

Açık Bir Tüpte İki Alev Cephesinin Titreşim Olayı

«The vibration phenomena of two flame fronts in an open tube»

Oğuz BORAT *

Ahmet BOYNUKALIN **

ÖZET

İki ucu açık bir pyrex tüp içerisine konulan yanıcı karışım iki uçtan ateşlenerek birbirine karşı ilerleyen iki alev cephesi oluşturulmuş ve tambur kamera yardımıyla alev hızı-zaman filmleri çekilmiştir. Alev cephesinde düşük ve yüksek frekanslı iki ayrı titreşim müşahade olunmuştur. Klasik dalga denklemi üç ayrı bölgeden oluşan tüpe uygulanmış ve çözümler sayısal olarak değerlendirildiğinde dalga denklemi çözümünün yüksek frekansın değerlerini verdiği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Yanma olaylarının incelendiği deney tesisatlarında ortaya çıkan değişik titreşim şekilleri mevcuttur. Bu titreşimler çok geniş bir frekans bandına yayılabilmektedir. Etkileyen faktörler arasında akışkanın cinsi, fiziko - kimyasal özellikleri, yanma odasının şekli, malzemesi vs. sayılabilir. Bilhassa silindirik borularda yanma hızlarının ölçümünde alev cepheslerinde görülen titreşimler basınç dalgalarının etkileriyle oluşmaktadır. Bu titreşimlerin frekansları veya tek uçtan ilerleyen alev cephesine ait çeşitli çözümler daha önceki araştırmacılar tarafından ele alınmıştır, ref.

(1, 2) Ancak tek alev cephesindeki bu titreşimin, akışkanın ortalama sıcaklığının ölçülmesinde bir bilgi olarak kullanılması henüz yaygınlaşmamıştır. Literatürde, ABD de sesüstü akışlarda veya Japonya'da patla-

* Doç. Dr. İ.T.Ü. Makina Fakültesi,

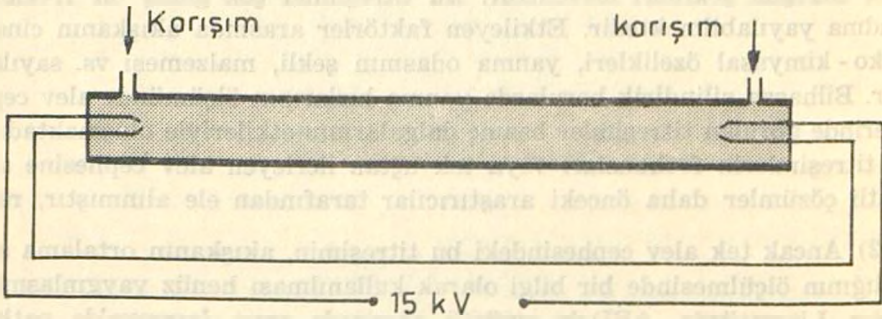
** Yük. Müh. Asis. S.D.M.M.A. Makina Bölümü.

malı motorlarda gaz hızını veya sıcaklığını ölçmek amacıyla hala ultrasonik verici - alıcı sistemlerinin kullanıldığı dikkati çekmektedir. Bunun yerine sistemin içindeki frekansı ölçüp değerlendirmek muhakkak ki daha uygun olacaktır. Özellikle mini komputerler sayesinde bu verilerden kolayca faydalanılabileceği meydandadır.

Bu çalışmada iki ucu açık silindirik bir pyrex tüpteki reaktantın iki uçtan tutuşturulması halinde ortaya çıkan ve birbirine doğru ilerleyen iki alev cephesinin davranışı incelenmiştir. Alev cephesinin üzerindeki yüksek frekanstaki titreşimlerin yansır dikkati çeken en önemli husus her iki alev cephesindeki düşük frekanslı salınımlar olmuştur. Çalışmada ayrıca klasik dalga denkleminin hangi frekansı açıkladığı gösterilmiştir.

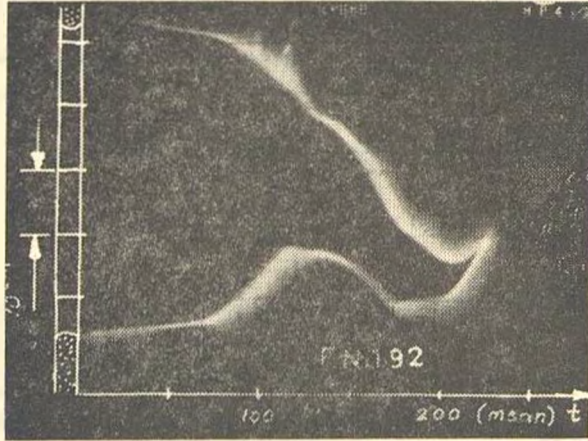
2. DENEY TESİSATI

Çalışmalarda yakıt olarak % 50 C_3H_8 ve % 50 C_4H_{10} karışım kullanılmıştır. Kullanılan havanın bağıl nemi % 50 olup atmosfer basıncı olan 1,013 bar da çalışılmıştır. Reaktantın başlangıç sıcaklığı 298 K dir. Karışımın hazırlanması ve alev cephelerinin tambur - kamera ile filminin çekimi için kullanılan deney tesisatı Ref. (2) dekinin aynisidir. Deneylerde 19 mm çapında ve 650 mm boyundaki iki ucu açık, yatay konumda bulunan bir pyrex tüp kullanılmıştır. Karışım, tüpün her iki ucundan, evvelce yanmış gazları süpürecek şekilde önce ayrı ayrı zamanlarda sonra birlikte sevk olunmaktadır. Müteakiben manyeto yardımıyla her iki açık uçta bulunan seri bağlı elektrotlar vasıtasıyla ateşlenerek iki alev cephesi oluşturulmaktadır, Şekil 1.

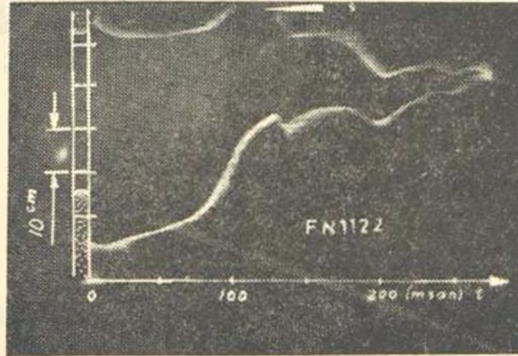


Şekil 1. Pyrex tüpte iki alev cephesinin doğuşu.

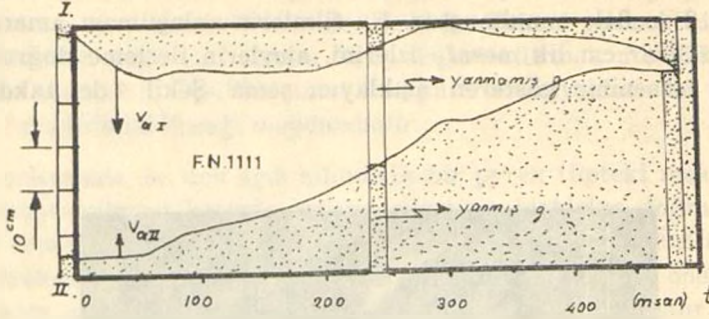
Yapılan deneylerden elde olunan tambur - kamera filmlerine iki örnek Şekil 2 ve 3 de sunulmuştur. Bu filmlerin anlaşılması amacıyla tüp üzerindeki 10 ar cm.lik mesafe izlerini, alevlerin ilerleme doğrultularını ve zaman ekseninin gösteren açıklayıcı şema Şekil 4 de takdim edilmiştir.



Şekil 2. İki uçtan ateşlenmiş % 50 C₄H₈ - % 50 C₄H₁₀ karışımının $\lambda = 0,78$ şartlarındaki tambur - kamera filmi.



Şekil 3. İki uçtan ateşlenmiş % 50 C₃H₆ + % 50 C₄H₁₀ karışımının $\lambda = 0,65$ şartlarındaki tambur - kamera filmi.



Şekil 4. İki alev cepheli Tambur kamera filmine ait bir şema.

3. TEORİK MODEL

Tedirgenlik verilen sürekli bir ortamda geçerli olan bir boyutlu dalga denklemi, iki ucu açık ve içi bir akışkanla doldurulmuş ortama uygulanabilir. Ancak içerdeki gazın yanmış veya yanmamış olmasına göre iki ayrı frekans ortaya çıkacaktır. Mesela $\lambda = 1$ şartlarında yanmış gaz ile dolu olsaydı $f_1 = 538$ Hz, yanmamış gaz ile dolu olsaydı $f_2 = 300$ Hz lik bir titreşim frekansı beklenecek idi. Ancak tüp Şekil 1 den de görüldüğü gibi aynı anda 3 ayrı bölgeden oluşmaktadır. Dolayısıyla eş zamanda ayrı gaz konsantrasyon ve sıcaklıklarına sahiptir.

Tedirgenliğin küçük olduğuna dayanılarak yapılan ses hızının sabitliği kabulü kullanılarak yanmış ve yanmamış bölgeler için dalga denklemi yazılabilir. Şekil 1 deki tüpün sol ucunu başlangıç noktası olarak alır ve x ile mesafeyi belirtirsek,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi_1}{\partial t^2} &= a_1^2 \frac{\partial^2 \xi_1}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 \xi_2}{\partial t^2} &= a_2^2 \frac{\partial^2 \xi_2}{\partial x^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

yazılabilir. Burada,

$$a_1 = \sqrt{p_1 k_1 / \rho_1} \quad , \quad a_2 = \sqrt{p_2 k_2 / \rho_2} \quad (2)$$

dir. Tüpün sol ucu ve ortası için,

$$\left. \begin{aligned} x=0 ; \quad \frac{\partial \xi_1}{\partial x} = 0 , \quad \frac{\partial \xi_2}{\partial x} = 0 \\ x=\frac{L}{2} ; \quad \xi_1=0 , \quad \xi_2=0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

sınır şartları kullanılırsa,

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 = c_1 \cdot \cos \frac{2\pi f x}{a_1} \cdot \cos 2\pi f t \\ \xi_2 = c_2 \cdot \sin \frac{2\pi f \left(\frac{L}{2} - x\right)}{a_2} \cdot \cos 2\pi f t \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Tüp yanmış veya yanmamış gazlarla doldurulmuş olsaydı (4) denklemleri her iki sınır şartını da sağlayacak idi. Dolayısıyla söz konusu frekanslar (3) sınır şartları yardımıyla bulunabilir.

Soldaki alev cephesinde yer değiştirme ve kuvvet bileşenleri eşitlenerek,

$$x=l \text{ de } \xi_1 = \xi_2 , \quad \frac{\partial \xi_1}{\partial x} a_1^2 \cdot \rho_1 = \frac{\partial \xi_2}{\partial x} a_2^2 \cdot \rho_2 \quad (5)$$

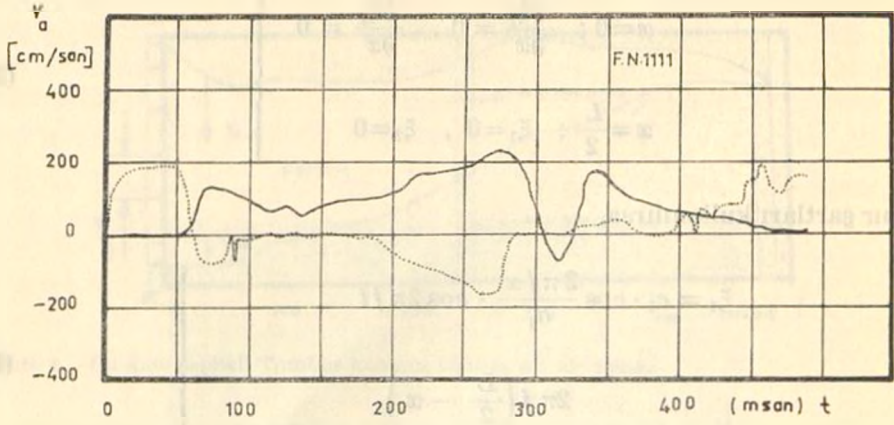
şeklinde yeni iki ifade ile yanmış ve yanmamış kısımlar bağlanabilir. (5) denklemlerinde (4) ifadeleri kullanılır ve katsayıları yok edilirse $p_1 = p_2$ için,

$$\frac{k_1}{f_1} \operatorname{tg} \frac{2\pi f \cdot l}{a_1} = \frac{k_2}{f_2} \cot g \frac{2\pi f \left(\frac{L}{2} - l\right)}{a_2} \quad (6)$$

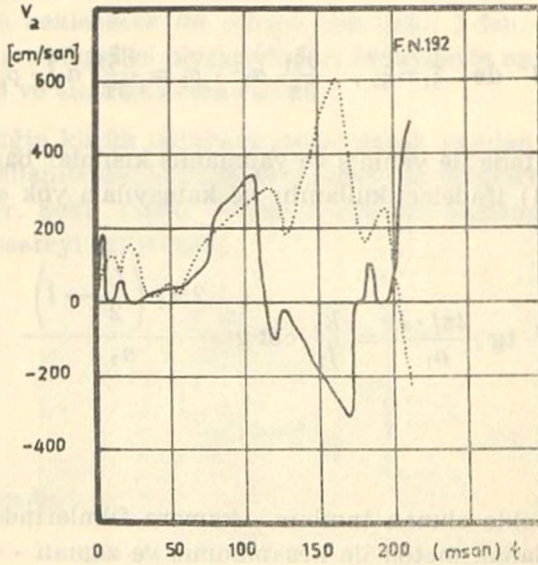
bulunur.

4. SONUÇLAR

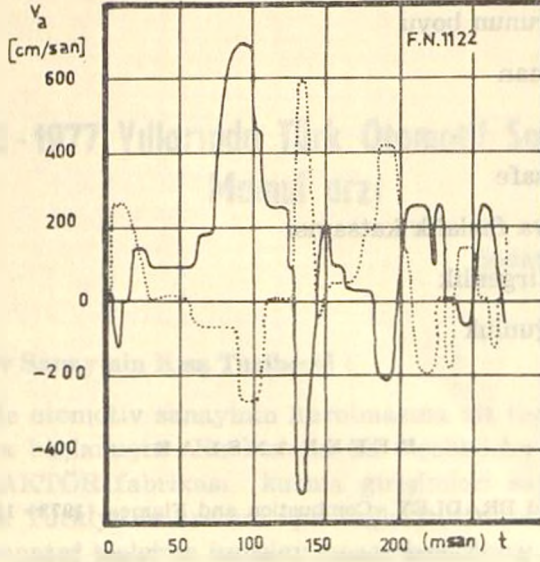
Deneylerden elde olunan tambur - kamera filmlerinden alev hızları Ref. (1) de uygulanan metod ile hesaplanmış ve zaman - alev hızına ait örnekler Şekil 5, 6 ve 7 de sunulmuştur.



Şekil 5. İki alev cepheli yanmada alev hızı - zaman diyagramları; $\lambda = 1,1$. Yakıt : propan + bütan, Oksidant : hava, $p = 1,013$ bar.



Şekil 6. İki alev cepheli yanmada alev hızı - zaman diyagramları; $\lambda = 0,78$, Yakıt : propan + bütan $p = 1,013$ bar.



Şekil 7. İki alev cepheli yanmada alev hızı - zaman diyagramları; $\lambda = 0,65$, Yakıt : propan + bütan, Oksidant : hava $p = 1,013$ bar.

Bu şekillerden görüldüğü gibi düşük frekans 10 - 100 Hz arasındadır. Halbuki alev cephesinin ışıklı çizgisindeki yüksek frekans ise 400 - 500 Hz. arasındadır. Teorik modelde bulunan denkleme söz konusu deney şartları uygulanırsa, bulunan frekanslar 400 - 500 arasında çıkmaktadır. Dolayısıyla klasik dalga denkleminde dayanılarak hazırlanan model alev cephesindeki yüksek frekansı vermektedir. Fakat, gerek tambur kamera filmlerinde de görülen, düşük frekanstaki salınımları açıklayamamaktadır. Bu titreşim için başka bir yaklaşımın kullanılması uygundur.

SEMBOLLER

a	Ses hızı
c	Katsayı
f	Frekans

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad \text{Özgül ısılar oranı}$$

İNDİSLER

1	Yanmış bölge
2	Yanmamış bölge
a	Alev

l	Soldaki alevin aldığı yol
L	Borunun boyu
t	Zaman
v	Hız
α	Mesafe
λ	Hava fazlalık katsayısı
$\zeta \ll 1$	Tedirgenlik
ρ	Yoğunluk

REFERANSLAR

1. Andrews G.E. and BRADLEY «Combustion and Flame» (1973) 18, 133 - 153.
2. BOYNUKALIN, A., «Yanma Hızının Deneysel ve Teorik Etüdü» S.D.M.M.A. Dergisi, MMA - 5, (1978) 92.