DERLEME MAKALE

Akış Analizleri (CFD) ve Mühendislik Süreçlerine Katkıları

Sinan SOĞANCI
Makina Mühendisi
Akana Mühendislik
Ankara
sinansoganci@akana.com.tr

Mehmet Oğuz TUTKUN
Makina Mühendisi
Anova Ar-Ge Teknolojileri
Ankara
oguz.tutkun@anova.com.tr

ÖZ

Bildiri kapsamında; bilgisayar destekli mühendislik (CAE) dallarından biri olan hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin (CFD) tesisat mühendisliği alanı başta olmak üzere mühendislik süreçlerine nasıl katkılar sunduğu aktarılacaktır. Öncelikle, CFD kavramının ne olduğu ve ne olmadığı ile kapsadığı alt disiplinler ve aralarında kurduğu ilişkiler vurgulanırken, uygulamada fiziksel deneyler ile alternatif veya tamamlayıcı konumlandırıldığı durumlar örneklerle ifade edilecektir. Akademik araştırmalar ve ticari mühendislik iş akışları göz önünde bulundurulduğunda; akış analizlerinin genel mühendislik süreçlerine verimli bir şekilde adaptasyonu ile akış analiz sürecinin alt başlıkları örneklerle desteklenerek detaylandırılacaktır.

Anahtar Kelimeler
CFD, CAE, Analiz, Simülasyon, Akışkanlar Dinamiği.

Flow Simulations (CFD) and its Contributions to Engineering Processes

ABSTRACT

This study covers the contributions of computational fluid dynamics (CFD), as a computer aided engineering (CAE) branch, on engineering processes with a special focus on HVAC and sanitary engineering. Starting with a definition of the CFD concept, the sub-disciplines covered and their interrelations are underlined while positioning of CFD with respect to physical experiments as an alternative and complementary are mentioned with example applications. Considering the academic research and commercial engineering workflows; the efficient adaptation of flow simulations to general engineering processes and sub-tasks of flow simulation are elaborated and demonstrated by examples.

Keywords
CFD, CAE, Analysis, Simulation, Fluid Dynamics.

Geliş Tarihi : 05.10.2018
Kabul Tarihi : 31.01.2019

Soğancı, S., Tutkun, M. O., Akış Analizleri (CFD) ve Mühendislik Süreçlerine Katkıları, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1470-1481, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

1.1. Bilgisayar Destekli Mühendislik

Mühendislik tasarım süreçlerinde tasarım doğrulama, iyileştirme ve optimizasyon amaçlarıyla kullanımına başvurulan temel araç olarak fiziksel prototip üretimi ve testleri görülmektedir. Bununla beraber, birçok alanda ihtiyaç duyulan prototip üretimi ve testler, zor, pahalı ve bazen yapılması imkânsıza yakındır. Testlerin yapılamadığı ve/veya tercih edilmediği durumlarda bilgisayar destekli mühendislik yöntemlerine başvurulmakta olup burada dijital prototipler (CAD vasıtasıyla) oluşturulmakta ve çalışma şartlarının dijital ortamda tanımlanmasıyla benzetim yapılarak tasarım hakkında veri toplanmakta ve performans değerlendirilmektedir. Buradaki şartların tanımlanması aşamasında fizik ve kimya gibi temel bilimler başta olmak üzere birçok açıdan gerçek koşulların matematiksel modellerle ifade edilmesi, bilgisayar destekli mühendislik süreçlerinin en önemli ve birçok durumda en zorlayıcı evresini oluşturmaktadır.

Tasarım aşamasında; sistem gereksinimlerini karşılamak üzere çeşitli analitik hesaplamalar ve yaklaşımlardan faydalanılmakta ve bunlar tasarım temelini oluşturmaktadır. Tasarım doğrulaması olarak kullanılan bilgisayar destekli mühendislik yöntemleri ise (sonlu elemanlar yöntemi, sonlu fark yöntemi gibi) nümerik (sayısal) çözümler sunmaktadır. Nümerik yöntemlerde her zaman hata olacağından, bu alandan en etkin şekilde faydalanmak için analiz sonuçlarını kontrol etmek, karşılaştırmak gibi eylemlerle hatayı tahmin etmeye çalışarak bir hata yönetimi yaklaşımı yürütmek büyük önem arz etmektedir.

Bilgisayar destekli mühendisliğin temel amacı tasarım çıktılarının doğrulanması ve/veya alternatiflerinin karşılaştırması olup bu alandaki uygulamalarda kullanılan araçlar; standart bir matematik ortamında yaratılan basit hesaplayıcılardan, kapsamlı paket programlara kadar çeşitli matematik araçlarını kapsamaktadır.

1.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Mühendislik süreçlerinde çeşitli analiz türleri kullanılmakta olup, en yaygın olanları; yapısal analiz (structural analysis), hesaplamalı akışkanlar dinamiği (computational fluid dynamics), akışkan katı etkileşimi (fluid structure interaction) ve akustik/gürültü analizleridir (acoustic/noise analysis).

HAD analizlerinde akışkanların hareket ve davranışları incelenmekte olup, momentum, ısı transferi, türbülans, madde ve faz transferleri, yanma ve diğer kimyasal reaksiyonlar gibi birçok fiziksel fenomen bu başlık altında yer bulmaktadır. Bu çerçeveden de bakıldığında; HAD modellemesi bir veya birden çok alt temel bilim dalını (fizik, kimya vb.) bünyesinde barındıracak şekilde tanımlamalar ve bu süreçlerin matematiksel çözümlemelerinin bilinmesini gerektirmektedir. Ayrıca canlandırılmak istenen vakaya özel sınır şartlarının da doğru bilinmesi veya gerekli hallerde tahmin edilmesi gerekirken, tanımlama anından başlayarak yapılan kabulleri de göz önünde bulundurarak bütüncül bir hata yönetimi zorunlu hale gelmektedir.

HAD uygulamalarının çok yönlülüğü yalnızca temel bilimlere başvurudaki zenginlik ile sınırlı olmayıp, ayrıca çok disiplinli bir alan olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek olarak, momentum ve ısı transferinin yalnızca fiziksel tanımları değil, matematiksel modellerinin ve bunlara uygun numerik yaklaşımların da önemi düşünüldüğünde; etkin bir faydalanma için matematik ve numerik yöntemler konusunda da belirli bir hâkimiyet gerekmektedir. Yine birçok vakada başvurulan yüksek başarımlı hesaplama yöntemlerinden azami faydalanmak, ancak bilgi işlem alanıyla etkin bir işbirliği ve vaka-donanım gereksinim ilişkilerinin kurulmasıyla mümkün olmaktadır.

2. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZ SÜRECİ

HAD analizleri, diğer birçok bilgisayar destekli mühendislik sürecine benzer şekilde, temel olarak dört ana başlıktan oluşmakta olup, aşağıda her bir başlık altında yürütülen faaliyetler ifade edilmiştir.

Bununla beraber, HAD analiz mühendisliğinin öğrenilme ve uygulama süreçleri incelendiğinde; bu alandan etkin ve verimli faydalanmak için en kritik noktanın; mevcut mühendislik sürecinin doğru etüt edilmesi, hangi aşamasında, ne amaçla, nasıl bir beklentiyle ve yöntemle HAD analizlerinin kullanılması gerektiğinin tespiti olduğu görülmektedir. Bu anlamda, HAD analizlerinin en önemli ve belirleyici evresi olan problem tespiti başlığı altında irdelenmesi gereken hususlar ilgili bölümde derlenmiştir.

Öte yandan, özellikle endüstriyel uygulamalarda, en sık görülen yanlışların başında ise HAD da dâhil olmak üzere bilgisayar destekli mühendislik analizlerinin doğrudan bir tasarım faaliyeti olarak görülmesi gelmektedir. Tekrarlamak gerekirse; analizler vasıtasıyla yapılmış veya yapılmakta olan tasarımın doğrulanması, optimize edilmesi veya tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması gerekirken, sıklıkla temel mühendislik tasarım yaklaşımları ve ilgili hesaplama yöntemleri göz ardı edilerek, analiz programları vasıtasıyla tasarım yapılmaya çalışılmaktadır.

2.1. Problem Tespiti

HAD analizlerine başlamadan önce problem tespitinin doğru yapılması çok önemlidir. Öncelikle analizden ne beklendiği net bir şekilde ortaya konmalı ve tüm süreç boyunca karşılaşılan zorluklarla (gerekli sınır koşullarını tanımlayamama, katı modelleri elde edememe, bilgisayar kaynaklarının yetersizliği vb.) beraber, ancak kontrollü, yönetilen bir süreç kapsamında beklentiler değiştirilmelidir. Yine birçok analiz sürecinde, çeşitli sebeplerle modelleme ve canlandırmada görülen sınırlamaların analiz sonucunda elde edilecekleri değiştirdiği gözlemlenirken, bunun farkında olunmaması veya buna göre önlem alınmaması, tüm faaliyetleri anlamsız hale getirebilecektir.

HAD analizlerinden faydalanılması öngörülen birçok tasarım sürecinde; analitik yöntemler, el hesapları, deneysel veriler veya literatür araştırmalarının benzer hassasiyette, hatta bazı durumlarda analize göre daha güvenilir sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu sebeple; her türlü modelleme çalışmasına başlamadan önce; alternatif ve çoğu zaman çok daha düşük maliyetli olan yöntemlerin varlığı ve mevcut vakaya uygunluğu sorgulanmalıdır.

En anlamlı yöntemin HAD analizleri olduğu değerlendirmesi yapılan vakalarda, bir sonraki adımda benzetilecek tasarım veya sistemde gerçekleşen fiziksel süreçler incelenmeli ve bunların hangilerinin analiz modeline ekleneceği kararlaştırılmalıdır. Momentum, türbülans, ısı transferi, faz değişimi vb. her türlü sürecin birbirlerine ve toplam performans değerlendirmesine etkileri tahmin edilmeli, ihmal edilebilecek olanlar varsa listelenmelidir. Bu esnada analize kıyasla oldukça kısa zamanlar alacak analitik ön hesaplardan faydalanılacağı gibi, basitleştirilmiş ve kısa sürede çözülecek analizler de koşturulabilir. Analiz mühendisliği yapılırken, verilen her bir kararın çözümleme süreleri açısından anlamlı sonuçlar doğurabileceği düşünülmeli ve örneğin birkaç haftalık bir karmaşık denemeyi ortadan kaldırmak adına birkaç saatlik analitik hesapların veya birkaç günlük fikir verici basitleştirilmiş analizlerin önemi göz ardı edilmemelidir. Analize konu fiziksel süreçlerle ilgili kullanılacak matematiksel yaklaşımların; alternatif modeller arasından tercih, seçilen modelin mevcut yazılımda yer alıp almadığı ve modelin gerektirdiği girdilerin bilinip bilinmediği açılarından detaylı bir şekilde irdelenmeleri gerekmektedir.

Bir mühendislik iş akışına analiz dâhil edilmesi değerlendirilirken ortaya konulması gereken oldukça önemli bir kavram da analiz sonucunda beklenen hassasiyet ve buna karşılık olarak ayrılacak kaynaklardır. Bunlar bir arada tartışılmalı; hassasiyet açısından hem sektörel, hem de projeye özel kaygılar göz önünde bulundurulmalıdır. Buna karşılık, ayrılabilecek bilgisayar, insan ve zaman kaynakları da planlanmalı ve beklentiler ile kaynaklar arasında uyum sağlanmadan modellemeye başlanmamalıdır. Baştan planlanarak basitleştirilmiş modeller ile beklenti-kaynak uyumu sağlamak oldukça sağlıklı bir yöntem olacakken, bu dengeyi sağlamadan başlanan analizlerin çoğu, eksik kalmakta ve mühendislik sürecine kısmi fayda dahi sağlamamaktadır.

Problem tespiti kapsamında önemli bir başka adım da analizi yapılacak sistemin dijital prototip işlevi gören katı modelleriyle ilgilidir. Kimi projelerde katı modeller mevcut dahi değilken, analiz edilmesi düşünülen birçok projede ise analize uygun modeller hâlihazırda bulunmamaktadır. Genellikle görselleştirme ve/veya üretim amaçlı yapılan mekanik çizimler, doğrudan HAD analizlerine uygun olmamakta, akış hacminin çıkarılması, gereksiz veya analizi mümkün olmayan bölgelerin hariç bırakılması veya modellerin birleştirilmesi/ayrıştırılması gibi işlemler gerekmektedir. Nihai olarak analizde kullanılan katı modellerin kalitesi, beklenen hassasiyete cevap verebilecek toleransta temsil edici olması olarak özetlenebilir. Bu bağlamda; tüm analiz sürecinin değerli sonuçlar üretmesi önünde engel teşkil edebileceği göz önünde bulundurularak, katı modeller de analize başlanmadan detaylı bir şekilde ele alınmalıdır.

HAD analizleri; yazılım lisansları, yüksek işlem gücüne sahip donanımları ve nitelikli mühendislik altyapısı gereksinimleriyle beraber maliyeti oldukça yüksek faaliyetler olup, bu alanda etkin kaynak kullanımının ancak problem tespiti başlığı altındaki değerlendirmelerle mümkün olacağı görülmektedir. Bu bağlamda, problem tespiti sürecinin sonunda özetleyici bir değerlendirme anlamında 'gerçek fiziksel modelin analiz ile beklenilen hassasiyet ve zamanda canlandırabildiği' tekrar sorgulanmalı ve analiz yapılmasına nihai olarak bu noktada karar verilmelidir.

2.2. Ön İşlemler (Pre Processing)

Ön işlemler; geometri, sayısal ağ (mesh), fiziksel süreçler ve çözücü ayarlarından oluşmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde geometri sadece ilgilenilen bölgeye ait olmalıdır ve ilgilenilen bölgeler dışındaki modellemeler yer aldığı zaman ciddi bir zaman kaybı yaşanmaktadır. Bunun haricinde gereksiz kısımlar, boşluklar analizde yer almamalıdır. Geometri sadeleştirme yapılırken özellikle bu kısımlara dikkat edilmesi gerekir. Çünkü çözüm süresi, sayısal ağ miktarı ve kalitesi ciddi değişiklik gösterecektir. Analize geçmeden önce geometri analize uygun hale getirilerek gerek akış hacminin çıkarılması gerek parçaların birleştirilmesi/ayrılması yapılmalıdır. Kullanılacak geometrinin gerekmedikçe tek parça halinde kalması ve kullanılan çizim programından yüksek kalitede dışa aktarımı (export) analizin kalitesi, kolaylığı ve verimliliği açısından çok önemlidir.

Analiz yazılımları çözüm hacmini ayrıştırarak (discretization) hesaplamalarını yaparlar. Bu ayrıştırmalardan en yaygın olanları sonlu eleman ve sonlu hacim yöntemleridir. Ayrıştırma yaparken mevcut modelin parçalara bölünmesi gerekir. Bölünen her parça kendi içinde bir bütün olmakla beraber içerdiği tüm fiziksel ve kimyasal sonuçlar aynıdır. Bu ayrıştırılan her bir parçaya sayısal ağ (mesh) elemanı denir. Sayısal ağ, doğru ve hassas çözüm yapmak için en önemli unsurlardandır. Zaman ve bilgisayar faktörlerini ele aldığımızda sayısal ağ bunlara en çok etki eden unsurdur. Bundan dolayı özellikle istenilen ve yüksek değişimlerin olduğu bölgede hassas elemanlar kullanılmalıdır. Analize başlamadan önce bu konuda literatür araştırması yapmak ve benzer analizler üzerinde kullanılan sayısal ağ elemanlarını incelemek proje başlangıcında hem yol gösterecektir hem de kullanılacak sayısal ağın miktarı ve kalitesi hakkında bilgi verecektir. Kullanılan sayısal ağ tipine bağlı olarak sayısal ağ oluşturduktan sonra keskinlik, en-boy oranı gibi parametrileri kullanarak sayısal ağ kalitesi hakkında bilgi sahibi olmakta önemlidir. Özellikle türbülansın etkin olduğu analizlerde (dış akış gibi) analiz başlangıcından önce Reynolds Sayısı hesabı ve buna bağlı olarak Y+ hesabı yapmak önemlidir. Ek olarak geometri karmaşıklığı ve sınır tabakası gibi özel gereksinimlerin olduğu durumlarda işe ağ tipi dikkate alınmalıdır. Hem analizin doğruluğu ve hassasiyeti hem de analiz süresini etkilemesi adına dikkat edilmesi gereken bir husustur. Nihai analize geçilmeden önce mutlaka sayısal ağdan bağımsızlık elde ederek, sonuçların sayısal ağ miktarı ve kalitesine göre anlamlı miktarda değişmediğinden emin olmak gerekmektedir. Aksi takdirde elde edilecek sonuçlar güvenli olmayacaktır.

Analize başlamadan önce fiziksel süreçlerin doğru benzetimlerle canlandırılması analiz doğruluğunu doğrudan etkileyen en önemli faktördür. Kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri, kullanılacak denklemlerin belirlenmesi ve sınır koşulları bu süreç içerisinde yer almaktadır. Kullanılacak her bir denklem (ısı transferi, hareket, türbülans vb.) çözüm süresini doğrudan etkileyeceği için bu konuda titiz davranılması gerekmektedir. Örnek olarak; ısı transferinin olmadığının ya da ihmal edilecek kadar az olduğu durumlarda ısı transferi denklemlerini hesaba katmayarak ciddi bir süre kazancı yaşanacaktır. Başka bir örnek olarak da türbülans denklemlerinin açılması ve doğru türbülans modelinin seçilmesi durumudur. Analiz başlangıcında sayısal ağ kısmında bahsettiğimiz gibi Reynolds Sayısı hesaplayarak türbülans hakkında fikir sahibi olmak çok önemlidir. Bu hesaplama sonrasından türbülans yoğunluğu hakkında fikir sahibi olmakla beraber kullanılacak türbülans modeli hakkında da bilgi verecektir. Doğru türbülans modelinin kararı için en sık başvurulan başka bir yöntemde literatür taraması yapmaktır. Buna ek olarak farklı modeller kullanarak türbülans modelinden bağımsızlık elde edilmesi de yapılmalıdır.

Analiz programları nümerik çözümler yaptığı için çözücü ayarları hassasiyete doğrudan etki etmektedir. Kullanılan fiziksel süreçleri hesaba katarak doğru çözücü seçimi yapılmalıdır. Kullanılan pa-

ket program içerisinde limitler ve kısıtlar yer alabilmektedir. Bu sebeple fiziksel süreçler göz önünde bulundurularak bu işlem gerçekleştirilmelidir. İstenilen hassasiyete bağlı olarak şema seçimleri yapılmalıdır. Yakınsama ölçütleri belirlenirken hedeflenen hassasiyet mertebesi dikkate alınmalıdır.

2.3. Çözüm (Solution/Run)

Ön işlemlerden sonra çözüm işlemine başlanmakta, bir diğer deyişle, kullanılmakta olan hesaplama araç veya paket programı yinelemeli bir şekilde hesaplamalara başlatılmaktadır. Çözüm esnasında, kullanıcı tarafından hem fiziksel hem numerik açılardan sonuçların takip edilmesi, değerlendirilmesi ve gerekli görüldüğü hallede müdahale edilmesi gerekmektedir.

Yinelemeler arası değişimler ve zamana bağlı çözümlerde birbirini takip eden zaman adımlarında elde edilen sonuçlar arasındaki farklar kullanılarak yakınsama değerlendirmesi yapılması oldukça önemlidir. Hedeflenen hassasiyete göre, birçok paket program içerisinde hata kriterleri belirlenebilir ve programın hedefe ulaştığı anda yinelemeleri durdurarak çözümü sona erdirmesi veya bir sonraki zaman adımına geçmesi sağlanabilir.

Analiz süresince ve sonunda korunumların sağlanıp sağlanmadığı da ayrı bir inceleme konusudur. Numerik yöntemlerin doğası gereği, örneğin hiçbir zaman mutlak kütle korunumu sağlanamayacak olmakla beraber, kurgulanan modelle tutarlı bir kütle korunum dengesi elde edilmesi beklenmelidir.

Sıklıkla başvurulan bir diğer çözüm denetim yöntemi ise sayısal ağdan bağımsızlıktır. Bu kapsamda; tamamen aynı katı model, sınır koşulları ve benzeri ayarlar kullanılarak, farklı sıklıkta sayısal ağlar ile çözümler koşturulmalı ve sonuçların proje hassasiyet beklentisinden daha az değiştiği sayısal ağ eşiği tespit edilmelidir. Söz konusu hassasiyetin sağlandığı en düşük sayıda sayısal ağ konfigürasyonunun tercih edilmesi idealdir.

Çözüm takibi, değerlendirmesi ve sonlandırılması bağlamında en temel kavramlardan biri hatanın yönetimidir. Öncelikle numerik yöntemlerde her zaman hata olacağı unutulmamalı ve hatanın olabildiği kadar değil, gerektiği kadar düşürülmesi gerektiği temel yaklaşım olmalıdır.

2.4. Son İşlemler (Post Processing)

Çözüm sona erdikten sonra hesaplamaların kontrol edilip çıktıların alındığı bölümdür. Uygulama prensibi olarak; son işlemlere başlanmasıyla beraber ilk önce elde edilen sonuçların ne kadar gerçekçi, şartlara ve beklentilere uygun olduğu sorgulanmalıdır. Öngörülmeyen fiziksel veya numerik bir sürecin ya da farkında olunmayan bir modelleme hatasının sonuçlar üzerinde anlamlı miktarda bozucu etkisi olabileceği hep göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla beraber, numerik yöntemler uygulayan en gelişmiş paket programların dahi fiziksel sonuçların gerçekçiliği üzerine kontrol mekanizmaları yoktur veya oldukça sınırlıdır.

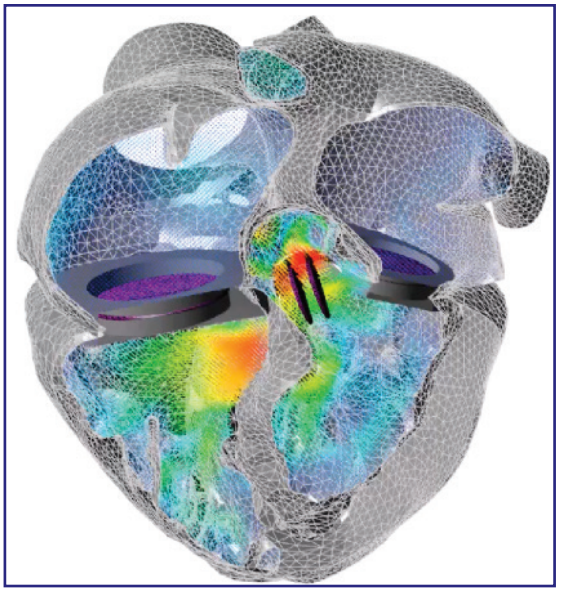
Analiz sonuçlarının gerçekçi ve beklenilir olduğunun teyit edilmesine müteakip olarak; analiz faaliyetinin özel amacına uygun bir şekilde son işlem çıktıları elde edilerek raporlanmalıdır. Hız, basınç ve sıcaklık eş değer yüzeyleri, hız vektörleri, akış çizgileri ve zamana bağlı animasyonlar, en sık kullanılan son işlem öğeleri olmakla beraber, projeye özel birçok farklı son işlem çıktısı elde edilebilir. Son işlem öğelerinin seçimi, niteliği ve niceliği; özellikle yapılan işin amacına göre değişiklikler göstermektedir. Akademik/bilimsel araştırma, ticari fizibilite, kavramsal tasarım doğrulama veya karşılaştırma, detay tasarım performans inceleme, özgün tasarım değerlendirme ve benzeri birçok farklı amaca göre yapılabilecek analizlerin son işlem çıktıları ve raporlamaları da farklılık gösterecektir.

3. HAD UYGULAMA ALANLARI VE MÜHENDİSLİK SÜREÇLERİNE KATKILARI

Akış analizleri birçok farklı sektörde ve farklı alanlarda uygulanmaktadır. Tarihsel olarak 1930'lu yıllarda doğrusal denklemlerle iki boyutlu olarak çözümler geliştirilmeye başlanmıştır (Milne-Thomson, 1973). Daha sonra Lewis Fry Richardson tarafından sonlu fark yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin temelleri atılmıştır (Richardson, 1922). Daha sonra Richardson denklemleri 1940'lı yıllarda hava durumu tahmini yapmak için de kullanılmıştır (Hunt, 1998). Sonraki yıllarda bilgisayar kaynakları ortaya çıkmaya ve gelişmeye

başladıkça yazılımlar kullanılarak özellikle havacılık alanında HAD yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

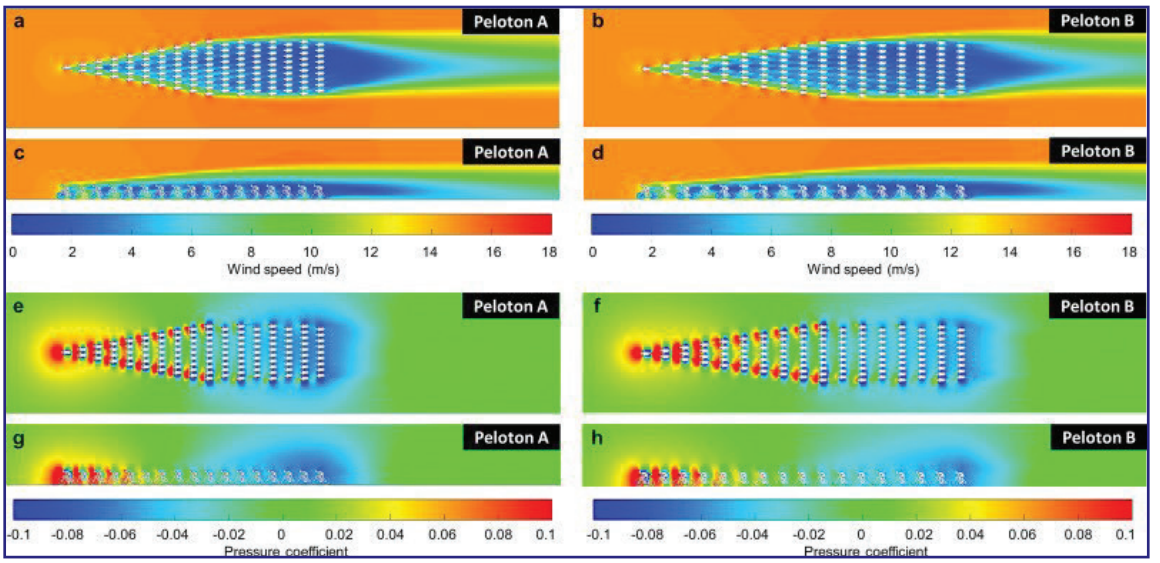
Günümüzde havacılık, otomotiv, denizcilik, elektronik, turbomakineler, tıp ve canlı bilimleri, spor, inşaat, enerji, kimya endüstrisi başlıca kullanım alanlarıdır. Günümüzde bilgisayar kaynaklarının hızla gelişmesi ve kolay ulaşılabilir olması uygulama alanlarının da gelişmesine olanak vermektedir. Örnek olarak birçok araştırmacı, araştırma merkezi ve şirketlerin yer aldığı uluslararası bir konsorsiyum tarafından yürütülen Canlı Kalp Projesi'nde (The Living Heart Project); canlı insan kalbi üzerinden alınan geometri ve bilgilerle akış analizleri, yapısal analizler ve akışkan-katı etkileşimi analizleri yapılmaktadır. Alınan veriler tıp alanında da güvenilir bir şekilde uygulanmaktadır (Dassault Systemes, 2019). Şekil 1'de (Aksenov, ve diğerleri, 2016) gösterildiği üzere akışkan-katı etkileşimi analizleri ile canlı insan kalbi modellenmiştir.



Şekil 1. Canlı kalpte kan hızı dağılımı (FSI; CFD+FEA)

Canlı kalp modellemesi, kardiyak simülasyonları alanında yapılan faaliyetlerden yalnızca biri olup, 2010'lu yıllardan itibaren önde gelen birçok simülasyon firması ve araştırma enstitüsü aynı alanda benzer ve farklı çalışmalar yürütmeye başlamışlardır. Bu alanda, simülasyonun en temel faydalarından biri, alternatif deney çalışmalarının çoğu durumda imkânsız ve daha da önemlisi doğrudan insan sağlığını riske atacak olmasıdır. Örnek olarak, yeni geliştirilen bir yapay kalp kapakçığı modelinin bir hasta üzerinde denenmesi oldukça riskli ve sağlık etik kuralları uyarınca yasaktır. Bu ve benzeri birçok gelişme ve örnek uygulama ışığında; sektörün çoğunluk akademik ve ticari paydaşları tarafından da kabul edildiği üzere; medikal sektörü, bilgisayar destekli mühendislik faaliyetlerinin önümüzdeki birkaç on yılda en hızlı gelişim göstereceği alan olarak işaret edilmektedir.

Spor alanında yürütülen bir örnek çalışmada ise; Eindhoven Teknoloji ve KU Leuven Üniversiteleri ile gerek HAD yazılım geliştiricisi gerek yüksek



Şekil 2. Bisikletli grubu üzerinde rüzgâr hızı ve basınç katsayısı dağılımları

başarımlı donanım sağlayıcısı firmaların da katılımıyla 121 bisikletlinin bir arada ve etkileşimli olarak üzerlerinde oluşan sürükleme ve kaldırma kuvvetleri incelenmiştir. Söz konusu Peloton Projesinde (The Peloton Project) (Blocken, ve diğerleri, 2018); hem fiziksel deneyler gerçekleştirilmiş hem de aynı şartlarda HAD analizleri yürütülerek karşılaştırmalı bir değerlendirme ortaya konmuştur.

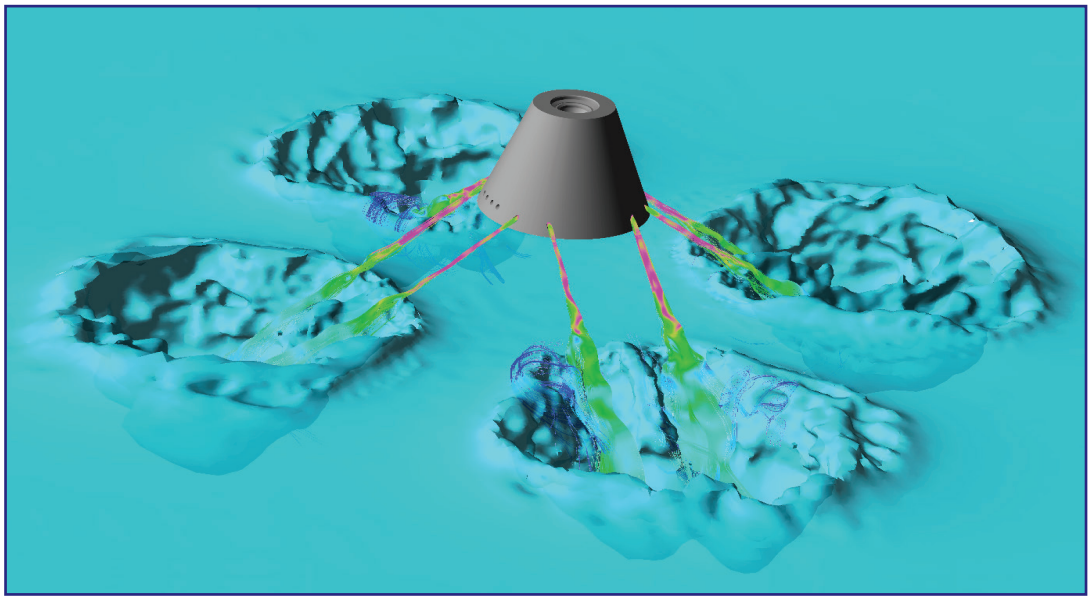
Bu örnek ele alındığında ise; bu kadar büyük çapta bir deneyin oldukça yüksek bir maliyete sahip olduğu ve sıklıkla tekrarlanamayacağı açıktır. Buradaki amaç, bir seferliğine fiziksel deneylerle simülasyonları örtüştürmek, bu vesileyle HAD yöntemini vakaya özel olarak kalibre etmek ve daha sonraki uygulamalar için güvenilir bir modeli hazır bulundurmaktır. Benzer 'bir seferlik fiziksel deney ile simülasyon kalibrasyonu' yöntemine havacılık başta olmak üzere birçok farklı alanda da başvurulmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan olan havacılık sektöründe ise ilgi çekici bir örnekte uzay aracının yeryüzüne yeniden indirilmesi modellenmiştir (Dyadkin, ve diğerleri). Analiz sonunda modelin farklı mach sayılarında kaldırma kuvvetine, sürükleme kuvvetine ve üzerinde oluşan momentlere bakılmıştır. Şekil 3'te suya iniş anı gösterilmiştir.

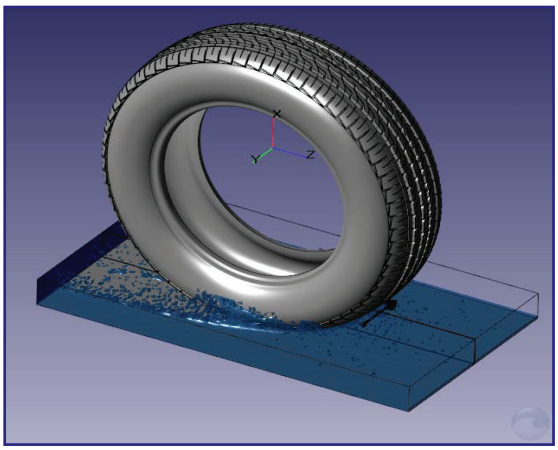
Havacılık ve uzay alanında da hassasiyetlerin üretimden başlayarak çok yüksek olduğu bilinmekte olup, bu sebeple her türlü üretim ve test maliyetinin masrafları oldukça yüksektir. Özellikle uzay uygulamalarında ise birçok sürecin fiziksel testi imkânsızdır. Buna karşılık, bu alandaki kaynakların finansal güç, insan niteliği ve hesaplama donanımları olarak birçok alandan çok daha ileride olması, HAD analizlerinden faydalanmak anlamında bir avantajdır. Bu sebeplerle, havacılık ve uzay sektörlerinde de birçok farklı mühendislik sürecine HAD analizleriyle destek verilmektedir.

Otomotiv sektöründe ise farklı bir uygulama alanı olarak lastiklerin ıslak zeminde kaymazlığı incelenmektedir. Farklı lastik tasarımları üzerinde, lastik boşluklarının ıslak zeminde davranışları incelenmektedir. Şekil 4'te akışkan-katı etkileşimi kullanılarak yapılan bir analizin çıktısını görülmektedir (Sung, Chen, Liu, & Yu, 2017).

Bu örneğin en önemli noktası ise; global lastik üreticileri açısında lastik prototip üretimleri ve test faaliyetleri erişilebilir olmakla beraber, özellikle ıslak zemin kayma gibi testlerin veri toplama açısından oldukça zor olmasıdır. Aynı anda ivmeli ilerleyen, dönen ve deforme olan bir lastik ile zemin arasındaki karmaşık lastik geometrisinin küçük boşluklarında ilerleyen suyun davranışlarını gözlemlemek, akışkan test yöntemleri açısından hala oldukça zor bir uygulamadır. Bu sebeple, bu alanda yalnızca HAD analizleri değil, buna eşlenik olarak yapısal analizler de kullanılarak akışkan katı etkileşimleri modellenmektedir.



Şekil 3. Uzay aracının suya iniş anı



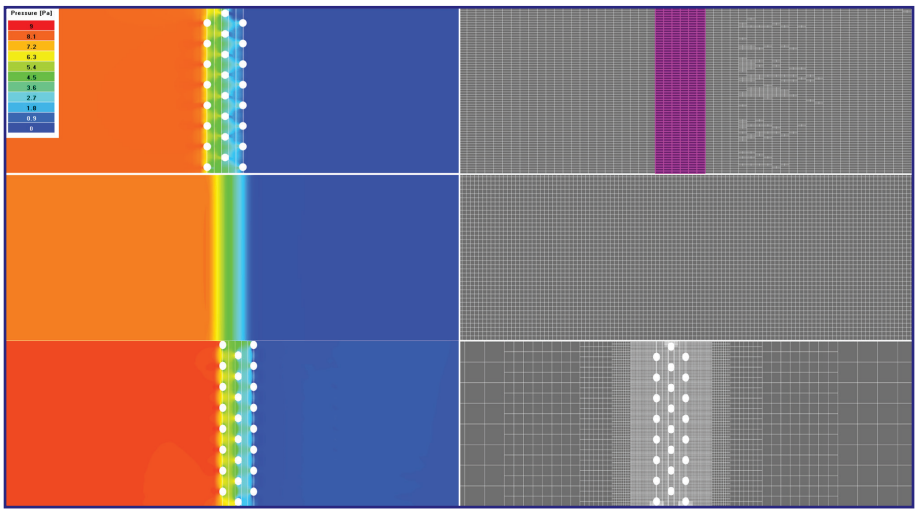
Şekil 4. Otomobil lastiğinin ıslak zeminde kayması

4. TESİSAT MÜHENDİSLİĞİNDE HAD UYGULAMA ALANLARI ve KATKILARI

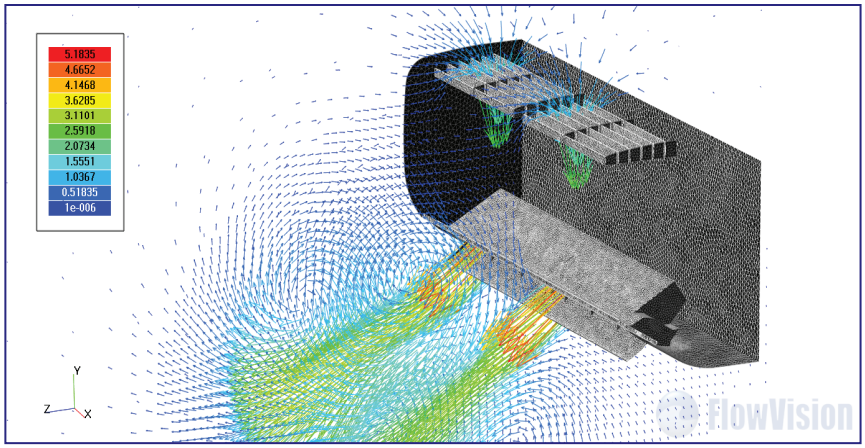
Tesisat, inşaat ve ısıtma soğutma havalandırma sektörleri, son yıllarda artan bir şekilde akış analizlerinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Özellikle ısıtma, soğutma ve iklimlendirme, rüzgâr yükü hesabı, patlama ve yangın simülasyonları, doğal havalandırma, hava kalitesi ve kirlilik gibi alanlarda akış analizleri kullanılmaktadır.

Isıtma, soğutma ve iklimlendirme mühendislik süreçlerinde; kullanılacak sistem ve ekipmanların verimliliği ile ortam şartlandırma kalitesi ve maliyet etkinliği, tasarım aşamasında analizler vasıtasıyla öngörülmeye çalışılmaktadır. Özellikle enerji maliyetlerini düşürmesi ve doğru sistemin önceden tahmin edilip seçilmesi gibi etkenler, uzun süreli işletim ve bakım/onarım maliyet problemlerini ortadan kaldıracaktır.

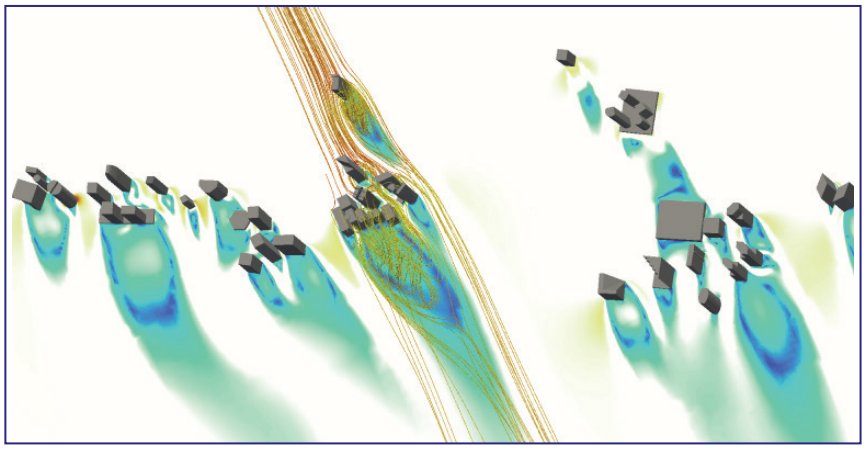
Bu alanda, klima santrali veya bir ortamın termal konforu gibi bütüncül sistem analizlerinde seçilecek ekipmanların varyasyonlarının analiz ile önceden karşılaştırılması yaygın bir uygulamadır. Bu sayede, sistem tasarımcısı her biri anlamlı maliyetlere sahip ekipman alternatiflerinden birden çok tedarik ederek fiziksel karşılaştırma yapmaktan veya emniyetli tarafta kalmak adına gereksinimin çok ötesinde büyük ve/veya pahalı ekipmanlar tedarik etmekten kurtulacaktır. Sistem bazında ekipman seçiminin yanı sıra sistemlerde kullanılmak üzere tasarlanacak ekipmanların tek tek doğrulanması da HAD analizlerinin faydalı olduğu bir diğer alandır. Bu kapsamda bir örnek olarak; Şekil 5'de gösterildiği üzere klima bataryası için farklı teknikler kullanılarak akış analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Güler, Soğancı, & Tutkun, 2018). Şekil 6'da görülen örnekte ise ev tipi bir klimanın performansı muhtemel kullanım ortamını temsil edecek bir akış hacminde modellenmiştir. Bu vesileyle, söz konusu tasarım ile elde edilen modelin prototip üretimine gerek kalmadan performans değerlendirilmesi yapılarak, tasarım revizyonu yoluna gidilebilmekte ve nihai üretim öncesi anlamlı miktarda zaman ve maliyet kazancı elde edilmektedir.



Şekil 5. Klima santrali bataryası HAD analizi basınç ve sayısal ağ dağılımı (Yukarıdan aşağıya: Gap Model, Porous Medium ve Mesh Resolved)



Şekil 6. Ev tipi klima performans analizi, hız dağılımı



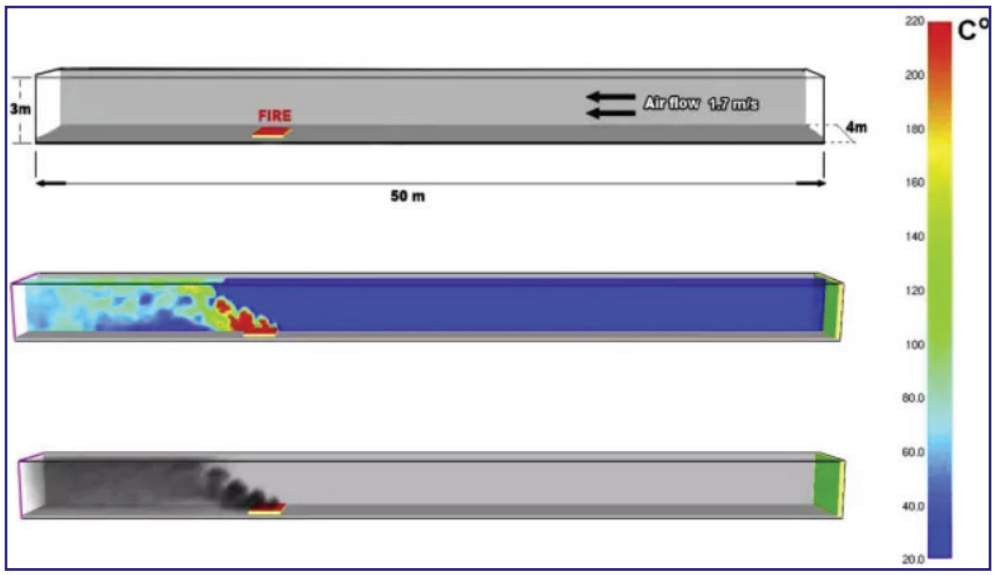
Şekil 7. Yerleşim bölgesinde binaların etkileşimli dış aerodinamik analizi

Başka bir örnek olarak tünel havalandırma sistemlerinde, akış analizleri yapılması sonucunda tünel içerisinde kullanılacak olan jet fanların doğru seçimi, tünel içindeki hava hızları, sıcaklık değerleri, gaz oran ve miktarları gibi önemli tasarım ölçütleri doğrulanabilmektedir.

Rüzgâr yükü hesaplamalarında, tasarım aşamasındaki binalar üzerinde çeşitli yönlerde esen rüzgârın bina aerodinamiği üzerine etkileri incelenmektedir. Özellikle günümüzde yüksek binaların yaygın olarak yapılması akış analizlerinin yapılmasının gerekliliğini artırmaktadır. Şekil 7'te (Simscale, 2019) görüleceği üzere Singapur'da yer alan büyük bir bölgenin rüzgâr yükü analizleri yapılmıştır.

Bina ve bölge dış aerodinamik analizleri açısından da; fiziksel deneylerin gerçek boyutta mümkün olmadığı bilinmekteyken, ancak benzetimle modeller yaratılabilmektedir. Bu da bina modellerinin küçültülmüş maketlerinin üretilmesi ve rüzgâr tüneline sokulmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu alanda; HAD analizleri tasarım iyileştirme için yeterli hassasiyette geri bildirimleri makul süre ve maliyetlerle üretebilirken, alternatif fiziksel testler için oldukça zorlu ve masraflı bir maket tasarımı, üretimi ve rüzgâr tüneli sürecine girilmesi gerekmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin yaygın olarak kullanıldığı bir başka alan ise yangın simülasyonlarıdır. Tünellerde, binalarda, otopark ve alış veriş merkezlerinde meydana gelebilecek bir yangın durumunda oluşacak duman tahliyesi ve tahliye sırasındaki dumanın davranışının incelenmesi, tasarım esnasında ölçütlerin doğrulanması ve optimizasyonu için önemlidir. Olası bir tasarım



Şekil 8. Tünel içerisinde yangın simülasyonu

eksikliği veya yanlışlığında meydana gelecek hasarlar zamanında yapılan akış analizleri ile en aza indirilecektir. Bu gibi durumlarda test yapmak çok zor, maliyetli ve birçok halde imkânsızdır. Bu yüzden akış analizleri kullanılarak maliyet düşürebilir ve zamandan tasarruf edilebilir. Şekil 8'te (Adjiski, Mirakovski, Despodov&Mijalkovski, 2015) gösterildiği üzere sabit bir hava hızı olan tünel içerisinde mevcut bir yangın meydana geldiğinde duman davranışı gösterilmiştir.

SONUÇ

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, önemli ve anlamlı bir mühendislik faaliyeti olup, bilgisayar işlemci kaynakları başta olmak üzere çeşitli teknolojilerin gelişmesiyle, her geçen gün uygulanabilirliğini ve erişilebilirliğini artırmaktadır. Mühendisliğe yeni başlayanlar için, gelecekte geçerliliği daha da artacak bir alan olarak dikkate alınmalıyken, hâlihazırda farklı mühendislik disiplinlerinde, özellikle tasarım süreçlerinde yer alanlar için kavramsal anlamı ve faydalanma esaslarını irdelemek oldukça değerli olacaktır. Bu alanda çalışan veya çalışmaya başlayanlar açısından ise; analiz paket programlarının arayüzlerinin kullanım açısından gitgide kolaylaşmasına karşın, hem modelleme ve benzetim kabiliyetlerinin hem de akademi ve endüstrinin analizden beklentilerinin artması göz önünde bulundurulduğunda, mevcut çalışma kapsamında vurgulanan 'HAD analizlerinden etkin faydalanma' kavramının önemi açıkça görülmektedir. Bu bağlamda; HAD analizlerine başvurulması söz konusu olan mühendislik süreçlerinde analiz faaliyetinin tasarıma nasıl bir katkı sağlayabileceği konusunda, özellikle problem tespiti başlığı altında bahsedilen sorgulamaların üzerinde durulmalıdır. Tesisat mühendisliği ve ilgili sektörler açısından ise tüm bu gelişmelerin yanı sıra kamu ve özel sektör standartlarının da analiz destekli doğrulamalara daha çok önem vermesi ve hatta kimi hallerde zorunlu kılmaya başlaması, bu alanda da benzer şekilde verimli ve etkin HAD analizi kullanımını önemli hale getirmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Adjiski, V., Mirakovski, D., Despodov, Z., & Mijalkovski, S. (2015). Simulation and Optimization of Evacuation Routes in Case of Fire in Underground Mines, Journal of Sustainable Mining, 133-143.

[2] Aksenov, A., Pokhilko, V., Yushenko, A., Butz, B., Sridhar, P., D'souza, K., Vucinic, D. (2016). Numerical Modeling and Simulations of Human Heartbeat as Fluid-Structure Interaction Multiphysics Phenomena, 3rd International Conference on Computational Methods in Engineering and Health Sciences, Fukuoka: Kyushu Institute of Technology.

[3] Blocken, B., Druenen, T. V., Toparlar, Y., Mal-

izia, F., Mannion, P., Anadrianne, T., Diepens, J. (2018). Aerodynamic Drag in Cycling Pelotons: New Insights by CFD Simulation and Wind Tunnel Testing, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 319-337.

[4] Dassault Systemes. (2019, Ocak 13). The Living Heart Project. Dassault Systems İnternet Sitesi: https://www.3ds.com/products-services/simulia/solutions/life-sciences/the-living-heart-project/ adresinden alındı

[5] Dyadkin, A. A., Krylov, A. N., Reshetin, A. G., Semenov, Y. P., Simakova, T. V., Tokarev, V. A., & Kazakov, M. N. (tarih yok), Aerodynamic of Reentry Spacecraft Clipper, European Conference for Aerospace Sciences.

[6] Güler, T., Soğanci, S., & Tutkun, M. O. (2018). Laminar Air Flow Simulation of a Coil with Real Geometry, Porous Medium, and Gap Model in FlowVision, 13. International HVAC+R&Sanitary Technology Symposium, İstanbul: Türk Tesisat Mühendisleri Derneği.

[7] Hunt, J. (1998). Lewis Fry Richardson and His Contributions to Mathematics, Meteorology, and Models of Conflict, Annu. Rev. Fluid Mech., xiii-xxxvi.

[8] Milne-Thomson, L. M. (1973). Theoretical Aerodynamics, New York: Dover Publications.

[9] Richardson, L. F. (1922). Weather Prediction by Numerical Process, Cambridge: Cambridge, The University Press.

[10] Simscale. (2019, Ocak 13). Builders Beware! Things All Architects and Civil Engineers Should Know, Simscale Blog: https://www.simscale.com/blog/2018/07/architects-civil-engineers/ adresinden alındı

[11] Sung, M.-F., Chen, C.-F., Liu, C.-H., & Yu, C.-J. (2017). FlowVision & Abaqus 2-Way Strongly Coupled FSI Simulation of Automobile Tire Aquaplaning, Science in the Age of Experience, Chicago: Dassault Systemes.