANI PROJESİNİN YANGIN KORUNUMUNDA NORM TEKNİK İMZASI

İSTANBUL YENİ HAVALİMANI

NORM[®]
TEKNİK
Yangın Korunum Sistemleri

Norm Teknik A.Ş.

☎ 0 216 311 40 41

✉ norm@normteknik.com.tr

🌐 www.normteknik.com.tr



tmmob
makina mühendisleri odası
istanbul şubesi

Mekanik Tesisatta Dijital Dönüşüm Etkinliği ve Sanal Sergi

28-30 Mayıs 2020

İletişim

Özgür Aksu
ozgur.aksu@mno.org.tr



Katkıda Bulunan Sektör Dernekleri



Firmalar



Teknoloji Sağlayıcı



TMMOB MMO İstanbul Şubesi
makina.mmo.org.tr | istanbul@mno.org.tr

f / MMOistanbulsb • t / MMOistanbulsb
in / company/MMOistanbulsb • © / MMOistanbulsb