

Kelebek Vana Tasarımlarında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri Kullanılarak Akış Katsayısı Özelliklerinin Artırılması

Erhan ÖZKAN*¹

¹Dikkan Ar-Ge Merkezi, 35730, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 03.04.2023, Kabul / Accepted: 18.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Kelebek vana,
HAD,
Bilgisayar destekli tasarım,
CFX fluent,
Sonlu elemanlar analizi

Öz: Bu makalede; çift eksantrikli bir kelebek vananın verimini arttırmak, karbon ayak izini düşürmek, enerji tasarrufunu sağlamak için gerçekleştirilen bilgisayar destekli tasarım ve prototip üretim çalışmalarına yer verilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD/HAD) ve sonlu elemanlar yöntemi (FEA/SEA) ile geliştirilmiş olan prototip ile klape mukavemeti artırılmış, vana ağırlığı optimize edilmiş ve akışa karşı direnci en aza indirilerek enerji kayıpları azaltılmış bir ürün tasarlanmıştır. Simülasyon tekniklerinin yoğun olarak kullanılması ile çevreye duyarlı ve yüksek verimli vanaların rekabet koşulları iyileştirilmiş olup pazara yenilikçi bir ürün sunulmuştur. Mukavemet ve akış optimizasyonları için bilgisayar ortamında ANSYS (Fluent / CFX ve Mechanical) programı ile analizler yapılması neticesinde optimize edilen vana tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yüksek akış katsayılarında çalışabilen ve aynı zamanda farklı bir klape tasarımı ile sektörde en düşük enerji kayıplarına sahip bir prototip geliştirilmiştir. Solidworks sürdürülebilirlik raporu ile karbon ayak izi ve toplam tüketilen enerji değerleri tespit edilmiş olmakla birlikte yerli ve yabancı rakipler arasında en az basınç kaybı değerine sahip çift eksantrik kelebek vananın tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Increasing Flow Coefficient Characteristics by Using Computational Fluid Dynamics Analysis in Butterfly Valve Designs

Keywords

Butterfly valve,
CFD,
Computer aided design,
CFX fluent,
Finite element analysis

Abstract: In this article; computer-aided design and prototype production studies carried out to increase the efficiency of a double eccentric butterfly valve, reduce its carbon footprint and provide energy savings were included. With the prototype developed by computational fluid dynamics (CFD/HAD) and finite element method (FEA/SEA), a product with increased disc strength, optimized valve weight, and reduced energy losses by minimizing resistance to flow has been designed. With the intensive use of simulation techniques, the competitive conditions of environmentally friendly and highly efficient valves have been improved and an innovative product has been introduced to the market. For strength and flow optimizations, the optimized valve design was carried out by analyses with the ANSYS (Fluent / CFX and Mechanical) program in the computer environment. A prototype has been developed that can operate at high flow coefficients and has the lowest energy losses in the industry with a different valve design. With the Solidworks sustainability report, the carbon footprint and total consumed energy values has been carried out.

1. Giriş

Hesaplı Akışkanlar Dinamiği (HAD-İngilizce kısaltması CFD) akışkanlar mekaniğinin bir alt dalı olarak kabul edilmektedir ve akışkanlardan kaynaklanan sorunların nümerik algoritmalar kullanılarak

çözümlemesini sağlamaktadır [1]. HAD yöntemi özellikle sıvı-gaz gibi akış içeren proseslerde kullanılmakta olan bir simülasyon aracı olarak tanımlanabilir [2]. Bu yöntem çoğu zaman, akışkanın akışı, ısı-kütle hareketlerini içermekte olan taşınım fonksiyonlarının bütün türlerine ilişkin çalışma

*İlgili yazar: erhanozkan81@icloud.com

biçimlerini belirlemek için kullanılır [3]. Fakat her zaman analitik yöntemlerden faydalanarak akışkan davranışların belirlemek mümkün olmayabilir ve çözüm için sayısal yöntemler kullanılabilir [4]. Analitik metotlar genelde matematiksel fonksiyonlar biçiminde çözüm üretirlerken nümerik metotlar genelde sayısal sonuçlar sağlamaktadır [5]. Bu yöntemler kullanılarak, gerçekleşen sonuç değerlerine oldukça yakın değerler elde edilebilmekte ve bu değerler istenilen düzeyde hassaslaştırılabilmektedir. Sonuçlardaki hassasiyetin artırılmak istenmesi durumunda bilgisayar tarafından çözülecek işlem sayısı artmaktadır, bu da hem çok uzun süren hesaplama sürelerine hem de kullanılmakta olan bilgisayarın zorlanmasına neden olmaktadır [6]. 1920'li yıllarda araştırılmakta olan sayısal analizler, HAD yöntemiyle yapılan çalışmaların temelini oluşturmaya rağmen teknolojiye yaşanan gelişmelere ve bilgisayar kullanımındaki artışa bağlı olarak HAD metodu ile çözüm elde edilmesindeki artış ancak 1990'dan sonra gerçekleşmiştir [7]. Bilgisayarların işlem kabiliyetlerinin, güçlerinin ve hızlarının her geçen gün daha da iyi seviyelere ulaşmasının yanı sıra test ve deney mekanizmalarının maliyetlerinin yüksekliği ve veri elde edilme sürelerinin uzunluğu bu durumun başlıca sebepleridir [8-11]. Karmaşık ve analizi zor akış problemleri, geliştirilen yüksek hızlı süper bilgisayarlar sayesinde daha basit şekilde çözüme ulaştırılabilmektedir. Bu da HAD yönteminin akışkan problemleri ve bilgisayar arasında köprü görevini görmesini sağlamaktadır [9].

Farklı firmalar tarafından sunulan birçok yazılım, HAD metodunu kullanarak sayısal çözümler ve simülasyonlar sunmakta ve dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, PHOENICS, Autodesk CFD, OpenFoam CFD, Solidworks Flow Simulation, COMSOL, Star-CCM+, POLYFLOW, simFlow, Abaqus/CFD, ICFM CFD, PAM-FLOW, CFD++ gibi birçok program ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır [10-13]. Geliştirilen bu programlar ile simülasyonlar gerçekleştirilirken, akışkanların akışı ve ısı transferini çözümlen denklemler ile akışkanlar mekaniğinde Navier-Stokes denklemleri olarak bilinmekte olan temel korunum yasalarının matematiksel eşitliklerinden yararlanılmaktadır [14,15]. Bu eşitlikler, süreklilik denklemi olarak bilinmekte olan kütle korunumu, Newton'un ikinci hareket kanunu olan momentum korunumu ve termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumu ile ifade edilmektedir [16].

Diğer taraftan bu simülasyonların yaygın bir şekilde kullanılarak akışkan davranışlarının araştırıldığı vana sektöründe vana fikrinin kimin tarafından ve ne zaman keşfedildiğine dair net bir bilgi bulunmamaktadır. Eski Mısır, Eski Roma, Eski Yunan Medeniyetleri gibi tarih öncesi çağlarda ilkel vana uygulamalarına rastlanmıştır, tarihte ise ilk vana uygulamalarına akarsuların akış yönünü değiştirmek ve önlerine set çekmek amacıyla kullanılan ağaç

tomrukları ve kayalar örnek verilebilir [17]. Modern çağlarda vana kullanımının 1705 yılında Thomas Newcomen'in geliştirdiği ve sanayide ilk defa kullanılan buhar makineleriyle başladığı kabul edilmektedir. Buhar, o yıllara kadar kullanılan diğer akışkanlardan farklı olarak basınç altında kullanılmaktaydı ve bu nedenle buharın niteliklerine uyumlu vana kullanılması gerekmektedir. 1705 yılından sonra gelişen teknoloji ile doğru orantılı olarak farklı tip ve özelliklerde vana ihtiyaçları ortaya çıkmıştır [18].

1930'lu yılların öncesinde el kumandalı vanalar kullanılmaktaydı ve bu tip vanaları kumanda etmek için mutlaka bir kişinin vananın başında çalıştırılması zorunluydu [19]. Yine aynı yılların başında kontrol odasından çıkmadan bir pedal aracılığı ile vananın açılıp kapatılması imkânı sağlanmış ve kontrol vanalarının ilk versiyonu kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise vanalarda tam otomasyon sağlanarak elektrik-elektronik kontrollü veya hidrolik-pnömatik kontrollü vanalar kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelere ve ekonomik şartlara bağlı olarak vanaların kullanım tercihleri değişmekte olup örneğin tüm dünyada sanayi yatırımlarında durgunluk olduğu dönemlerde vana kullanımında genel bir azalma gözlemlenmiştir [20].

Artan sanayi yatırımları ile gelişmiş olan kelebek vanalar; klape adı verilen ve vana merkezinde yataklanmış düz bir diskin, akışkanın geçtiği deliğin ortasında 90° döndürülmesi ile akışkanın geçişini engelleme veya izin verme şeklinde görevlerini yerine getirmektedirler ancak kelebek vanalar hassas akış kontrolü sağlanması için uygun değildir. Sızdırmazlık yüzeyine kuvvet bileşeni uygulanması ve mil yataklarının sızdırmazlık yüzeyinde kesinti oluşturmaması daha yüksek basınç kademelerine çıkılabilmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca, küçük açma açılarında bile, klape sızdırmazlık yüzeyinden ayrılarak, sürtünmeyi ortadan kaldırmaktadır [21].

Sızdırmazlık performansının yüksek beklendiği yerlerde sızdırmazlık yüzeyi yumuşak olmayan, oturmalı tip ve sürgülü vanaların kullanımı uygun olmamaktadır. Sızdırmazlığın iyi olması için; elastomer kullanılarak %100 sızdırmazlık sağlanabilen küresel vanalar, kelebek vanalar, membranlı vanalar ve pistonlu vanalar kullanılmalıdır [22,23].

Bu çalışmayı başlatan motivasyon; mevcut kelebek vanaların klape yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmak, özgün bir tasarım ile düşük karbon salınımı ve yüksek enerji verimi elde etmektir. Bu amaçla mevcut ürünler ve ulaşılmak istenilen hedefe sahip akışkanlar dinamiği hesaplamaları simülasyon çalışmaları ile gözden geçirilmiş ve bilgisayar destekli tasarım ve prototip imalat sonucunda yüzeydeki sürtünmeyi minimuma indirecek tasarım süreçleri detaylı olarak aktarılmıştır. Yüzeydeki akışkandan kaynaklı

sürtünmenin azaltılması ile sızdırmazlık sağlanmış, enerji ve su tasarrufu kazandırılmıştır. İçme suyu, dağıtım hatları, endüstriyel uygulamalar, su arıtma tesisleri, pompa istasyonları, deniz suyu uygulamaları ve sanayi atık sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan vanaların EN GJS 400-18 LT standardına uygun hammadde verileri kullanılarak TS EN 1267 ve EN 1074 gerekliliklerini yerine getirmek amaçlı proses ve akış hattı tasarım simülasyonu ile prototip ürünün imal edilmesi sağlanmıştır. Çalışma ile ilgili standartlar değerlendirildiğinde boru hatlarında meydana gelebilecek olan yüksek gerilmelere karşı dayanıklı olan EN GJS 400-15 (GGG 40 olarak da tanımlanan) malzeme ile simülasyon destekli analizler ve prototip üretim faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Solidworks sürdürülebilirlik raporu ile ürün başına 140 kg CO₂ karbon ayak izi elde edilerek mevcut ürünlerde %26 iyileşme, malzeme, üretim ve ürün ömründe 1400 MJ/ürün toplam enerji tüketimi ile %32 enerji tasarrufu elde edilecek ürünün tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Ürünün geliştirilmesi aşamasında elde edilen özgün bombeli gövde ve kademeli mil tasarımları için ulusal ve uluslararası patent başvuruları gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

HAD vana sektöründe yaygın olarak kullanılan tasarım ve analiz yöntemidir. Bu sayede akış koşullarını tanımlayan çeşitli denklemler kullanılarak vana içerisindeki 3 boyutlu akışlar simüle edilmektedir. Prototip üretiminden önce analizlerin tamamının sanal bir ortamda yapılıyor olması ve ilk seferde doğru temellere dayanan, daha az iş gücü ve malzeme kaybı sayesinde ürünün seri üretimine aktarılabilir olması tasarımcılar için oldukça önemlidir. Ürünlerin üç boyutlu tasarımları Solidworks çizim programı ile gerçekleştirilmiştir. HAD analizleri ve SEA için ANSYS bilgisayar destekli simülasyon programından faydalanılmıştır.

Çalışmaların deneysel doğrulamalar ile yapılabilmesi adına test düzeneğinin kapasitesine göre 200 mm çapına sahip kelebek vana ile uygulamalarda en yaygın olan 1000 mm çapındaki kelebek vana seçilmiştir. Sektörde, standartta tanımlandığı gibi ürünlerin anma çapları mm cinsinden önlerine DN eklenerek sınıflandırılmaktadır ayrıca ürünlerin kullanıldığı basınçlar ise PN ile ifade edilmektedir. Uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan 16 bar basınç altında çalışabilecek ürünlerin tasarımları gerçekleştirilmiş olup DN 200, DN 1000 anma ve nominal basınçları PN16 olarak ifade edilmiştir.

HAD analizlerinde K-epsilon türbülans modeli ile çözülmüş, y+ değeri 3 ve altında tutularak sınır katmanlarında (boundary layers) ve ağ örgüsünde iyileştirmeler yapılmıştır.

2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Formülasyonları

EN 1267:2012 (E) standardına göre akış katsayısı ve basınç kayıp katsayısı formülleri tanımlanmıştır. Buna göre akış katsayısı (Kv) Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$Kv = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p \times \rho_0}} \quad (1)$$

Bağıntıdaki Kv (m³/saat) akış katsayısını, Q m³/saat cinsinden akış debisi, ρ suyun kg/m³ cinsinden yoğunluğunu, ρ₀ suyun 15 °C'deki kg/m³ cinsinden yoğunluğunu, Δp (Giriş basıncı ile çıkış basıncı arasındaki fark) bar cinsinden vanadaki basınç kaybını ifade etmektedir.

Akışkan direnç katsayısı ζ (zeta) Denklem 2'ye göre ele alınmaktadır.

$$\zeta = \frac{2 \times \Delta P}{\rho \times u^2} \quad (2)$$

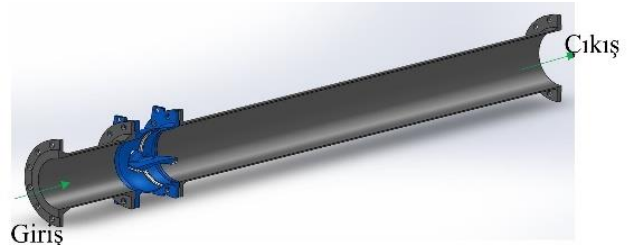
Denklem 2'de ΔP pascal cinsinden vanadaki basınç kaybını, u m/s cinsinden akış hızını, ρ ise suyun kg/m³ cinsinden yoğunluğunu ifade etmektedir.

TS EN 1267 akış direnci deney standardına göre Solidworks çizim programında vana tam açık pozisyonda olacak şekilde modellenmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilen modelleme Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üç boyutlu vana modeli

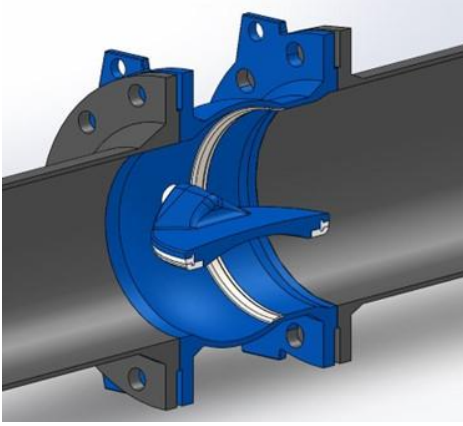
Bu modellemede akışkan giriş ve çıkış sınır koşullarının tanımlanması kritik bir öneme sahiptir. Standartta göre; vanadan 2xDN uzaklığında giriş sınır koşulları, 10xDN uzaklığında ise çıkış sınır koşulları tanımlanmıştır. Şekil 2'de HAD için akışkan yönü tasarımı yer almaktadır.



Şekil 2. HAD için akışkan yönlerinin tespit edilmesi

Sistemdeki akış katsayılarının doğru tespiti ve hesaplamaların gerçek veriler ile doğrulanması adına klape tam açık pozisyonda olacak şekilde hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te klape'nin tam

açık pozisyona göre sistemdeki yerleşimi yer almaktadır.



Şekil 3. HAD simülasyonu için klapeenin tam açık pozisyon yerleşimi

EN 1267 ve EN 1704 standartlarında tanımlanan vana basıncına ait akışkan hızı sınır değerlerine göre PN 16 basınç sınıfında yer alan tasarımlarda akışkan giriş hızı 4 m/s olarak seçilmelidir. Bu çalışmadaki HAD analizlerinde bu değer giriş hızı olarak ele alınmıştır.

Çıkış sınır değeri analizlerinde ise en yüksek çalışma basıncı olan 16 bar üst sınır değeri olarak tanımlanmıştır.

2.3. Sonlu Elemanlar Analizi

SEA'da tasarımı gerçekleştirilen vananın EN 1704 standardında tanımlanan sınır koşullarına göre mukavemet değerleri tespit edilmiştir. SEA'da parçalar tekil ve montajlı olarak iki farklı sayısal yöntemle ele alınmış ve Rayleigh-Ritz metodu ile interpolasyon çözümü gerçekleştirilmiştir. Standartta belirtilen sınır koşulları aynen uygulanmış ve gövde parçası için nominal basınç değerinin bir buçuk katı, klape parçası için nominal basınç değerinin yüzde on fazlası olarak tanımlanmıştır. Bu aşamadan elde edilen sonuçlar ile malzeme analizi ve seçimi aşamasına geçilmiştir.

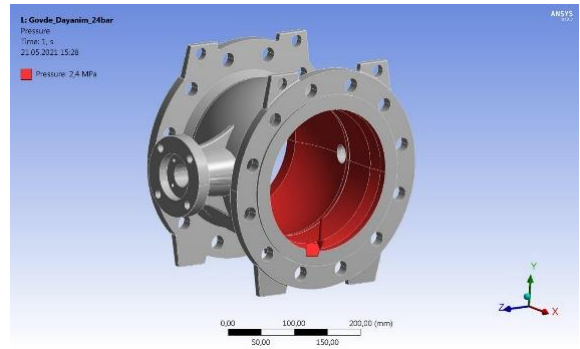
2.3.1. Malzeme Seçimi

Akışkanın temas ettiği gövde parçasının modellemesi gerçekleştirilirken TS EN 12266 ve TS EN 1074 standartlarına göre yapılan analizler neticesinde gövde basıncının bir buçuk kat basınç değerine dayanabilecek gövde malzemesi seçilmiştir. Basınç değerinin yüzde on fazlasına dayanacak klape malzemesi de yine aynı yöntemle seçilmiş olup gövde ve klape dayanım analizlerine göre parçalardaki gerilmeler ve deformasyon sonuçlarına göre malzeme seçimi yapılmıştır. Sonlu elemanlar mekanik analizlerine göre EN GJS 400-15 (GGG 40 olarak da tanımlanan) malzeme seçilmiştir. Şekil 4'te sonlu elemanlar yöntemi ile seçilen gövde ve klape malzemesine ait değerler yer almaktadır.

GGG 40 Tipi Malzeme Seçimi		
A	B	C
Özellik	Değer	Birim
Malzeme Seçim	Tablo	
İzotropik Elastisite	7300	kg m ³
Alınan Değer	Young Modülü ve Poisson Oranı	
Young Modülü	1,69E+11	Pa
Poisson Oranı	0,235	
Yüzey Modülü	1,06E+11	Pa
Kayma Modülü	6,82E+10	Pa
Çekme Mukavemeti	2,40E+08	Pa
Üst Çekme Mukavemeti	4,00E+08	Pa

Şekil 4. Gövde ve klape malzemesine ait sonlu elemanlar değerleri

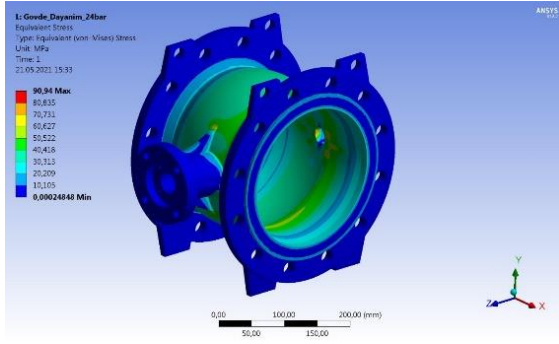
Sistemdeki gerilmeler ele alınıp sanal-simüle ortamda ürün ve proses tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde gövde akışkan temas yüzeylerinde 24 bar basınç tanımlanmıştır. Şekil 5'te gövde yüzeylerine uygulanacak olan maksimum basınç değerleri gösterilmiştir. Ürün prosesinde, prototip üretim için düşük ergime sıcaklığı, uygun akışkanlık ve kolay döküm, işlenebilirlikte kolaylık, yüksek aşınma direnci ile yüksek mukavemet ve süneklik değerlerine sahip hammadde olan EN GJS 400-15 seçiminin yapılmış olması prosesi hızlandırmıştır.



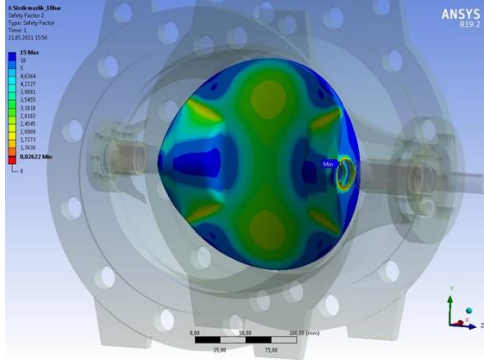
Şekil 5. Sonlu elemanlar analizleri için gövde akış temas yüzeyine tanımlanan en yüksek basınç yükü

Sayısal simülasyon uygulamaları sayesinde malzeme üzerindeki yük-gerilme dağılımları, operasyonlar arası boyutsal değişimler ve bunlar gibi metalurjik ve mekanik özelliklerin farklı parametrelerdeki değişimleri tasarımı yapılan prototip üretime aktarılmadan önce ortaya konabilmektedir. Gövde üzerindeki eşdeğer gerilmelerin analizlerine göre tasarım doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da gövde için 16 barlık nominal basıncın bir buçuk katı olan 24 bar basınç altında çalışabilen gövde tasarımının mekanik analiz değerleri gösterilmiştir.

240 MPa akma mukavemeti değerleri ele alınarak gerçekleştirilen klape malzemeleri için nominal basıncın yüzde on fazlası sınır koşul tanımlanarak mekanik sayısal analiz yöntemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre 16 barlık maksimum çalışma basıncının 1,1 katına denk gelen 18 bara göre klape mekanik analizi Şekil 7'de gösterilmiştir.



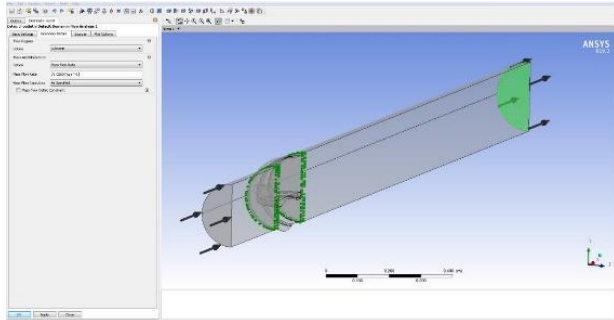
Şekil 6. Gövde tasarımı için seçilen malzemenin 24 Bar basınç altındaki mekanik analizi



Şekil 7. Gövdeye monte edilmiş ve nominal basınç değerinin 1,1 katı altında çalışan klapenin mekanik analizi

2.4. Akış Simülasyonları

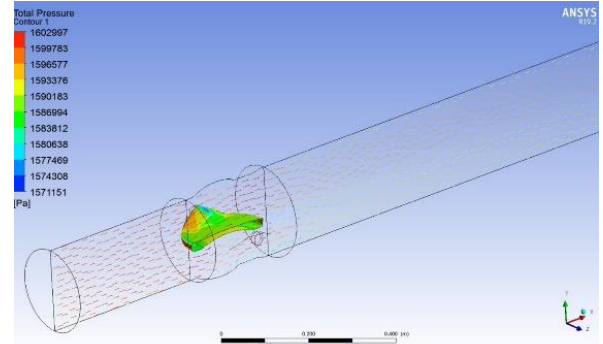
Sonlu elemanlar yöntemi ile uygun mekanik dayanıma sahip EN GJS 400-15 malzeme ile tasarımı yapılan ürünler; 16 bar basınç, 4m/s akış hızı altında ve klapen tam açık pozisyonundaki HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de HAD'a ait genel görünüm yer almaktadır.



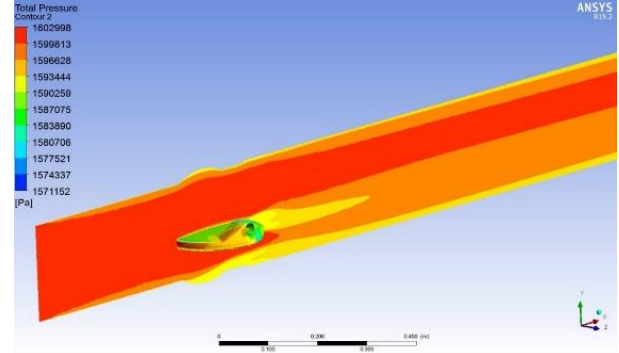
Şekil 8. Sistemin 16 bar, 4m/s akış hızındaki genel davranışı

Bu davranışın karakteristiğini daha iyi yorumlayabilmek adına hız vektörleri analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre klapen tam açık pozisyonda iken klapen ve gövdeye akışa karşı dayanımı daha net karakterize edilebilmiştir. Şekil 9'da sistemin hız vektörleri analizi gösterilmiştir.

Bu sistemin hız vektörleri analizini destekleyecek diğer parametre ise 16 bar basınç altındaki karakteristik davranışı olacaktır. Şekil 10'da sistemin basınç dağılımı gösterilmiştir.

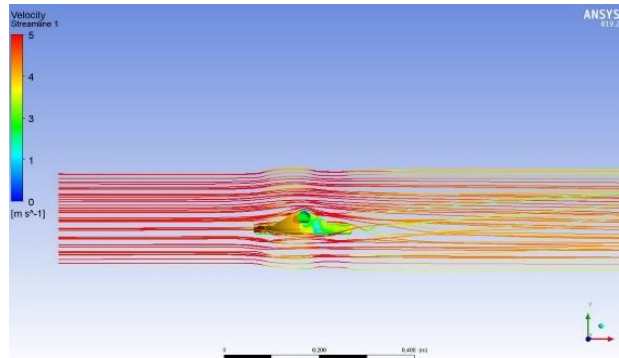


Şekil 9. Sistemin 4m/s hız vektörleri analizi



Şekil 10. Sistemin 16 bar basınç analizi

Akış belirli bir hız ve basınçta gerçekleştiğinde sistemin akış ipdikçikleri dağılım analizi gerçekleştirilerek toplam dayanım analiz edilmektedir. Şekil 11'de 4m/s vektör hızında, 16 bar basınç altındaki sistemin akış ipdikçikleri dağılım analizi yer almaktadır.



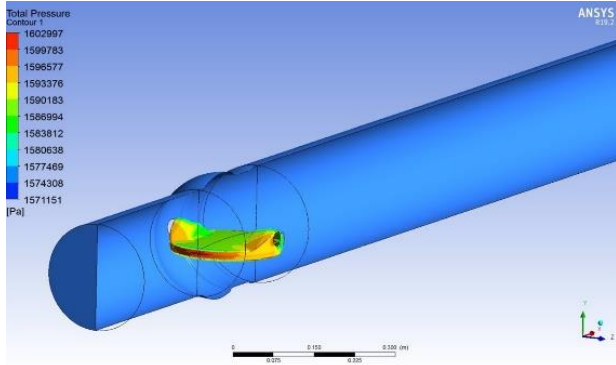
Şekil 11. Akış ipdikçikleri dağılımı

Tüm akış ve basınç analizleri gerçekleştirildikten sonra klapen üzerindeki hidrodinamik kuvvetlerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 12'de klapen üzerindeki hidrodinamik kuvvetlere ait olan HAD analiz görseli yer almaktadır.

2.5. Tasarım Doğrulama, Geçerli Kılma ve Prototip Üretim

Hidrodinamik özellikleri analiz edilerek tasarımı gerçekleştirilen klapenin döküm modeli ve maça sandığı üretimi Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) yazılımları ile Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC)

tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 13'te klapeye ait ahşap model üretimi gösterilmiştir.



Şekil 12. Klape üzerindeki hidrodinamik kuvvetlere ait HAD analizi



Şekil 13. Yeni tasarım klape ahşap model üretimi

Tasarlanan ve mekanik dayanım analizlerinin simülasyon ile doğrulandığı klape monte edileceği gövdeye ait model tasarımı Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Yeni tasarım bombeli gövde döküm modeli

Dökümü gerçekleştirilen gövdenin boyut kontrolü Faro Arm Quantum cihazı ile gerçekleştirilmiş ve ölçümlere ait rapor Faro CAM2 yazılımı ile elde edilmiştir. Şekil 15'te gövde dökümünün hassas ölçümlerine ait rapor yer almaktadır.

Üretilen gövde ve monte edilen klape simülasyonda gerçekleştirilen basınç testleri EN 1074'e göre gerçekleştirilmiştir. Basınç testleri gövde için 24 bar basınç altında vananın sızdırma ve hasar görmemesine göre değerlendirilmektedir. Basınç

testinin gerçekleştirildiği tasarım Şekil 16'da yer almaktadır.



Şekil 15. Döküm gövdeye ait hassas ölçüm raporu



Şekil 16. Basınç testine alınan gövde ve klape düzeneği

Simülasyon çalışmalarında herhangi bir sorun tespit edilmeyen ve buna göre üretimi gerçekleştirilen gövde ve klape monte edileceği gövdeye ait model tasarımı Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekil 17'de prototip Kv test düzeneği yer almaktadır.



Şekil 17. Kv test düzeneği

3. Bulgular

16 bar hat basıncı olacak şekilde ürün ve deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. 16 barlık hat basıncı

altında üründe herhangi bir plastik deformasyon ve sızdırma gözlenmemiştir.

16 bar iç ve dış basınç altında ve 4 m/s akışkan hızında vana tam açık pozisyona geldiğinde akışkan katsayısı K_v 'nin 1970 m³/saat olacak şekilde simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda elde edilen değerler neticesinde akış analizleri 1876 m³/saat ölçülmüştür. Bu ölçüm tasarım ile mukayese edildiğinde %5'lik bir hata payına tekabül etmektedir, EN 1074 standartlarında bu sapmanın %10'un altında olması beklenmektedir. Bu sebeple akış analizleri ve fiziksel test sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiş ve herhangi bir uygunsuzluk ile karşılaşılmaştır. Şekil 18'de verilen fiziksel test raporunda sonuçlar yer almaktadır.

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) ANALİZ RAPORU					
VALVE TYPE : YENİ JENERASYON KELEBEK VANA / DIKKAN SERİSİ					
DN :	200	(220)	/	(Akışkan Hızı :	4 m/s)
PN :	16				
KLAPENİN AÇIK POZİSYONU (%) : 100					
Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	HAD Analizindeki Akışkan Hızı (m/s)	Akışkan Debisi (m ³ /h)	Diferansiyel Basınç Farkı (ΔP) (bar)	Akış Katsayısı (Kv) (m ³ /h)
15,99999	15,97870	4,084	273,7	0,02129	1875,8
Not: Geometrinin simetrik olarak yansı kullanıldığı için hesaplamada da debi değerinin yansı kullanılmıştır.					

Şekil 18. Ürüne ait K_v ölçüm raporu

Ürün komponentlerinin TS EN 12266 standardında belirtilen 1,5 x 16 bar = 24 bar gövde iç basıncına dayanım, 1,1 x 16 bar = 18 bar sızdırmazlık testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Vanaların birçoğunda akış yolunun gerçek uzunluğundan kaynaklanan sürtünmenin oluşturduğu kayıplar, akış yönündeki ani değişiklikler, akış yönündeki engeller ve yüzey pürüzlülükleri sebebiyle bu değerler değişkenlik göstermektedir ancak prototip imalat test sonuçları ile simülasyon sonuçları kıyaslandığında ürünün K_v değerlerinde bir farklılık tespit edilmemiş ve bilgisayar destekli tasarım ve prototip üretim verileri neredeyse birebir örtüşmüştür.

Gövde tasarımında minimum 240 N/mm² akma mukavemetine göre gerçekleştirilen akış testlerinde 16 bar altında herhangi bir olumsuzluk tespit edilmemiş olup 24 bar basınç altında üründe plastik deformasyon meydana gelmemiştir.

Klape malzemesinin testlerinde 1,1 kat fazla gerçekleşen gerilmelerin altında problem tespit edilmemiş olup, maksimum basıncın iki katı yükler altında deformasyon gözlenmemiş ve ürün EN 1074 standardının gerekliliklerini başarıyla sağlamıştır.

Solidworks sürdürülebilirlik raporu ile ürün başına 140 kg CO₂ karbon ayak izi elde edilerek mevcut

ürünlerde %26 iyileşme; malzeme, üretim ve ürün ömrü ile 1400 MJ/ürün toplam enerji tüketimi ile %32 enerji tasarrufu elde edilecek ürünün tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Ürünün geliştirilmesi aşamasında elde edilen özgün bombeli gövde ve kademeli mil tasarımları için ulusal ve uluslararası patent başvuruları tamamlanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

İklim kriziyle mücadele kapsamında su kaynaklarının verimli kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. İklim krizinin oluşmasının başlıca sebepleri arasında yer alan ve küresel ısınmanın ölçüsü olan karbon ayak izinin azaltılması için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışma neticesinde tasarımı gerçekleştirilmiş olan kelebek vana ürününde akış katsayılarındaki iyileştirmeler ile enerji kayıpları %32 azaltılmış, karbon ayak izi %26 düşürülmüştür. Gövde ve klape tasarımlarında simülasyon destekli testlerin, gerçek test verileri %95 oranında örtüşmesi simülasyon destekli tasarımların önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Makalede gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde özgün bombeli gövde ve kademeli mil yapısı için ulusal ve uluslararası patent başvuruları gerçekleştirilmiştir. Vana sektöründe ilk patent 1839 yılında yayımlanmış ve 1900'lü yılların ortasında neredeyse tüm vana komponentlerine ait patentler alınmıştır. Bu çalışma neticesinde ulusal ve uluslararası patentlerin tamamı taranmış, geliştirilen bombeli gövde ve kademeli mil tasarımı ile ilgili herhangi patentin alınmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç çalışmayı daha özgün bir hale getirmiştir. Makalede gerçekleştirilen çalışmaların ticarileşmesi neticesinde; uzun ömürlü, enerji verimi yüksek, çevre ve insan sağlığı değerlerini korumayı hedefleyen, tamamen yerli ve milli bir ürün vana sektörüne kazandırılmıştır.

Teşekkür

KOSGEB Ar-Ge İnovasyon Destek Programı kapsamında başarıyla tamamlanan "Akış Direnci Minimize Edilmiş, Düşük Torklarla Çalışan, Korozyon Dayanımı Artırılmış, Yüksek Performanslı Yeni Nesil Kelebek Vana" başlıklı projemize verdiği destek sebebiyle KOSGEB'e, "Çift Eksantrik Kelebek Vana" ve "Yeni Gövde Tasarımına Sahip Çift Eksantrik Kelebek Vana" başlıklı buluşlarımızın ulusal ve uluslararası patent sürecinde verdiği destek sebebiyle Türk Patent ve Marka Kurumu'na teşekkürlerimizi sunarım.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederim.

Kaynakça

- [1] Keskin, G. 2019. Doğal havalandırmalı plastik serada bazı iklim parametrelerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (had) ile belirlenmesi: hatay ili örneği. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- [2] Cemek, B., Atış, A., Küçüktopçu, E. 2017. Evaluation of temperature distribution in different greenhouse models using computational fluid dynamics (CFD). *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(1), 54-63.
- [3] Aslanbay Güler B., İmamoğlu, E. 2020. Bilgisayar destekli simülasyon ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1), 42-52.
- [4] Küçüktopçu, E. 2016. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Kullanarak Kümes İçi Çevre Koşullarının Belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- [5] Arsenoia, V., Vlăduț, V., Țenu, I., Voicea, I., Moiceanu, G., Cârlescu, P. M. 2019. Mathematical Modeling and Numerical Simulation of the Drying Process of Seeds in a Pilot Plant. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 57(1), 55-62.
- [6] Malekjani, N., Jafari, S.M. 2018. Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 206-223.
- [7] Süfer Ö., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş. 2016. Gıda Mühendisliğinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 14(4), 465-471.
- [8] Skousen, P.L. 1997. *Valve Handbook*, Mc Graw-Hill Company, 121-155.
- [9] Zappe, R.W. 1998. *Valve Selection Handbook*, Fourth Edition, GP Publishing, 73-76.
- [10] Nesbitt, B. 2007. *Handbook of Valves and Actuators*, Elsevier, 96-102.
- [11] Flitney, R. 2007. *Seals and Sealing Handbook*, Elsevier Inc., 59-64.
- [12] Tokay, S. 2013. Vanalar ve Vana Uygulamaları, Duyar Akademi Yayınları Kitap Dizisi, No:1, 19-31.
- [13] Lin, Z., Sun, X., Yu, T., Zhang, Y., Li, Y., Zhu, Z. 2020. Gas-solid two-phase flow and erosion calculation of gate valve based on the CFD-DEM model, *Powder Technology*, 366, 395-407.
- [14] Demir, U., Coşkun, G., Soyhan, H.S., Türkcan, A. 2022. Effects of variable valve timing on the air flow parameters in an electromechanical valve mechanism—A cfd study, *Fuel* 308(6), 121956.
- [15] Filo, G., Lisowski, E., Rajda, J. 2019. Flow analysis of a switching valve with innovative poppet head geometry by means of CFD method, *Flow Measurement and Instrumentation*, 70, 101643.
- [16] Trokhaniak, V.I., Rogovski, I.L., Titova, L.L., Dziubata, Z.I., Luzan, P.H., Popyk, P.S. 2020. Using CFD Simulation to Investigate the Impact of Fresh air Valves on Poultry House Aerodynamics in Case of a Side Ventilation System, *62(3)*, 155-164)
- [17] Duan, Y., Revell, A., Sinha, J., Hahn, W. 2019. A computational fluid dynamics (CFD) analysis of fluid excitations on the spindle in a high-pressure valve, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 175, 103922.
- [18] Hurtado-Misal, A.D., Hernández-Sanjuan, D., Coronado-Hernández, Ó. E., Espinoza-Román, H.G., Espinoza-Román, V.S., 2021. Analysis of sub-atmospheric pressures during emptying of an Irregular pipeline without an air valve using a 2D CFD model, *Water* 13(18), 2526.
- [19] Liu, N., Liu, Z., Li, Y., Sang, L. 2019. An optimization study on the seal structure of fully-rotary valve energy recovery device by CFD, *Desalination*, 459, 46-58.
- [20] Bhowmik, P.K., Suh, K.Y. 2021. Flow mapping using 3D full-scale CFD simulation and hydrodynamic experiments of an ultra-supercritical turbine's combined valve for nuclear power plant, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 12(3) 365-381.
- [21] Saha, B.K., Li, S, Lv, X., 2020. Analysis of pressure characteristics under laminar and turbulent flow states inside the pilot stage of a deflection flapper servo-valve: Mathematical modeling with CFD study and experimental validation, *Chinese Journal of Aeronautics* 33(3), 1107-1118.
- [22] Vellguth, K., Brüning, J., Tautz, L., Seidel, F. 2019. User-dependent variability in mitral valve segmentation and its impact on CFD-computed hemodynamic parameters, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 14(1), 1687-1696.
- [23] Wang, M., Wang, Y., Tian, W., Qiu, S., Su, G.H. 2021. Recent progress of CFD applications in PWR thermal hydraulics study and future directions, *Annals of Nuclear Energy* 150, 107836.