

## ÇOK SİLİNDİRLİ BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA EMME MANİFOLDUNUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI İLE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet Ali BİBERCİ<sup>1</sup> Tevfik ATAMAN<sup>1</sup> Engin GEDİK<sup>2</sup> Mustafa Bahattin ÇELİK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 78020, Karabük, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fak., Enerji Sistemleri Mühendisliği Böl., 78020, Karabük,  
TÜRKİYE

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fak., Otomotiv Mühendisliği Böl., 78020, Karabük,  
TÜRKİYE

m.alibiberce@karatekin.edu.tr

**Özet-** Motorun değişken performans ihtiyacına bağlı olarak tüm yük ve hızlarda silindirlere yeterli miktarda hava ile beslenmesine imkân sağlanmalıdır. Emme manifoldunun temel görevi, motor için gerekli olan taze yakıt hava karışımını yanma odasına taşımaktır. Hava emme sisteminde hava akışına gösterilen direncin azaltılması performansın iyileştirilmesi bakımından önemli olmaktadır. Her bir silindirin emme işlemi süresince hacminin değişmesinden dolayı emme manifoldu içerisinde basınç sürekli değişir. Ayrıca supap açılırken alan değişmesi, gaz akışının düzensiz olmasına neden olur.

Belirtilen bu etkiler dikkate alınarak yapılan bu çalışmada; manifold içerisindeki değişen basınç, hız vb. gibi temel akış parametreleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizi ile sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çözümlemede Sonlu Hacimler Metoduna dayalı çözüm yapan ANSYS Fluent 15.0 yazılımı kullanılmıştır. Kararlı durum ve standart k-ε türbülans modeli kullanılarak yapılan analizler 6 silindire, doğal emişli ve buji ateşlemeli bir motorun emme manifoldu için gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar temel akış parametreleri olan basınç ve hız değişimleri açısından detaylı bir şekilde tartışılmış ve grafikler halinde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler-** Emme Manifoldu, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Motor Performansı.

## NUMERICAL INVESTIGATION BY USING CFD ANALYSIS OF INTAKE MANIFOLD IN A MULTI- CYLINDER SPARK IGNITION ENGINE

**Abstract-** Depending on the changing performance requirements at all loads and speeds conditions should allow a sufficient quantity of cylinders to be fed with air. The main task of which is necessary for the engine intake manifold, to move equally fresh air-fuel

mixture in the combustion chamber. In air intake system, decreasing of air flow resistance is very important in terms of performance improvement. Due to the change in volume during the suction process in each cylinder, intake manifold pressure changes constantly. Also change of the valve opening area causes an irregular gas flow.

In this study, by considering the effects mentioned; gas flow parameters such as the changing pressure in the manifold, velocity were investigated numerically by Computational Fluid Dynamics method. Numerical computations were made ANSYS Fluent 15.0 based on the Finite Volume Method approach. Steady-state analyses and standard k- $\epsilon$  turbulence model using 6-cylinder, naturally aspirated and spark-ignited (SI) was performed for the engine intake manifold. The results obtained from this study were discussed in detail in terms of pressure and flow velocity changes of the basic parameters and graphed.

**Key Words-** Computational Fluid Dynamics (CFD), Intake Manifold, Engine Performance.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Emme manifoldunun temel görevi, gerekli ve eşit taze hava-yakıt karışımını yanma odasına taşımaktır. Emme manifoldları bütün silindirlere üniform hava yakıt karışımını sağlayabilecek şekilde tasarlanırlar. Eğer yanlış ölçülendirilir veya tasarlanırsa motor silindirleri iyi bir yanma için ihtiyaç duyulan gerekli hava miktarını (silindir içi dolguyu) alamayacaktır. Motorun değişken performans ihtiyacına bağlı olarak emme manifoldu üzerinde değişiklikler yapılabilir. Ancak bu şekilde tüm yük ve hızlarda silindirlerin yeterli miktarda hava ile beslenmesine imkân sağlanabilir. Bu da çok yollu emme manifoldu sistemi ile mümkündür. Emme manifoldu temelde iki parçadan oluşmaktadır. Birincisi menfez (plenum) olup kelebek gövdesinin veya karbüratörün altındaki manifoldun giriş kısmıdır. İkincisi ise menfezi silindirlere bağlayan koşucu (runner) kanallarıdır. Manifold koşucuları, taze dolgunun ayrı ayrı her bir silindire ulaşmasını sağlar [1-11].

Bir içten yanmalı motorda yanma işlemi için ihtiyaç duyulan hava silindirlere emme manifoldu tarafından sağlanır. Bu nedenle Hava Emme Manifoldu (HEM) önemli bir role sahiptir. Otomobil motorunun içine havanın istenilen miktarda iletilmesi yanma verimliliğini artırır dolayısıyla hava kirliliğinin azalmasında da etkili olur [1]. Emme havası, manifold menfezinden geçerek menfeze bağlı çıkışlara dağılır ve yanma odasına geçiş yapar. Emme sistemi içindeki hava akışını optimize etmek için, sistem üzerinden hava akışlarının, giriş hızının ve basınç düşümünün iyi bir şekilde anlaşılması gerekir [2].

HEM akış optimizasyonu için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Dal (2009) emme manifoldu içerisindeki akış karakteristiklerini belirlemeye yönelik yaptığı çalışmada manifold içerisindeki hız ve basınç dağılımlarını HAD yöntemi ile incelemiştir [3]. Khan ve Salim (2013) farklı türbülans modelleri kullanarak kararlı akış durumunda bir SI motorun emme manifoldu içerisindeki optimum akış koşullarının belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada; HAD analizlerinin emme manifoldu akış karakteristiklerinin belirlenmesinde etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir [4]. Jemni vd. (2011) LPG buji ateşlemeli bir motorun emme manifoldunda standart k- $\epsilon$  türbülans metodu kullanarak manifold içerisindeki akış parametrelerini basınç ve hız cinsinden HAD analizi ile incelemiştir [5]. Min-Ho Kim vd. (2000) yaptıkları çalışmada, altı silindirli dizel motor emme manifoldu iç akış özelliklerini kararlı durum altında hesaplamalı olarak incelemiştir [6]. Safwan (2009) yaptığı

çalışmada türbülanslı akışın manifold içerisindeki akış koşullarını tahmin etmek için en iyi metod olduğunu belirtmekte ve türbülans değerinin azalması ile basınç ve hız düşümünün meydana geldiğini ifade etmektedir [2]. Angadi ve diğerleri (2010) tarafından yapılan çalışmada benzer sonuçlar göstermiş olup türbülans miktarındaki değişim ile akış koşullarının doğru orantılı olarak değiştiği belirtilmiştir [7].

Yapılan bu çalışmanın temel amacı basınç, hız gibi akış parametreleri dikkate alınıp, standart  $k - \epsilon$  türbülans modeli kullanılarak emme manifoldu içerisindeki en iyi akış koşullarını tahmin etmektir. HEM sayısal modeli simülasyonu için 2.5L ve 6 silindri bir aracın manifold modeli kullanılmıştır. Analizlerde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Sayısal çözümlemede Sonlu Hacimler Metoduna dayalı çözüm yapan ANSYS Fluent 15.0 yazılımı hava emme manifoldu iç akışını analiz etmek için kullanılmıştır. Analiz sonuçları doğrultusunda bu çalışma ile emme manifoldu için en iyi iç akış koşullarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Sayısal yöntemler istenilen hassasiyette yaklaşık çözüm üretirler. Hassasiyet artırıldıkça işlem adımları artmakta, incelenen problem tipine göre güçlü ve daha hızlı bilgisayarlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Günümüzde sürekli gelişme gösteren bilgisayar teknolojisi ile birlikte sayısal analiz yöntemleri de gelişerek karmaşık problemlerin bile modellenip çözülmesinde etkili bir çözüm yöntemi haline gelmiştir.

Bilgisayar teknolojisinin giderek gelişmesi ve kapasitelerinin artması, deney ve test düzeneklerinin yüksek maliyetli oluşu ve deney sürecinin uzun zaman alması HAD analizlerini çekici kılmakta olup mevcut tüm ticari HAD yazılımları temel olarak üç temel araç içermektedir [8].

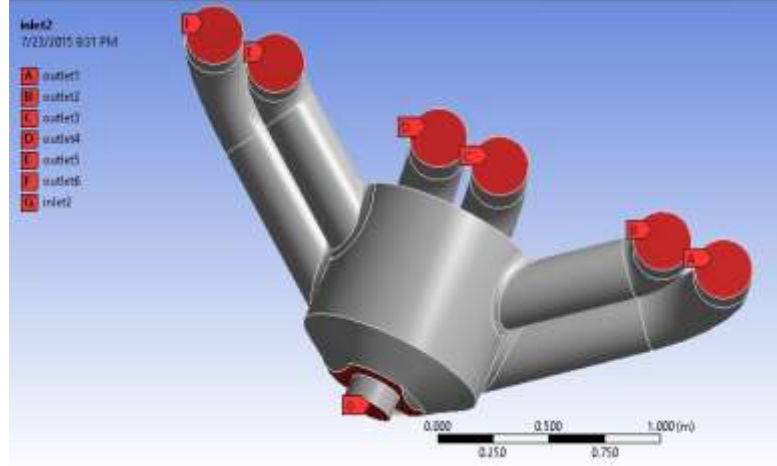
- Ön işlemci (Pre-Processor)
- Çözümleyici (Solver)
- Son İşlemci (Post-processor)

Fiziksel modele ait geometrinin ve ağ (mesh) yapısının oluşturulması sınır şartlarının tanımlanması ön işlemci kısmında, sonlu fark, sonlu hacimler, sonlu elemanlar ve spektral metod gibi çözüm tekniklerinin belirlenmesi çözümleyici kısmında çözüm sonuçlarının alınması ve değerlendirilmesi son işlemci kısmında yapılan başlıca işlemlerdir.

Fiziksel problemin önemli özellikleri belirlendikten sonra HAD analizi için temel olarak yapılacak işlemler sırasıyla aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar;

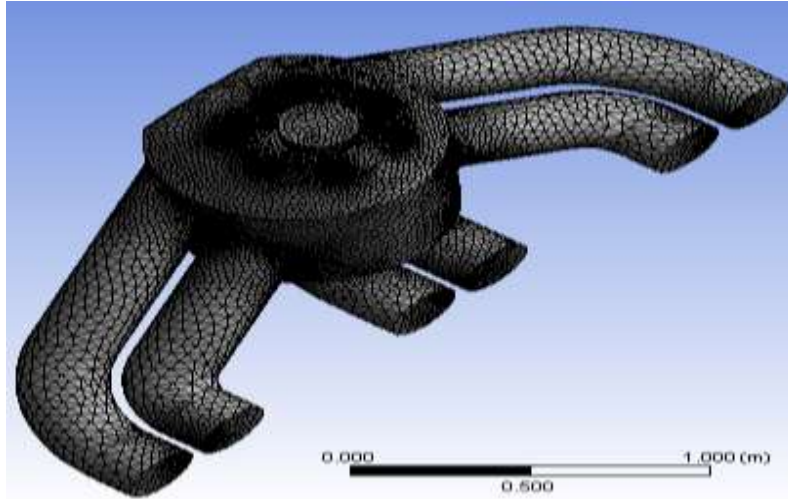
- İlgili fiziksel problemin modellenmesi ve geometrinin oluşturulması,
- Uygun sayısal ağ (mesh) yapısının oluşturulması,
- Sayısal ağın kontrolü,
- Çözümleyicinin belirlenmesi,
- Çözüm modellerinin seçimi: Laminer veya türbülanslı akış, kimyasal bileşenler veya reaksiyonlar, ısı geçiş modelleri, ilave modellerin tanımlanması
- Malzeme özelliklerinin tanımlanması,
- Başlangıç ve sınır şartlarının belirlenmesi,
- Çözüm kontrollerinin ayarlanması,
- Çözümlemenin yapılması,
- Sonuçların alınması ve değerlendirilmesi

Sayısal çalışmada, 6 silindirik, doğal emişli ve buji ateşlemeli bir motorun emme manifoldu geometrisi Şekil.1’de görüldüğü gibi ANSYS Workbench’de oluşturulmuş ve uygun sayısal ağ yapısının belirlenmesi için mesh atma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Emme Manifoldu Geometrisi (Intake Manifold Geometry)

Oluşturulan mesh yapısı 123173 düğüm noktası ve 662508 sayıda tetrahedral tip hücreden meydana gelmektedir. Yüzeylerdeki hücre büyüklükleri küçük tutularak, sınır tabakalarında çok katmanlı hücreler (boundary layer) kullanılmış, akışın hızlandığı ve geometri üzerindeki keskin bölgelerde yoğun hücreler (inflation) kullanılmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi koşucuların burgulu kısmındaki mesh yoğunluğu menfeze nazaran çok fazla oluşmaktadır. Uygun sayısal ağın belirlenmesinden sonra ANSYS Fluent 15.0 kodunda çözümleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Probleme ait sınır şartları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Sayısal ağ yapısı (Meshing)

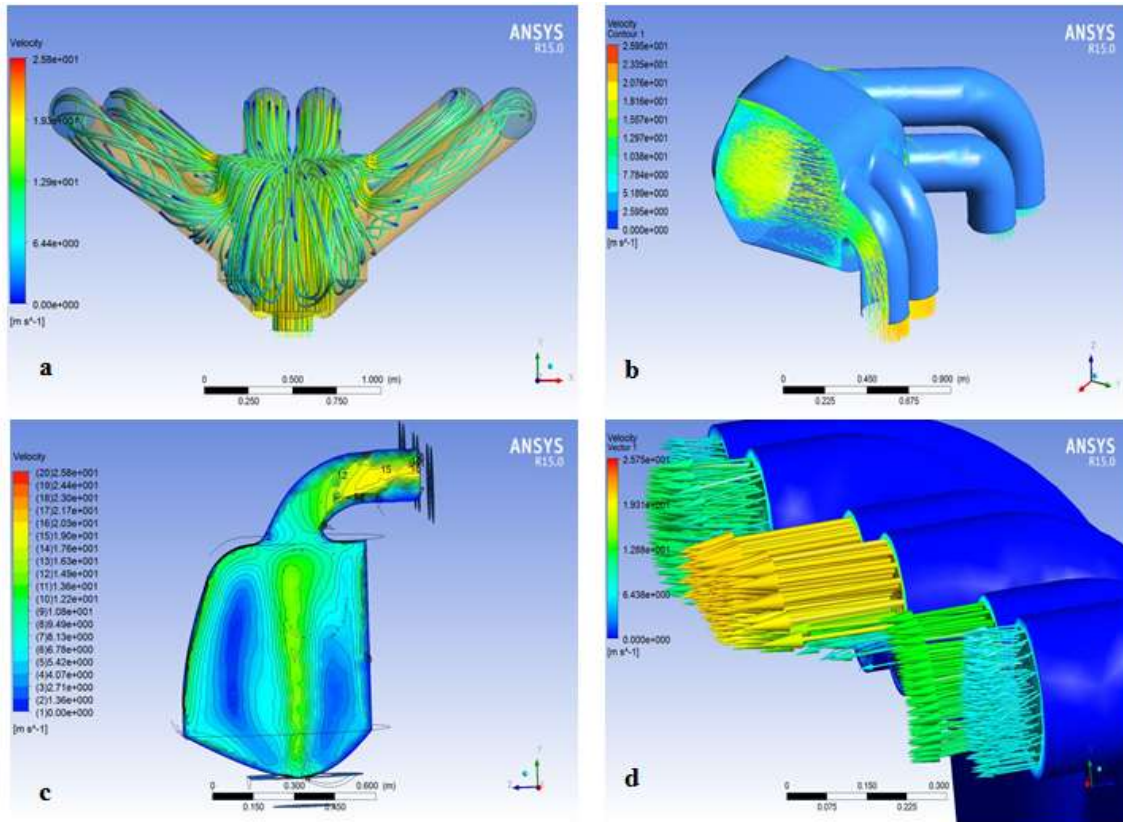
**Tablo 1.** Sınır Şartları (Boundary Conditions)

Parametre	Değer
Giriş hızı (inlet velocity)	18 m/s
Giriş basıncı (inlet pressure)	101300 Pa
Çıkış basıncı (outlet pressure)	9500 Pa
Sıcaklık (temperature)	313 °K

3D, kararlı akış durumu için gerçekleştirilen sayısal simülasyonda türbülans modeli olarak Standart k-ε metodu kullanılmıştır. Yapılan çözümler sonucu elde edilen veriler temel akış parametreleri olan basınç ve hız değişimleri cinsinden grafikler halinde sunularak aşağıda detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

Yapılan bu çalışmada; 6 silindirik, doğal emişli ve buji ateşlemeli bir motorun emme manifoldu için HAD yazılımı kullanılarak sayısal sonuçlar elde edilmiş ele alınan HEM için akışa ait hız, basınç ve türbülans kinetik enerji değişimleri incelenmiştir. Şekil 3'de model manifold geometrisine ait hava hızı değişimleri görülmektedir.



**Şekil 2.** Emme manifoldu içerisinde hız değişimleri (Velocity changes in the intake manifold)  
a) Akım çizgileri (Streamlines) b) Hız vektörlerinin kesit görünüşü (Sectional view of the velocity vectors) c) Hız konturları (Velocity counter) d) Çıkış hız vektörleri (Output velocity vectors).

Emme manifoldu içerisindeki hız dağılımları ve akım çizgileri hızın az veya çok olduğu bölgeler hakkında fikir vermektedir. Şekil 3'den de görüleceği gibi bazı çıkışlarda yüksek hızlar oluşmuşken bazılarında hız düşmüştür. Hız yüzeyde ve çıkışların güçlendiricilerinde ve bazı çıkışlarda çok az olmaktadır. Bunun nedeni ise menfez içinde istenmeyen yansılardan yani akışkanın hız kaybına neden olabilecek geri dönüşlerdendir. Bu problemi önlemek için yapılan çalışmada; manifold geometrisi tasarlanırken koşucu kısımları boğumlu şekilde oluşturulmaya çalışılmış ve akış yolu için dönümlü hale getirilmiştir. Bu durumda S. Karthikeyan vd. [9] tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi keskin köşelerin oluşumunu engellediği için akış hızı kayıplarını azaltması hedeflenmiştir. Ayrıca mümkün olduğunca koşucular menfez merkezine yakın olmalıdır ki eşit miktarda havayla beslenebilsin. Koşucularda olduğu gibi menfez girişi de dönümlü şekilde tasarlanmalıdır ki akışın herhangi bir engelle karşılaşmadan koşucular içerisine ulaşabilmesi sağlanmalıdır [10]. Bu şekilde akış koşucu girişi ve duvarına çarpmadan ilerleyerek hız kaybına uğramamış olur. Ayrıca akış engellenmeyeceğinden çıkışlara yani koşucu uçlarına kadar ilerleyebilir. Akış hızı için diğer önemli faktör ise olabildiğince koşucu kısımların boğumlu yapılmasıdır. Bu şekilde akış köşeli kısımlara değil daha yuvarlak yüzeylerle temas ederek daha az hız kaybına uğrayacaktır. Boğumlu yapının diğer bir avantajı ise silindirlere içerisine iletilen havanın miktarı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmasıdır. Emme manifoldu koşucular içindeki düzenlemelerin dışında, menfez tasarımını da değiştirmek gerektiği açık bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3 (d) 'de emme manifoldunun çıkışlarındaki hız vektörleri verilmiştir. Çıkışlardaki hız vektörlerinin değişimleri şekilden açık bir biçimde görülebilmektedir. Her bir çıkışa ait maksimum hız değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Maksimum Çıkış Hızları (Maximum Outlet Velocities)

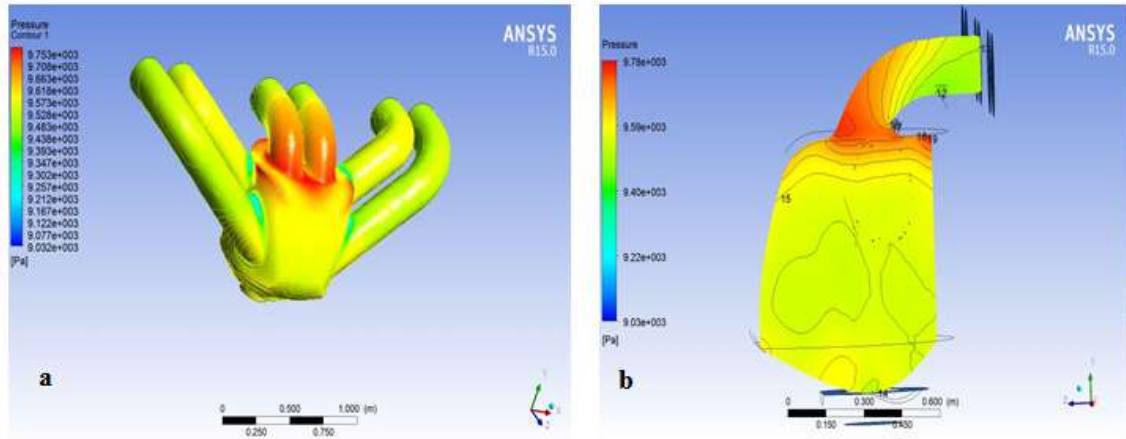
Parametre	Hız (m/s)
Çıkış 1	7.545
Çıkış 2	13.233
Çıkış 3	21.195
Çıkış 4	21.154
Çıkış 5	12.361
Çıkış 6	7.557

Emme koşucularındaki hızlara bakıldığında tüm silindirlere ulaşan hava miktarı eşit olmamıştır. Akış esnasında girişten ilk olarak menfez merkezi beslenmiş ve türbülanslı bir akış oluşmuştur. Akış hızı önemli ölçüde 3. ve 4. çıkışlarda giriş kısmına yakın olmaları nedeniyle artarken diğer çıkışlarda azalmıştır. En az akış hızı ise 1. ve 6. çıkışlarda meydana gelmiştir.

Şekil 4'de manifold içerisindeki basınç değişimleri verilmiştir. Şekil 4' de görüldüğü gibi manifold içerisinde bazı alanlarda yüksek basınçlar oluşmuşken bazılarında basınç düşmüştür. Menfez içerisinde akışın çarptığı ve yoğun olduğu diğer alanlarda basınç değerleri artış göstermiştir.

Oluşan basınç kayıplarının nedeni akışın menfez içerisinden ayrılarak koşuculara iletilmesi esnasında meydana gelmektedir. Kayıplara dikkat edildiğinde koşucu boğumları (viraj) ve giriş kısımları dışında basıncın azaldığı görülmektedir. Menfez içerisindeki akışın yansımalar ve koşucu duvarlarına çarpması ile akışta meydana gelen hız kaybı ile bu noktalarda meydana gelen basınç ters orantılıdır. Akışın çarptığı ve yansıdığı bölmelerde basınç artarken akış hızı düşmüştür. Eğer bu yansımalar engellenirse akışkan basınçlı bir şekilde yanma odasına kadar

ilerleyeceğinden silindirler içerisine alınan hava miktarı artacak olup, homojen hava-yakıt karışımı sağlanacak ve daha iyi bir yanma meydana gelecektir. Anlaşılacağı üzere yanma verimi silindir içerisine alınan hava miktarına bağlı olmaktadır. Bu nedenle Şekil 4'den de görüleceği gibi optimum miktarda gerekli olan hava miktarını emme manifoldu üzerinden silindirlere taşınması için manifold çıkışlarında ki basınç, manifoldun giriş kısmına göre düşük tutulmuş olup koşucu kısımları (çıkışlar) mümkün olduğunca boğumlu dizayn edilmiş, koşucu girişleri menfez merkezine mümkün seviyede yaklaştırılmış ve bu şekilde olabildiğince basınç artışına sebebiyet vermeyerek akış kayıpları engellenmiş olup ve fazla miktarda havanın silindirler içerisine taşınabilmesi için tasarımsal açıdan keskin köşelere de yer verilmemiştir.



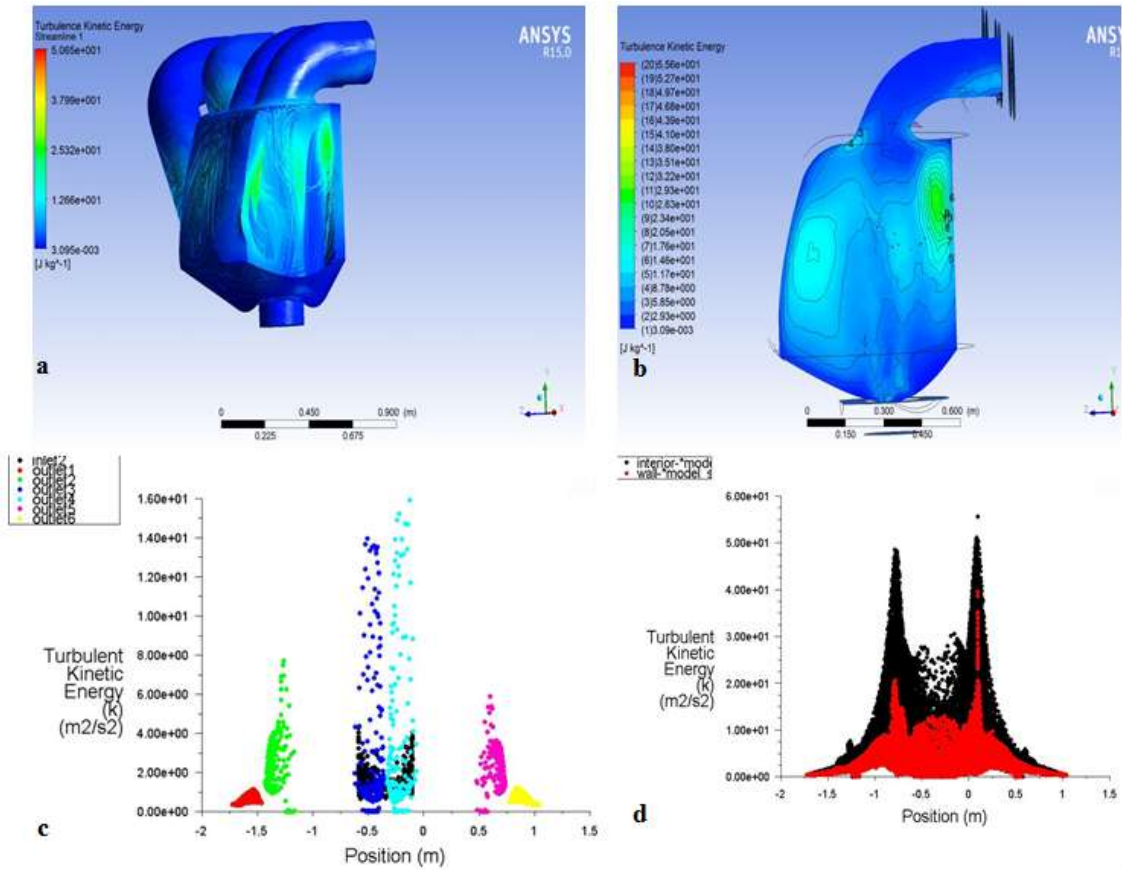
**Şekil 4.** Manifold içerisindeki basınç konturlarının değişimi (Changes in the contour of the pressure in the manifold) a) 3D görünüş (3D view) b) Kesit görünüşü (Sectional view).

Şekil 4'den de görülebileceği gibi basınç tüm çıkışlarda 9500 Pa seviyelerindedir. Bir emme manifoldu için girişte yüksek basınç çıkışlarda ise girişten daha düşük basınç oluşumu elzemdir. Bu şekilde emme manifoldunda vakum meydana gelmekte ve bu oluşan vakum silindirlere havanın ulaşmasında önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Bu nedenle bazı çıkışlarda minimum basınç değerleri oluşmaktadır ve bu istenen bir durumdur. En düşük basınç değeri 9491.77 Pa ile 4 numaralı çıkışta meydana gelmektedir. Dört numaralı çıkışa ait akış hız değerinin diğer çıkışlardan yüksek olması en düşük basınç değerine sahip olması ile doğrulanmaktadır. Ayrıca çıkış 1. ve 6. çıkışın menfez merkezine uzaklığı ve koşucu girişi duvarına akışın çarpmasının etkileri ile maksimum basınç bu çıkışlarda gerçekleşirken akış hızı beklenildiği gibi bu çıkışlarda diğer çıkışlara nazaran daha düşük olmuştur. Tablo 3'de tüm çıkışlara ait maksimum basınç değerleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Emme manifoldu giriş ve çıkışlarına ait basınç değerleri (The intake manifold pressure values of input and output.).

Parametre	Basınç (Pa)
Giriş	9623.03
Çıkış 1	9500.00
Çıkış 2	9495.15
Çıkış 3	9493.42
Çıkış 4	9491.77
Çıkış 5	9496.31
Çıkış 6	9500.00

Şekil 5’de türbülans kinetik enerji değişimleri dikkate alınmıştır. Şekil 5’den de görüleceği gibi menfez içerisinde yoğun bir türbülans enerji meydana gelmektedir. Bu yüksek enerji koşucu 3 ve 4’ün boğumlarında (bu koşucular akış girişinin altında bulunduğu için) artmaktadır. Kontur görünümüne bakılırsa menfez duvarlarında kinetik enerjinin arttığı gözlenmektedir. Ayrıca akışın çarpmış olduğu bölgelerde de kinetik enerji yoğunluğu görülmektedir.



**Şekil 5.** Türbülans kinetik enerji değişimleri (Turbulence kinetic energy changes) a) Akım çizgileri kesit görünüş (Streamlines cross-sectional view ) b) Türbülans enerjisi konturları (Turbulence energy contours) c) Çıkış Türbülans Enerji (Turbulence Output Energy) d) Model içi ve dış yüzeyi türbülans enerji (Model internal and external surfaces of the turbulence energy).



Şekil 5'den de görüleceği gibi, hız ve basınç dağılımlarında olduğu gibi türbülans kinetik enerji 3 ve 4 numaralı çıkışlarda artış gösterirken diğer çıkışlarda azalma göstermiştir. Aynı zamanda model içinde türbülans kinetik enerji ilk başta menfez içerisinde olması gerektiği gibi artış göstermiş sonra akış menfez çeperine çarptığında türbülans dengesi bozulması nedeniyle anlık bir düşüş göstererek tekrar artmıştır. Tablo 4'de giriş ve tüm çıkışlardaki maksimum türbülans kinetik enerji değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.** Emme manifoldu giriş ve çıkışlarına ait türbülans kinetik enerji değerleri (Intake manifold turbulence kinetic energy of the input and output values).

Parametre	Türbülans Kinetik Enerji ( $m^2/s^2$ )
Giriş	1.215
Çıkış 1	1.145
Çıkış 2	9.832
Çıkış 3	14.858
Çıkış 4	17.787
Çıkış 5	6.600
Çıkış 6	1.238

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Yapılan çalışmada 6 silindirli, doğal emişli ve buji ateşlemeli bir motorun emme manifoldu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile sayısal olarak analiz edilerek manifold içerisindeki hız, basınç türbülans kinetik enerji değişimleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda aşağıdaki yargılara varılmıştır:

Akış hız değerlerinde oluşan değişimlere menfez şekli, piston hareketi geri tepme hızları ve akışın çıkışlara giderken geçtiği koşucuların şeklinin neden olduğu görülmüştür.

Altı çıkış içerisinde en düşük hız değerleri çıkış 1 ve 6 da gözlenmiştir. Çıkış 1 ve 6 tarafındaki yansımalar sonucu oluşan hız kayıplarından dolayı tasarım açısından 1. ve 6. koşucunun geliştirilmesi gerekmektedir. Çıkış 3 ve 4, koşucuların uç noktalarındaki boğumların iyi tasarlanması ve menfezde hiç yansıtma kaybının olmaması nedeni ile yüksek hız değerleri göstermiştir.

Çıkışlardaki farklar menfez bölmesindeki hatalı tasarımdan kaynaklanmaktadır. Menfez içinde istenmeyen yansımalarından kaçınılmalı, menfez şekli daraltılmalı ve küçültülmelidir. Koşucu boğumları iyi tasarlanmalı ve emme manifoldunun çıkışlarına kadar boğumlara izin verilmelidir, koşucu uzunluğu silindir kafa kısmına kadar olmalı gereğinden fazla uzatılmamalıdır. Aracın bazı silindirlerine yeterli miktarda hava manifold üzerinden alınmadığı durumlarda iyi bir yanma olmayacak dolayısıyla yakıt tüketimi ve emisyon miktarı artış gösterebilecektir. Yüksek yanma verimi, homojen hava-yakıt karışımı, iyi bir volümetrik verim ve emisyon değerlerini azaltmak için manifold içerisindeki oda genişliğinin (menfez) azaltılması ve çıkışlardan 1, 2, 5 ve 6 numaralı çıkışların koşucularının kısaltılması gibi değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu değişiklikler sonucunda eşit miktarda hava dağılımı manifold üzerinden silindirlere sağlanacaktır.

Standart k-  $\epsilon$  metodu ile oluşan girdaplar tüm bağlantı noktaları ve menfez (basınç odası) içerisinde akışın dağılımını en iyi şekilde göstermektedir. Dolayısıyla emme manifoldu içindeki akışı analiz etmek için bu metot iyi bir seçim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmanın gelecekteki kapsamı düşünüldüğünde aşağıdaki alanlarda araştırma yapılabilir.

GDI (direkt yakıt püskürtmeli) teknolojisini kullanan SI motoru iyi bir yanma işlemi için emme manifoldunun uç kısmında yüksek kıvrılmaya ihtiyaç duyar, böylece emme manifoldu koşucularında oluşturulan yüksek kıvrımla birlikte bol miktarda hava ile iyi bir yanma verimine erişilebilir.

Bu çalışma egzoz manifoldu için de uygulanabilir. En iyi performans için optimum egzoz manifoldu tasarımı elde edilebilir.

CNG motoru benzinli motora göre daha az hacimsel verime sahiptir. Eğer CNG motorun emme manifoldunun tasarımı iyi yapılırsa hacimsel verimde kayda değer bir iyileştirme elde edilebilir.

Emme supapları açılış ve kapanış esnasında oluşan basınç ve hız değişimleri için emme sisteminin zamana bağlı CFD analizleri yapılabilir.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Rajput, R., (2007). Internal Combustion Engine, Laxmi Publications.
- [2]. Safwan, M., (2009). Pressure drop analysis of 1.6l car air intake system, Faculty of Mechanical Engineering, University Malaysia Pahang.
- [3]. Dal, M., (2009). Emme manifoldu dizaynının motor performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4]. Khan, M. M., and Salim, S.M., (2013). Evaluation of CFD Sub-Models for the intake manifold port flow analysis, School of Engineering, Taylor's University, Selangor, Malaysia.
- [5]. Jemni, M. A., Kantchev, G., and Abid, M. S., (2011). Intake manifold design effect on air fuel mixing and flow for an LPG heavy duty engine, IJEE: Vol. 3, Issue 1, 61-72.
- [6]. Min, H. K., Woo, I. C., and In-Bum, C., (2000). Three-dimensional flow characteristics and engine performance for the geometry modification of intake manifold in multi-cylinder diesel engine, FISITA World Automotive Congress, Seoul.
- [7]. Angadi, B.M., Malipati, A. S., Nagathan, V. V., and Kattimani, R.S., (2010). Modelling and Analysis of Intake manifold of a Multi-cylinder SI engine, 4th International Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power, Madras, Chennai.
- [8]. Gedik E., (2012). Silindirik borularda Manyeto hidrodinamik akışın deneysel olarak incelenmesi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Sayısal Analizi", Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [9]. Karthikeyan, S., Hariganesh, R., Sathyanadan, M., and Krishnan, S., (2011). Computational analysis of intake manifold design and experimental investigation on diesel engine for LC, ISSN: 0975-5462, vol. 3 no. 4.
- [10]. Kumar, D., (2012). Studies on improvement of intake manifold for compressed natural gas engine, Master Thesis Thapar University, Department of Mechanical Engineering, Patiala, India.

- [11]. Balaban, O., (2015). 4 Zamanlı 4 Silindirli Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Manifold Akış Analizi, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, Ders Notu, Ankara, Türkiye.