

ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜNDE MİKRODALGA ZAMAN VE FREKANS STANDARDI SİSTEMİ VE ZAMAN SKALASININ İZLENEBİLİRLİĞİ

Ramiz GAMİDOV, İsmail TAŞKIN, Mustafa ÇETİNTAŞ

Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), TÜBİTAK, PK.21 41470, Gebze-KOCAELİ

Özet

UME'de GPS uydu alıcısı, iki HP5071A Cs atomik saati ve evrensel zaman aralığı sayıcısı kullanılarak mikrodalga zaman ve frekans standardı sistemi oluşturulmuştur. GPS uydu alıcısı sistemi ile her gün 48 uydudan zaman sinyalleri alarak, UME saatleri ile UTC arasındaki zaman farkı izlenir. Bu zaman bilgilerini, üye olduğumuz BIPM TAI kulübüne her hafta düzenli olarak göndererek, UME, hem TAI zaman skalasının oluşmasında katkıda bulunur, hem de kendi zaman skalasının izlenebilirliğini BIPM üzerinden sağlamış olur. BIPM'in istatistiksel hesapları sonucunda, UME saatinin Uluslararası atomik zamanın oluşturulmasındaki ağırlık puanı 1000 üzerinden 1000 olarak ilan edilmiştir. Ölçümlerimiz sonucunda UME referans saati UTC'den günde en fazla 7.2 ns geri kalmakta, ikinci saat ise 13 ns ileri gitmekte olduğu görülmüştür. Saatlerimizin doğruluğu ve kararlılığı 1×10^{-13} 'ten daha iyidir. Zaman kodlayıcısı ve modem vasıtasıyla telefon hattı ile, UME'de üretilen zaman bilgisinin yurt içinde dağıtımı için sistem kurulmuştur ve Eylül 1995'ten itibaren hizmete girecektir.

1. Giriş

Günümüzde "Koordine Evrensel Zaman" (Coordinated Universal Time, UTC) adı altında oluşturulan zaman skalası genel olarak "Evrensel Zaman" (Universal Time, UT1) ve "Uluslararası Atomik Zaman" (International Atomic Time, TAI) skalalarının kombinasyonu ile gerçekleşmektedir [1-2]. UT1 yerkürenin kendi etrafında dönüş süresine bağlı olan ve dünya rasathanelerinin katkısıyla "Uluslararası Yerküre Dönüş Servisi" (International Earth Rotation Service, IERS) tarafından oluşturulur. TAI ise atomik saatler temeline dayanan ve "Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Bürosu" (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) tarafından TAI kulübüne üye ülkelerin metroloji merkezlerinin referans saatlerinin katkısıyla oluşturulur. Bu kombinasyona göre:

$$\begin{aligned} \text{UTC} - \text{TAI} &= n \text{ saniye} \\ \text{UTC} - \text{UT1} &< 0,9 \text{ saniye,} \end{aligned}$$

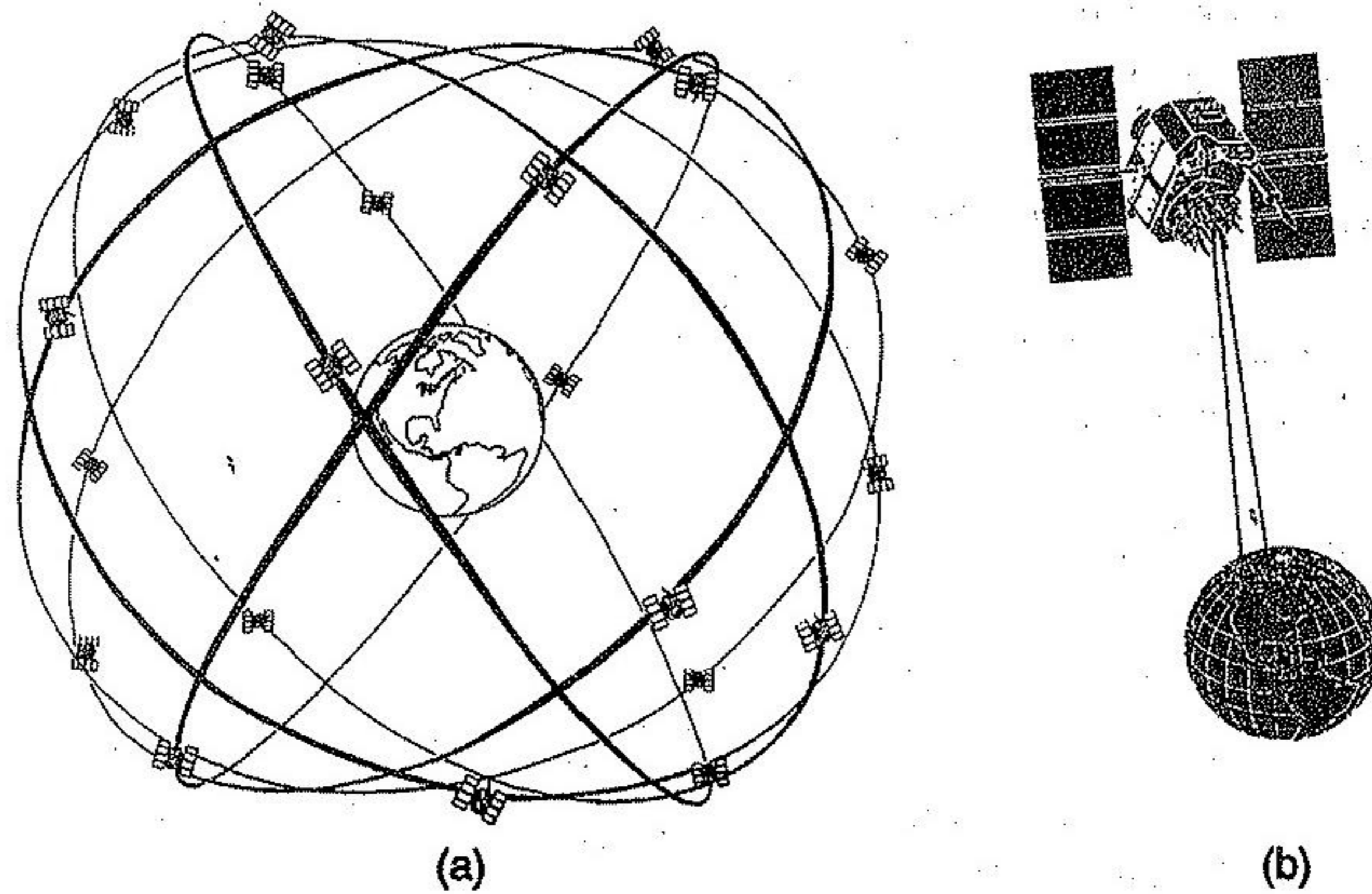
n yıllara göre değişebilir ve 1 Temmuz 1994 tarihinde $n=29$ s olması kabul edilmiştir. Uluslararası birim sisteminde bulunan saniyenin tanımı bu zaman skalalarının oluşumuna bağlı olarak tarihte değişik şekillerde yapılmıştır:

1. 1960 yılından önce:
1 saniye ortalama güneş gününün $1/86400$ 'ü kadardır.

2. 1960-1967 yılları arasında:
1 saniye 1900 yılında yerkürenin güneş etrafında bir tur dönme süresinin $1/31556925,9747$ kadarı olarak tanımlanmıştır. Bu zaman skalasına "Ephemeris Time" (ET) denir.
ET UT1'e göre değişebilir ve 1988'de $ET-UT1 = 56$ s'dir. Bunun yanında Astronomik metotlarla oluşturulan saniyenin kararlılığı 10^{-8} civarındadır.
3. TAI'nin oluşturulmasıyla birlikte 1967'den itibaren:
1 saniye ^{133}Cs atomunun temel ($6S_{1/2}$) enerji seviyesinin, ince seviyeleri olan $6S_{1/2}(F=4, m_F=0)$ ve $6S_{1/2}(F=3, m_F=0)$ geçidine denk gelen elektromanyetik dalganın 9192631770 kadar periodudur denmiştir.

1911 yılında atom demetinin oluşmasından başlayarak (Dunoyer), 1955'te ilk Cs atom demetli frekans standardının oluşmasıyla başlayan (Essen, Parry) [2] ve bugün farklı yöntemlerle (atomların lazerlerle soğutulması ve pompalanması) gelişmesi sağlanan frekans standartları (Salomon, Clairon, Chu) mevcuttur [3-5]. Ticari olarak satılan atomik saatlerin doğruluğu 10^{-12} - 10^{-13} civarlarında olmasıyla beraber bazı laboratuvarlarda saniye 10^{-14} doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir.

Bilindiği gibi yerküre etrafında zaman ve pozisyonun temini amacı ile 50'den fazla uydu dolamaktadır (Şekil 1) [1-2]. Bu uydularda bulunan atomik saatler ABD'de bulunan özel istasyon'dan (USNO) gönderilen zaman sinyalleri ile senkron çalışmaktadırlar. Bu uydulardan Yer'e sürekli zaman sinyalleri gönderilmektedir. Metroloji merkezleri tarafından bu zaman bilgileri alınarak uydulardaki saatlerle kendi saatleri arasındaki zaman farkı ölçülür. Bu ölçüm sonuçları BIPM'e gönderilerek saatler:



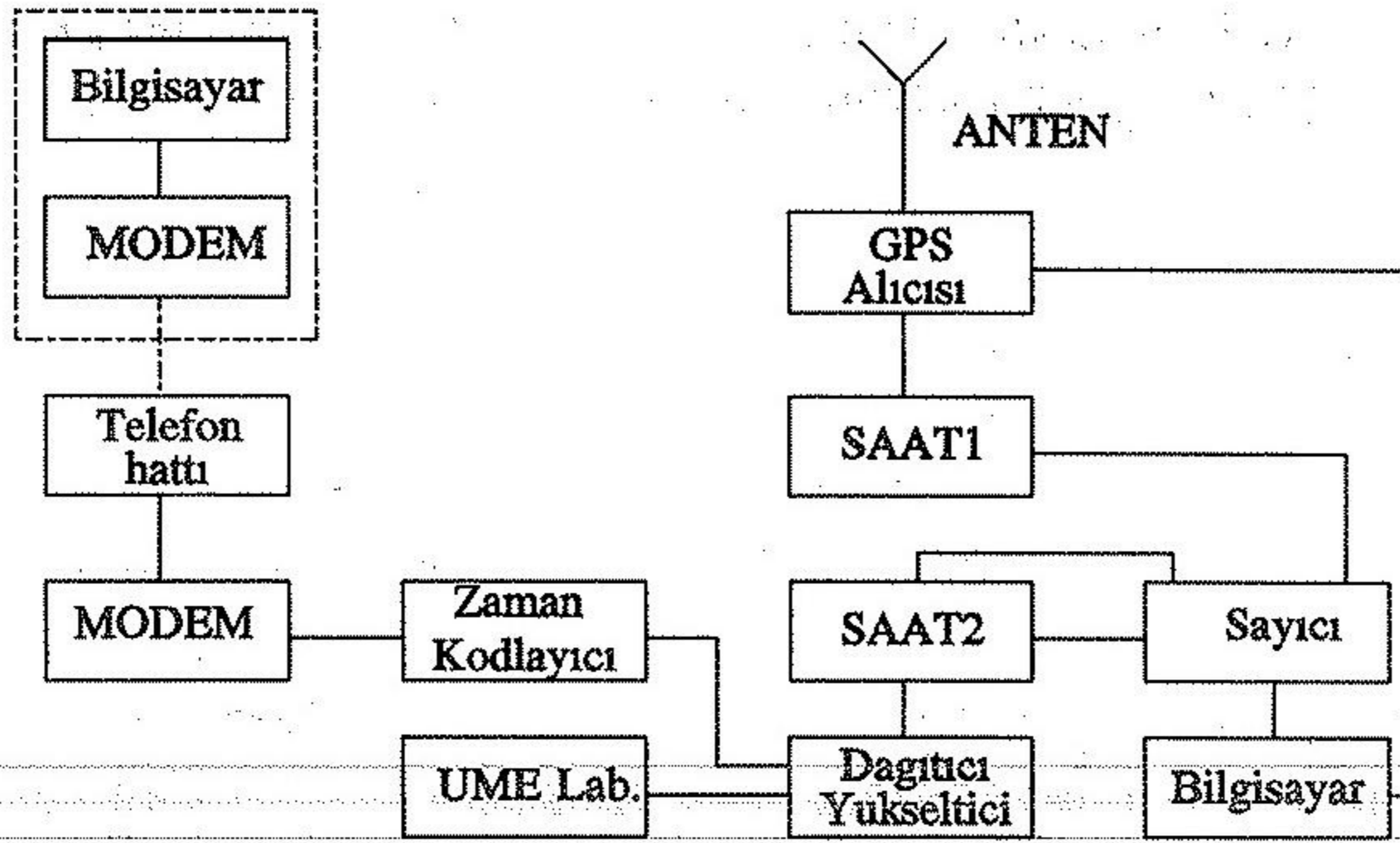
Şekil.1 Yerküre etrafında dolaşan uydular (a) ve GPS ortak görüşlü kullanım metodu (b).

- kendi aralarında karşılaştırılırlar
- doğruluk ve kararlılığına bağlı olarak belli bir ağırlık değeri ile UTC'nin oluşmasına katkıda bulunurlar
- izlenebilirliklerini BIPM tarafından sağlarlar.

Gerçekte çok yüksek doğruluklu zaman ve frekans standartlarının gelişimi, havacılıkta, uzay sistemlerinde ve savunma sistemlerinde büyük önem taşıyan zaman koruma sistemlerini iyileştirmek için, teknolojisi gelişmiş ülkeler tarafından desteklenmiştir. Sonuç olarak birçok gelişmiş ülke (ABD, Kanada, Almanya, Fransa, İngiltere, Rusya, Japonya, Çin v.b.) zaman ve frekans standartlarının geliştirilmesi için ulusal metroloji laboratuvarlarını kurmuş ve desteklemiştir.

2. UME'de Kurulan Mikrodalga Zaman ve Frekans Sistemi

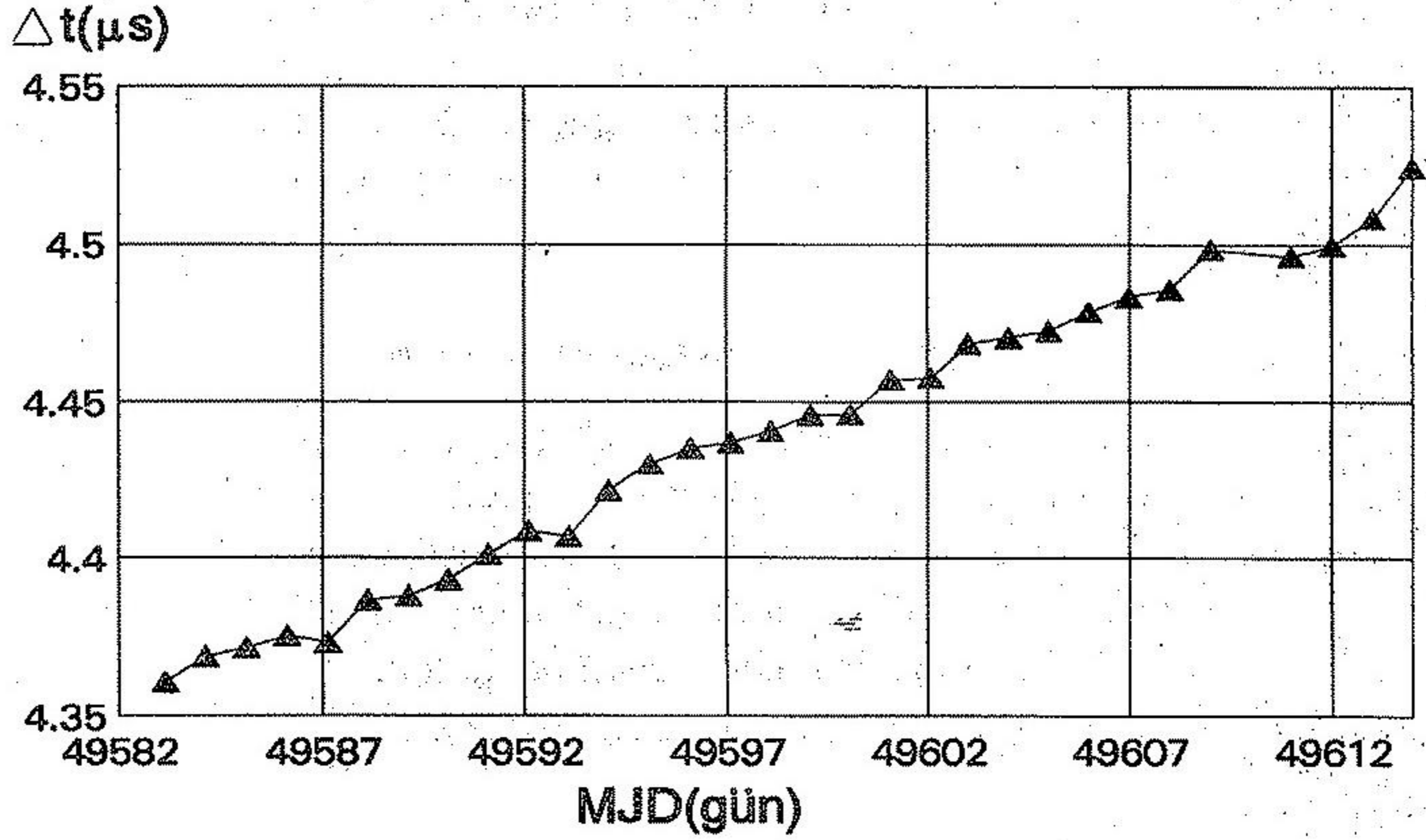
Mikrodalga zaman ve frekans sisteminin blok diagramı Şekil.2'de gösterilmiştir. Bu sistemde UME binası üzerine yerleştirilmiş GPS uydu alıcısı (ALLEN OSBORNE TTR-6A) anteni kullanılarak alınan zaman sinyalleri GPS alıcısına verilmektedir. GPS alıcısı, uydudan gelen sinyalleri, BIPM tarafından altı ayda bir değiştirilerek ilan edilen uydu zamanı izleme programı ile almaktadır. Bu programa göre UME'de kurulu uydu alıcısı Avrupa için optimum pozisyondaki 48 uyduyu sıra ile bir gün boyunca izler. Bu işlem sürekli olarak devam etmektedir.



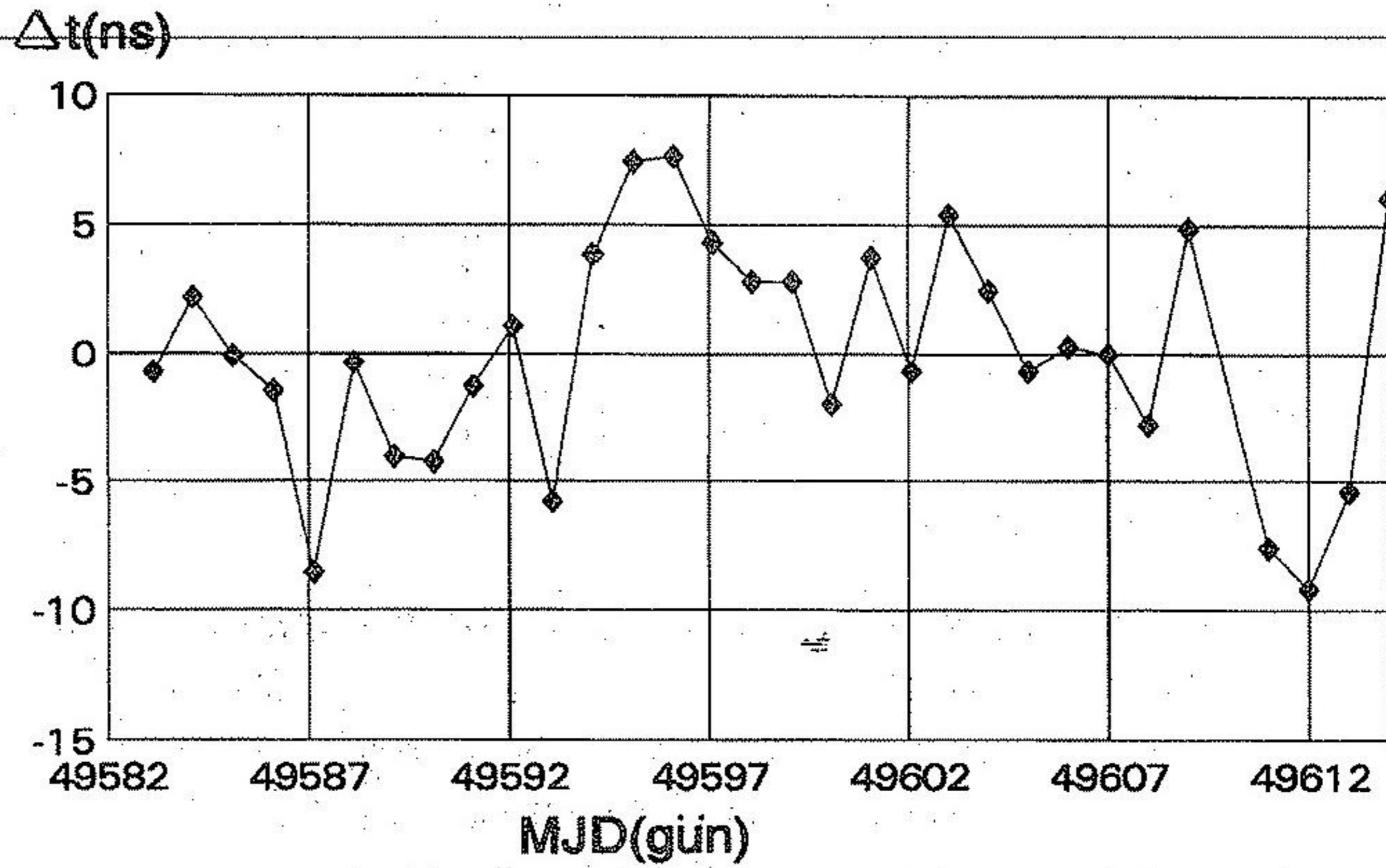
Şekil.2 Mikrodalga zaman ve frekans sisteminin blok şeması

Laboratuvardaki iki HP 5071A sezyum saatinden biri (Clock1) GPS uydu alıcısına referans olarak kullanılmaktadır. Böylelikle GPS alıcısından Clock1 tarafından üretilen zaman ile Universal Coordinated Time (UTC) arasındaki zaman farkını $\Delta t(\text{UME-UTC})$ sürekli izlemiş oluruz. GPS ortak görüş metodu aynı şekilde Avrupanın başka metroloji merkezleri tarafından uygulanmaktadır. Örneğin PTB'de (Almanya) primer saat olan Cs-2 kullanılarak oluşturulan zaman farkı $\Delta t(\text{PTB-UTC})$ internet aracılığı ile UME tarafından alınarak,

$\Delta t(\text{UME-PTB})$ hesaplanmaktadır. Bu yöntemle bizim referans saatimiz dünyanın en iyi primer standartlarından biri ile karşılaştırılmış olur. Şekil.3'te yalnızca 12 numaralı uydu izlenerek $\Delta t(\text{UME-PTB})$ gösterilmektedir. Görüldüğü gibi bizim saatimiz PTB Cs-2 saatine göre günde yaklaşık 6 ns sapmaktadır.



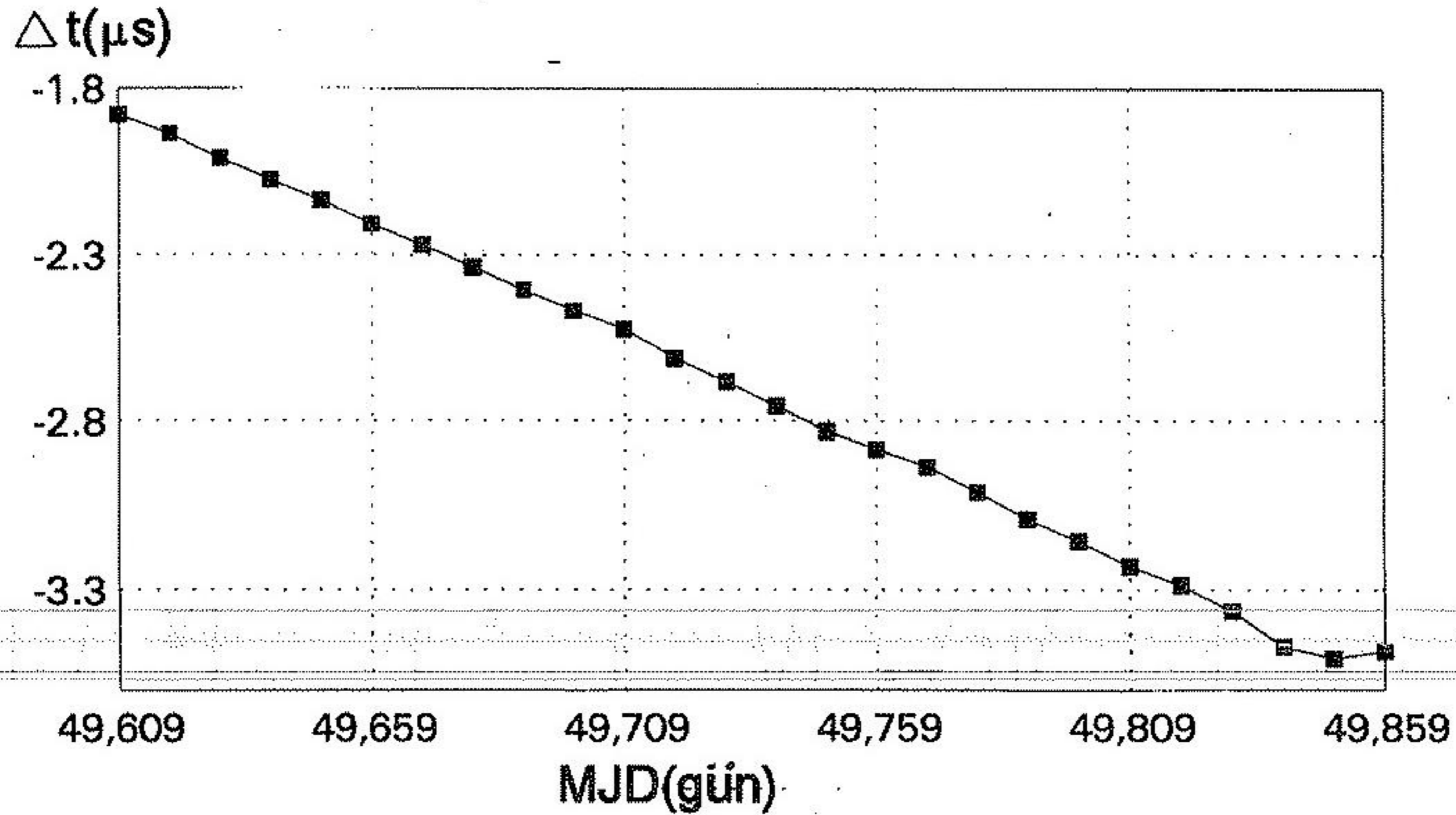
Şekil.3 12E4 numaralı uydudan 18.08.1994 - 19.09.1994 tarihleri arasında alınan bilgilere göre oluşturulan $\Delta t(\text{UME-PTB})$ zaman farkı.



Şekil.4 12E4 numaralı uydudan alınan 18.08.1994 - 19.06.1994 tarihleri arasında alınan bilgilere göre $\Delta t(\text{UME-PTB})$ 'nin lineer yaklaşımdan farkı

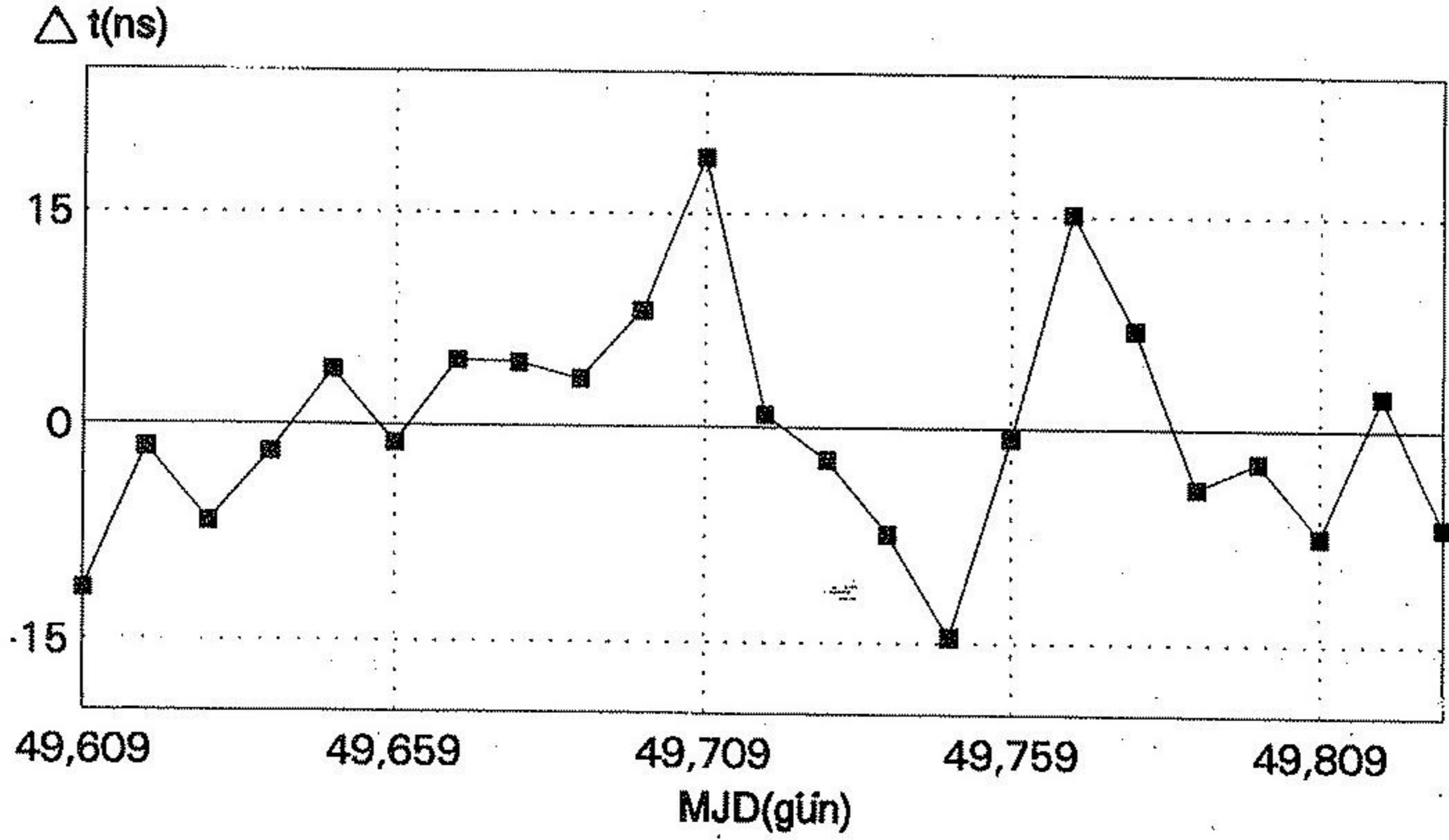
Günlük sapmanın, lineer yaklaşımdan farkına bakıldığında (Şekil.4) bir ay zaman zarfında gürültünün 10 ns 'den fazla olmadığı görülmektedir. Bu sonuç tek bir uydudan alınan bilgilerle hesaplanmış olup, daha çok uydu alıcısının koordinatlarına bağlıdır. Uydu alıcımızın koordinatları (yükseklik= (232 ± 7) m, boylam= $29^{\circ}26'57.1'' \pm 0.4''$, enlem= $40^{\circ}47'2.7'' \pm 0.4''$) iki ay boyunca uydudan alınan sinyaller kullanılarak tesbit edilmiştir. Bundan sonra bu koordinatlar ancak BIPM'den gelecek sonuçlara göre değişikliğe uğrayacaktır.

UME zaman ve frekans laboratuvarı Eylül 1994'ten itibaren BIPM International Atomic Time (TAI) organizasyonuna üye olmuştur. Bu üyelik sonucu bir hafta boyunca UME' de uydu alıcısı ile alınan zaman bilgisi ($\Delta t(\text{UME-UTC})$, vs) sürekli olarak her hafta BIPM zaman bölümüne gönderilmektedir. Bütün uydulardan alınan bu bilgiler BIPM'de incelenir ve UME saati ile UTC arasındaki ortalama zaman farkı $\Delta t(\text{UTC-UME})$ hesaplanır ve BIPM'in aylık olarak yayınladığı, dünyadaki metroloji laboratuvarlarının zamanlarının UTC'den farkını gösteren yayında ilan edilir [6]. Bu bilgilere göre referans saatimiz ile UTC arasındaki zaman farkının değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi yaklaşık 220 günlük aralıkta referans saatimiz UTC günde 7.24 ns geri kalmaktadır. Bu değişim sonucunda referans saatimiz UTC'den toplam 3.4 mikrosaniye geri kalmıştır. Bu farkın zamanla azaltılması için MJD 49850 gününde referans saatimizin frekansında belli ayarlama yapılmıştır. Böylece zaman farkının azalma yönüne döndüğü Şekil.5'te gözükmektedir.



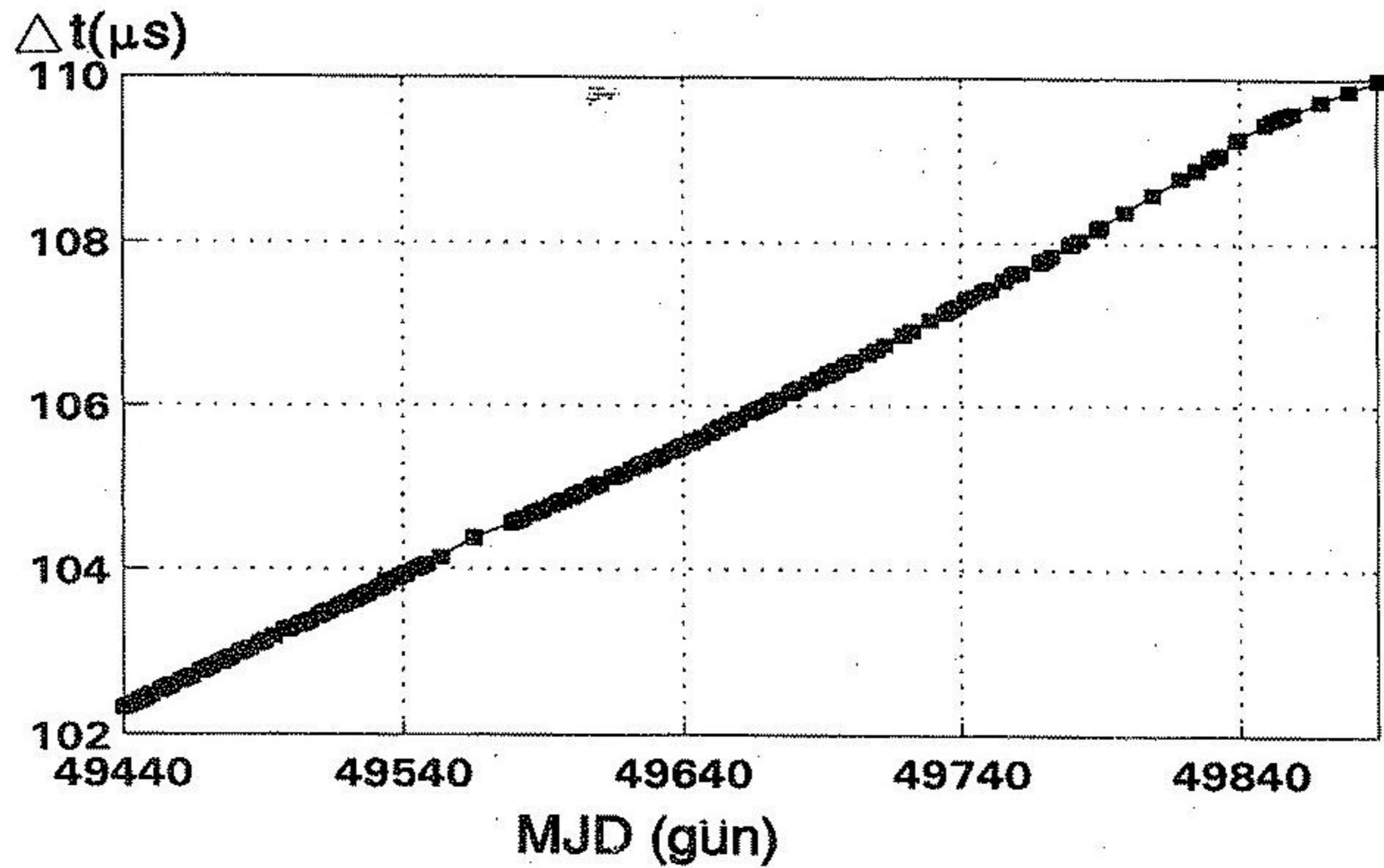
Şekil.5 UME referans saatinin gösterdiği zaman ile UTC arasındaki farkın 14.09.1994-14.05.1995 tarihleri arasındaki değişimi.

Şekil.6'da $\Delta t(\text{UTC-UME})$ zaman farkının lineer yaklaşıma göre değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi yaklaşık 200 günlük zaman aralığında referans saatimiz en fazla ± 15 ns doğrulukla doğrusal olarak sapmıştır.



Şekil.6 14.09.1994-14.04.1995 tarihleri arasında BIPM'den alınan bilgilere göre $\Delta t(\text{UTC-UME})$ 'nin lineer yaklaşımdan farkı.

Aynı zamanda ikinci Cs saati (Clock2) ile referans saat (Clock1) arasındaki zaman farkı ise evrensel zaman aralığı sayıcısı (HP5370B) ve bilgisayar ile incelenmektedir. Şekil.7 de yaklaşık 450 günlük zaman aralığında iki saat arasındaki fark gösterilmiştir. Yukarıda bahsedilen referans saatin frekansındaki ayarlama MJD 49850 gününden itibaren iki saat arasındaki zaman farkı grafiğinin eğimini değiştirmiştir. Şekil.5 ile Şekil.7'yi karşılaştırarak ikinci saatimizin UTC'ye göre yaklaşık 13 ns ileri gittiği görülebilir. BIPM'in gönderdiği bilgiler ve saatlerimizin kendi aralarındaki karşılaştırmaları sonucunda saatlerin doğruluk ve kararlılığının 1×10^{-13} 'ten daha iyi olduğu hesaplanmıştır.



Şekil.7 İki atomik saatin 29.03.1994-14.05.1995 tarihleri arasındaki zaman farkı.

BIPM, TAI kulübüne üye olan laboratuvarlardaki atomik saatlerin her birine, laboratuvarlar tarafından gönderilen zaman bilgilerine dayanarak, doğruluk ve kararlılığına göre UTC'nin hesaplanmasındaki ağırlığını gösteren puanlar verir. En son hesaplanan puanlara göre UME saatlerinin her ikisinde 1000 tam puanla ortalamaya katılmıştır. Dünyada ortalamaya dahil bütün saatleri 1000 tam puan alan sadece 5 laboratuvar vardır.

3. Zaman bilgisinin dağıtımı

UME, zaman ve frekans laboratuvarında verilmekte olan mevcut kalibrasyon hizmetlerinin yanısıra, uluslararası izlenebilirliği olan zaman bilgisinin hem UME içerisindeki laboratuvarlara hem de UME dışındaki tüm kurum ve kuruluşlara yayınlanması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bunun yanında, kararlılığı 10^{-13} 'ten daha iyi olan elektromanyetik dalga (100 kHz, 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz) dağıtıcı yükselticisi (HP 5087A) ile UME içerisindeki gerekli olan laboratuvarlara dağıtılmaktadır.

Zaman bilgisi UME dışındaki kuruluşlara, zaman kodlayıcı sistemi ile yayınlanacaktır. Bu sistem referans saatimizden aldığı zaman sinyallerini belli bir kodlama tekniği ile modeme ve oradan da telefon hat sistemine gönderir. UME'deki zamana senkronize olmak isteyen kuruluş telefon hattı - modem - bilgisayar bağlantı sistemi ve özel bir program vasıtasıyla bu sisteme bağlanarak kendi bilgisayarının saatini yaklaşık 10 mikrosaniyelik bir doğrulukla ayarlayabilecektir. Bu sistem şu anda laboratuvarımızda çalışmakta olup, gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra Eylül 1995'te hizmete girecektir.

4. Sonuç

UME'de mikrodalga zaman ve frekans standardı sistemi kurulmuştur. Doğruluğu 10^{-13} 'ten daha iyi ve uluslararası izlenebilirliği olan zaman skalası oluşturulmaktadır. UME zaman ve frekans laboratuvarı BIPM TAI kulübüne üye olmakla beraber UTC zaman skalasının oluşmasındaki uluslararası değerlendirmede 1000 üzerinden 1000 puanla katkıda bulunmaktadır. Laboratuvarda kalibrasyon hizmetleri devam ederken zaman bilgisinin UME dışında kullanılmasını sağlayacak sistem kurulmuş olup hizmete girmesi için gereken çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR:

- [1]. C.Thomas, P.Wolf, P.Tavella; Time Scales, BIPM, Monographic 94/1,1994
- [2]. J.Vanier, C.Audoin; The quantum physics of atomic frequency standards, Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, 1986
- [3]. E.de Clercq, G.D.Rovera, S.Bouzid, A.Clairon; IEEE transactions on Instrumentation and Measurement V.42, N.2, 1993
- [4]. K.Gibbl, S.Chu; Metrologia, V.29, p.201-212, 1992
- [5]. Special issue on selected papers CPEM/94, IEEE transactions on Instrumentation and Measurement. V.44, No.2, 1995.
- [6]. BIPM, Circular T. 1995 vs.