

UME'DE BİRİNCİL (PRIMER) RF GÜÇ ÖLÇÜMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Murat Celep, Şenel Yaran, İbrahim Altınsoy, Cem Hayırlı

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)
e-mail: microwave@ume.tubitak.gov.tr

ÖZET

Radyo frekans (RF) ve mikrodalga frekanslarındaki güç birimi WATT, mikrokaloremetre kullanılarak DC güç biriminden türetilir. Bu sistem ile güç doğrudan ölçülmez, RF güç algılayıcılarının bir özelliği olan etkin verimlilikleri ölçülür. Bu makalede, mikrokaloremetrede kullanılan ölçüm yöntemi ile UME'de kurulan sistemin özellikleri açıklanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Mikrokaloremetre, etkin verimlilik, ısı çift

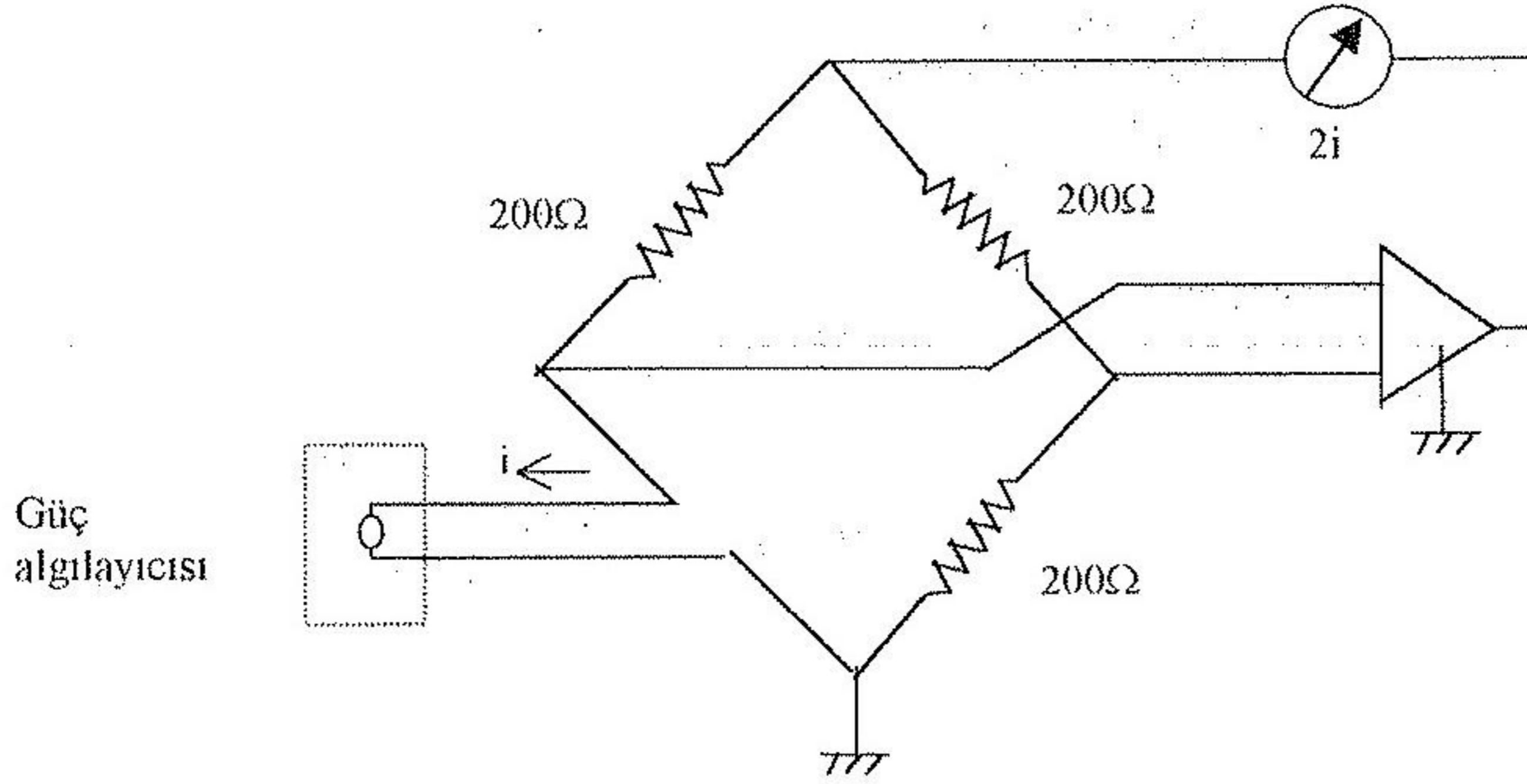
1. GİRİŞ

Mikrokaloremetre sistemi, RF ve mikrodalga frekanslarındaki güç birimi watt'ın oluşturulmasında kullanılan birincil (primer) standarttır. Ancak bu sistem ile yapılan ölçümlerde doğrudan güç ölçümü yapılmaz. RF güç algılayıcılarının bir özelliği olan etkin verimliliği ölçülür. Etkin verimlilik, algılayıcılardan kaynaklanan sistematik bir hatayı ifade eder. Böylece güç ölçümlerinde algılayıcıdan kaynaklanan sözkonusu hata matematiksel olarak sonuçtan uzaklaştırılır ve daha doğru bir güç değeri elde edilir.

2. MİKROKALORİMETRE SİSTEMİ

Mikrokaloremetre sisteminde, bir güç algılayıcısı ile Wheatstone köprüsü kullanılmaktadır. Güç algılayıcısı, üzerinden akan akımın neden olduğu sıcaklığa göre değeri değişen bir dirençtir. Bu güç algılayıcısı, Wheatstone köprüsünün bir koluna bağlanır. Değerinin, köprünün diğer kollarındaki direnç değerleri ile aynı olması amacıyla üzerinden akan akım değiştirilir. Bu durumda köprü dengededir.

RF sinyali, güç algılayıcısı üzerine uygulandığında bir ısı oluşmasına neden olur. Bu ısı ile orantılı olarak güç algılayıcısının direnci dolayısıyla wheatstone köprü akımı değişir. Akımdaki bu değişim RF güç ile orantılıdır. Şekil-1'de wheatstone köprüsü ile bir güç algılayıcısının bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil-1 Wheatstone köprüsü ve güç algılayıcısı

Güç algılayıcısı sıcaklığa duyarlı olduğundan çevredeki sıcaklık değişimleri sonucu olumsuz etkileyecektir. Bunu önlemek amacıyla benzer bir güç algılayıcısı, sıcaklık referansı olarak kullanılmaktadır. İki güç algılayıcısı da çevredeki sıcaklık değişimlerini aynı oranda hisseder. Bununla birlikte RF uygulandığında birinci güç algılayıcısı (RF güç algılayıcısı) RF'den kaynaklanan sıcaklığıda algılar. Böylece referans güç algılayıcısı ile RF güç algılayıcısı arasındaki net sıcaklık farkı RF güç ile orantılıdır. Bu sıcaklık farkının ölçülmesinde bir ısı çifti kullanılır. Isı çifti'nin bir ucu kalibre edilen RF güç algılayıcısı, diğer ucu ise referans güç algılayıcısı ile temas edecek şekilde bağlanır. Çevredeki sıcaklık değişimlerini her iki güç algılayıcısı da aynı anda ve aynı oranda hissedecek şekilde gövde içine simetrik olarak yerleştirilir ve RF nedeniyle oluşacak ısının, referans güç algılayıcısını etkilemesini engelleyecek tedbirler alınır.

Başlangıçta RF güç uygulanmadan önce, güç algılayıcısı içinden akan akım i , DC akımdır. Bu durumda RF güç algılayıcısı üzerinde algılanan güç, aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

$$P = r i^2 \quad (1)$$

İkinci aşamada RF güç uygulanır. i akımı, i' olarak ayarlanır ve RF algılayıcısı üzerinde harcanan güç aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$P' = r i'^2 \quad (2)$$

Güç metre göstergesinden okunan güç, yerine koyma (substitution) gücü olarak isimlendirilir ve RF güç uygulanmadan önceki ve sonraki DC güçlerin farkı olarak tanımlanır.

$$W = P - P' \quad (3)$$

$$W = r (i^2 - i'^2) \quad (4)$$

Güç algılayıcısının direnci (r) her zaman aynıdır. Dolayısıyla üzerinde harcanan toplam güç ve oluşan ısı sabittir. Sonuç olarak RF güç, yerine koyma gücü W ile aynı olmalıdır.

Ancak güç algılayıcısı içinde RF akımının dağılımı ile DC akımın dağılımı farklı olduğundan güç algılayıcısı üzerinde harcanan RF güç ile DC güç arasında farklılık vardır. Ayrıca güç algılayıcısının yerleştirildiği mount üzerinde de gücün bir kısmı harcanır. Her iki durum type B belirsizliğine neden olur ve bu belirsizlik güç algılayıcısının etkin verimliliği olarak tanımlanır.

Güç algılayıcısının etkin verimliliği, yerine koyma gücü W 'nun, güç algılayıcısı ve çevresinde harcanan toplam RF güce oranıdır.

$$\eta = \frac{W}{P} = \frac{P_1 - P'}{P_2 - P'} \quad (5)$$

Güç algılayıcısı ve çevresinde RF gücü uygulanmadan önce harcanan DC güç ;

$$P_1 = r i^2 \quad (6)$$

olur ve RF güç uygulandığında harcanan toplam DC+RF güç;

$$P_2 = P + P' = \frac{P_1 - P'}{\eta} + P' = \frac{P_1}{\eta} - P' \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) \quad (7)$$

olarak ifade edilir.

RF güç uygulanmadan önce ve sonra güç algılayıcısının üzerinde oluşan sıcaklık değerleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik-8). Bu sıcaklık değerleri, elektriksel güç (P) değerleri ile orantılıdır.

$$\begin{aligned} \Delta\theta_1 &= kP_1 \\ \Delta\theta_2 &= kP_2 \end{aligned} \quad (8)$$

k: kalorimetre sabiti

Eşitlik (5)'de verilen etkin verimlilik ifadesi Eşitlik (7) ve (8) kullanılarak yeniden düzenlendiğinde Eşitlik (9) elde edilir:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_1}{P_1 + P'} \times \frac{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}{\Delta\theta_1}} \quad (9)$$

Mikrokalorimetre ile yapılan ölçümlerde sıcaklık ve güç ölçümünden çok gerilim ölçümü tercih edilir. Bu nedenle verilen güç ve sıcaklık değerleri, gerilim değerlerine çevrilir. Bu kapsamda Eşitlik (8)'deki sıcaklık değerleri, ısıçift sonunda gerilim olarak okunur (Eşitlik (10)). Wheatstone köprüsünün çıkışından ise P_1 ve P' güçleri ile orantılı gerilim değerleri (Eşitlik (11)) alınır. Sonuç olarak ısıçift çıkışından alınan gerilim değerleri ile wheatstone köprüsünün çıkışından okunan gerilim değerleri Eşitlik (9)'da yerine konulduğunda sadece gerilim değerlerinden oluşan Eşitlik (12) elde edilir ve uygulamada bu eşitlik kullanılır.

$$\Delta\theta = \frac{E}{n\varepsilon} \quad (10)$$

$$P_1 = \frac{V_1^2}{r} \quad P' = \frac{V_2^2}{r} \quad (11)$$

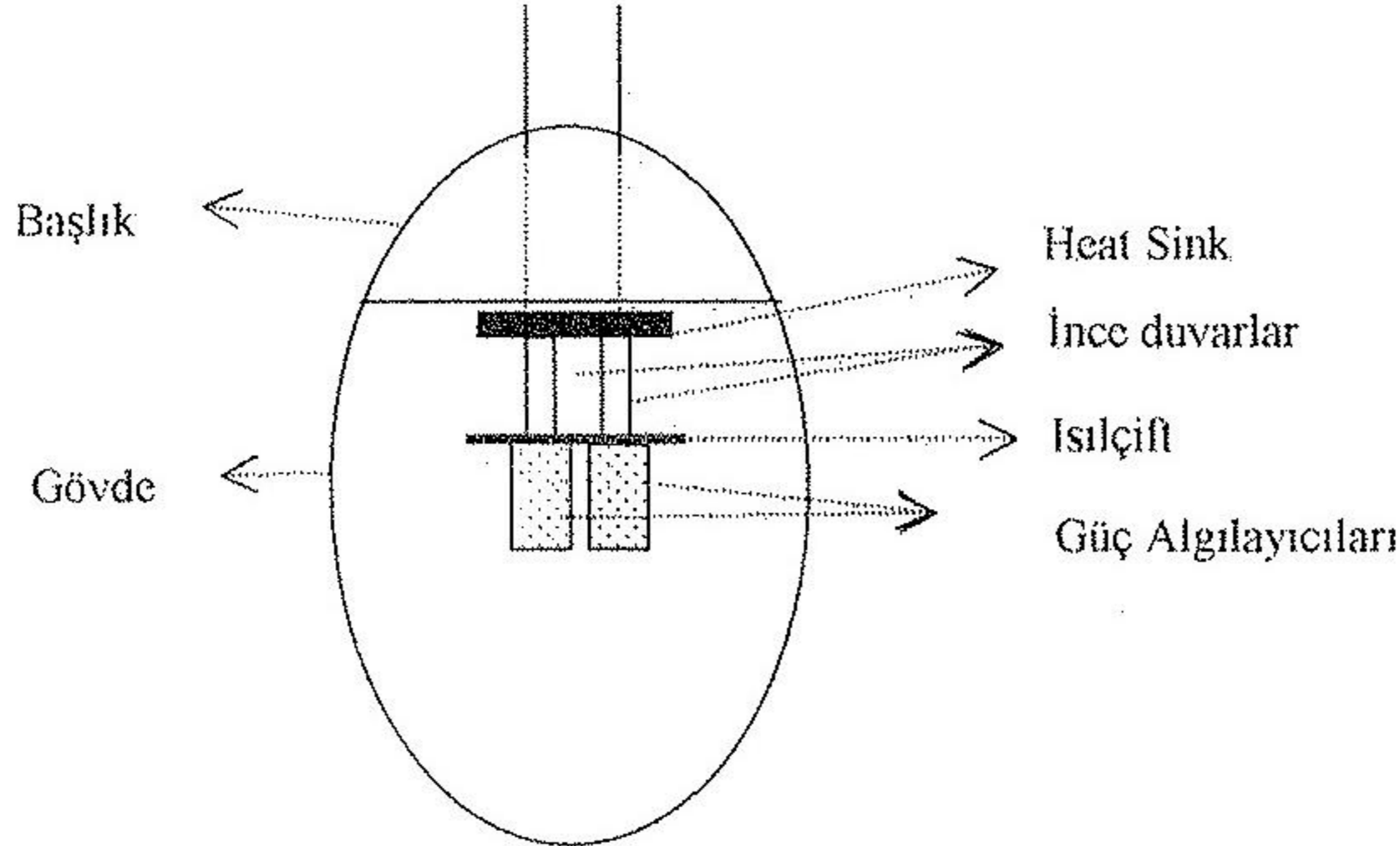
$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{V_1^2}{V_1^2 - V_2^2} * \frac{E_2 - E_1}{E_2}} \quad (12)$$

V_1 ve V_2 ; güç algılayıcısı çıkışında okunan gerilim değerleri.
 E_1 ve E_2 ; ısılıçift çıkışında okunan gerilim değerleri.

2. UME'DE KULLANILAN MİKROKALORİMETRE SİSTEMİ

UME mikrokaloremetre sistemi, yüksek değerde ısı iletkenliğine sahip paslanmaz çelikten yapılmış bir kütle olup başlık ve gövde olarak isimlendirilen iki parçadan oluşur. Başlık, zerine kalibrasyonu yapılan RF güç algılayıcısı ve referans güç algılayıcısı yerleştirilir. G algılayıcılarına bağlı olarak frekans alanı değişmekte olup UME'de kurulan mikrokaloremetre sistemi 10MHz – 26.5 GHz frekans aralığında çalışır. Frekans aralığının 10MHz – 18GHz bölümünde koaksiyel ve 18GHz – 26.5GHz bölümünde dalga kılavuzu iletim hattı kullanılmaktadır.

şekil-2'de gösterilen başlık ile gövde kısımları birleştirilerek (bundan sonra başlık ve gövdenin birleştirilmesi ile oluşturulan kütle, gövde olarak isimlendirilecektir) evre şartları sağlanmış bir oda içinde bulunan su banyosunun içine yerleştirilmiştir.



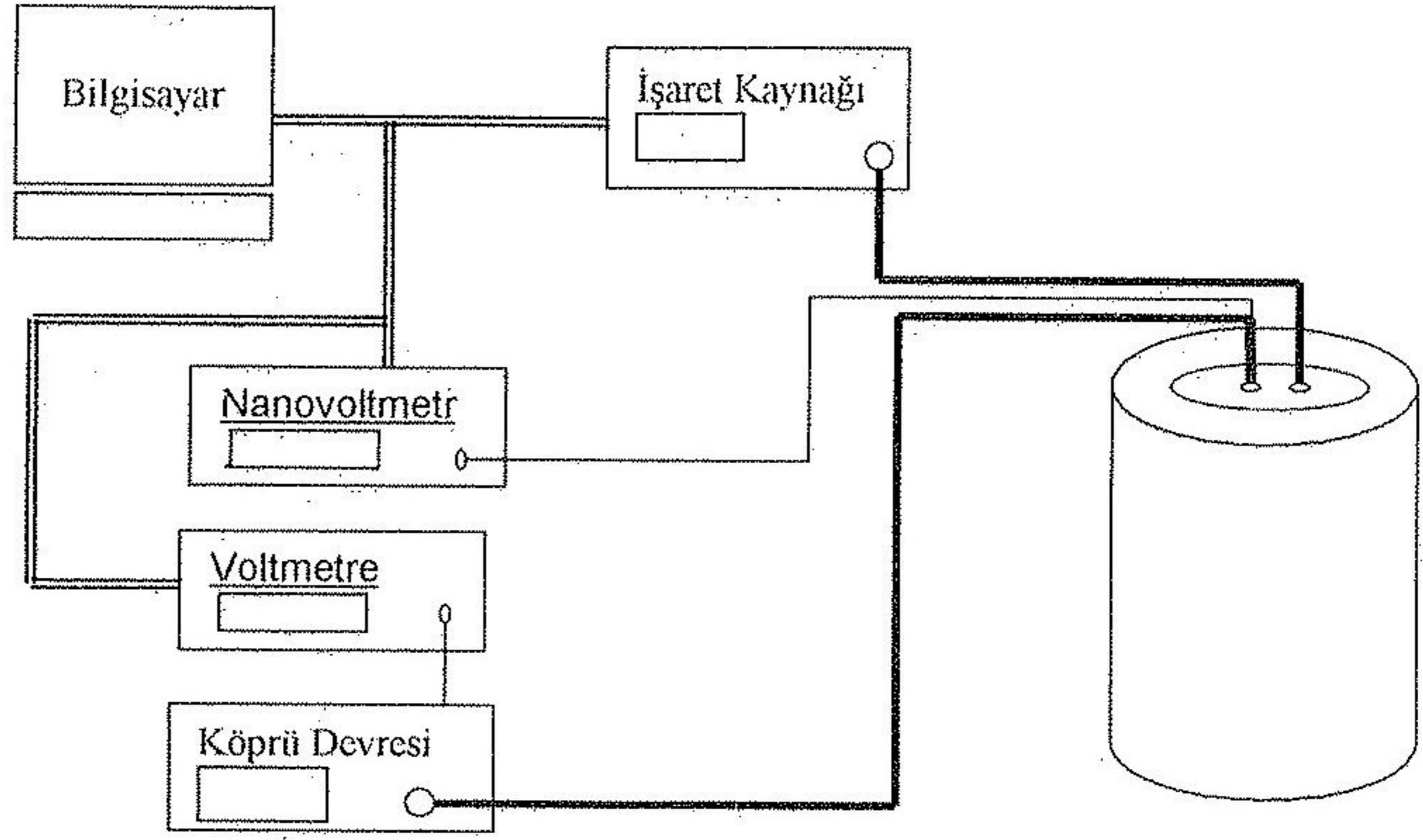
şekil-2 Mikrokaloremetre gövdesi (koaksiyel)

G algılayıcıları, başlığa simetrik olarak yerleştirilir. lm sırasında RF güç algılayıcısının çıkışındaki gerilim değerleri ölçülür, diğer algılayıcı ise sıcaklık referansı olarak kullanıldığından çıkışında herhangi bir ölçüm yapılmaz. Sadece ısılıçift ile her iki güç algılayıcısı arasındaki sıcaklık farkı nanovoltmetre ile ölçülür.

Kaloremetre sisteminin devre bağlantı şeması şekil-3'de verilmiştir. RF güç algılayıcısına ait ıkışlar, bir wheatstone köprüsüne bağlanır. Köprüyü dengede tutan DC güç kaynağının çıkışındaki gerilim, RF güç uygulanmadan önce ve sonra bir multimetre ile ölçülür. Isılıift ıkışı ise bir nanovoltmetre ile ölçülür.

Bu sistem ile 10MHz- 26.5GHz frekans aralığında elde edilen etkin verimlilik değerleri aşağıdaki belirsizlik ile ölçülebilmektedir.

Frekans	Belirsizlik
10MHz-1GHz	%0.18
1GHz-18GHz	%0.22
18GHz-26.5GHz	%0.44



Şekil-3 Kalorimetre Sisteminin Devre Bağlantısı

4. SONUÇ

Mikrokalorimetre sistemi ile RF güç birimi WATT değeri, birinci seviyede elde edilmektedir.

Etkin verimlilik değerinin ölçülmesi sırasında iki gerilim değerinden yararlanılmaktadır. Birincisi, RF güç, uygulanmadan önce ve sonra güç algılayıcısı üzerinde oluşan ısının, gerilim değeri olarak nanovoltmetrede okunmasıyla elde edilmektedir. Diğer gerilim ise, güç algılayıcısının bağlı bulunduğu köprü devresi çıkışında elde edilen gerilimdir. Köprü devresi çıkışında da RF güç uygulanmadan önce ve sonra iki farklı gerilim değeri voltmetre yardımı ile okunur. Elde edilen bu gerilim değerleri kullanılarak güç algılayıcısına ait etkin verimlilik değeri 1- 10mW güç aralığında her frekans için ayrı ayrı bulunur.

5. KAYNAKLAR

- [1] G. F. Engen, "Microwave Circuit Theory", IEE Electrical Measurement Series 9, 1992
- [2]R. İnce, Ş. Yaran "RF & Mikrodalga Güç Ölçümlerinin UME'de Gerçekleştirilmesi", II. Ölçümbilim Kongresi Bildiri Kitapçığı Eskişehir, 1997, s. 346
- [3] Ş. Yaran, "Mikrokalorimetre eğitimi", UME içi rapor, 1998