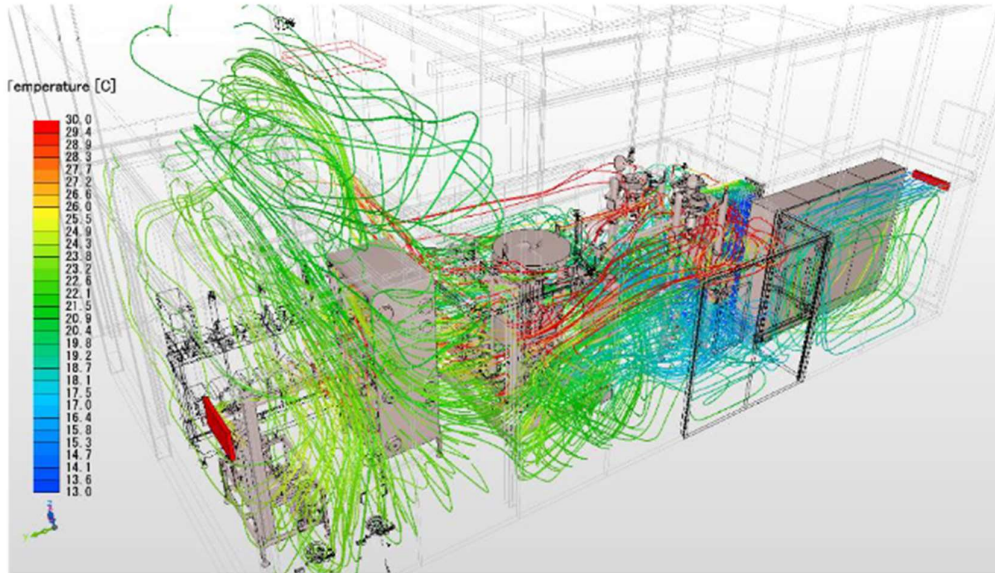


ODA HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN OPTİMİZASYONU

PREPARED BY	EDITED\CHECKED BY
DATADVANCE	M. Ahmet Kozanoğlu Lider CFD Mühendisi

Giriş

Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemleri günümüzde birçok alanda rutin olarak kullanılan ancak önemli bir teknolojidir. HVAC sisteminin amacı kirli veya aşırı ısınmış havayı dışarı atarken odaya temiz hava sağlamaktır. Sistemin amacı, odadaki insanlar veya ekipman için kabul edilebilir ortam sıcaklığı sağlamak veya gerekli düzeyde hava temizliği sağlamak olabilir (örneğin, oda içerisinde birim hacme düşen kirli hava zerreciği miktarını azaltmak).



Şekil 1 Isı yayılımı yapan makinelerle dolu bir odanın içindeki sıcaklık dağılımı.

Temiz oda mühendisliği endüstrisi, mikro sistemlerin (havadaki parçacıklara duyarlı) üretimi, nükleer endüstrideki radyoaktif atıkların yönetimi ve sağlık sektöründe enfeksiyon tehdidinin kontrolü gibi birçok temel alanı ele almaktadır. Son zamanlarda, temiz odalar konusu, COVID nedeniyle yaşanan mevcut sağlık kriziyle daha da önemli bir hale geldi; bu süreçte hastanelerdeki kontaminasyon tehdidini yönetmek için hastane odalarındaki viral yükün azaltılması temel hedeflerden biridir.

Zorluklar

Özellikle son ISO 14644-16 standardı (2019) ile temiz odalara yönelik HVAC sistemlerinin tasarlanmasında yüksek enerji verimliliği giderek daha önemli hale geldi. Buradaki zorluk, düşük enerji tüketimi aralıklarında kalarak belirlenen havalandırma kalitesi seviyesine ulaşmaktır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, hesaplama akışkanlar dinamiği analizleri havalandırma sistemine sahip odadaki akışı modellemek ve görselleştirmek için önemli bir araçtır.

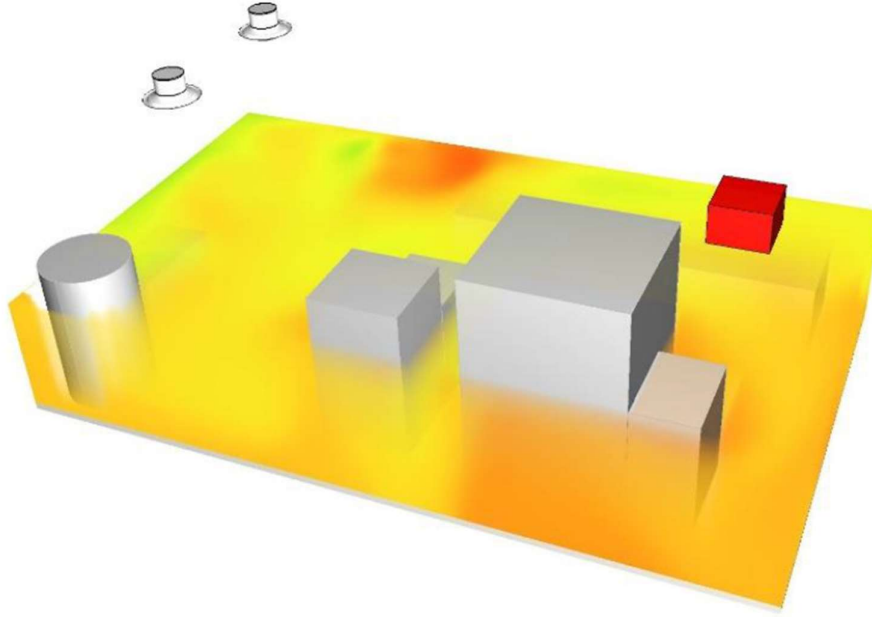
ISO 14644-16 standardında da açıklandığı üzere amaç, temiz odaların gereğinden fazla büyütülmesinin önüne geçmektir. Bir odanın içinde, her yerde düşük düzeyde toz olmasını istemek yerine, farklı düzeyde toz bulunan alanlara sahip olmak etkili olabilir. Bu tip bir optimizasyon üfleme veya soğutma gerçekleştiren parçalarda büyük bir fayda sağlayacaktır. Bunu sağlamak için, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) ile birlikte akış alanı ve akışın ulaştığı lokasyonların tahmini rahat bir şekilde yapılabilmektedir. Böylece ucuz ve basit bir şekilde oda içerisindeki kirlenme seviyesi tespiti doğru bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Çeşitli pratik hedefleri kapsayan çok sayıda senaryo incelenebilir:

- Hava yönlendirme sisteminin kurulumu
- Ekipman ömrü
- Ürünün bakımı sırasında oda içerisinde oluşabilecek kirlenme riskleri, kirlenme veya ısı kaynağında ölçüm
- İş istasyonları arasındaki hava transferlerinin azaltılması, besleme/egzoz akış hızlarının ayarlanması
- Oda sakinlerinin şikayetlerine ilişkin çalışma
- Beklenmeyen akış azalması durumunda ventilasyon toparlanma süresinin doğrulanması
- Giriş ve çıkış konumlarının optimizasyonu (otomatik optimum arama).

Amaç

Bu çalışma, süreç otomasyonu ve optimizasyon algoritması ile birlikte sayısal simülasyonların uygulanmasının verimli HVAC sistemlerinin tasarımını nasıl hızlandırabileceğini göstermektedir. Farklı boyut ve şekillerde katı nesnelerle (engellerle) dolu bir oda bu çalışma kapsamında incelenecektir. Geometrinin ve analiz sürecinin basitleştirilmesi adına oda içerisinde bulunan nesneler basit şekillere sahiptir. (kareler ve silindirler, bkz. Şekil 2). Odaya hava sağlamak için tavana iki havalandırma girişi (giriş1 ve giriş2) yerleştirilmiştir. Bir adet çıkış bölgesi (tavanda) odadaki havayı dışarı atar. İki giriş ve çıkışın konumları, havanın hareketini mekanik olarak başlatan bir basınç gradyanı oluşturur (mekanik havalandırma). Amaç, havalandırma verimliliğini en üst düzeye çıkaracak şekilde giriş ve çıkışların konumunu bulmaktır. Havalandırma kurulumunun verimliliğini değerlendirmek için etki alanına gelen hava moleküllerinin ilgilenilen noktaya gitmesi için geçen ortalama süreyi çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2 Çalışmanın CFD modeli. İki giriş beyaz, çıkış ise kırmızıdır. Engeller (işçiler, cihazlar, makineler) gri renktedir.

Optimizasyon Süreci

İki giriş ve çıkış konumu bir düzlemlle sınırlandırılmıştır (xy düzlemi, z ekseni dikey yöndedir. Tavan $z=cste$ ile tanımlanır). Toplamda $(2+1) \times 2 = 6$ değişkenimiz var. Çakışmaları önlemek için, iki giriş arasına analitik (ikinci dereceden) bir kısıtlama biçiminde minimum mesafe uygulanmıştır:

$$d(inlet1 \rightarrow inlet2)^2 > d_{min}^2$$

Havalandırma verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için iki girişin doğal olarak çıkıştan uzaklaşacağı düşünülmektedir, dolayısıyla giriş ve çıkış arasındaki mesafeye herhangi bir kısıtlama getirilmemiştir.

Ayrıca simetri koşulları nedeniyle, doğrusal bir kısıtlama uygulanmıştır:

$$x_{inlet1} < x_{inlet2}$$

Özetlemek gerekirse, optimizasyon problemi şunları içerir:

- 6 değişken
- 1 adet hedef (amaç maksimum hale getirme)
- 2 adet kısıtlama

HAD analizi ile problem çözümü gerçekleştirileceği için amaç aynı anda giriş ve çıkışların hemen hemen tüm olası konumları için küresel bir optimum çözüm elde etmektir. Dolayısıyla bu optimizasyon durumu, surrogate model-based optimization algoritması (SBO) tekniği için çok uygundur.

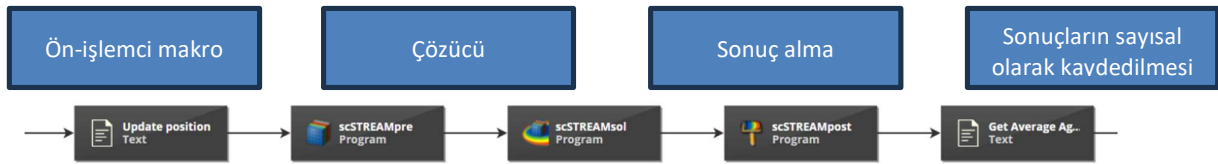
Çözüm

CFD simülasyonunun ve son işlemcinin otomasyonu

Hava akışı sabit ve sıkıştırılmaz olarak modellenmiştir. Yüksek seviyede Reynolds sayısı olduğu için, akış türbülans özelliklerinin çözümünde Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) türbülans modeli kullanılmıştır. Simülasyon, Hexagon MI D&E firmasının ticari bir CFD simülasyon aracı olan scSTREAM™ ile gerçekleştirilir. Otomatikleştirilecek simülasyon adımları herhangi bir CFD yazılımı için benzerdir:

- Ön-işlemci: Havalandırma konfigürasyonunu değiştirme, giriş ve çıkışların yeni konumlarıyla ağı yeniden oluşturma
- Çözücü: Analizi çözme ve çıktıların görüntülenmesi
- Son-işlemci: Sonuçları sayısal ve görsel olarak görüntüleme

scSTREAM™ yazılımının pSeven içerisinde yapılmış iş akışı:



Şekil 3 scSTREAM™'in pSeven'e entegrasyonu.

6 değişkenden oluşan bir dizi alınır ve havalandırma verimliliğinin ölçüsünü çıkartır (en üst düzeye çıkarmak istediğimiz amaç budur). scSTREAM™ arayüzü (hem ön hem de işlem sonrası), scSTREAM™ Virtual Basic API'sini temel alır. pSeven metin bloğu, geometriyi oluşturan .vbs betiğinin yeni bir 6 değişken kümesiyle güncellenmesine olanak tanır. Daha sonra pSeven metin bloğunun başka bir örneği, simülasyon sonuçlarına göre havalandırma verimliliğini hesaplayan .vbs betiği tarafından oluşturulan çıktı dosyasını okur.

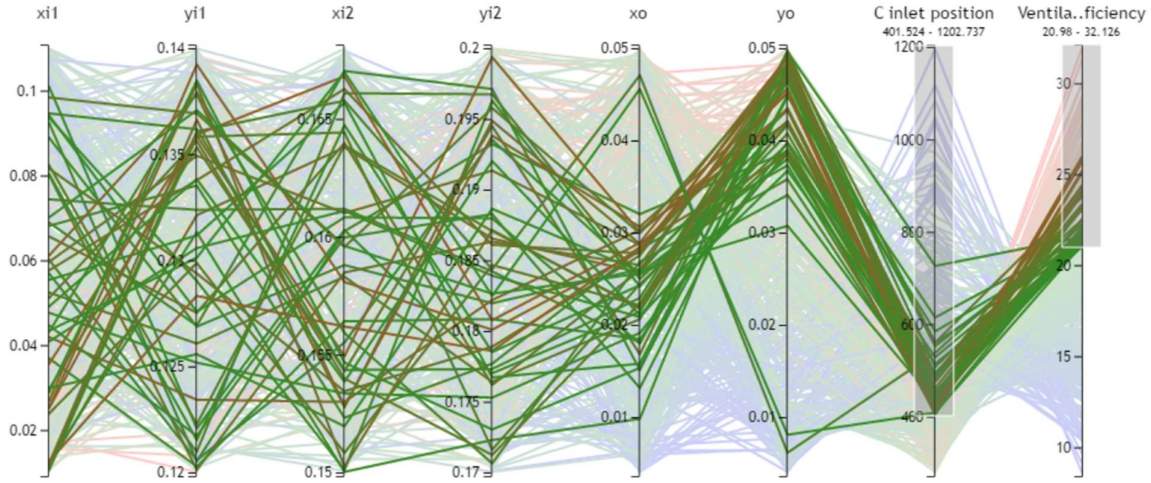


Şekil 4 pSeven'da üst blok optimizasyon iş akışı

Bu entegrasyon iş akışı, pSeven iş akışının üst bloğunda tasarım alanı araştırma bloğuna (DSE) bağlanan tek bir CFD bloğu (pSeven'deki Bileşik bloğun bir örneği) içine eklenmiştir. Optimizasyon problemi tamamen DSE bloğunda tanımlanmıştır (değişkenlerin sınırları, kısıtlamalar ve amaç). İki giriş arasındaki mesafe sınırlamasının ayrı ayrı hesaplandığı C giriş konumu izole bloğu ile girilmiştir. Optimize edici bloğu, bu ikinci dereceden kısıtlamayı dahili olarak önceden geri yüklemek için bu özelliği kullanır ve optimizasyon süreci boyunca kısıtlamayı verimli bir şekilde karşılamak için bundan yararlanır. Bu özellik, tasarım alanında iki girişin çakıştığı ve modelin doğru olmadığı alanlarda anlamsız değerlendirmelerden tasarruf edilmesinin anahtarıdır.

Sonuç

Bu çalışma, pSeven'in ticari bir CFD aracıyla kombinasyonunun, karmaşık bir sürecin hızlı ve kapsamlı dengeleme analizine olanak sağladığını göstermektedir. Toplu yürütme, süreç otomasyonu, maksimize etme hedefinin yinelenmeli öğrenimi, manuel bir süreçle karşılaştırıldığında tasarım süresini büyük ölçüde azaltmaya olanak tanır. Dahası, tasarım seçeneklerinin sistematik olarak araştırılması ek değerli bilgiler sağlar.



Şekil 5 Optimizasyon sürecinde değerlendirilen tasarımların gösterimi.

Kullanıcı dostu görselleştirme araçları kullanılarak veri analizi ve görselleştirme büyük ölçüde geliştirilmiştir. Bu tür araçlar, işlem sonrası aşamada faydalıdır: Örneğin, Şekil 5 her tasarımın (parametre kümesi ve karşılık gelen yanıtlar) görselleştirilmesi için paralel bir grafiği göstermektedir. Bu tür bir çizim, tasarımların çapraz seçimine olanak tanır. Girişler arasındaki mesafeye (C giriş konumu) minimum bir değer uygularsak Havalandırma verimliliğinin düştüğünü görüyoruz.

SBO algoritmasının akıllı tasarım noktaları seçimi, mevcut CPU çekirdeklerinin ve CFD yazılımı lisanslarının verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Optimizasyon sürecinin otomasyonu sayesinde, büyük miktarda mühendislik zamanından tasarruf edilir ve kapsamlı bir arama gerçekleştirilir. Bu şekilde, en iyi tasarımı bulma olasılığının, manuel optimizasyon analizine kıyasla çok daha yüksek olduğu anlamına gelir. Tabii ki, tüm sonuçlar mühendislik değerlendirmesi için kullanılabilir ve tasarım mühendisi tasarım seçimi konusunda sonuçlardan faydalanan daha hızlı ve kolay bir şekilde tasarımı oluşturabilir.

Kaynakça

- [1] Meiss, A. and Feijo-Munoz, J. and Garcia-Fuentes, M.: Age-of-the-air in rooms according to the environmental condition of temperature: A case study, Energy and Buildings, Vol. 67, 2013
- [2] Surrogate Based Optimization guide, from pSeven Core documentation.