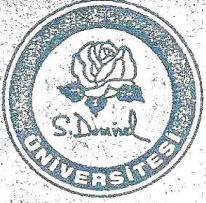


Mustafa EYRİBOYUN



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ

IX. MÜHENDİSLİK SEMPOZYUMU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLDİRİLERİ
KİTABI

(29-31 MAYIS 1996)

ISPARTA

ŞOK DALGASI HIZININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ OLARAK ÖLÇÜLMESİ

Mustafa EYRİBOYUN*, İbrahim KADI**, Hasan A. HEPERKAN***

* Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Müh. Fak. Makina Müh. Bölümü, 67100 ZONGULDAK

** İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fak., 80626 Maslak-İSTANBUL

*** Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, 80750 Yıldız-İSTANBUL

Özet: Yüksek sıcaklıklardaki kimyasal tepkimelerin incelenmesinde standart bir eleman olan şok tüpünde, yanabilir gaz karışımının sıcaklığı, şok dalgasının hızı (şiddeti) ile ayarlanabilir. Şok dalgasının hızını doğru ölçebilmek her zaman kolay değildir. Bu çalışmada, yüksek basınç ve alçak basınç kısımları bir diyaframla ayrılmış bulunan bir şok tüpünde oluşturulan şok dalgasının hızını ölçmek için kurulmuş, bilgisayar destekli bir deney düzeneği tanıtılmıştır. Ayrıca değişik p_4/p_1 oranları ve karışım oranları için elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Computer Aided Measurement of Shock-Wave Velocity

Abstract: The temperature of the reacting gas mixture can be adjusted by the shock-wave velocity in a shock-tube which is a standard apparatus for the study of chemical reactions at high temperatures. An accurate measurement of the shock-wave velocity is not always easy. In this study, a computer aided experimental set has been introduced for measuring the shock-wave velocity in the shock-tube comprising driver and driven sections separated by a diaphragm. The results for various p_4/p_1 and mixture ratio have also been presented.

Giriş

Şok tüpü, yanma, piroliz ve kimyasal kinetik konularında yapılan çalışmalarda vazgeçilmez bir araçtır. Şok tüpü esas olarak, yüksek ve alçak basınçlı gaz içeren kısımları bir diyaframla ayrılmış, dairesel veya değişik kesitli bir borudur. Uygun bir düzenele diyafram ani olarak delindiğinde (patlatıldığında), yüksek basınç altındaki gaz, tıpkı bir piston gibi düşük basınçlı gazı sıkıştırarak, tüpün ucunda gazın sıcaklığını ve basıncını yükseltir. Ulaşılmış istenen basınç ve sıcaklık değerleri, başlangıçtaki basınçların oranına (p_4/p_1) (Şekil 1) ve gaz karışımının ısı özelliklerine bağlıdır.

Diyaframın patlatılmasının ardından, yüksek basınç tarafındaki gazın basıncı p_4 'den p_3 'e düşerken (genişleten dalgalar), alçak basınç tarafındaki gazın basıncı da p_1 'den p_3 'e artacaktır (sıkıştırıcı dalgalar). Eğer başlangıçtaki basınçların oranı yeterince büyükse, ① ve ④ kısımlarını ayıran süreksizlik bölgesinin hareket hızı ses hızını geçebilir ve kalınlığı da çok ince olur. Bu süreksizlik bölgesi *şok dalgası* olarak adlandırılır (Şekil 2). Şok dalgaları sesüstü akım şeklidir ve Mach sayısı 1.2'den büyüktür (White, 1994).

Şok tüpü ile yapılan deneylerde şok hızı elde edildikten sonra, buna bağlı diğer büyüklükler hesapla bulunur. Şok hızı, şok cephesinin, şok tüpü üzerine yerleştirilen iki duyarga arasından geçiş

süresi kaydedilerek ölçülür. Duyarga olarak; piezo-elektriksel basınç duyargaları, ince film direnç termometreleri, foto-elektrik algılayıcılar vs. kullanılabilir. Duyargaların gönderdiği atımlar (pulslar, sinyaller), elektronik sayaçlar veya osiloskoplar vasıtasıyla alınarak, iki duyargadan gelen atımlar arasındaki süre okunur. Duyargalar arasındaki mesafe de deney seti üzerinden ölçülebileceğinden, yol/zaman'dan şok hızı elde edilir.

Şok tüpü, yanma ile ilgili deneysel çalışmalarda oldukça kullanışlı bir sistemdir. Yanıcı gaz karışımının dış ortamla ilgisinin olmaması, alçak ve yüksek basınç değerlerini değiştirerek, karışımdaki yakıt/hava oranı ne olursa olsun istenen sıcaklıklara çıkılabileceği sistemin avantajlarıdır. Bunun yanında, tüp içinde gerçekleşen olayın çok hızlı seyretmesi ve dolayısıyla gözlenmesinin zor oluşu ve şok hızını tesbit için pahalı araç-gereç gerektirmesi ise bir dezavantaj olarak belirmektedir.

Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Propan yanmasının incelenmesi amacıyla şok tüpünde deneyler yapılması planlanmış ve bir deney düzeneği kurulmuştur. Ancak burada yanma konusuna girilmeyecek, sadece deney düzeneğinin tanıtılması ve şok hızının hesaplanması konuları üzerinde durulacaktır. Şekil 3'de şematik olarak

gösterilen deney düzeneği imalatı, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü atölyelerinde ve İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şok tüpünün boyutlandırılması ve diyafram patlatma düzeneğinin dizaynı, (Grass ve Hall, 1959)'da verilen bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Şok tüpü, 25.4 mm (1 inç) iç çapında, cidar kalınlığı 3 mm olan dikişsiz çelik borudan imal edilmiştir. Diyaframdan sağ uca kadar, alçak basınç tarafı 1257 mm, yüksek basınç tarafı 280 mm'dir. Gaz bağlantı devrelerinin kurulmasında eski bir gaz analiz cihazından sökülen, boru, çek valf, vana ve armatürler kullanılmıştır. Herhangi bir alev geri tepmesi riskine karşı, yanıcı gaz girişine alev kesici konulmuştur. Diyafram malzemesi olarak önce 80 µm'lik alüminyum folyo denenmiş, ancak sonuç alınamamıştır. Bunun yerine, metalize diye tabir edilen 42 µm kalınlığındaki ambalaj kağıtları denenmiş ve bunların 6.5 atm basınç farkına kadar kullanılabilirlikleri görülmüştür.

Deney Setini Oluşturan Cihazlar

Basınç duyargaları: Sistemde iki adet Kistler 601 A piezo-elektrik basınç duyargası kullanılmıştır. Duyargalar, -150...240 °C aralığında, 0...250 bar arasındaki basınçları ölçebilecek kabiliyettedirler. Yük yükselteçleri (*charge amplifier*) yardımıyla çalışma aralığı ayarlanabilmektedir. Tepki süreleri 3 µs, duyarlılığı (sensitivity) ≈ 16 pC/bar, doğrusalıkları (linearity) ise (%FSQ) $< \pm 0.5$ 'dir. Aralarındaki mesafe 401 mm olan duyargalar, borunun iç cidarı ile aynı düzleme gelecek şekilde tüp üzerine monte edilmişlerdir.

Yük yükselteçleri (charge amplifier): Piezo-elektrik basınç duyargalarından gelen elektriksel yüke karşı, orantılı olarak, 0-10 volt arasında doğru gerilim üretir. Üretilen gerilimin yüke (basınca) göre değişimi de doğrusaldır. Kistler 5011 yükselteçler kullanılmıştır. Yükselteçler belirli frekanslardaki parazitleri, içlerinde bulunan elektronik filtre devresi ile süzme (filtreleme) işlevine de sahiptirler. Ayrıca duyargaların özelliklerini set etmeye yarayan tuşları ve skala ayar tuşu bulunur.

Dijital osiloskop: 2 kanallı (harici tetikleme kanalı hariç), HP 54600 A model dijital osiloskop (100 MHz) kullanılmıştır. Osiloskop, bilgisayara bağlantı imkanı veren, RS-232 C arabirimi

içermektedir. Osiloskop yatay ekseninde, kanal başına 2000 okuma yapabilmektedir.

Kişisel bilgisayar: Deney sonrasında osiloskop ekranında beliren dalga formlarına ait x-y değerlerini saklamak ve osiloskopu bir yazılım kontrolünde çalıştırmak için bulunmaktadır. IBM uyumlu, 80386 tabanlı, 80387 matematik işlemcili, 20 MHz hızında, 2 MB RAM ve 40 MB hard diske sahip, VGA ekranlı bir bilgisayardır.

Vakum pompası: 0.8 kW gücünde, üç fazlı elektrik motoruyla tahrik edilen, yağlı tip vakum pompası kullanılmıştır. Bu pompa ile -700 mm civa sütunu basınca (0.08 atm = 8.10 kPa) inilebilmektedir.

Gazlar: Deneyleerde, alçak basınç kısmında argon+LPG+oksijen karışımı ve yüksek basınç tarafında, sürücü gaz olarak helyum kullanılmıştır. Başlangıçta, diyaframın her iki tarafında hava bulunması halinde de deneyler yapılmıştır.

Cıvalı U manometre: Alçak basınç tarafındaki basınç cıvalı diferansiyel manometre ile ölçülmüştür. Manometre, 6 mm iç çapında, 1500 mm boyunda iki cam tüpün, saydam bir hortumla, alttan birleştirilmesiyle elde edilmiştir.

Bilgisayar Programı

Osiloskopun otomatik ayarlanması, ölçülen şok hızına bağlı olarak, yansıyan şok dalgasının ardındaki basınç ve sıcaklığın hesaplanması, ayrıca deneye ait diğer bilgilerin manyetik ortamda saklanabilmesine imkan tanıyan, Quick Basic dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Karışımı oluşturan gazların, U manometresinden okunan basınç değerleri ve helyum tüpü üzerindeki manometreden okunan basınç (p_4) değeri ile ortam sıcaklığı, programa kalavyeden girilir. Bu sırada program bir önceki deneye ait değerleri ekranda gösterir. Osiloskopun bilgisayar tarafından kumandasıyla ilgili özel komutlar, kullanım kılavuzundan ve (Kadı, 1992)'dan uyarlanmıştır. Osiloskopun tetiklenmesi, harici tetikleme kanalı yerine, birinci kanala bağlı olan basınç duyargası ile yapılmıştır.

Deneylerin Yapılması

Deneyler önce hava-hava çifti ile yapılarak, osiloskop ve duyarga parametrelerinin aralığı ve uygun diyafram malzemesi tesbit edilmiştir. Bu deneyler sırasında yüksek basınçlı hava, atölye tipi seyyar bir kompresörle sağlanmıştır. Sonra yanıcı

gaz karışımı ve helyum ile deneylere devam edilmiştir.

Deneylerde alçak basınç (p_1) yaklaşık aynı değerde sabit tutulmuş, buna karşılık yüksek basınç (p_4) değiştirilerek farklı şok hızları elde edilmiştir. Kullanılan basınçlar ve bunlara karşılık elde edilen şok hızları Tablo 1'de verilmiştir.

Diyafram delme düzeneğindeki selenoidin elektrik devresindeki anahtar kapatıldığında, diyaframın patlamasını takiben oluşan şok dalgası basınç duyargalarından geçerken, ilk duyarga dijital osiloskopu tetikler. Osiloskop ekranında iki duyarganın gönderdiği sinyaller görülür. Geliştirilmiş olan bilgisayar yazılımı ile bu sinyallere ait datalar otomatik olarak bilgisayara aktarılır ve yine otomatik olarak isimlendirilen bir dosyaya kaydedilerek sabit diskte (hard disk) saklanır. Yazılım, doğrudan GRAPHER paket programına geçiş imkanı sağlayacak şekilde oluşturulmuştur.

Şok Hızı ve Mach Sayısının Hesabı

Durma noktası özellikleri dikkate alınarak, eş entropili bir gaz ortamındaki ses hızı ve Mach sayısı için,

$$a_0 = \sqrt{\gamma RT_0} \quad M = W / a_0$$

ifadeleri geçerlidir (Anderson, 1990). Burada, a_0 ses hızı, γ ısınma ısıları oranı, R gaz sabiti (J/kg.K), T_0 sıcaklık (K), M Mach sayısı ve W da şok hızıdır.

Şekil 3'de görülen deney düzeneğinde, iki basınç duyargası arasındaki uzaklık $l=401$ mm'dir. Şekil 4'den, şok dalgasının birinci ve ikinci duyargalar arasındaki mesafeyi $520 \mu s$ 'de aldığı okunabilmektedir. Bu durumda şok hızı $W=l/\Delta t_1$ formülünden 771.15 m/s olarak hesaplanabilir.

Δt_1 'in osiloskop ekranından okuması pek kolay olmamaktadır. Bu nedenle, sinyallere ait datalar GRAPHER programına aktarılıp, grafikleri büyütülerek çizilmiş ve şok dalgasının iki duyarga arasını geçme süresi buradan okunmuştur. Şekil 4'de görülen sinyalin alındığı deneyde, alçak basınç tarafında bulunan gazların cinsleri ve kısmi basınçları sırasıyla; argon=0.862, $O_2=0.105$, LPG=0.033 idi. Karışımın gaz sabiti $R=212$ J/(kg.K) ve ısınma ısıları oranı da $\gamma=1.55$ olarak hesaplanmıştır (değerler buraya yuvarlatılarak alınmıştır). Hesaplamalar için karışımın, ideal gazların karışımından meydana geldiği kabul edilmiş ve uygun formüller kullanılmıştır

(Çengel and Boles, 1994). Basınç düşük (0.2 atm) olduğundan, bu kabulde bir sakınca görülmemiştir.

Bu değerlerle ses hızı,

$$a = \sqrt{1.55 \cdot 212 \cdot 296} = 312 \text{ m/s}$$

ve Mach sayısı ise,

$$M = 771.15/312 = 2.47$$

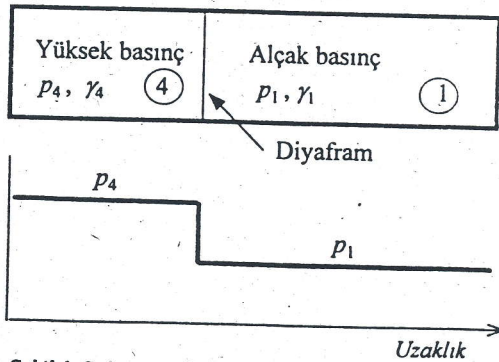
olarak hesaplanabilir.

Eğer tüpün sağ ucundan yansıyan dalganın hızı hesaplanmak istenirse, şok hızı ifadesinde Δt_1 yerine Δt_2 kullanılmalıdır. Yansıyan dalga önce ikinci duyargadan sonra da birinci duyargadan geçecektir. Bu durum Şekil 4 ve 5'den izlenebilir.

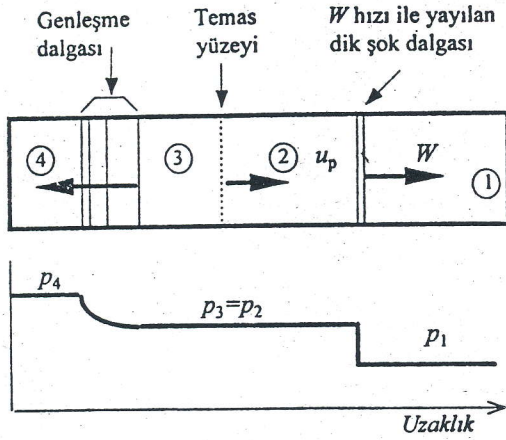
Sinyallerin Filtrelenmesi

Çevresel faktörler, çok hassas olan basınç duyargalarını olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluk duyargalardan alınan sinyallerde parazit olarak belirir. Bu parazitlerin filtrelenmesi, hassas bir okuma için zorunludur. Filtreleme işi, yük yükselteçleri üzerinden yapılabilmektedir. Ancak önceleri bu yükselteçlerden birinin bulunamayışı nedeniyle Şekil 5-a'dakine benzer sinyaller alınmıştır. Bunun üzerine, basit bir yaklaşımla, sinyaller filtre edilmeye çalışılmıştır.

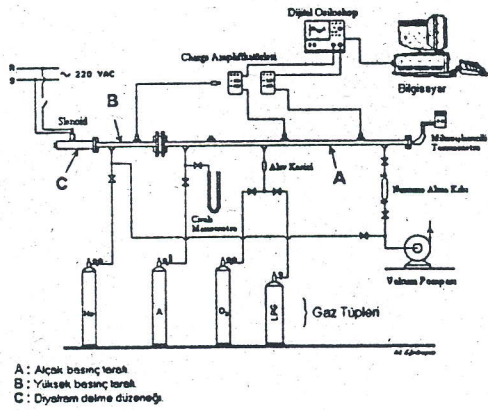
Bu yaklaşım, ardarda gelen n tane datanın ortalamasının alınarak tek bir data olarak atanması şeklindedir. Normal olarak osiloskop yatay ekseninde, kanal başına 2000 okuma yapabilmektedir. Örneğin, $n=8$ alındığında, $2000/8=250$ data ile bir sinyal çizilmiş olacaktır. Şekil 5-a'daki sinyal 2000 nokta ile çizilmiştir. Aynı sinyalden, $n=16$ alınması durumunda Şekil 5-b'deki grafik elde edilmektedir. $n=8, 16$ ve 32 için elde edilen eğriler aynı şeklinin (c) şikkında, aynı eksen takımı üzerinde, çakışık olarak verilmiştir. Buradan da görülmektedir ki, filtreleme için düşünülen yöntem yeterince sağlıklı sonuç verebilmektedir. Hesaplamaların hızlı ve güvenilir olması için basit bir bilgisayar programı yazılmıştır.



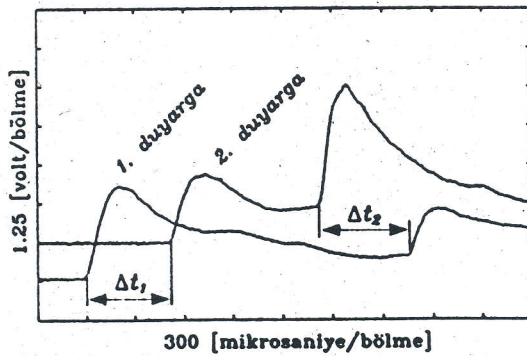
Şekil 1. Şok tüpünde başlangıç koşulları.



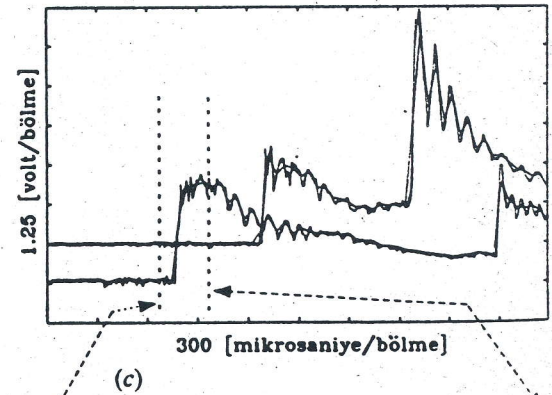
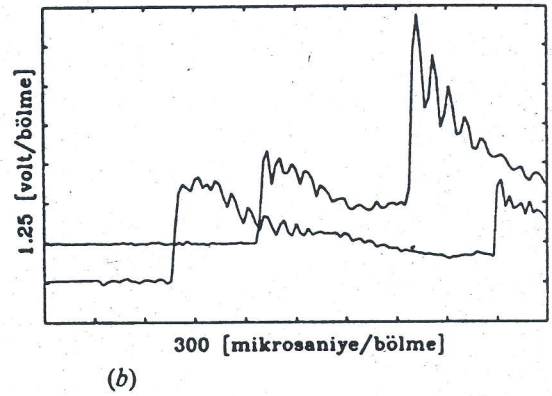
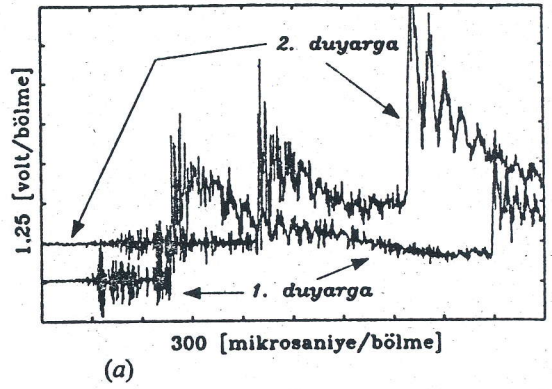
Şekil 2. Şok tüpünde, diyaframın patlatılmasından sonra oluşan akımlar.



Şekil 3. Şok tüpü deney düzeneği.



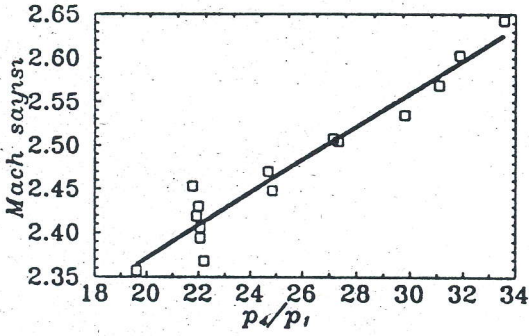
Şekil 4. Basınç duyargalarından alınan ve filtre edilmiş (3 kHz) tipik birer sinyal ve şok dalgasının duyargalar arasında geçirdiği zaman.



Şekil 5. Aynı datalardan değişik sinyaller. a) Hiç filtre edilmemiş (ilk) hal b) $n=16$, c) $n=8$. 16 ve 32. a) (c)'den büyütülmüş bir kısım.

Tablo 1. Deney sonuçlarından bazıları.

No:	p_4/p_1	W , m/s	a , m/s	M
1	19.614	729.09	309.352	2.357
2	21.774	756.60	308.419	2.453
3	21.923	756.60	312.838	2.419
4	21.994	753.76	310.169	2.430
5	22.066	756.60	314.456	2.406
6	22.066	742.59	310.134	2.394
7	22.211	742.59	313.634	2.368
8	24.679	771.15	312.221	2.470
9	24.843	768.20	313.859	2.448
10	27.147	783.20	312.221	2.508
11	27.327	786.27	313.859	2.505
12	29.811	795.63	313.859	2.535
13	31.096	802.00	312.221	2.569
14	31.873	805.22	309.352	2.603
15	33.564	825.10	312.221	2.643



Şekil 6. Çalışılan aralıkta, başlangıç basınç oranına (p_4/p_1) bağlı olarak Mach sayısının değişimi.

Sonuç

Değişik p_4/p_1 oranları için elde edilen şok hızları ve bunlara bağlı olarak hesaplanan Mach sayıları Şekil 6'da topluca verilmiştir. Çalışılan aralıkta değişimin doğrusal kaldığı kabul edilebilir. Tablo 1'den de görülebileceği gibi bazı basınç oranlarındaki deney sayısı daha çoktur. Ancak bunların herbirinde, gaz karışımındaki oranlar, dolayısıyla şok hızı hesabında önemli bir parametre olan ısınma ısı oranları değişiktir.

Şok tüpü deneyleri, dijital osiloskop veya sayıcı, hassas duyargalar gibi pahalı teçhizat olmadan sonuç alınması oldukça zor deneylerdir. Örneğin, dijital yerine analog osiloskop kullanıldığı durumda, sisteme ayrıca fotoğraf çekme ünitesi de eklenmelidir. Bu ayrı bir harcama gerektirdiği gibi, her deneyin osiloskop ekranında oluşturduğu izler

tespit edilemeyebilir. Sunulan çalışmada kullanılan cihazlarla, hemen her deneyden, güvenilir sonuç alınmıştır.

Filtrelemede pahalı yük yükselteçleri olmadan da sonuç alınabileceği görülmüştür. Bu da, basıncın sayısal büyüklüğünün bilinmesi gerekmeyen çalışmalarda para tasarrufu anlamına gelmektedir.

Çalışmamızın bundan sonraki aşamalarında, basınç duyargaları yerine kullanılacak daha ucuz sistemlerin geliştirilmesi üzerinde durulacaktır.

Kaynaklar

- Anderson, J. D., Jr. 1990, Modern Compressible Flow (Second Edition), McGraw-Hill, Inc. Book Co. Singapore.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A. 1994, Thermodynamics, An Engineering Approach, International Edition, McGraw-Hill, Inc. USA.
- Glass, I. I., Hall, J. G. 1959, Handbook of Supersonic Aerodynamics, Section 18, Shock Tubes, Navard Report 1488 (Vol. 6): 499-524
- Kadı, İ. 1992, Detonasyon Olaylarının Bilgisayar Destekli Ölçme V, ve Analizi, Doktora Tezi, Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- White, F. M. 1994, Fluid Mechanics (Third Edition), McGraw-Hill Inc. USA.