

MIMAR SINAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SES ENERJİSİ İLE SOĞUTMA

Mehmet Ali TERDİ

DANISMAN: Prof. Dr. Bilgin AKDEMİR

İSTANBUL – MAYIS 2006

Mehmet Ali Terdi tarafından hazirlanan "Ses Enerjisi ile Sogutma" adli arastirmanin yüksek lisans tezi olarak uygun oldugunu onaylarim.

Imza
Yüksek Lisans
Tezi Danismani

Bu alışma Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilimdalı, Fizik programında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmistir.

Danisman: Prof. Dr. Bilgin Akdemir (M.S.G.S.)

Jüri yesi: Prof. Dr. Ender Aktulga (M.S.G.S.)

Jüri yesi: Prof. Dr. Fatma Senyücel (M.S.G.S.)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
ÖZET.....	II
SUMMARY.....	III
SEMBOLLER.....	IV
1.GIRIS.....	1
2. SOGUTMA.....	4
2.1. KONVANSİYONEL SOGUTMA SİSTEMLERİ.....	4
2.2. TERMOAKUSTİK SOGUTMA.....	7
2.2.1 Termoakustik Sogutmanın Ana Prensipleri.....	7
2.2.2 Termoakustik Etkiden Sogutma Elde Etme.....	7
2.2.3. Termoakustik Sogutucunun Modülleri.....	13
2.2.3.1. Akustik kaynak.....	13
2.2.3.2. Resonans borusu.....	13
2.2.3.3. Stack.....	14
2.2.3.4. Isı esenörleri.....	15
3. MODELLEME.....	16
3.1. Test Düzeneginin Tanımlanması ve Gerekli Malzemeler.....	16
3.1.1. Kullanacağımız Parçalar ve Özellikleri.....	17
3.1.2. Test Düzeneginin Hazırlanması.....	21
4. DENEYİN YAPILMASI.....	26
4.1. Deney Cihaz ve Ekipmanlarının Yapılması.....	26
4.2. Deneyin Amacı.....	27
4.3. Deneyin Asamaları.....	28
4.3.1. İlk Deney ve Ses Gücünün Etkisi.....	28
4.3.2. Ses Dalgası Frekansının Sıcaklıklara Etkisi.....	29
5. SONUÇ.....	43
6. KAYNAKÇA.....	45
7. ÖZGEÇMİŞ.....	46

ÖNSÖZ

Bu alısmada, termoakustik etki ve bu etkiden sogutma elde etme üzerinde alisildi. Konu ile ilgili literatür arastirmasinin ardından termoakustik etkinin bir model üzerinde görölmesi için modelleme ve deney yapıldı. Deneylerde Arçelik Ürün Degerlendirme Laboratuvari kullanıldı. Test için Arçelik Akustik ve Termodinamik laboratuvarlarından cihaz desteği alındı.

Bu alısmada bana yaptıkları yardımlardan dolayı tez danisman hocam Prof. Dr. Bilgin Akdemir ve Arçelik A.S.'den sogutma teknikeri Fatih Mumcuoglu'ya tesekkür ederim.

Ayrıca termoakustik konusunda dünyadaki önde gelen arastirmacılardan ve ilk termoakustik derin dondurucuyu geliştiren Steven Garret'a da elektronik posta yolu ile bana verdiği desteklerden dolayı tesekkür ederim.

ÖZET

Termoakustik sogutma, termoakustikler ile ilgili arastirma alanlarindan birisidir. Bir termoakustik sogutucuda ses gücü sayesinde sicaklik farklari elde edilebilir.

Termoakustik sistemin en önemli parçasi olan stack yüzeyindeki sicaklik farklarini görebilmek için bir model hazirlandi.

Bu modelde herhangi bir sogutma performansi elde etmek amaçlanmadi. Modelin amaci termoakustik gücün stack yüzeyinde sicaklik farklarina yol açtigini görmek amaçlandi.

SUMMARY

Thermoacoustic cooling is one of the research areas of thermoacoustics. Temperature differences can be obtained in a thermoacoustic cooler using acoustic power.

A model was prepared to see temperature differences in a stack region which is most important part of thermoacoustic cooler.

The purpose of this model was not to get any cooling performance. We aimed to see that thermoacoustic power may provide temperature differences in a stack region.

SEMBOLLER

COP	Coefficient of Performance - Sogutma Performans Katsayisi
SETAC	Shipboard Electronic Thermo Acoustic Cooler
TAR	Thermo Acoustic Refrigerator
Stack	Gözenekli parça – Termoakustik sogutucu elemani

1. GIRIS

Son yıllarda çevresel kaygıların önemli ölçüde artması ile birlikte soğutma sistemlerinin dizayn ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar artmaya başladı. Soğutucu gazların çevreye verdiği zararlar nedeniyle bu gazların alternatifleri aranmaya başlandı. Daha önceleri yoğun olarak kullanılan R-12 ve R-22 gibi soğutucu gazların avrupada kullanılması yasaklandı. Türkiye’de ise 2010 yılında kullanılmasına son verilecek. Çevreye zararlı bu ve diğer gazların kullanılması yönünde yapılan çalışmaların hızlanmasıyla beraber verimi daha düşük olan alternatif gazların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bunun yanı sıra soğutucu gazlar kullanılmadan elde edilen soğutma daha cazip hale geldi. Bu alandaki alternatif teknolojilerden bir tanesi de termoakustik soğutma’dır. Termoakustik soğutma konusundaki çalışmaların hızı, modellemelerdeki çeşitlilik ve sistem veriminde elde edilen artışlar bu teknolojinin önümüzdeki dönemin önemli konularından birisi olacağı konusunda araştırmacıları cesaretlendirmiştir. Yakın gelecekte termoakustik soğutucuların alternatif soğutma sistemleri olarak ticari uygulamalarının da kullanıma hazır olabileceği düşünülmektedir.

Termoakustik soğutma sistemlerinin en önemli özelliği çevreye zararlı olan soğutucu gazlar içermemesidir. Geçtiğimiz son elli yıl içerisinde enerji ihtiyaçlarının teknolojik gelişim ile beraber artmasıyla sonuçları düşünülmemiş enerji üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu enerjilerin elde edilmesi sırasında kullanılan çevreye zararlı maddelerin zararsız hale getirilmesinin maliyeti çoğu zaman enerjinin elde edilmesinin maliyetini aşmıştır. Bu yüzden çevreye zararı olmayan sistemlere ayrılan bütçeler sürekli olarak artacaktır.

Termoakustik sogutucu ile elde edilen sogutmanın Carnot çevrimine göre performans katsayısı 0,1 – 0,26 aralığındadır. Konvansiyonel sogutma sistemlerinde ise bu deger 0,33 – 0,5 aralığındadır. Bu karsilastirmadan da anlasilabilecegi gibi termoakustik sogutma mevcut sogutma sistemlerine su an itibariyle alternatif olabilecek bir sistem degildir. Fakat su ana kadar ki yapılan çalismalar ve elde edilen sonuçlar sadece arastirma sonuçlari oldugundan oldukça dikkat çekicidir. 1980 yili sonrasında artan çalismalarda termoakustik sogutmanın altyapisi, fizik ve termodinamikçiler tarafından izah edilmistir. Bundan sonra yapılması gereken çalismalar bu sistemler ile çalışan mühendislik cihazlarının geliştirilmesi ve bu cihazlar ile daha yüksek verimlerin elde edilmesi olacaktır.

Termoakustik etkinin farkına varılması 200 yıl öncesine dayanmaktadır. Bu konudaki ilk yayım 1802 yılında Higgins tarafından yazılmıştır⁽³⁾. Bu konuda tamamlanmış olan ilk deneysel çalışma bu arastırmanın 180 yıl sonrasına rastlamaktadır. Bu yılda Rott'un ilk deneysel çalışmayı yapmasının⁽³⁾ ardından 1983 yılında Wheatley⁽⁷⁾ deneysel olarak termoakustik enerjinin sıcaklık gradyanları oluşturmada kullanılabileceğini bulmuştur. 1988'de Swift Rott'un çalışmasının bir uzantisi olarak basitleştirilmiş bir lineer model geliştirdi. Bu çalışma, dizayn parametrelerini ve performanslarını anlamada çok yararlı olacak sonuçlar içermektedir⁽³⁾.

Son 20 yıl içinde dizaynı gerçekleştirilmiş termoakustik sistemlerin ardından (Hofler, 1986; Swift, 1988; Garret 1991) ilk ticari termoakustik sistem 1993 yılında Garret tarafından gerçekleştirilmiştir. 1986 yılında Hofler tarafından yapılan sistemin performans katsayısı (COP) 0,12 dir. Buna karşın 1993 yılında Garret tarafından gerçekleştirilen iki tane termoakustik sogutucudan uzay mekiginde kullanılmak üzere NASA için yapılanın performans katsayısı (COP) 0,20 dir. Bu sistem 5 W sogutma gücü ve 80 °C sıcaklık farkı elde edilecek şekilde dizayn edilmiştir. Son yapılan çalışmalardan birisinde Askeri Gemideki radar elektronikini sogutulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada öngörülen performans katsayısı (COP) 0,42 idi. Bu amaçla yapılan ve

SETAC (Shipboard Electronic Thermo Acoustic Cooler) ⁽³⁾ adi verilen sistemde yapılan deneyler sirasinda elde edilen en yüksek performans katsayisi (COP) 0,26 olarak tespit edildi. SETAC 419 W sogutma gücü elde etmesi ile ev tipi bir buzdolabi ile karsilastirilabilecek bir sonuç vermistir. SETAC'in optimum çalisma sartlarinda çektiği 1 W elektrik gücü ile 1W'lik isiyi alabiliyorken mevcut sogutma sistemlerinde 1W elektrik enerjisi 2W-4W gibi bir isiyi atmak mümkündür (bkz. 2.1). Bu sistemde edilen en yüksek sicaklik farki en soguk sicakligin 3.9 °C olduğu durumda 26,2 °C dir ⁽³⁾.

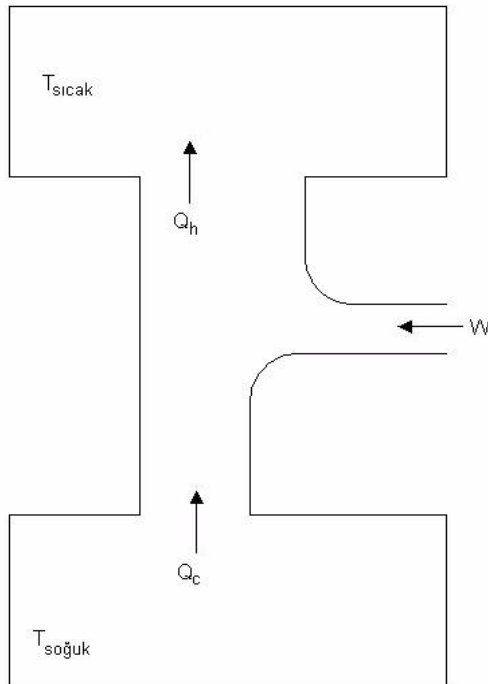
Sogutma islemi isitmada olduğu gibi elektrik enerjisinin isi enerjisine çevrilmesi islemi degildir. Sogutma islemi ortamdaki isinin baska bir ortama tasinmasi islemidir. Sogutucu, ortamda istenilen degerlerin üzerindeki isiyi sogutma sistemi yardimiyla sogutulan hacmin disina atar. Her sogutma sisteminde bu sistemin devamliligini saglayan bir ana parça vardır. Bu parçanın çalıştirilmesi için gereken elektrik gücü, sistemin çektiği güçtür. Ortamdan disariya atilan isinin cihazın çektiği güce orani sistemin performansini belirler. Bu performans katsayisi genellikle 2– 4 arasindadir.

2. SOGUTMA

2.1. Konvansiyonel Sogutma Sistemleri:

Konvansiyonel sogutma sistemlerinde gazin sikismasi ve genlesmesi olaylari sogutmanin ana prensiplerini olusturmaktadır. Sogutma çevrimi sirasinda sogutucu akiskanin evaporatörde genlesmesi saglanarak sogutma gerçeklesir. Bu olay sirasinda genlesen gazin basinci düşer. Basinci düşen gaz ise sogur ve genlesmesi oraninda ortamdaki isiyi alır. Yani sogutma islemi, sogutucu akiskanin basincinin düşürülmesi yardimiyla sogutulmasi ve ortamdaki isiyi almaya baslamasi islemidir. Bu olayin ardindan isinan gaz kompresörden sikisarak geçer ve üzerindeki isi daha da artar. Akiskanin üzerindeki bu isiyi atmak için kondanserden (yogusturucu) geçirilir. Burada sistem dizayninda belirlenmis olan sicakliga kadar sogumasi hedeflenir. Isiyi üzerinden atan gaz tekrar valf veya kilcal borular yardimiyla genlestirilerek çevrime devam edilir.

Bir sogutucudaki akis diyagrami Sekil.2.1 deki gibidir.



Sekil.2.1. Sogutma akis diyagrami

Sıcak ortama transfer edilen ısı miktarı Q_H , soğuk ortamdan alınan ısı miktarı Q_C , yapılan iş W olmak üzere, termodinamiğin 1. yasasına göre

$$\begin{aligned} Q_H + Q_C - W &= 0 && \text{dir}^{(8)}. \text{ Buradan,} \\ -Q_H &= Q_C - W && \text{yazılabilir.} \end{aligned}$$

Soğutucu için Q_C pozitif, W ve Q_H negatiftir.

$$|Q_H| = Q_C + |W|$$

Şekil 2.1 sıcak depoya verilen Q_H ısısinin, soğuk depodan alınan Q_C ısısından büyük olduğunu göstermektedir.

Ekonomik açıdan en iyi soğutucu çevrimi, en düşük W mekanik iş harcaması ile, soğutulacak ortamdan en büyük miktarda Q_C ısı alandır. Soğutucularda verim yerine K (Coefficient of performance) performans katsayısının kullanılması tercih edilir. K performans katsayısı

$$K = -\frac{Q_C}{W} = -\frac{Q_C}{Q_H + Q_C} \quad \text{dir.}$$

Yukarıdaki Q_H , Q_C ve W lar aynı enerji birimleri ile ölçülür; dolayısıyla K boyutsuz bir sayıdır.

1 BTU/saat = 0,293 Watt olduğuna göre, 10000 BTU/saat (=2930 Watt) lik soğutma yapan bir klimada gerekli olan elektrik gücü 1500 Watt ise, K katsayısı yaklaşık olarak 2 dir⁽⁸⁾.

Konvansiyonel sistemlerde çevre ile ilgili ve enerji tüketimi ile ilgili kaygıların ardından araştırmalar sürekli olarak devam etmektedir. Bu araştırmaların birkaç aşaması vardır. Bunları ana başlıklarla anlatacak olursak.

a) Enerji tüketiminin azalmasına yönelik çalışmalar:

- Soğutma sistemlerinde izolasyonlarda iyileştirme yaparak sistemin daha kısa süre çalışması ve enerji tasarrufu elde etme.
- Sistemin verimini artırarak daha az enerji tüketimi sağlamak.

b) Çevreci sistemler kullanmak:

- Verimi artırma çalışmaları sırasında önümüze çıkan en önemli engellerden birisi verimi yüksek olan akışkanların başka dezavantajları olmasıdır. Bu dezavantajlar bazen çevreye verdiği zarar, bazen de tehlikeli olmalarıdır.

Yukarıda bahsettiğimiz çalışmalar çerçevesinde çevreye zararlı atık olarak etkisi olmayan alternatif soğutma sistemleri ön plana çıkmaktadır. İçerisindeki havanın soğutucu akışkan olarak kullanılması düşünülen termoakustik soğutucular bu kapsamda gelecek yılların önemli bir konusu olabilecek özelliktedir. Son yıllarda yapılan projelerde ileride çevreye vereceği zarar ve bunun düzeltilmesinin maliyetleri de proje maliyetlerine eklenmektedir.

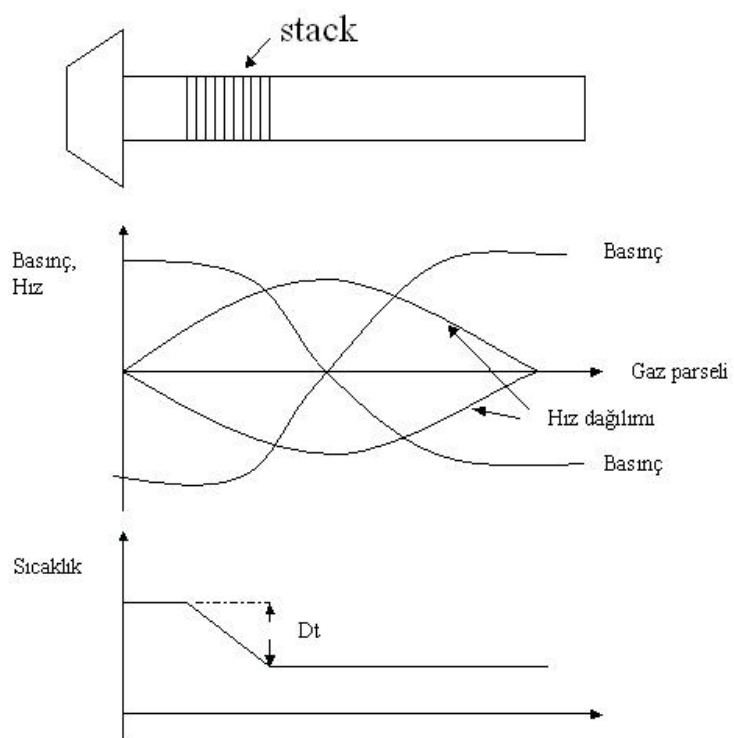
2.2 TERMOAKUSTIK SOGUTMA

2.2.1 Termoakustik Sogutmanın Ana Prensipleri:

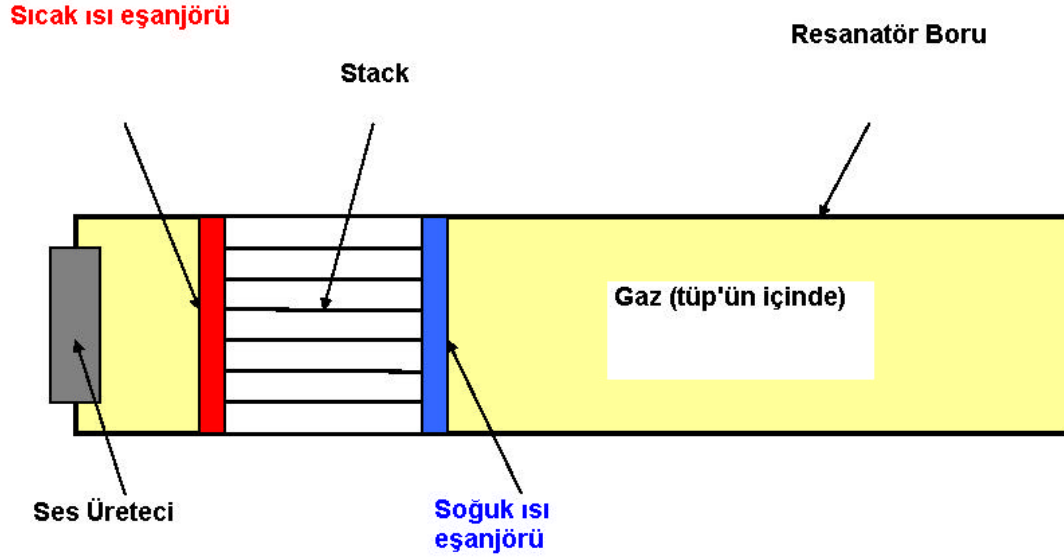
Termoakustik sogutucu üzerinde çalışanların genel olarak öngördükleri modeller, ses dalga üreticinde oluşturulan dalgaların bir tüp içinde hareket ettirerek stack adı verilen gözenekli ortamdan geçirme işlemidir. Termoakustik etkinin iki farklı uygulaması bulunmaktadır. Bunlardan birisi termoakustik motor diğeri ise termoakustik sogutmadır. Bu tez içerisinde termoakustik sogutma konusu incelenecektir.

2.2.2. Termoakustik Etkiden Sogutma Elde Etme:

Termoakustik sogutmanın konvansiyonel sogutma sistemlerinden en önemli farkı akışkan olarak hava kullanılmasıdır. Ses dalgalarının sesin frekansına göre şekli daha önce belirlenmiş olan rezonans borusundan geçirilmesi sırasında ileri geri hava hareketi gerçekleştirilir. Havanın bu hareket sırasında genişlişip sıkışması sağlanarak sıcaklık farkları elde edilir. Havanın sıkışıp genişlemesi için çok dar gözenekleri olan ve stack adı verilen bir ortama ihtiyaç duyulur. Bu parçanın gözeneklerinden geçen hava sıkışıp genişlemektedir. Sistemdeki en önemli parça stack'dir. Stack dizaynindeki tüm parametreler doğrudan performansı etkilemektedir.



Sekil 2.2. Stack yüzeyi boyunca gaz parçacığının hızının, basıncının ve sıcaklığının değişimi.



Sekil 2.3. Termoakustik soğutucu sematik gösterilisi

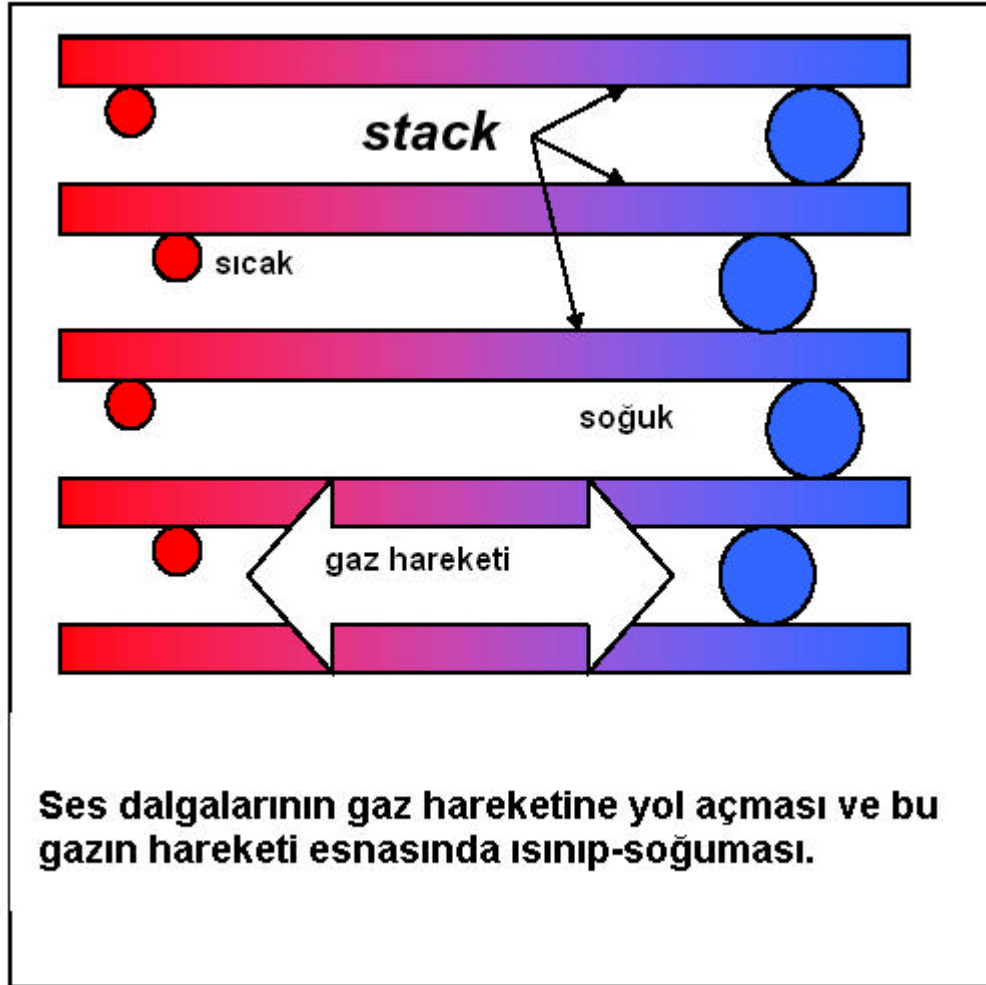
Termoakustik soğutma sistemini daha iyi anlamak için tek bir gaz parçacığının belirli bir süre içindeki salinimini izlemek gerekir. Bu salinim sırasında gelişen olaylar iki ana başlık altında incelenmelidir. Bunlar;

a) Adyabatik sıkışma:

b) Isı transferi:

İçinde gerek hareketin gerekse ısı transferinin max. olması amacıyla belirlenmiş olan aralıklarda gaz molekülünün yapmış olduğu salinim hareketleri kendine özgü bir termodinamik sistem oluşturmaktadır.

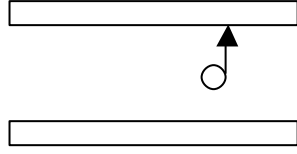
Adyabatik sikisma:



Sekil 2.4. Havanın stack içindeki sikisma-genlesme hareketi

Katmanlar arasında hareket eden gaz bu hareket sırasında lineer olması beklenen şekilde katmanlar arasında sıkışır. Tüm gazlarda olduğu gibi bu sistemde kullandığımız akışkan gazın sıcaklığı T 'den daha yüksek bir sıcaklık olan T_1 'e yükselir. Burada gazın sıcaklığında bir artış meydana gelmiştir. Kompresörlü soğutma sisteminde de kompresörün evaporatörden gazı aldıktan sonra sıkıştırarak göndermesi sonucunda da soğutucu akışkanda sıcaklık artışı olmaktadır.

Geri Dönüşümsüz Isı Transferi:



Sekil 2.5. Gaz parçacığından katmanlara gerçekleşen ısı transferi

Bu hareket sırasında oluşan ısı transferi ısınan gazdan katmanlara doğru olmaktadır ve bu hareket geri dönüşümsüz bir ısı transferidir. Burada T_{++} 'ya kadar ısınmış olan gaz molekülü stack katmanının sıcaklığını T_{+} 'ya kadar artırarak ısı transferini tamamlar. (Sekil 2.4.)

Tüm bunlardan sonra soğutma çevrimini özetlersek:

- 1 . Gazin sıkılarak basıncinin artması ve bu basınç artışı sırasında ısı alarak sıcaklığının artması.
2. Gazin üzerindeki ısıyı atması
3. Gazin ısıyı atarken genleşmesi ve gaz parçacığının sıcaklığının azalması.
4. Gaz parçacığının genleşmesi ve bu sırada stack'den ısı alması işlemi.

Yukarıda anlatılan dört ana hareketi Sekil 2.6 ile daha da iyi anlayabiliriz.



Sekil 2.6. Termoakustik sogutcudaki gaz moleküllerinin hareketinin termodinamigi

Bu sürekli salınımlar neticesinde gözenekli katmanın (stack) iki ucu arasında bir sıcaklık farkı ΔT oluşmaktadır. Bu sıcaklık farklarını her iki kenara ısı değiştirici yerleştirilerek bir soğutma çevrimi oluşturulabilir.

2.2.3. TERMOAKUSTİK SOĞUTUCUNUN MODÜLLERİ

2.2.3.1. Akustik kaynak:

Termoakustik sistemdeki gücün kaynağı olan ses dalgası üreticileri termoakustik sistemin veriminin düşük olmasının en önemli kaynaklarından birisidir. Su anda kullanılmakta olan ticari hoparlörlerin verimleri %3 civarındadır. Bu hoparlörler dizaynları sırasında müzik dalgalarını vermeleri düşünülerek geliştirilmişlerdir. Fakat Termoakustik sistemde bizim için önemli olan şey sadece belirli bir frekansta ses dalgası üretmektir. Termoakustik alanında yapılan çalışmalarda özel olarak dizayn edilen ve elektroakustik verimi % 50 olan hoparlörler kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucu teorik olarak %90 verime sahip hoparlörlerin elde edilebileceği ortaya çıkmıştır ve araştırılmaya devam edilmektedir.

2.2.3.2. Rezonans borusu:

Sistemdeki her türlü akışkan hareketinin içerisinde olacağı parça rezonans borusudur. Çapı, uzunluğu sistemde kullanılacak ses dalgasının frekansına göre seçilir. Dizaynı sırasında iç yüzeyinin pürüzsüz olmasına, boru et kalınlığının her noktada eşit kalınlıkta olmasına ve ısı transferine izin vermeyecek şekilde yalıtkan bir malzemedен üretilmiş olmasına dikkat edilir. İsi kaybının en fazla olduğu parça budur. Bu yüzden yapılan tasarımda ısı kaybını minimize etmenin yolları aranmalıdır. Gerekli olan uzunluğun üzerine çıkmamaya dikkat edilmelidir. Rezonans borusunun uzunluğunu hesaplarken sistemde kullanılacak sesin frekansı belirlenir. Bu frekans formülde yerine konularak dalga boyu bulunur. $\lambda / 4$ uzunluğunda boru tercih edilir. Sesin dalga boyu λ , frekans f , havadaki ses hızı v , olmak üzere $\lambda = v / f$ dir. Sesin havadaki hızı $v = 340 \text{ m / s}$ dir.

Akiskan hareketinin en iyi sekilde devamliligini saglamak için silindirik dizaynlar kullanilir.

2.2.3.3. Stack:

Termoakustik sistemde üretilen ses dalgalarını amaçlar doğrultusunda kullanabilmek için gerekli ve sistemin en önemli parçalarından birisi stackdir. Stack içerisine konulacağı rezonans tüpü boru şeklinde olmalıdır. Stackin boyu ise sistemde kullanılan frekansa ve elde edilmesi amaçlanan güce göre belirlenmelidir. Stack katmanları arasındaki mesafe ise dizaynının yapılması en güç olan konudur. Stack katmanlarının tasarımı sırasında sistemde kullanılan akışkanın özellikleri en önemli faktördür.

Stack katmanları arasındaki mesafenin tasarımı sonunda:

- Sistemdeki akışkan katmanların arasında ileri – geri hareket edebilmelidir.
- Bu hareket stack katmanları arasında adyabatik sıkışma sırasında ısı transferine izin verecek şekilde olmalıdır.



Sekil 2.7. Stack örneği

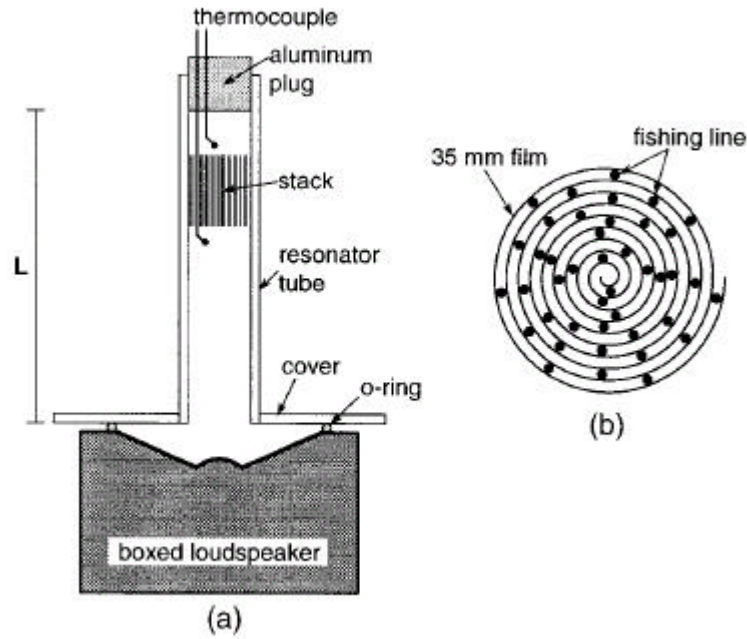
2.2.3.4. Isi Esanjörleri:

Termoakustik sistemlerinin verimleri düşük olduğundan her parça özenle seçilmelidir. Bu yüzden standart sistemlerde kullanılan isi degistiricileri termoakustik sogutucularda kullanmak çok yararli olmayacaktır. Isi esanjörlerinin isi transferine yol açan plakalari isi transferini maksimum yapan malzemelerden seçilmelidir. Isi degistirici içerisinde dolasan akiskanin akisi ve içerigide maksimum verim esasina göre seçilmelidir.

3. MODELLEME

3.1 Test Düzeneginin Tanımlanması ve Gerekli Malzemeler:

Termoakustik soğutmayı daha iyi anlayabilmek için basit bir model yapmak mümkündür. Bu model sayesinde bir termoakustik soğutucuda olması gereken parçalar ve bu parçaların soğutucuda hangi işe yaradığını daha iyi görebilmeyi sağlamaktadır. Aşağıda sematik resmi görülen termoakustik soğutucu modeli bu konuda üzerinde çalışılacak sistemdir.



Sekil 3.1. Termoakustik soğutucu modeli

3.1.1 Kullanacagimiz parçalar ve özellikleri:

a) Rezonans Tüpü:

Rezonans tüpü olarak silindirik şekilde akrilik, cam veya plastik bir malzeme kullanılır. Uzunluğu 23 cm olan tüpün iç çapı 2,2 cm dir. Rezonans tüpünün uzunluğunun seçiminde deneyde kullanılacak frekans etkili olmuştur.



Sekil 3.2. PVC boru

b) Stack:

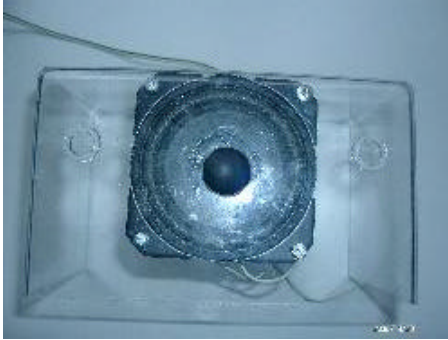
Stack bir termoakustik soğutucunun en önemli parçasıdır. Yalıtkan olması en önemli özelliğidir. Silindirik rezonans tüpünün içine konulması, kolay bulunup hazırlanabilmesi açısından 35 mm lik fotoğraf filmi kullanılmıştır. Bu filmi silindirik tüpün içine yerleştirmek için sararken katmanlara arasında boşluk oluşturmak için naylon misina kullanılır. \varnothing 0,30 mm misinalar film üzerine yapıştırılarak uygun boşluk oluşturulur.



Sekil 3.3. Fotograf filmi (35mm.)

c) Hoparlör

Hoparlör olarak 40 W gücünde ve 10 cm çapında bir hoparlör kullanılmaktadır.



Sekil 3.4. Hoparlör (40W)



d) Sinyal Üretici:

Arzu edilen frekansta ses dalgasi verebilecek bir sinyal üretici kullanilmistir.



Sekil 3.5. Sinyal Üretici Stanford DS345 Function Generator

e) Amplifikatör:

Sinyal üretecinde hoparlöre ses aktarmak için bir amplifikatör kullanilmistir.



Sekil 3.6. Amlifikatör Bruel Kjaer 2706 Power Amplifier

f) Sicaklik Verileri Toplama cihazı:

16 girisli bu cihaz ile farkli noktalarin sicakliklari ayni anda ölçülebilir. Test sirasinda sicaklik ölçümü yapılan noktalarin sicakliklarini digital ekranda takibini saglar. Ayrica belirlenen zaman araliginda toplanan veriler bilgisayasara aktarilabilir. Aktarilan veriler grafige dönüştürülebilir.



Sekil 3.7. Veri Toplama Cihazı Grant 1205

g) Termoçift:

Test sirasinda sicakliklari ölçülecek noktalara 4 adet termoçift sabitlenerek kullanildi. Termoçiftlerin sicaklik ölçeceği araliklar çok dar oldugu için, isi kapasitesi düşük T tipi ince uçlu termoçift seçildi.

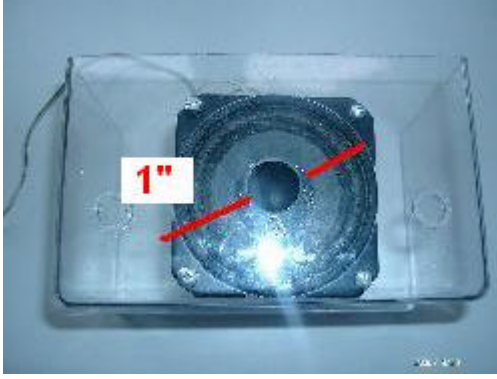


Sekil 3.8. Termoçift , Thermo Electric, Tipi: T (N/N 24 TT)

3.1.2. Test Düzeneginin Hazirlanisi:

Rezonans tüpü olarak kullanılmak üzere ve 23 cm uzunlukta kesilmis olan plastik tüpün içerisine stack yerlestirilir. Stack hazirlamak için elde edilen 35 mm fotograf filminden boru  apini tam olarak dolduracak sekilde kesilir. Bu bir metrelik film üzerine \varnothing 0,30 mm lik misinalarin yapistirilmesine baslanir. Fotograf filminin kenarindan 5 mm lik mesafeden baslanarak misinalar filmin enine dogru yapistirilir. Etrafa tasmayacak bir yapistirici kullanilarak yapistirma islemi her 5 mm de tekrar edilerek sürdürülür. Bu islem 1 m boyunca devam eder. Misinalarin tam olarak yapismasi beklendikten sonra film sikica sarilmaya baslanir. Tamami sarildikten sonra rezonans tüpünün içine konmaya hazirdir. Deneyler sirasinda stackin alt ve üst tarafindan sicaklik ölçümleri yapilacagi için rezonans tüpünün içine konmadan alt ve üst kisimlarina termoo iftler eklenir. Termoo iftler eklenmis olan stack rezonans tüpünün içerisine üst kisimdan bir miktar asagida olacak sekilde yerlestirilir. Bu yerlestermede mümkün oldugu kadar u  kisma yakin olmasi istenmektedir. U  kisimda olusan maksimum basinqta daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Fakat gaz partikülleri için yeterli mesafe birakmak gerekmektedir. Stack yerlestirmesi tamamlandikten sonra sadece sicaklik ölçüm kablolarinin disari  ikmasına izin veren bir malzeme ile rezonans tüpü kapatilir. Tüpün u  kismini kapatan malzemenin alt kisminin düzgün yüzeyli olmasi istenmektedir. Bu kapagin boruya dik olarak yapistirilmesi gerekmektedir.

Hoparlör bir plakaya dört yanindan vidalanarak monte edilir. Bu baglanti sirasinda iyi bir izolasyon saglamasi amaciyla hoparlörün kenarlarinin plakaya çok iyi oturmasına  zen gösterilmelidir. Hoparlörün  zerine takilan plakaya rezonans tüpünün  apina yakin ölçüde bir delik delinir. Bu delik ses dalgalarinin rezonans tüpüne geçisini saglayacaktır.



Sekil 3.9. Hoparlörün deney levhasına monte edilmiş hali

Rezonans tüpünün üstünde termoçift için gerekli deliklerin açılması ve boyunda ayarlamalar yapılması amacıyla cam tüp yerine pvc boru kullanıldı. Bu malzemenin seçimi yapılırken yalıtkanlık özelliğine dikkat edilir. Herhangi bir ısı transferine izin vermemesi gerekmektedir. Cam tüp, içerisindeki stackin ve termoçiftlerin görünmesi amacıyla tercih edilse bile seffaf yapısı nedeniyle ısınım yoluyla olan ısı transferini engelleyecek bir özelliği yoktur. Test sırasında ortamdaki ısıklardan etkilenecek sonuçlarda yanılmaya yol açabilir. PVC boru iç yüzeyinin düzgün yapısı ve yalıtkan özelliğiyle yapılacak teste uygun bir malzemedir. Çapı 2,1 cm olan PVC borunun uzunluğu 23 cm olacak şekilde kesilir. (Sekil 3.10)



Sekil 3.10. PVC boru

Rezonans tüpü olarak kullanılacak olan bu tüpün hazirlanmasindan sonra termoakustik sogutcunun en önemli bölümü olan stack'in hazirlanmasina baslanir. Stack hazirlamak için ana malzeme 35 mm fotograf filmi seçildi. Stack hazirlamak için fotograf filminden 1 metre kesilir. Filmin zerine 0,30 mm çapındaki misinalar yapistirilir. Bu yapistirma islemi her 5 mm de tekrar edilerek 1 metre film boyunca devam edilir. Misinalari yapistirirken temiz bir yapistirici seçilmesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde filmin katmanlari birbirine yapisir ve stack içerisinde olmasi öngörülen hava hareketi ve dolayisiyla havanın sikismasi islemi gereklesmez. Bu da sistemin alishmaması demektir. Misina yapistirma islemi tamamlandıktan sonra yapisan parçaların kurumasi beklenir. Kuruduktan sonra fotograf filmi çok siki olarak tekrar sarilir. Bu islemden sonra stack hazirdir. (Sekil 3.11) Hazirlanan stack rezonans tüpünün içine yukaridan 4 cm kalacak sekilde yerlestirilir. Bu parça mümkün olduğu kadar u kisma yerlestirilmelidir. Fakat tüpün üst kismina çarpan ses dalgalarının tekrar dönmesine izin verecek kadar mesafe birakmak gereklidir.



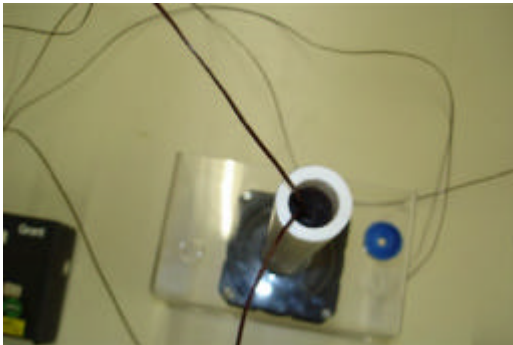
Sekil 3.11. Fotograf filminden hazirlanmis stack

Rezonans tüpünün üst kısmi plastik silindir seklinde bir parça ile kapatilir. Bu parçanın özelliği alt yüzeyinin pürüzsüz olması ve ortasında termoiftlerin ikmasına yol açan delikler olmasıdır. Bu haliyle test düzeneginin önemli bir kısmi hazirlanmis olur. (Sekil 3.12.)



Sekil 3.12. Hoparlör ve Rezonans Borusu

Üst kapagi takmadan önce ölçümü yapılacak noktalara termoçiftler monte edilmelidir. Rezonans tüpünün çapı ve stack boyutları nedeniyle ölçüm noktaları minimum olarak seçilmelidir. Aksi takdirde kablolar testin sonucunu etkileyecektir. Stack'in alt kısmında, orta kısmında ve üst kısmında seçilen noktalara termoçiftler yerleştirilir (Sekil 3.13). termoçiftler üst kapagin ortasındaki delikten çıkarılır ve kapak rezonans tüpünün üst kısmına yapıştırılır. Termoçiftlerin çıktığı delik macun ile kapatılarak tam izolasyon sağlanır.



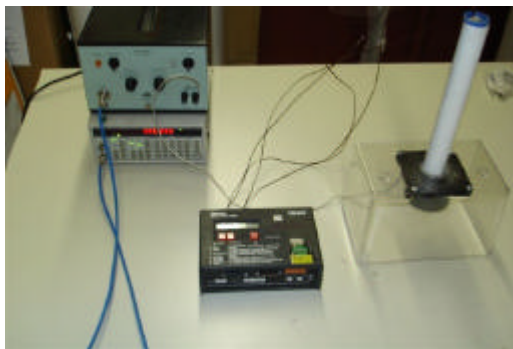
Sekil 3.13. Stack ve termoçift montajı

Bu islemin ardından termooiftler 16 girisli veri toplama cihazina baglanir. (Sekil 3.14)



Sekil 3.14. Termooiftlerin veri toplama cihazina baglanisi

Veri toplama cihazina da baglanti yapilmasinin ardindan kalan islem hoparlöre istenilen ses dalagalarini saglayacak sistemin baglantisinin yapilmasidir. Amplifikatörden çikan kablolar hoparlöre lehimlenir. Amplifikatörün ise sinyal üreticine baglantisi saglandiktan sonra sistem test için hazir olacaktır. (Sekil 3.15)



Sekil 3.15. Deney düzenegi

4.DENEYİN YAPILMASI

4.1. Deney Cihaz ve Ekipmanlarının Ayarlanması:

Deneyde 40W gücündeki hoparlörden 300 Hz – 420 Hz frekans aralığında sinüs dalgası göndererek termoakustik sistemin modeli üzerinden termoakustik etkiyi görebilmek hedeflendi.

Dört adet termoçift sıcaklık değişimlerinin en fazla beklendiği noktalara yerleştirildi. Bunlardan bir tanesi stackin altına, bir tanesi stack'in içine, diğer iki tanesi ise stackin üst kısımlarına yerleştirildi. (Tablo 4.1.)

Termoçift No	Konumu
T1	Stackin altında
T2	Stackin iç alt kısmında
T3	Stackin iç üst sağ kısmında
T4	Stackin iç üst sol kısmında

Tablo 4.1. Termoçiftlerin pozisyonları

Termoçiftlerin hepsi kalibrasyon ve doğrulama işlemleri tamamlandıktan sonra veri toplama cihazına tanımlandı. Veri toplama cihazı her 5 s de bir defa data alacak şekilde programlandı.

Sinyal üreticiden gerekli frekansi hoparlöre göndermek için sinyal üretici ve hoparlör arasına amplifikatör takıldı. Sinyal üreticinin gücü hoparlöre yeterli olmadığı için amplifikatör zorunlu hale geldi.

Termoakustik soğutucular en iyi verimlerini düşük sıcaklıklarda vermektedirler ⁽⁶⁾. Bu yüzden testi 10 °C in altında sabit sıcaklıkta yapmak daha yüksek sıcaklık farkları elde etmeyi sağlayabilirdi. Fakat bu sıcaklıklara sahip bir test odası laboratuvar şartlarında mümkün olmadığından testler oda sıcaklığında yapıldı.

4.2. Deneyin Amacı:

Deneyin amacı 300 - 420Hz frekanslarında sinüs dalgasını kullanarak rezonans tüpü içinde oluşan ses dalgasının yukarı aşağı hareketi sırasında stack içinden geçen havanın bu hareket sırasında sıkışma – genleşmesini ve dolayısıyla ısınma soğumasını sağlamaktır. Bu ısınma soğuma arasındaki sıcaklık farkı stack'in alt ve üst noktaları arasındaki sıcaklık farkına eşdeğerdir. Bu testin 10 °C in altında yapılması halinde elde edilecek ortalama sıcaklık farkı ≈ 10 °C a yakındır. Fakat ortam sıcaklıklarında yapıldığında 4-5 °C in altında kalacaktır. Hoparlörün çalışması ile birlikte 1 dakika içinde farkın görülmesi beklenmektedir.

Deney sırasında frekans değişimlerinin sıcaklık değişimine etkisi incelenecektir. Sesin gücü de frekans sabit tutularak değiştirilerek sıcaklık değişimlerine olan etkileri incelenecektir.

4.3. Deneyin Asamaları:

4.3.1. İlk deney ve ses gücünün etkisi:

Frekans ve ortam sıcaklığı sabit tutularak ilk deneye başlanacak. (D1)
Bu deneyin ardından güç üzerinde ayarlama yaparak sıcaklıklar tekrar ölçülecek. D1 deneyinde sinyal üretici ve amplifikatör ayarlandıktan sonra deney başlayacak ve bu esnada deney parametreleri değiştirilmeyecektir.

D2 ve D3 deneylerini yaparken sinyal üreticinde hiçbir değişiklik yapmadan amplifikatör üzerinden güç değiştirilerek sıcaklık ölçümü yapılacaktır.

Bu deney ile ses gücünün sıcaklık farklarına yol açmada doğrudan etkisi olup olmadığı görülecektir. Güç ile sıcaklık arasında sayısal bir ilişki aranmayacak. Sadece gücün artması veya azalmasının sıcaklıklar üzerindeki etkisinin hangi yönde olduğuna bakılacaktır.

Deney No	Frekans	Güç	Ortam Sıcaklığı
D1	385 Hz	Orta	22° C
D2	385 Hz	Min	22° C
D3	385 Hz	Max	22° C

Tablo 4.2. Sabit frekans deneyleri

4.3.2. Ses Dalgasi Frekansinin Sicakliklara Etkisi:

Önceki testlerde yapılan ölçümlerin ardından ses dalgasının frekansının Stack içerisinde deney sırasında ölçülen sıcaklıklara olan etkilerini tespit etmek için ses dalgasının frekansını değiştirerek veri toplamak gerekir. Bunun için yeni deneyler tanımlanmıştır.(Tablo.5.3.)

Standart olarak yapılan 385 Hz testlerinin ardından 300 Hz ve 420 Hz'de testlere devam edilir. Bu işlem sırasında amplifikatörde herhangi bir parametre değişikliği yapılmaz.

Deney No	Frekans	Güç	Ortam Sıcaklığı
D4	385 Hz	Sabit	22° C
D5	385 - 300 Hz	Sabit	22° C
D6	385 - 420 Hz	Sabit	22° C

Tablo 4.3.Sabit güç deneyleri

D1 Deneyi Sonuçları 385 Hz ve Sabit Güç					
Zaman (s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Ortam (°C)
0	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
5	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
10	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
15	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
20	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
25	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
30	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
35	22,1	22,1	22,2	22,1	22,1
40	22,1	22,2	22,3	22,1	22,1
45	22,1	22,2	22,4	22,1	22
50	22,0	22,2	22,5	22,5	22
55	21,8	22,2	22,4	22,4	22,1
60	21,8	22,1	22,4	22,4	22,1
65	21,4	21,9	22,2	22,3	22,1
70	21,4	21,9	22,1	22,2	22,1
75	21,4	21,9	22,1	22,1	22,2
80	21,5	22,0	22,4	22,4	22,1
85	21,4	21,9	22,1	22,1	22,1
90	21,5	22,1	22,4	22,4	22,1
95	21,4	21,9	22,1	22,1	22,1
100	21,5	22,2	22,4	22,4	22,1
105	21,5	21,9	22,1	22,1	22,1
110	21,3	22,2	22,3	22,4	22,1
115	21,3	21,9	22,0	22,0	22,1
120	21,3	21,9	22,0	22,0	22,1
125	21,3	21,9	22,0	22,0	22
130	21,1	22,1	22,3	22,3	22

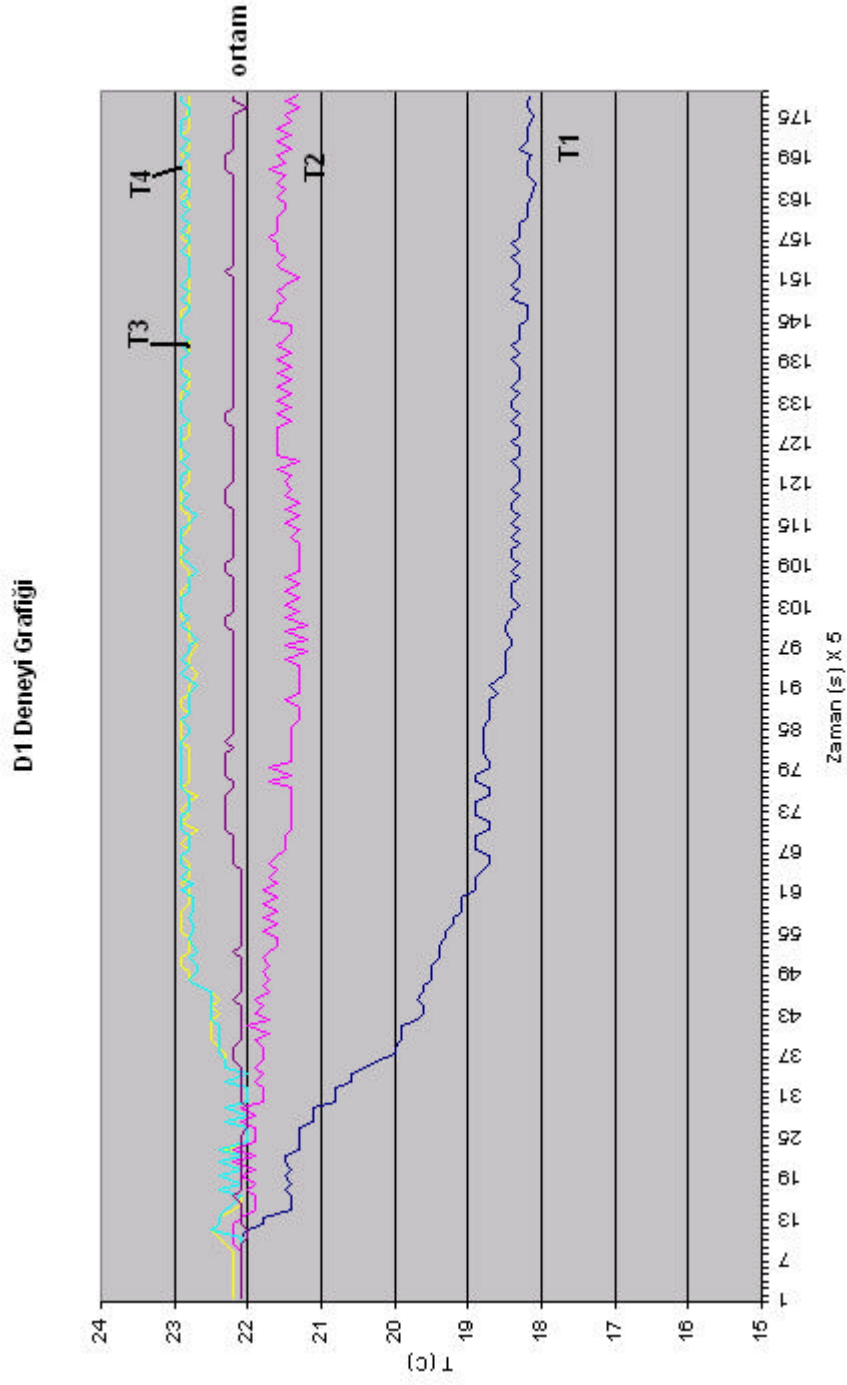
135	21,1	21,9	22,0	22,0	22
140	21,1	22,1	22,3	22,3	22
145	20,8	21,8	22,0	22,0	22,1
150	20,8	21,8	22,0	22,0	22,1
155	20,8	21,8	22,0	22,0	22,1
160	20,6	21,9	22,3	22,3	22,1
165	20,6	21,8	22,0	22,0	22,1
170	20,4	21,9	22,3	22,3	22,1
175	20,2	21,8	22,3	22,3	22,2
180	20,0	21,8	22,3	22,4	22,2
185	20,0	21,8	22,4	22,4	22,2
190	19,9	21,9	22,5	22,4	22,1
195	19,9	21,7	22,5	22,4	22,1
200	19,9	22,0	22,5	22,4	22,1
205	19,7	21,7	22,5	22,5	22,1
210	19,6	21,9	22,4	22,5	22,1
215	19,6	21,8	22,5	22,5	22,1
220	19,7	21,9	22,4	22,5	22,2
225	19,6	21,7	22,5	22,5	22,1
230	19,6	21,8	22,7	22,7	22,1
235	19,5	21,7	22,8	22,8	22,1
240	19,5	21,8	22,8	22,7	22,1
245	19,5	21,7	22,9	22,7	22,1
250	19,4	21,8	22,9	22,8	22,1
255	19,4	21,7	22,8	22,7	22,2
260	19,4	21,6	22,8	22,7	22,1
265	19,3	21,6	22,8	22,8	22,1
270	19,3	21,8	22,9	22,7	22,1
275	19,2	21,6	22,9	22,7	22,1
280	19,2	21,8	22,9	22,8	22,1
285	19,1	21,6	22,9	22,7	22,1

290	19,1	21,8	22,8	22,8	22,1
295	19,1	21,6	22,8	22,8	22,1
300	18,9	21,8	22,8	22,9	22,1
305	18,9	21,6	22,9	22,8	22,1
310	18,9	21,7	22,8	22,9	22,1
315	18,8	21,6	22,8	22,8	22,1
320	18,7	21,7	22,8	22,9	22,2
325	18,7	21,6	22,9	22,9	22,2
330	18,9	21,5	22,8	22,8	22,2
335	18,9	21,5	22,9	22,8	22,2
340	18,9	21,5	22,8	22,8	22,2
345	18,7	21,4	22,7	22,9	22,3
350	18,7	21,4	22,9	22,9	22,3
355	18,9	21,4	22,8	22,9	22,3
360	18,9	21,4	22,9	22,8	22,3
365	18,9	21,4	22,8	22,8	22,3
370	18,7	21,4	22,7	22,8	22,3
375	18,7	21,4	22,9	22,9	22,2
380	18,9	21,7	22,8	22,9	22,2
385	18,9	21,4	22,8	22,9	22,3
390	18,7	21,7	22,8	22,9	22,3
395	18,7	21,4	22,8	22,9	22,3
400	18,8	21,4	22,8	22,9	22,3
405	18,8	21,4	22,8	22,9	22,2
410	18,8	21,4	22,9	22,9	22,3
415	18,8	21,4	22,9	22,8	22,2
420	18,8	21,4	22,9	22,8	22,2
425	18,7	21,3	22,9	22,9	22,2
430	18,7	21,3	22,8	22,8	22,2
435	18,7	21,3	22,9	22,8	22,2
440	18,7	21,5	22,9	22,8	22,2

445	18,6	21,3	22,8	22,8	22,2
450	18,7	21,3	22,8	22,7	22,2
455	18,6	21,3	22,7	22,8	22,2
460	18,5	21,3	22,7	22,9	22,2
465	18,5	21,3	22,8	22,8	22,2
470	18,5	21,5	22,8	22,9	22,2
475	18,5	21,2	22,7	22,8	22,2
480	18,4	21,5	22,7	22,8	22,2
485	18,4	21,2	22,8	22,7	22,2
490	18,5	21,5	22,8	22,8	22,2
495	18,5	21,2	22,8	22,9	22,3
500	18,4	21,5	22,9	22,8	22,3
505	18,4	21,3	22,9	22,9	22,2
510	18,3	21,5	22,9	22,9	22,2
515	18,4	21,3	22,9	22,9	22,2
520	18,4	21,5	22,9	22,8	22,2
525	18,4	21,3	22,8	22,8	22,2
530	18,3	21,5	22,8	22,8	22,2
535	18,4	21,3	22,8	22,7	22,3
540	18,3	21,3	22,9	22,8	22,3
545	18,4	21,3	22,9	22,9	22,2
550	18,4	21,3	22,9	22,8	22,2
555	18,3	21,3	22,9	22,9	22,2
560	18,4	21,4	22,9	22,9	22,2
565	18,3	21,3	22,8	22,9	22,2
570	18,4	21,5	22,8	22,8	22,2
575	18,3	21,3	22,8	22,7	22,2
580	18,4	21,5	22,9	22,8	22,2
585	18,4	21,3	22,9	22,9	22,3
590	18,3	21,5	22,9	22,8	22,3
595	18,4	21,4	22,9	22,9	22,3

600	18,3	21,5	22,8	22,9	22,2
605	18,3	21,4	22,8	22,9	22,2
610	18,3	21,6	22,8	22,8	22,2
615	18,4	21,3	22,9	22,9	22,2
620	18,3	21,6	22,9	22,8	22,2
625	18,3	21,6	22,9	22,9	22,2
630	18,4	21,6	22,9	22,9	22,2
635	18,3	21,6	22,8	22,9	22,2
640	18,3	21,6	22,8	22,9	22,2
645	18,4	21,4	22,8	22,8	22,3
650	18,3	21,6	22,9	22,9	22,3
655	18,4	21,4	22,9	22,9	22,2
660	18,4	21,6	22,9	22,9	22,2
665	18,3	21,4	22,9	22,8	22,2
670	18,4	21,6	22,8	22,9	22,2
675	18,3	21,4	22,8	22,8	22,2
680	18,3	21,6	22,8	22,9	22,2
685	18,3	21,4	22,9	22,9	22,2
690	18,4	21,6	22,9	22,9	22,2
695	18,3	21,4	22,8	22,8	22,2
700	18,4	21,6	22,8	22,9	22,2
705	18,3	21,5	22,8	22,8	22,2
710	18,3	21,4	22,9	22,9	22,2
715	18,3	21,4	22,9	22,9	22,2
720	18,2	21,7	22,9	22,9	22,2
725	18,2	21,6	22,9	22,8	22,2
730	18,2	21,6	22,8	22,8	22,2
735	18,4	21,5	22,8	22,9	22,2
740	18,3	21,6	22,8	22,8	22,2
745	18,4	21,5	22,8	22,9	22,2
750	18,3	21,3	22,8	22,8	22,2

755	18,3	21,5	22,8	22,8	22,3
760	18,3	21,6	22,8	22,8	22,2
765	18,4	21,5	22,8	22,8	22,2
770	18,3	21,6	22,8	22,9	22,2
775	18,4	21,6	22,8	22,8	22,2
780	18,3	21,7	22,9	22,8	22,2
785	18,3	21,6	22,8	22,9	22,2
790	18,3	21,6	22,8	22,8	22,2
795	18,2	21,6	22,9	22,9	22,2
800	18,2	21,5	22,8	22,8	22,2
805	18,2	21,5	22,8	22,9	22,2
810	18,2	21,6	22,9	22,8	22,2
815	18,1	21,5	22,8	22,8	22,2
820	18,1	21,6	22,8	22,9	22,2
825	18,2	21,5	22,8	22,8	22,2
830	18,2	21,7	22,8	22,9	22,3
835	18,2	21,5	22,8	22,9	22,3
840	18,2	21,6	22,9	22,8	22,3
845	18,3	21,4	22,8	22,9	22,2
850	18,2	21,6	22,8	22,8	22,2
855	18,2	21,4	22,9	22,9	22,2
860	18,2	21,6	22,8	22,9	22,2
865	18,2	21,4	22,8	22,9	22,2
870	18,1	21,5	22,8	22,8	22,2
875	18,2	21,3	22,8	22,8	22
880	18,2	21,5	22,8	22,9	22,2
885	18,2	21,3	22,8	22,9	22,2



Sekil 4.1. D1 Deneyi Grafiji

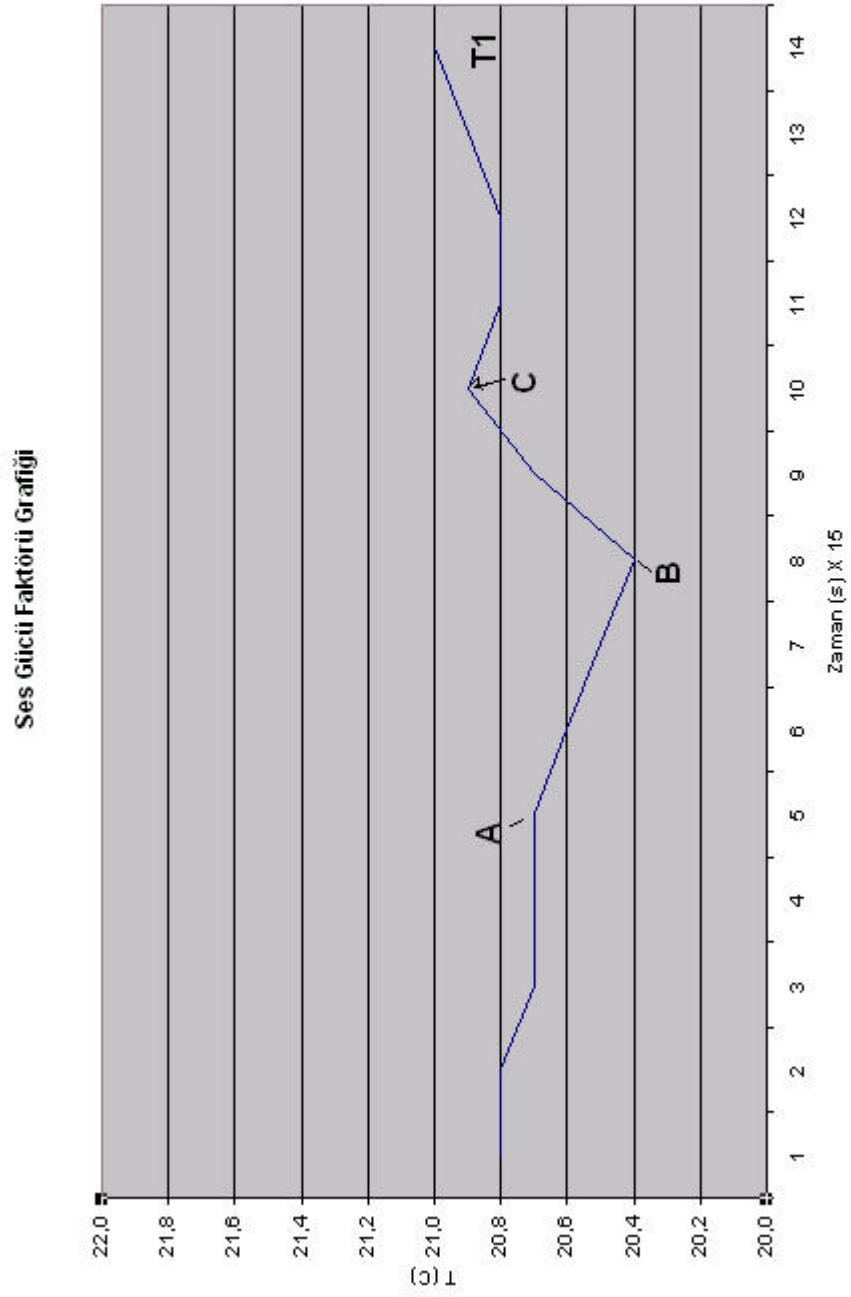
D2 ve D3 Deneyi Ölçümleri 385 Hz Sabit Frekans ve Degisken Ses Gücü				
Zaman (s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)
0	20,8	21,4	21,6	21,7
15	20,8	21,4	21,6	21,7
30	20,7	21,6	21,9	22,0
45	20,7	21,5	21,8	21,9
60	20,7	21,6	21,8	21,9
75	20,6	21,5	21,5	21,6
90	20,5	21,4	21,4	21,5
105	20,4	21,3	21,5	21,6
120	20,7	21,4	21,4	21,6
135	20,9	21,6	21,6	21,7
150	20,8	21,3	21,3	21,4
165	20,8	21,3	21,4	21,5
180	20,9	21,3	21,4	21,5
195	21,0	21,5	21,6	21,7

Tablo 4.4. 385 Hz sabit frekansta, degisken güç degerlerindeki sicaklik ölçümleri

Sekil 4.2. de görülecegi gibi deney sirasinda

A – B noktaları arasında amplifikatörün gücü artırılmıstır.

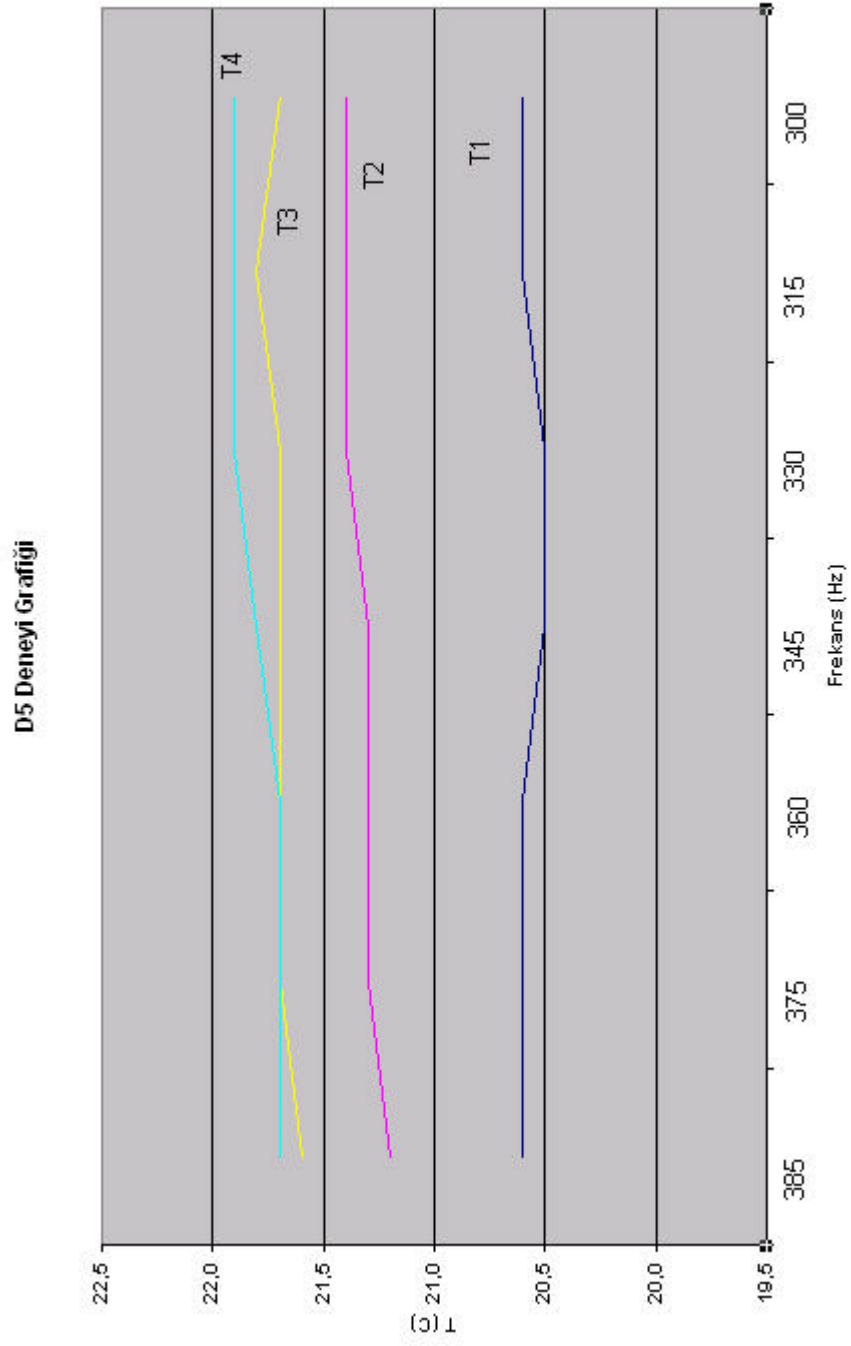
B – C noktaları arasında amplifikatörün gücü azaltılmıstır.



Şekil 4.2. Ses gücünün soğutmaya etkisi

D5 Deneyi Ölçümleri					
Zaman (s)	Frekans (Hz)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)
0	385	20,6	21,2	21,6	21,7
30	375	20,6	21,3	21,7	21,7
60	360	20,6	21,3	21,7	21,7
90	345	20,5	21,3	21,7	21,8
120	330	20,5	21,4	21,7	21,9
150	315	20,6	21,4	21,8	21,9
180	300	20,6	21,4	21,7	21,9

Tablo 4.5. Sabit ses gücünde, 385 Hz – 300 Hz araligindaki frekans degisiminin sicakliga etkisi

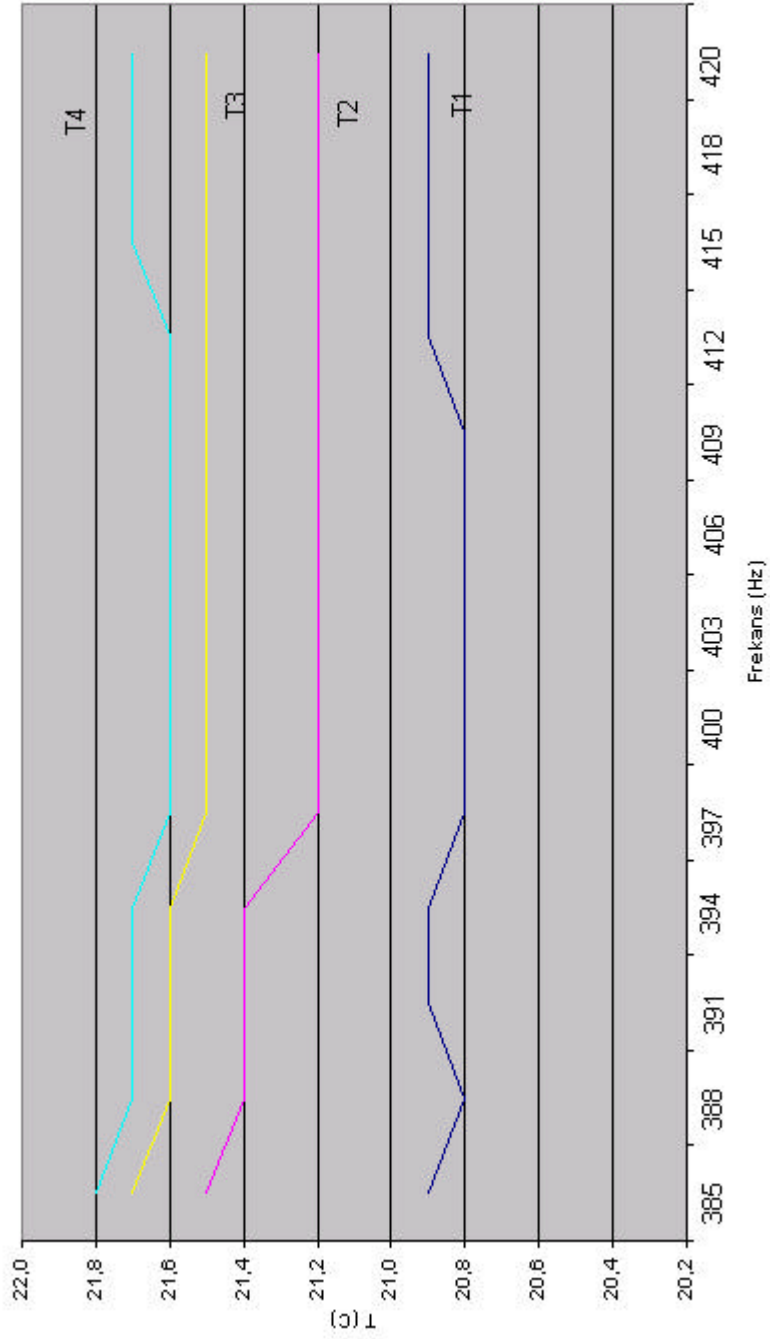


Sekil 4.3. Frekans ile sicakligin deđisimi grafiği

D6 Deneyi Ölçümleri					
Zaman (s)	Frekans (Hz)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)
0	385	20,9	21,5	21,7	21,8
30	388	20,8	21,4	21,6	21,7
60	391	20,9	21,4	21,6	21,7
90	394	20,9	21,4	21,6	21,7
120	397	20,8	21,2	21,5	21,6
150	400	20,8	21,2	21,5	21,6
180	403	20,8	21,2	21,5	21,6
210	406	20,8	21,2	21,5	21,6
240	409	20,8	21,2	21,5	21,6
270	412	20,9	21,2	21,5	21,6
300	415	20,9	21,2	21,5	21,7
330	418	20,9	21,2	21,5	21,7
360	420	20,9	21,2	21,5	21,7

Tablo 4.6. Sabit ses gücünde, 385 Hz – 420 Hz araligindaki frekans degisiminin sicakliga etkisi

D6 Deneyi Grafiği



Sekil 4.4. Frekans ile sicakligin degisimi grafiği

5. SONUÇ:

Termoakustik konusu 200 yıldır bilinmesine rağmen bu konuda gerçekleşen projelerin sayısı oldukça azdır. Kullanılabilir termoakustik soğutucuların düşük performansından dolayı prototip geliştirmenin maliyeti oldukça yüksektir. Bu yüzden bu alandaki çalışmalar uzay endüstrisi ve askeri araştırma alanları ile sınırlı kalmıştır. Fakat bu çalışmalardan birisinde bir derin dondurucu gerçekleştirilmiştir. Verim ve maliyet gibi faktörler termoakustik soğutucuları yakın gelecekte ticari alanlarda görme şansimizi düşürmektedir. Fakat, her yeni çalışmada daha yüksek verimlerin elde edilmesi nedeniyle çalışmalar batı ülkelerinde hız kazanmıştır. Önümüzdeki yıllarda NASA tarafından uzay mekiklerinde ve teknolojik açıdan gelişmiş ordularda ise gemi ve denizaltılarda kullanılması öngörülmüştür.

Bu tez sırasında zaman ve imkanlar nedeniyle bir prototip yapılamamıştır. Bu tarz projelerde birden fazla lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencileri kullanarak 2 – 3 yıl gibi süreler içerisinde daha detaylı araştırma sonuçları elde edilebilir.

Tez sırasında termoakustik soğutma konusu incelenirken modüller ve parametreleri daha iyi anlayabilmek amacıyla sistemin çalışmasını gösteren bir model yapılmıştır. Bu modelde termoakustik etki ile sıcaklık farklarının görülebilmesi bekleniyordu. Bu deney sonrasında termoakustik etkiden sıcaklık farklarının elde edilebileceği görülmüştür. Termoakustik etkiden soğutma elde edebilmek için bir soğutucu tasarımı yapılması gerekmektedir.

Termoakustik soğutma üzerinde yapılacak çalışmaların ardından, bu sistemlerin ticari olarak kullanılıp kullanılmayacağını yorumunu yapmak şu an için çok zordur. Fakat bu çalışmalar sırasında alternatif soğutucular ve akışkanlar hakkındaki çalışmalarda çok fazla yol alınacağı kesindir.

Bundan sadece elli yıl öncesinde robotların gelişmesinin ardından yirmi yıl içerisinde evlerde bütün işlerin robotlar tarafından yapılacağı öngörülmüştü. Aynı dönemdeki bir diğer görüş ise dünyaya sadece dört bilgisayarın yeterli olacağı idi. Şu andaki sonuçlarına baktığımızda yapılan çalışmaların farklı çalışma alanlarına yol açabileceği veya tahminlerimizden de kısa sürede hayatımızın içerisine gireceğini göstermektedir. Her çalışma alanında olduğu gibi bu alanda da sonuçların ne olacağını çalışmaların ne şekilde ilerlediği ve zaman gösterecektir.

6. KAYNAKÇA:

- [1] Brouillat M. , (2000), "Design of Thermoacoustic Refrigerators", John Hopkins University.
- [2] Garret S. , (2003), "Thermoacoustic Engines and Refrigerators", Pennsylvania State University.
- [3] Herman C. , (2000), "Design of Thermoacoustic Refrigeration Model", John Hopkins University.
- [4] Muehleisen R. , (1999), "Small Thermoacoustic Refrigerators", University of Colorado.
- [5] Özkul N. , (1999), "Uygulamali Sogutma Teknigi", M.M.O.
- [6] Swift G. , (2001) "Thermoacoustics", Los Alamos National Laboratory.
- [7] Wetzler M. , (2001), "Design Parameters of Thermoacoustic Refrigeration", John Hopkins University.
- [8] Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., (1985), College Physics.

8. ÖZGEÇMİS

Adi, soyadi : Mehmet Ali Terdi
Dogum yeri : Islahiye / Gaziantep
Dogum tarihi : 19.09.1976
Uyruğu : T.C.
Adres : Besiktas / Istanbul
E-posta : aliterdi@yahoo.it
Ilkokul : Fevzipasa ilkokulu – Islahiye/Gaziantep / 1988
Lise : Ib-ni Sina Lisesi – Islahiye/Gaziantep /1994
Üniversite : I.T.Ü. makina mühendiligi / 1999