

Santrifüj Pompa Tasarımında Sayısal Yöntemlerin (HAD/CFD) Kullanımı

İsmail Ovalı¹, Öner Atalay^{2*}, Ege Yılmaz³

ÖZ

Santrifüj pompalar mühendislik alanında yaygın olarak kullanılan ürünlerdir. Kullanım alanlarına göre çok farklı parametre içermektedir. Tasarım aşamasında ise farklı debiler, basma yükseklikleri için bir çok dizayn parametresi oluşturulması gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte bilgisayar destekli programların tasarım sürecinde kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu sayede hem zamandan tasarruf sağlanmakta hem de maliyet azaltılmaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) veya yabancı dilden alıştığımız şekliyle CFD analizleri pompa tasarımında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ürün tasarımı yapıldıktan ve katı model oluşturulduktan sonra analiz programları kullanılarak pompa içindeki sayısal analizler yapılabilir. Burada deneysel metotlara göre en önemli olan avantaj ise parametrelerin sınırsız sayıda değiştirilebilir olmasıdır. İstenilen değerler elde edilinceye kadar süreç devam ettirilebilir. Bilgisayar yardımıyla elde edilen bilgiler ışığında üretim ve kullanım süreçlerine geçilebilir. Bu çalışmada örnek bir santrifüj pompa ele alınarak sayısal analiz adımları sırasıyla açıklanmıştır. Program içinde kullanılan yöntem ve kabuller genel literatür bilgisine göre ele alınmıştır. Uygulanacak yöntemler sınırsız olup istenildiği takdirde farklı yollar ile çözüm ağları genişletilebilir.

Anahtar Kelimeler: Santrifüj Pompa, Tasarım, HAD/CFD

The Usage of Numerical Methods (HAD/CFD) in The Design of Centrifugal Pumps

ABSTRACT

Centrifugal pumps are widely used products in engineering field. It contains many different parameters according to the usage areas. At the design stage, many design parameters must be created for different flow rates and pump heads. According to the development of technology, the use of computer aided programs in the design process has become widespread. In this way, time is saved and cost is reduced. Computational Fluid Dynamics (HAD) or CFD analysis, as we are used to in a foreign language, is quite widely used in pump design. After product design and solid model generation, numerical analysis in the pump can be performed using analysis programs. The most important advantage over experimental methods is that the parameters can be changed in an unlimited number. The process can be continued until the desired values are obtained. In the light of the information obtained with the help of a computer, production and use processes can be switched. In this study, a sample centrifugal pump is considered and the numerical analysis steps are explained respectively. The methods and admissions used in the program are considered according to general literature knowledge. The methods to be applied are unlimited and solution networks can be expanded by different ways if wanted.

Keywords: Centrifugal pump, Design, HAD/CFD

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 22.04.2021

Kabul/Accepted : 29.05.2021

¹ Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Denizli, iovali@pau.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8193-0060

² Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Denizli, oatalay@pau.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6142-1288

³ Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Denizli, yilmazege97@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5609-3566



EXTENDED ABSTRACT

Centrifugal pumps are widely used equipment in many fields. From the boiler in the house to the power generation plants, there is a wide range of uses. Although many varieties are available in the catalogues of manufacturers, they are also produced in the form of special production. At the beginning of the parameters affecting the design of the pump is the flow rate of the fluid and the pressure height. In addition, the characteristics of the place where it will be used affect the selection of the pump in properties such as the type of fluid. Pumps are designed according to long-life working conditions and occasionally perform high energy consumption at the rate of their capacity. As much as designers pay attention to the interior design, they also want the pump to be efficient. With the expansion of computer use in the manufacturing sector, analysis programs have been greatly facilitated in pump design. In addition to the programs used in terms of materials, geometry, strength, there are commercial programs that analyze flow aerodynamics.

In this study, some changes were made by creating a ready-made CAD file. Then MESH operations were performed on the part, input parameters were created. After determining the flow model and parameters, analysis and POST PROCESSING are discussed. The ANSYS Workbench program was used in the study.

Computational Fluid Dynamics (CFD) are methods that help flow analysis by solving continuity, momentum and energy equations without installing experimental mechanisms. At this point, the designer can have information before developing his design for different flow forms. All kinds of changes (geometry, pressure, flow rate, etc.) can be done and great savings can be achieved from both time and cost. The most important point here is that the designer must have a good knowledge and experience of fluid mechanics. A lot of information is needed in program editing. Another issue is the capacity of the computers used to perform analysis. Solution time can be long on low-performance computers. It should be well known that no program can obtain better results than experimental analysis conducted under real conditions. At this point, the designer must decide how precisely can accept this data. It is the most appropriate method to compare the prototype product with the information provided by the program before proceeding to final production.



1. GİRİŞ

Santrifüj pompalar birçok alanda yaygın olarak kullanılan ekipmanlardır. Evdeki kombiden tutun da elektrik üretim santrallerine kadar geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Üretici firmaların kataloglarında birçok çeşit mevcut olmakla birlikte özel imalat şeklinde de üretilmektedirler. Pompanın dizaynını etkileyen parametrelerin başında akışkanın debisi ve basma yüksekliği gelmektedir. Bunların yanında kullanılacağı yerin özellikleri, akışkan tipi gibi özelliklerde pompa seçimini etkilemektedir. Pompalar uzun ömürlü çalışma şartlarına göre tasarımı gerçekleştirilmekte olup kapasiteleri oranında zaman zaman yüksek enerji tüketimi gerçekleştirmektedirler. Tasarımcılar iç tasarıma dikkat ettikleri kadar pompanın aynı zamanda verimli olmasını da istemektedirler. Bilgisayar kullanımının imalat sektöründe yaygınlaşması ile birlikte analiz programları pompa tasarımında da büyük oranda kolaylık sağlamıştır. Piyasada malzeme, geometri, mukavemet yönünden kullanılan programları yanı sıra akış aerodinamiği yönünden de analiz yapan ticari programlar mevcuttur.

Pompaların akış analizleri ile literatürde birçok yayın mevcuttur. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) olarak bilinen bu metot aynı zamanda yabancı dilden kulağımıza yer etmiş olan CFD (Computational Fluid Dynamics) adıyla da kullanılmaktadır. Nataraj ve Singh (2013) yaptıkları çalışmada santrifüj pompanın çark performansındaki iyileştirmeleri analiz etmek için RSM(Response Surface Methodology) yöntemini kullanmışlardır. Bunun yanında CFD yöntemiyle de akış parametrelerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada pompanın basma yüksekliğinde iyileştirmeler olduğu ortaya çıkarken aynı zamanda tükettiği güç değerlerinde de azalma görmüşlerdir[1]. Parlak(2016) yaptığı çalışmada santrifüj tipi bir pompa çarkının belirlenen parametre ve bunların seviyeleri arasından, en iyi verim, basma yüksekliği ve debiyi sağlayacak olan değerleri Taguchi yöntemi kullanılarak deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca yapılan varyans analizleri yardımıyla her bir parametrenin verim, basma yüksekliği ve debi üzerindeki etkileri de hesaplanmıştır[2]. Jin ve arkadaşları (2012) ultra düşük özgül hızlı santrifüj pompa tasarımında CFD yöntemini kullanmışlardır. Benzer ürünlere göre yaptıkları çalışmada basma yüksekliği ve enerji performansının daha iyi olduğunu görmüşlerdir [3]. Bacharoudis ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada CFD yöntemi ile kanat çıkış çapı, kanat açısı ve kanat sayısı ile ilgili parametreleri değiştirerek pompanın performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan tasarımları deneysel olarak da karşılaştırmışlar ve sayısal analizlerin makul seviyede olduğunu ortaya koymuşlardır.

Pompa tasarımında en çok dikkat edilen konu tasarlanan pompadaki akışın formu ve akış ile ilgili veri (debi, basınç, tork, verim) değerleridir. HAD yöntemi ile yapılan çalışmalarda pompalardaki akış için geçerli olan süreklilik, momentum, türbülans denklemleri ve sınır koşulları ile ilgili bilgiler verilmekte, çözüm yöntemleri ve doğru çözümler elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar üzerine durulmakta-



dır. Ayrıca yapılan çalışmalarda çözüm ağının oluşturulması, çözümün elde edilmesi safhasında karşılaşılan zorluklar ve edinilen tecrübeler aktarılmıştır[5]. Ülkemizde sanayide kullanılan elektriğin yaklaşık beşte biri pompalar tarafından tüketilmektedir. Pompaların çalıştığı sistemlerde sıklıkla yapılan hata, yanlış pompa seçimi ve yanlış pompaj sistemi tasarımıdır. Bu tür sistemlerde yapılacak iyileştirmeler ile yüksek miktarda enerji tasarrufu elde edilmesi mümkündür[6].

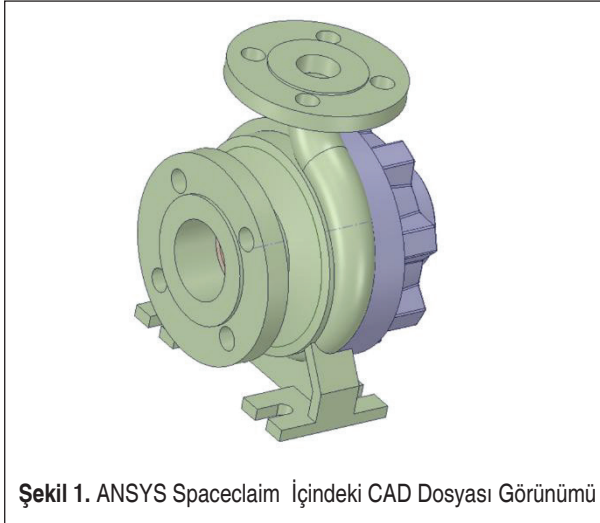
Yapılan bu çalışmada akış analizlerinin yapılacağı pompanın katı modeli elde edilerek MESH işlemleri parça üzerinde gerçekleştirilmiş, giriş parametreleri oluşturulmuştur. Akış modeli ve parametreleri belirlendikten sonra ANALİZ ve POST PROCESSING süreçleri ele alınmıştır. Çalışmada ANSYS Workbench programı kullanılmıştır[7].

2. MATERYAL VE METOD

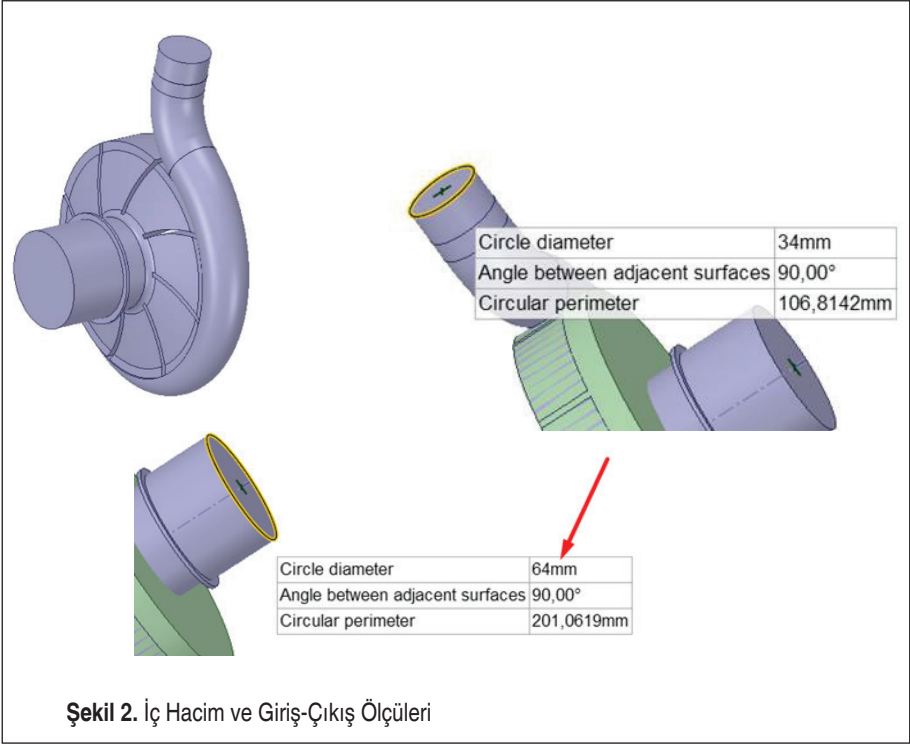
2.1 CAD Dosyasının Hazırlanması

İlk olarak pompanın CAD modelinin oluşturulması gerekmektedir. Hazır pompa modeli mevcut olduğu için için Grabcad sitesinden gerekli olan cad dosyası indirilmiştir. Bu siteden hazır indirilmiş olan pompa üzerinde ilk etapta bazı değişiklikler yapılmıştır. Örnek olarak rulmanlar o-ringler kapaklar gibi akış ile alakası olmayan elemanları analiz dışına çıkarılmıştır. Sonuç olarak Şekil 1 deki gibi bir tasarım elde edilmiştir.

Yukarıdaki pompadaki dış bilşenlerin wall(duvar) olarak ayarlanıp buradaki kısımların da analiz dışı edilmesi gerekmektedir. Burada yapılan işlem suyun hacmini çıkarmaktır. Su ile analiz yapılmış olup suyun bağımsız değerleri alınmıştır. Bunun için spaceclaimin içinde hazırlık modülünde giriş çıkışlar seçilmiş ve iç hacim çıkarıl-



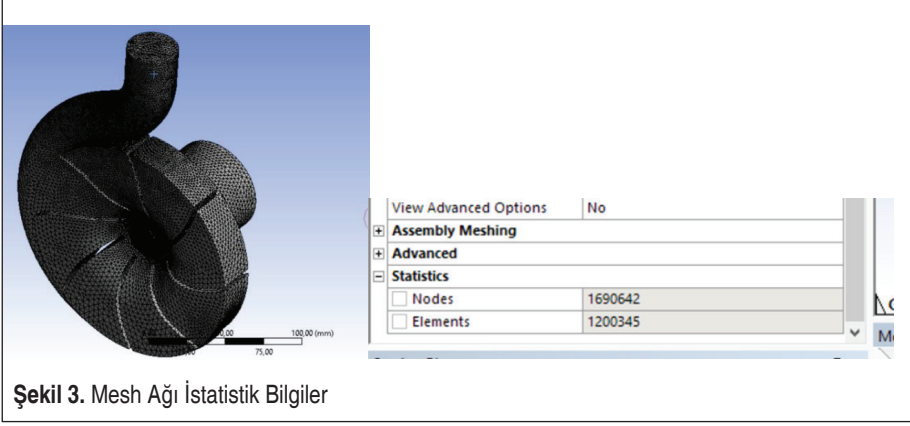
Şekil 1. ANSYS Spaceclaim içindeki CAD Dosyası Görünümü



mıştır. İç hacim oluşturulduktan sonra diğer makine elemanları(pompanın kabuğu ve vida açıkları) analizden atılır. Analizden atıldıktan sonra pompa içindeki akışın hacmi ortaya çıkmış olur ve Şekil 2’de görüldüğü gibi bu hacim üzerinde çalışma yapılır.

2.2 Meshleme

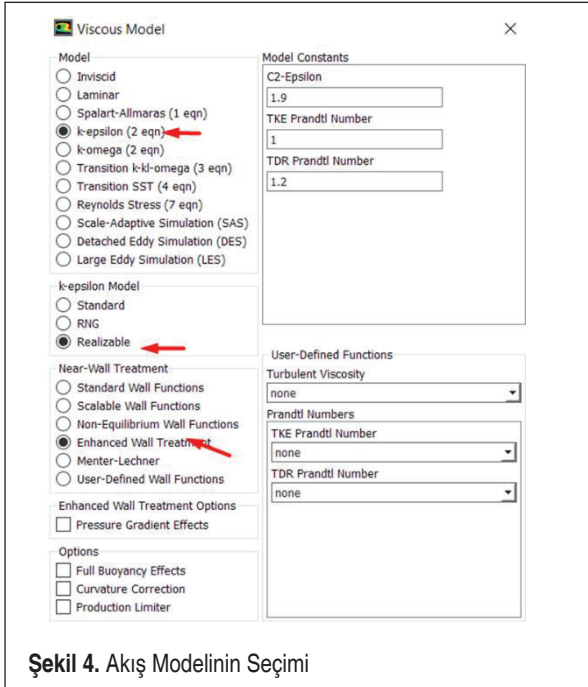
Meshleme(küçük parçalara ayırma) ekranı açılınca refresh(yenileme) yapılır ve gerekli olan katılamaların gelmesi sağlanır. Meshlemeden önce ilk olarak giriş ve çıkış olan bölgeleri seçip isimlendirme yapılır. Diğer kısımlara bir bilgilendirme yapılmasına gerek yoktur, program default olarak buraları wall olarak görecektir. İsimlendirmeden sonra bölgesel meshleme yapıları tanıtılır. Bunun için iki adet body(gövde) meshleme ve 1 adet face(yüzey) meshleme kullanılmıştır. Bu kısımlarda deneme yapılmaları ile istenilen mesh kriterine ulaşılabilir. Mesh kriterleri akış analizi için büyük önem taşımaktadır. Meshleme yapıldıktan sonra aşağıdaki gibi bir mesh ağı olacaktır(Şekil 3). Bunun ardından Reynolds sayısı hesaplanarak akışın tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Türbülans veya laminar akış türüne bu aşamada karar verilir. Akış tipinin belirlenmesinde bazı özel programlar kullanılabilir[8]. Bu programlar sayesinde suya ait viskozite ve yoğunluk değerleri elde edilebilir.



Şekil 3. Mesh Ağı İstatistik Bilgiler

2.3 Analiz

Analiz ekranı açılınca ilk olarak çift değerlendirme için (double precision) sekmesi seçilir. Bu daha iyi sonuç verir ancak daha uzun bir analize sebep olur. Program açılınca genel ayarlar sekmesi karşınıza gelmektedir. Bu sekmeden yer çekimini açmak uygun olur, ancak bu ihmal edilebilir bir büyüklüktür. Sonrasında (check ve report quality) sekmelerine basılır. Program tarafından bir hata yakalandığı takdirde (şekilde



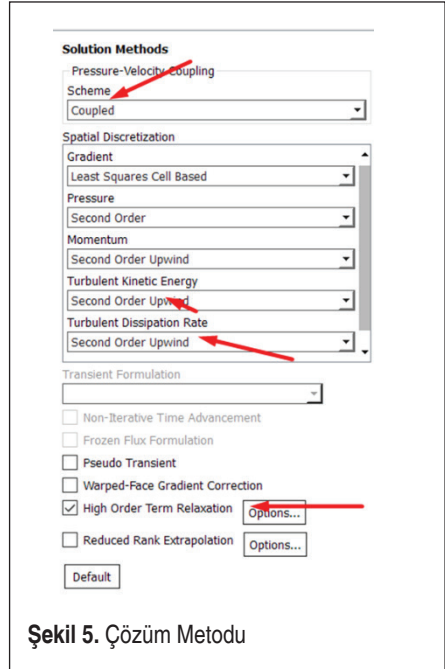
Şekil 4. Akış Modelinin Seçimi

veya meshte) program bunu bilgilendirecektir. Bundan sonraki adımda türbülans modeli seçmek gerekir. Bunun için model sekmesine girilir. Birçok model tanımlamaları mevcuttur fakat bu tip akış problemlerinde k-epsilon modeli sıklıkla kullanılmaktadır. Akış modelinin yanında sınır tabaka seçimi yapılır. Çalışmada Reynolds sayısına uygun olarak (enhanced wall treatment) seçim yapılmıştır(Şekil 4). İsteğe bağlı olarak bu analiz için k-w SST modeli de seçilebilir ancak bu işlem çözümü daha uzun sürede sonuç vermektedir.

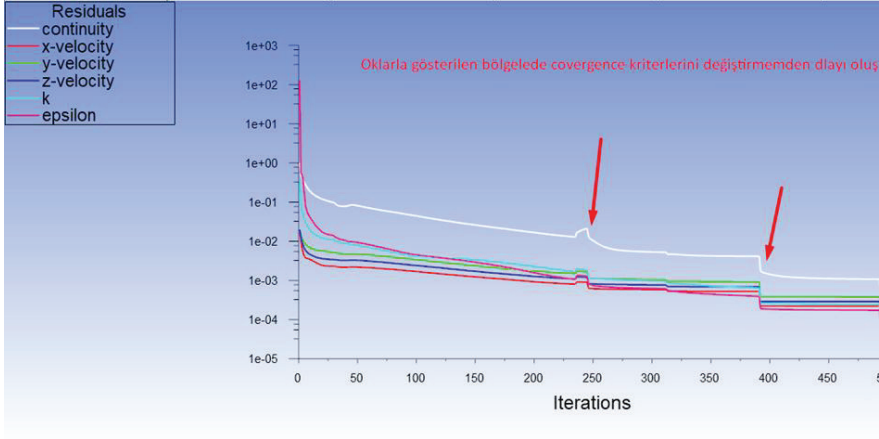
Bundan sonraki adımda akış bölgesi seçimi yapmak için (cell-zone conditions) sekmesine girilir. Daha önce oluşturulan dönme bölgesine çift tıklanır ve açılan menüden dönme hızı, dönme yönü bilgileri girilir. Sonraki adımda malzeme seçimleri yapılır. Su ile analiz yapılacağı için likit su seçilir ve devam edilir.

Sınır şartlarını ayarlamasını ilk olarak girişten başlıyoruz. Zorlama bir giriş olmayacağı için (pressure inlet) olarak seçilecektir. Sınır koşulları atmosferik havada gerçekleştiği varsayımı yapıyoruz. İnlet için türbülans değerlerinin girilmesi. Sınır koşullarında ikinci olarak çıkış şartları ve türbülans değerleri girdisi oluşturulur. Sonrasında referans değerlerinin ayarlamaları yapılır. Bu ayarlar sayesinde daha kolay sonuca ulaşma sağlanır. Daha sonra çözüm yaklaşımı seçilir. Türbülanslı akışlarda coupled methodu öne çıkmaktadır ve nümerik olarak ikinci dereceden çözümler kullanılmaktadır(Şekil 5). Sonrasında hücrelere ilk değerlerin verilmesi için başlatma (initialization) yapılır. Burada genellikle hibrid tip tercih edilmektedir. "Initialization" yakınsama için önem kazanmaktadır ancak doğru cevaba ulaşmada çok önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmamaktadır. Analiz için yapılması gereklidir.

Raporlanması istenilen analizin doğruluğunu test etmek amaçlı hata-doğruluk (residuals) ve kütle korunumu ele alınmalıdır. İlk olarak (residual) sekmesine girilir. Burada kriterler belirlenir. Bunlara hata kriteri de denilmektedir. Sistem otomatik olarak 0,001 değerini önermektedir. Analiz doğruluğu için bu değerler düşürülebilmektedir. Ardından kütle korunumu gözlemlemeye geçilir. Kütle korunumu bu raporlama ile görülebilmektedir. Bu sayede Giriş (Inlet) ve Çıkış(Outlet) arasındaki bağıl fark görülebilmektedir. Sistem kütle girişi ve çıkışı eşit olmalıdır



Şekil 5. Çözüm Metodu



Şekil 6. Çözümün İterasyonlara Bağlı Olarak Yakınsaması

yani bu değerin sıfıra yakın çıkması beklenmektedir. Ayrıca çıkışta ne kadarlık bir debi oluştuğunu görmek için sadece (outlet) seçilerek ayrı bir raporlama da oluşturulabilir. Bu çalışmada ilk olarak 200 iterasyon tercih edilerek analize başlanmıştır. Daha sonra residual takibinde beyaz renk ile gösterilen süreklilik çizgisinin (continuity) kararlı hale gelmeyeceği görüldüğünden tekrar bir iterasyon değeri girilmiştir (Şekil 6). Bu çalışmada 498. iterasyonda süreklilik çizgisinin sabit olduğu görüldüğünde çözümün yakınsamış olduğu kabul edilmiştir. Burada ayrıca kütlelin korunumu da incelendiğinden, değişimin sıfır olduğu görüldüğü noktada çözümün yakınsamış olduğu kabul edilmiştir.

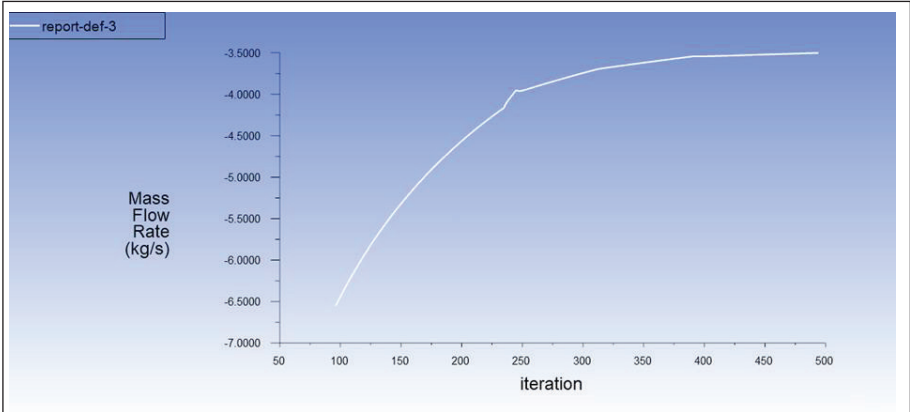
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Post-Processing (Analiz Yorumlama)

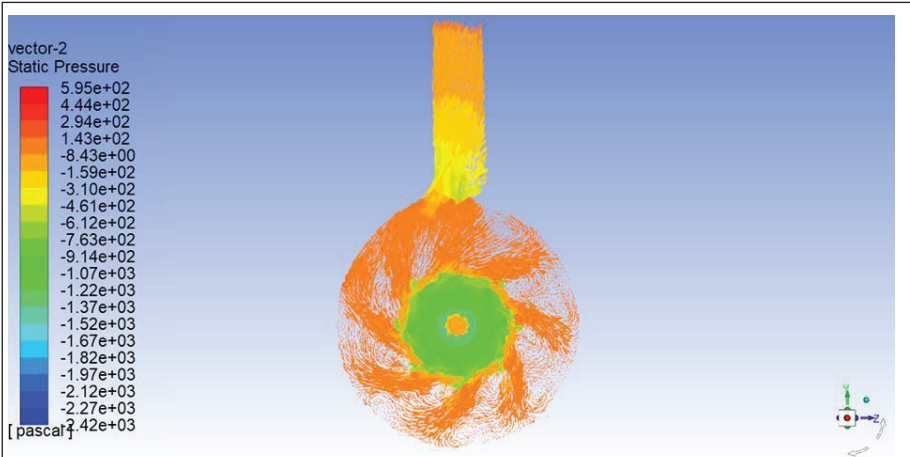
Analiz için girilen değerlere bakılarak çözümün yakınsadığına karar verildiğinde analiz sonlandırılır. Raporlama (report) işlemlerinden debi, hız ve basınç dağılımları ile ilgili birçok veri elde edilir. Bu çalışmada pompa çıkış kütleli debisi 3,58 kg/s olarak hesaplanmıştır (Şekil 7).

Pompa için en önemli parametre debi, basınç ve hız değişimleridir. Yapılan bu çalışmada pompa giriş ve çıkıştaki parametreler de incelenmiştir. Basınç dağılımı (Şekil 8) ve hız vektörleri (Şekil 9) nin pompa geometrisine göre değişimi aşağıda verilmiştir.

Çark çevresi ve pompa çıkışında oluşan basınç değişimleri net olarak görülmektedir. Hız vektörlerine çözüm yakınsamadan önce ve sonra olmak üzere iki ayrı zamanda

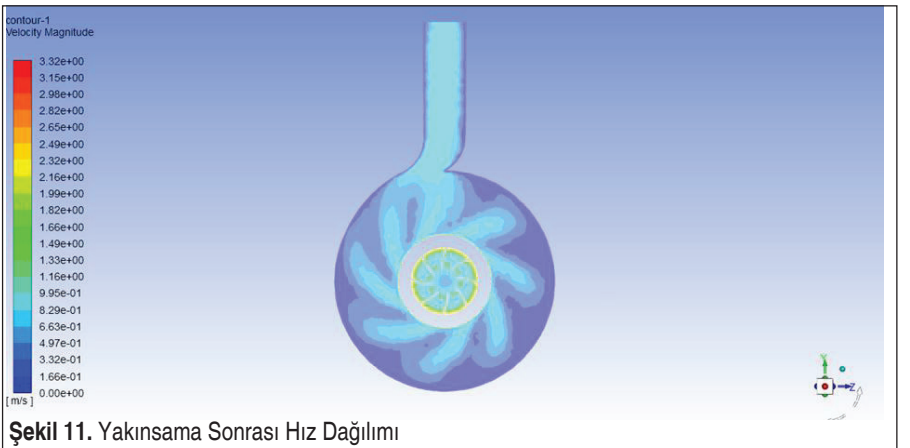
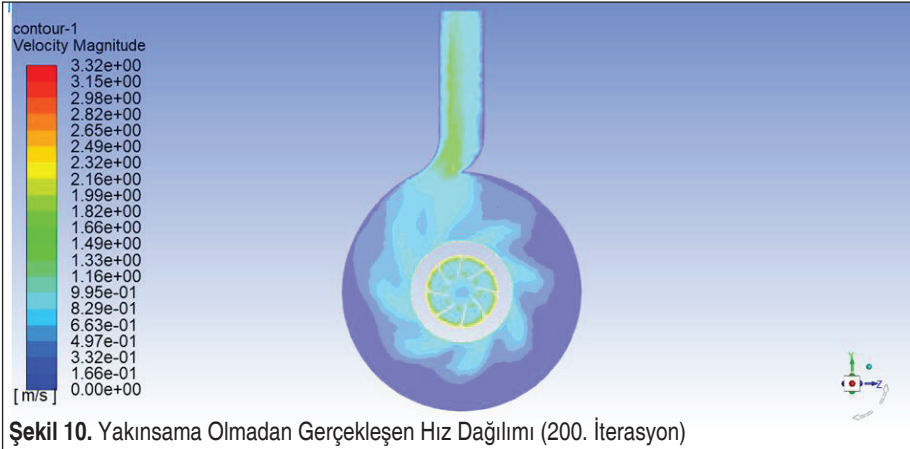
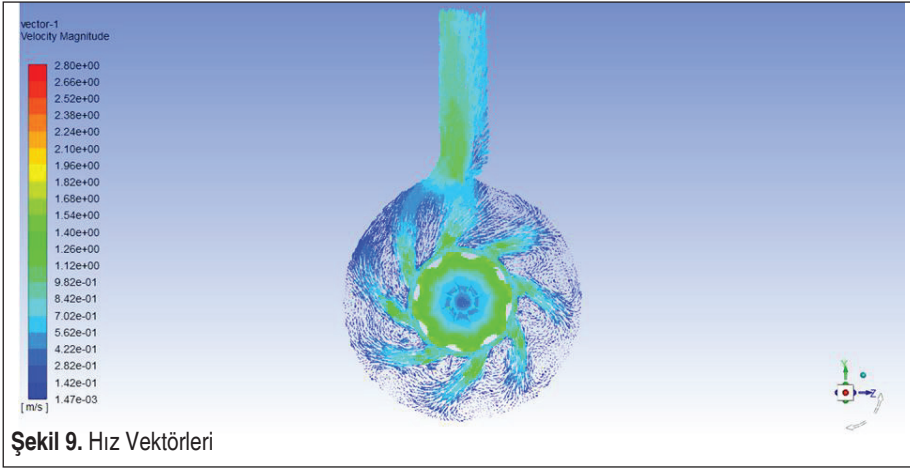


Şekil 7. Kütleli Debi Değişimi



Şekil 8. Basınç Countour Dağılımı

bakılabilir. Şekil 10 ve Şekil 11 da yakınsama öncesi ve yakınsama durumu için hız vektörlerinin değişimi izlenebilmektedir. Yakınsama durumunda ortaya çıkan grafik net bir şekilde anlaşılabilir.





4. SONUÇLAR

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD)(CFD) deneysel düzenekler kurmadan süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini çözerek akış analizine yardımcı olan yöntemlerdir. Tasarımcı bu noktada farklı akış formları için tasarımını geliştirmeden önce bilgi sahibi olabilmektedir. Her türlü değişikliğe(geometri, basınç, debi vs) açık olan program sayesinde hem zamandan hem de maliyetten büyük kazanımlar sağlanabilmektedir. Buradaki en önemli nokta tasarımcının iyi bir akışkanlar mekaniği bilgi ve tecrübesine sahip olması gerekmektedir. Program kurgusu içinde birçok bilgiye ihtiyaç vardır. Bir başka konu da kullanılan bilgisayarların analizi gerçekleştirme kapasitesidir. Düşük performanslı bilgisayarlarda çözüm süresi uzun olabilmektedir. Şu da iyi bilinmelidir ki hiçbir program gerçek şartlar altında yapılan deneysel analizlerden daha iyi sonuç verememektedir. Tasarımcı bu noktada ne kadar hassasiyet içinde bu verileri kabul edebileceğine karar vermelidir. Nihai üretime geçmeden önce program sayesinde sağlanan bilgiler ile prototip ürün karşılaştırması yapılması en uygun olan yöntemdir.

KAYNAKÇA

1. **Nataraj, M., Ragoth Singh, R.** Analyzing pump impeller for performance evaluation using RSM and CFD, Desalination and Water Treatment, 1-10, 2013.
2. **Parlak, Z.** 2016. En uygun çark tasarımı ile bir santrifüj pompa performansının iyileştirilmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bil Der, Cilt 20, Sayı 3, 667-676.
3. **Jin, J., Fan, Y., Han, W., Hu, J.** 2012. Design and Analysis on Hydraulic Model of The Ultra -low Specific-speed Centrifugal Pump, Procedia Engineering, 31, 110 – 114.
4. **Bacharoudis, E.C., Filios, A.E., Mentzos, M.D., Margaris, D.P.** 2008. Parametric Study of a Centrifugal Pump Impeller by Varying the Outlet Blade Angle, The Open Mechanical Engineering Journal, 2, 75-83.
5. **Karamanoğlu Y., Mobedi M., Ertöz A.Ö.** 2006. Pompa Tasarımının Gelistirilmesinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Kullanılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 91, 46-55.
6. **Şenol G.K., Karakuş C.** 2017. Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları, Mühendis ve Makina, 58, 687, 1-16.
7. <https://grabcad.com/library/tag/pump>: son erişim tarihi:01.04.2021
8. https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html: son erişim tarihi:01.04.2021