

**MARMARA BÖLGESİNDE DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİ
VE DÜŞEY YER KABUĞU HAREKETLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

PROJE NO: TUJJB-UDP03-01

DR.MÜH.ALB.COŞKUN DEMİR¹
DOÇ.MÜH.ALB. ALİ KILIÇOĞLU¹
DR.MÜH.YZB.HASAN YILDIZ¹
MÜH.YZB.AYHAN CİNGÖZ¹
YRD.DOÇ.DR. UĞUR ŞANLI²
MÜH.ÜTGM.MEHMET SİMAV¹
DOÇ.DR.SEMİH ERGİNTAV³

¹ Harita Genel Komutanlığı, Ankara

² Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

³ TÜBİTAK-MAM, Gebze/İstanbul

MAYIS 2007
ANKARA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. DENİZ SEVİYESİ ÖLÇÜLERİ VE ANALİZİ	7
a. Erdek Mareograf İstasyonu	7
b. Marmara Ereğlisi Mareograf İstasyonu	9
c. Deniz Seviyesi Ölçülerinin Analizi	10
3. GPS ÖLÇÜLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	17
a. Sabit GPS Ölçüleri	17
b. Sabit GPS Veri Değerlendirme	18
c. Sabit GPS Zaman Serisi Analizi	24
d. Tekrarlı GPS Verilerinin Analizi	32
4. GEOMETRİK NİVELMAN ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ	36
a. Mareograf İstasyonu Yerel Nivelman Ağı	36
b. Mareograf İstasyonları TUDKA Bağlantı Ölçüleri	40
5. UYDU ALTİMETRE VERİLERİ VE ANALİZİ	46
6. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	61

TABLO LİSTESİ

Tablo-3.1: Değerlendirmeye dahil edilen IGS istasyonlarının mevcut veri durumu

Tablo-3.2: ERDT ve MER1 SGPS zaman serileri EKK yöntemine göre çözüm sonuçları

Tablo-3.3: EKK ve EBOK yöntemi kullanılarak değişik gürültü modelleri ile hesaplanan SGPS istasyon hızları.

Tablo-3.4: ERDE GPS ve ERDK Mar-GPS noktalarında gerçekleştirilen GPS kampanyaları

Tablo-4.1: ERDEK mareograf yerel nivelman ağında ölçü yapılan noktaların yıllara göre dağılımı.

Tablo-4.2: Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktalarının hızları

Tablo-4.3: 1 nolu geçki parçasında 1986 ve 2006 yıllarında ölçülen yükseklik farkları arasındaki farklar

Tablo-4.4: 2 nolu geçki parçasında 1986 ve 2006 yıllarında ölçülen yükseklik farkları arasındaki farklar

Tablo-5.1: Marmara Denizinde uydu izleri boyuca filtrelenmiş DYT değerlerinden hesaplanan deniz yüzeyi yükseklik farkları (m)

Tablo-5.2: Marmara Denizinde uydu izleri boyuca filtrelenmiş DYT değerlerinin belirli aralıklarla örneklenmesi ile hesaplanan deniz yüzeyi yükseklik farkları (m)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil-1.1: Marmara bölgesindeki genel tektonik yapı

Şekil-2.1: Erdek mareograf şamandıralı mareograf istasyonu

Şekil-2.2: Erdek mareograf mareograf istasyonu

Şekil-2.3: Marmara Ereğlisi Mareograf İstasyonu

Şekil-2.4 : Erdek mareograf istasyonunda ortalama deniz seviyesi değişimi (1984-2005)

Şekil-2.5: Erdek mareograf istasyonu 1984-2005 boşluk içeren aylık deniz seviyesi ölçülerinin genlik spektrumu.

Şekil-2.6: Marmara Ereğlisi ortalama deniz seviyesi değişimi (2004-2006)

Şekil-2.7: Erdek mareograf istasyonu (Şubat 1984 - Aralık 2005) ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu (Temmuz 2004 - Aralık 2006) verilerinden TUDKA-99 datumuna göre 2005.79 epoğunda hesaplanan ODS'lerin karşılaştırılması

Şekil 3.1: GPS ölçü değerlendirmesinde kullanılan IGS global noktaları (10 nokta)

Şekil-3.2: Stabilizasyonda kullanılan 7 parametrelili dönüşüm

Şekil-3.3: Global stabilizasyonda kullanılan yüksek kaliteli veriye sahip IGS istasyonları (65 adet). Mavi Renkli Noktalar: Katı plaka üzerindeki istasyonları, Kırmızı Renkli Noktalar: Deforme olan bölgeler üzerinde olan ancak hızlarının hassas ve doğru bir olarak bilindiği istasyonları işaret etmektedir.

Şekil-3.4: ERDT noktası SGPS zaman serileri analiz sonuçları. (a) orijinal veri, (b) doğrusal trend giderilmiş veri

Şekil-3.5: MER1 noktası SGPS zaman serileri analiz sonuçları. (a) orijinal veri, (b) doğrusal trend giderilmiş veri

Şekil-3.6: Erdek (ERDE) tekrarlı GPS noktasındaki kuzey,doğu ve yükseklik koordinat değişimleri

Şekil-3.7: Erdek (ERDK) tekrarlı GPS noktasındaki kuzey,doğu ve yükseklik koordinat değişimleri

Şekil-4.1: Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktaları (mareograf istasyonu röper noktaları ile ERDE SGPS noktasını içermektedir).

Şekil-4.2: Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonlarını içeren TUDKA geçkileri

Şekil-4.3: 1986 ve 2006 yıllarında tekrarlı geometrik nivelman ölçüsü yapılan I nci derece geçkiler (kırmızı=33.1 km, yeşil=7.8 km dir)

Şekil-4.4: Doğudaki geçki boyunca arazi profili ve Edincik fayının konumu (sarı daireler nivelman noktalarını göstermektedir)

Şekil-4.5: Batıdaki geçki boyunca arazi profili ve Edincik fayının konumu (sarı daireler nivelman noktalarını göstermektedir)

Şekil-4.6: Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktaları ve MER1 SGPS istasyonu

Şekil-5.1: Uydu altimetresi prensibi.

Şekil-5.2 Marmara Denizi'ndeki Uydu Altimetresi izleri

Şekil-5.3: Bir ve iki nolu profil boyunca uydu altimetresi verileri

Şekil-5.4: Üç ve dört nolu profil boyunca uydu altimetresi verileri

Şekil-5.5: Marmara denizinde aylık ortalama deniz yüzeyi anomalileri

Şekil-5.6: Marmara denizi uydu altimetre aylık ortalama deniz yüzeyi sıcaklık anomalileri

Şekil-5.7: 3 numaralı uydu izinde ölçü noktaları (Büyük daire yayına iz düşürülmüş ölçü noktaları uydu izinin yaklaşık ortasında doğrusal şekilde görülmektedir).

Şekil-5.8: İzdüşüm yatay koordinat sistemine dönüştürülmüş 1 numaralı uydu izine ait ölçülerinin büyük daire yayı boyunca kesiti (yaklaşık 80 km)

Şekil-5.9: Marmara deniz yüzeyi topoğrafyası (DYT) (Uydu izleri boyunca elde edilen DYT değerlerinin tüm Marmara için gridlenmesi ile oluşturulmuştur).

ÖZET

Bu projede Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'nın batı uzantısında yer alan Marmara Denizinde relatif ve mutlak ortalama deniz seviyesi (ODS) değişimleri ile Marmara Denizi kuzey ve güney kıyılarındaki düşey yer kabuğu hareketleri ve bunların bölgenin tektonik yapısıyla ilişkisinin araştırılması hedeflenmektedir. Proje temel olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Birincisi Marmara güney kıyısında 1984 yılında faaliyete geçen Erdek mareograf istasyonu ve yakınında 2002 yılında kurulan Erdek Sabit GPS istasyonudur. İkincisi ise Marmara Denizi kuzey kıyısında 1999 yılından itibaren işletilen Marmara Ereğlisi Sabit GPS istasyonu ve bu istasyonun yakınına proje kapsamında sağlanan finans desteği ile 2004 yılında kurulan mareograf istasyonudur. Bu istasyonlarda elde edilen deniz seviyesi, tekrarlı GPS, sabit GPS ve geometrik nivelman ölçüleri değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular uydu altimetre verilerinin analizi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Erdek mareograf istasyonunda 21 yıllık (1984-2005) ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunda yaklaşık 3 yıllık (Temmuz 2004 - Nisan 2007) aylık ortalama deniz seviyesi değerleri harmonik analize tabi tutulmuştur. Bu analiz sonucunda Erdek'te ortalama deniz seviyesinin 7.1 ± 0.7 mm/yıl yükseldiği belirlenmiştir. Bu değer Marmara Denizinde uydu altimetresinden elde edilen ortalama değerle uyumludur. Marmara Ereğlisi istasyonunda yeterli uzunlukta veri olmadığından bu istasyonda sadece ODS hesaplanmıştır.

Düşey yer kabuğu hareketlerinin araştırılması için her iki mareograf istasyonu yakınında bulunan SGPS istasyonlarından elde edilen veriler güncel stratejilerle yeniden değerlendirilmiş, daha sonra günlük SGPS koordinat zaman serileri en küçük kareler ve en büyük olabilirlik kestirimi yöntemleriyle analiz edilmiştir.. Zaman serisi analizi sonucunda her SGPS istasyonunda da yer kabuğunun yaklaşık 1.1 ± 0.5 mm/yıl hızla çöktüğü belirlenmiştir. Buna göre Marmara Denizinin kuzey kıyısında yer alan Marmara Ereğlisi ve güney kıyısında yer alan Erdek mareograf istasyonu ve yakın çevresinin birbirlerine göre rölatif düşey hareket olmadığı sonucuna varılmıştır.

Mareograf ve SGPS istasyonlarından elde edilen sonuçlar ile bu istasyonları birbirlerine bağlayan ve herhangi bir görelî düşey yer değiştirme işareti etmeyen duyarlı tekrarlı geometrik nivelman gözlemleriyle birleştirildiğinde, Marmara Denizinde ortalama deniz seviyesinin 6.0 ± 0.9 mm/yıl hızla yükseldiği sonucuna varılmıştır. Global deniz seviyesi artış hızından yüksek olan bu değerin, 1990'lı yıllardaki dünya genelinde artan deniz seviyesi yükselmesi ile tutarlı olduğu ve büyük ölçüde deniz suyu sıcaklığı artışından kaynaklandığı

değerlendirilmiş olup, oşinografik ve hidrolojik etkenlerin ODS değişimleri üzerindeki katkıları ayrıca incelenmelidir.

Marmara denizinde yaklaşık 10 yıllık ERS-1, ERS-2 ve Topex/Poseidon Deniz Yüzeyi Yükseklik ölçüleri değerlendirilmiş ve ortalama deniz yüzeyi yükseklikleri ve deniz yüzeyi topoğrafyası değerleri hesaplanmıştır. Deniz yüzeyi topoğrafyası değerleri Marmara Denzinin kuzey kıyılarında deniz yüzeyi yüksekliğinin güney kıyılarına göre daha aşağıda olduğunu göstermektedir. Mareograf istasyonlarında elde edilen ortalama deniz seviyesi değerlerinin, istasyonları birbirine bağlayan birinci derece geometrik nivelman ölçüleriyle birleştirilmesi ile paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Erdek bölgesinde istasyonunun hemen güneyinde KD-GB uzanımlı Edincik fayından kaynaklanan herhangi bir yer değiştirme olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, istasyonu TUDKA'ya bağlayan ve 1986 yılında ölçülen iki farklı geçki parçasında 2006 yılında ikinci epok geometrik nivelman ölçüsü yapılmıştır. 20 yıl aralıklı yapılan iki ölçü arasında Edincik fayının güneyinin kuzeyindeki bloğa göre yaklaşık 4 cm büyüklüğünde yıllık bazda 2 mm/yıl düşey yönde düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuç, Kuzey Anadolu Fay sistemin bu bölgedeki yatay yöndeki yer değiştirmelerin yanında normal bileşenli fay karakteriyle de paralellik göstermektedir.

Anahtar Sözcükler

Deniz seviyesi, Mareograf, Global Konumlama Sistemi, Uydu altimetresi, Düşey kabuk hareketleri

ABSTRACT

The project aims at the investigation of relative and absolute sea level variations in The Marmara Sea and vertical crustal movements in the northern and southern coasts and their relation to the tectonic structure in the area as it is situated in the western extension of the North Anatolian Fault (NAF) system. The project is mainly based on two components. The first component includes existing Erdek tide gauge, operational since 1985 in the southern coast, and Erdek continuous GPS (CGPS) station established in 2002. The other component includes existing Marmara Ereğlisi CGPS site, operational since 1999 in the northern coast, and a new tide gauge established nearby CGPS in 2004 with financial support provided within the project. Sea level data, episodic GPS, continuous GPS, and levelling observations obtained at those stations are evaluated and compared with the results of satellite altimetry data analysis.

Harmonic analysis is applied to the monthly mean sea level data of 21 years (1984-2005) from Erdek tide gauge and of about 3 years (July 2004 - April 2007) from Marmara Ereğlisi tide gauge. This analysis results in 7.1 ± 0.7 mm/year relative sea level rise at Erdek, which is in agreement with the mean value derived from satellite altimeter. Because of the limited data at Marmara Ereğlisi tide gauge only mean sea level value is calculated.

In order to investigate vertical crustal movement, data obtained from Continuous GPS sites located nearby both tide gauges are re-processed following up-to-date procedures. Then daily position estimates of time series are analyzed using Least Squares and Maximum Likelihood Estimation. Time series analyses give about 1.1 ± 0.5 mm/year crustal subsidence for both CGPS sites. This result shows that there is no relative vertical crustal movement between Marmara Ereğlisi and Erdek tide gauges located in the northern and southern coast of the Marmara Sea respectively.

By combining the tide gauge and CGPS results with the periodical precise levelling measurements which give no relative movements between TG and CGPS, we obtain 6.0 ± 0.9 mm/year of absolute sea level rise in the Marmara Sea. The value, higher than the global sea level rise is consistent with the globally increasing rate during 1990's caused mainly due to increase in sea water temperature in this period. Besides contribution of oceanographic and hydrological effects to this rate should be investigated in detail.

ERS-1, ERS-2 and TOPEX/POSEIDON satellite altimetry observations of 10 years in the Marmara Sea are evaluated, and sea level height and sea surface topography values are calculated. Sea surface height values illustrate that the sea level in the north is lower than

the sea level in the south. By combining the mean sea level calculated at tide gauges at the same epoch and first order geometric levelling observation connecting these tide gauges give parallel results.

In order to investigate if any vertical crustal movements occur at Erdek tide gauge area caused from Edincik fault, periodical precise levelling observations are carried out in 1986 and 2006. The difference between these observations give relative subsidence of the southern part of the fault with respect to the northern part which is compatible with the normal faulting character of the North Anatolian Fault System in the area.

Keywords

Sea level, Tide gauge, Global Positioning System, Satellite Altimetry, Vertical Crustal Movements

1. GİRİŞ

Marmara bölgesi, Anadolu ve Avrasya tektonik plakalarının sınırını oluşturan Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'nın batı ucunda yer almaktadır. Ülkemizdeki yoğun deprenselliği belirleyen en önemli etkenlerden biri olan KAF doğuda Karlıova'dan başlayıp doğu-batı yönünde uzanarak Ege denizi içlerine uzanan yaklaşık 1500 km uzunluğunda bir fay zonudur (Ketin 1969; Canitez 1973; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Karlıova'dan itibaren oldukça dar görünüm (100-300 m) gösterirken batıya doğru 5 km'ye varan genişliklere ulaşmakta ve 31° boylamı batısında iki kola ayrılmaktadır. KAF'ın genel karakteri sağa yanal atılım olmakla birlikte, Marmara Bölgesindeki bölümünde Ege bölgesindeki güneybatı yönündeki açılmaya paralel olarak normal faylanma da görülmektedir (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Crampin ve Üçer, 1975; Taymaz vd.,1991). Marmara bölgesindeki genel tektonik yapı Şekil-1.1'de verilmektedir.

Yüksek tektonik aktivitesi ile dünyanın önemli faylarından biri olan KAF'da, 1939 Erzincan depremi ($M_w=7.9$) ile başlayan büyük depremler serisi, batıya doğru hareketle devam etmiş (Barka, 1996) ve 17 Ağustos 1999 İzmit($M_w=7.5$), 12 Kasım 1999 Düzce ($M_w=7.2$) ve 6 Haziran 2000 ($M_w=6.1$) Çerkeş/Çankırı depremleri meydana gelmiştir. KAF'da depremlerin sistematik batıya göçü, 1999 İzmit depreminde oluşan ve Hersek deltasının batısına kadar uzanan kırılmanın batısında yer alan Marmara denizinin kuzey ve güney kıyıları için önemli deprem riski oluşturmaktadır.

Marmara Denizi ve çevresindeki deprem riskinin belirlenmesinin önemi özellikle 17 Ağustos 1999 İzmit ($M_w=7.5$) depreminden sonra daha da artmış ve gelecekteki deprem beklentisi bu bölgeyi çok sayıda ulusal ve uluslararası projelerin odağı haline getirmiştir. Marmara bölgesi nüfus ve ekonomik kaynakları açısından Türkiye'nin önemli bir bölümünü barındırmakta olup, özellikle tarım, endüstri ve şehirleşmede kıyı alanlarının kullanım yoğunluğu, gerek kıyılara yakın alanlardaki aktif faylanmanın belirlenmesini ve gerekse buna bağlı olarak oluşan deniz seviyesi değişimlerinin ve ekstrem olayların izlenmesini zorunlu hale getirmiştir.

Marmara bölgesindeki güncel yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi amacıyla son onbeş yıldır büyük gelişme gösteren GPS teknolojisine dayanan araştırmalardan Straub (1996), Ayhan vd. (2001; 2002), Kılıçoğlu ve Aksoy (1999) ve Kılıçoğlu (1999) örnek olarak verilebilir. Temel olarak bölgedeki yatay deformasyonu belirlemeyi amaçlayan bu çalışmalar, bölgedeki yatay hız alanı ve gerinim birikimi konusunda önemli sonuçlar ortaya koymakla birlikte, düşey deformasyonlar konusunda ayrıntılı bir bilgi içermemektedir. Eyidoğan (1988)'de sismik

Yıldız ve Demir (2002) ve Yıldız vd. (2003)'de ise Erdek mareograf istasyonunun 1984-2002 dönemine ait aylık ODS verilerinin analizi ile ODS'nin 9.6 ± 0.9 mm/yıl hızla yükseldiği ve ERDK Mareograf-GPS noktasının 1995, 1997 ve 2001 yıllarında yapılan tekrarlı GPS ölçülerinin analizi ile -8.4 ± 3.0 mm/yıl hızla çöktüğü belirlenmiştir. Ayrıca, Erdek mareograf asıl röperinin ERDK Mareograf-GPS noktasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir hareketi belirlenmemiş ve mareograf istasyonunun ERDK Mareograf-GPS noktası ile birlikte hareket ettiği düşünülmüştür. Sonuç olarak ise, Erdek mareograf istasyonundaki ODS yükselmesinin Demir ve Yıldız (2001)'de düşünüldüğü gibi belirgin olarak mareograf istasyonunun bulunduğu karanın lokal yada bölgesel çökmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Sözü edilen bu çalışmalarda deniz seviyesi değişimine neden olan meteorolojik ve oşinografik parametreler tüm ölçü periyodunda mevcut olmadığından deniz seviyesi harmonik analiz modeline dahil edilmemiş olup, meteorolojik ve oşinografik parametreler uzun periyotlu bir trend içeriyorsa ortalama deniz seviyesindeki doğrusal değişimin doğruluğunu ve büyüklüğünü etkileyeceği ifade edilmiştir.

Uzun periyotlu deniz seviyesi ölçüleri kıyılar boyunca düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde önemli yer tutmaktadır (Vanicek ve Krakwisky, 1986). Mareograf istasyonlarında elde edilen deniz seviyesi ölçüleri karada sabit bir noktaya göre yapıldıkları için hem hacimsel deniz seviyesi değişimleri hem düşey yer kabuğu hareketlerine ilişkin bilgi içermektedir. Deniz seviyesinin uzun dönemli değişmesine neden olan faktörler Rossiter (1967) ve Emery ve Aubrey (1991)'de ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu temel etkenler, düşey yer kabuğu hareketleri, deniz dibi topoğrafyasının deformasyonu, buzulların erimesi ve nehirler ile oluşan suların ilavesi ve deniz yüzü üst tabakasının genişmesi olup, bunun yanı sıra rüzgâr sistemlerinin değişmesi, suyun dolaşımı ve basınç değişimi bu değişimde etken olan faktörlerdir. Deniz seviyesinin uzun dönemli değişmesine neden olan etkenlerin uygun şekilde modellendirilmesiyle global deniz seviyesi değişimi ile ilgili bilgilerin türetilmesi olanaklıdır. Deniz seviyesi ölçülerindeki en önemli sinyal olan düşey yer kabuğu hareketlerini belirlemek için periyodik jeodezik ölçüler kullanılmaktadır (Carter vd., 1989; Baker, 1993; IOC, 2000).

Uzun dönemli deniz seviyesi ölçülerinin analizinin güvenilirliği için 20 yıldan daha uzun süreli verilerin kullanılması önerilmektedir (Pugh, 1987; Woodward, 1987). Deniz seviyesi ölçülerinden bulunan uzun periyotlu trend değeri, Emery ve Aubrey (1991) ve Douglas (1997)'de 1-2 mm/yıl düzeyinde olduğu tahmin edilen global deniz seviyesi değişimine göre oldukça büyük ise bu durum düşey kabuk hareketi için önemli bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Ancak, mareograf istasyonları tek başına düşey yer kabuğu

hareketlerinin lokal yada bölgesel olduğunu ortaya çıkarmak için yeterli olmayıp, bu amaçla jeodezik ölçülerden yararlanılmaktadır. Diğer taraftan uydu altimetre ölçüleri (Knudsen, 1992; AVISO, 1996) mareograf verilerinden bağımsız olarak mutlak ODS değişimlerinin ve ODS eğiminin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Nerem vd. 1997; Shum vd., 1999; Chen vd., 2000; Mitchum, 2000; Nerem ve Mitchum, 2000; Shum vd., 2000; Cabanes vd., 2001).

Erdek mareograf istasyonunda 1984-2001 yılları aylık ortalama deniz seviyesi ölçülerinin analizi sonucunda tespit edilen yaklaşık 9.1 ± 1.0 mm/yıl düzeyindeki ortalama deniz seviyesi yükselmesinin ve diğer taraftan bu istasyon yakınındaki GPS noktalarında yapılan tekrarlı GPS ölçülerinden deniz seviyesi yükselme trendine benzer büyüklükte bir kara çökmesi bulunması (Demir ve Yıldız, 2001; 2002; Yıldız ve Demir 2002; Yıldız vd., 2003), bu konuda ayrıntılı bir araştırma projesi oluşturulması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği (TUJJB) Ulusal Deprem Programında İzmit ve Düzce Depremleri ile oluşan deprem anı yatay ve düşey yer değiştirmeleri, deprem sonrası ve deprem arası deformasyonları, bölgede değişen strain birikimini, jeodezik temel ağların bozulmaları ile ülke genelinde tektonik plaka hareketlerini ve plaka içi deformasyonları belirlemek amacıyla yapılması önerilen çalışmalar arasında Marmara Denizi ve çevre denizlerde, deniz seviyesindeki değişimlerini izlemek, deniz yüzeyi eğimi ve depremlerin neden olduğu tsunami çalışmaları amacıyla Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Ağı (TUDES) kapsamında mevcut mareograf ağının geliştirilmesi de yer almaktadır (Ayhan vd., 1999). TUJJB Ulusal Deprem Programında ortaya konulan bu gereksinim dikkate alınarak, Marmara denizinin güney kıyısında belirlenen ODS yükselmesi ve kara çökmesi ile ilgili ayrıntılı bir araştırma yapmak amacıyla "Marmara Bölgesinde Deniz Seviyesi Değişimleri ve Düşey Yer Kabuğu Hareketlerinin Araştırılması" isimli bir proje önerisi hazırlanmış ve bu proje Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği (TUJJB) Ulusal Deprem Programı kapsamında desteklenmiştir. Proje kapsamında; Marmara denizinin güney kıyısında Erdek'te mevcut olan deniz seviyesi ölçülerinin yanısıra tekrarlı GPS ölçümlerine nazaran çok daha güvenilir sonuçlar veren sabit GPS ölçülerinin kullanılması, bununla birlikte Marmara denizinin kuzey kıyısında mevcut olan Marmara Ereğlisi sabit GPS istasyonu yakınında yeni bir mareograf istasyonu kurularak, mevcut ve proje kapsamında toplanacak tüm verilerin (jeodezik ve jeolojik) topluca değerlendirilmesi öngörülmüştür.

Projenin ana amacı Marmara denizi kuzey ve güney kıyılarındaki (Erdek ve Marmara Ereğlisi) iki adet mareograf ve sabit GPS istasyonunda eş zamanlı deniz seviyesi, sabit GPS

ölçüleri ve diğer jeodezik ölçüler yardımıyla Marmara denizi kuzey ve güney kıyılarının birbirlerine ve Avrasya plakasına göre düşey yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi ve bölgedeki aktif fay potansiyelinin araştırılmasıdır. Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonlarında relatif ve mutlak ODS değişimleri ile bu iki mareograf istasyonu arasındaki deniz yüzeyi eğiminin mareograf, tekrarlı GPS, Sabit GPS, duyarlı geometrik nivelman ve uydu altimetre verilerinin analizi ile belirlenmesi hedeflenmiştir.

Proje amaçlarını gerçekleştirmek üzere yapılması öngörülen çalışmalar genel olarak ;

- Erdek (1985-2006) ve Marmara Ereğlisi (2004-2006) mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi ölçüleri analiz edilmesi ve relatif ODS'leri ile uzun dönemli değişimlerinin belirlenmesi,

- Marmara Ereğlisi sabit GPS istasyonu Ocak 2000'de, Erdek Sabit GPS istasyonu ise Haziran 2002'de faaliyete geçmiş olup mevcut ve proje kapsamında elde edilecek GPS verileri topluca değerlendirilerek mareograf istasyonları GPS noktalarındaki mutlak düşey yer kabuğu hareketleri belirlenmesi,

- Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonları GPS noktalarındaki tekrarlı (episodik) GPS ölçüleri özellikle troposfer ve iyonosferin uygun şekilde modellendirilmesiyle yeniden değerlendirilmesi,

- Sabit/tekrarlı GPS noktaları ile deniz seviyesi ölçülerinin dayandığı mareograf istasyonları röper noktaları arasındaki periyodik geometrik nivelman ölçülerinin değerlendirilerek mareograf istasyonlarındaki görelî düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi,

- Elde edilen düşey yer kabuğu hareketi ile ODS trend değerlerinin birleştirilerek mareograf istasyonlarında mutlak ODS değişimlerinin belirlenmesi,

- Daha sonra tamamen bağımsız bir yöntem olan uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilerek Marmara denizinde mutlak ODS değişimlerinin belirlenerek diğer yöntemle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması,

- Marmara denizinin kuzey ve güney kıyılarındaki aktif tektonik yapının incelenerek edilen sonuçların bölgede var olan ve başka projeler kapsamında toplanmış olan jeolojik ve jeofizik verilerden elde edilen bilgilerle bir araya getirilmesi ve jeodezik yöntemle belirlenecek düşey yer kabuğu hareketleri ile birlikte yorumlanması şeklinde ifade edilebilir.

İkinci bölümde proje kapsamında sağlanan destekle kurulan Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu ile ilgili çalışmalar ile Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi ölçülerinin değerlendirilmesi, üçüncü bölümde sabit GPS ve tekrarlı GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ve mutlak düşey yer kabuğu hareketleri ile ilgili elde edilen bulgular verilmektedir. Dördüncü bölümde mareograf istasyonları yerel nivelman ağında gerçekleştirilen tekrarlı geometrik nivelman ölçülerinin analizi ve Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonları arasındaki Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) bağlantı ölçüleri kullanılarak bu iki istasyonun ODS'leri farkları incelenmekte, beşinci bölümde ise uydu altimetresi verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar ve elde edilen bulgular verilmektedir. Sonuçlar bölümünde ise farklı türdeki tüm verilerle elde edilen bulguların karşılaştırılmakta ve yorumlanmaktadır.

2. DENİZ SEVİYESİ ÖLÇÜLERİ VE ANALİZİ

a. Erdek Mareograf İstasyonu

Erdek mareograf istasyonu 1984 yılında faaliyete geçirilmiştir. İstasyon iki kuyulu (dinlendirme ve ölçme) olup, şamandıralı ve yatık tipte grafik kayıt cihazı ile haftalık olarak deniz seviyesi ölçülmektedir (Şekil-2.1). Ayrıca her gün UT (Universal Time) 08:00'de istasyonda görevli mareograf operatörü tarafından bir kez hava sıcaklığı, deniz suyu sıcaklığı, atmosfer basıncı ölçülmüş ve datum bağlantı kontrol ölçüsü yapılmıştır. Mareograf istasyonlarında elde edilen haftalık grafik manuel olarak sayısallaştırılarak saatlik deniz seviyesi değerlerine dönüştürülmüştür. 1996 yılından itibaren manuel sayısallaştırmadan kaynaklanan hataları önlemek için grafik kayıtların bilgisayar destekli sayısallaştırılması yapılmıştır.



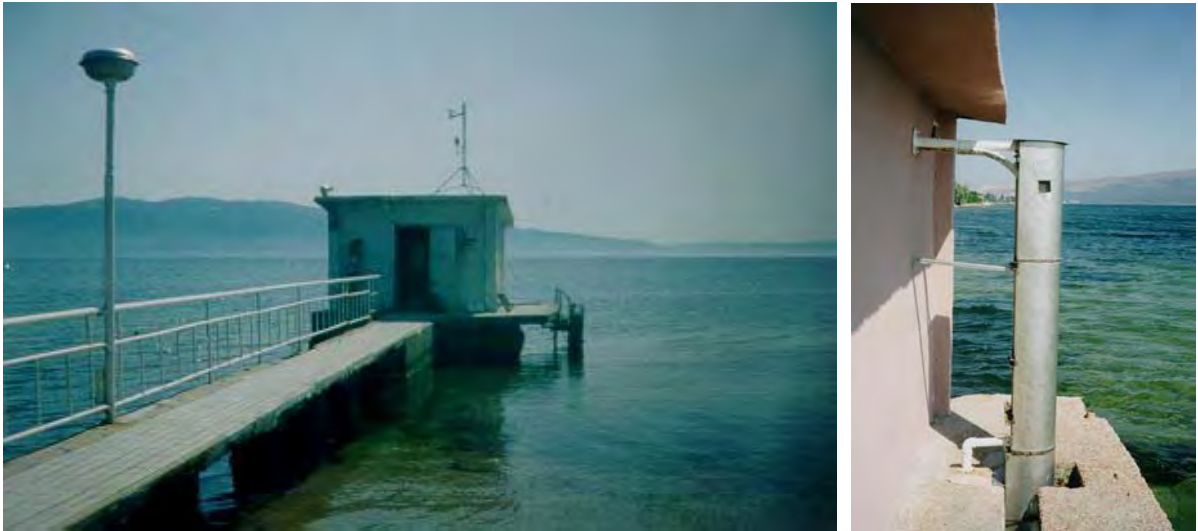
Şekil-2.1: Erdek mareograf şamandıralı mareograf istasyonu (Gürdal, 1998).

Analog mareograf istasyonlarının işletilmesinde veri toplama ve değerlendirmenin çok uzun zaman gerektirmesi ve IOC (1985)'de ayrıntıları belirtilen hatalar (zaman, datum, sayısallaştırma vb.) nedeniyle, deniz seviyesi ölçüleri ve deniz seviyesi değişimlerini

etkileyen meteorolojik parametreleri de daha kaliteli ölçmek amacıyla, 1998 yılından itibaren Türkiye'deki mareograf istasyonları donanımlarının yenilenmesi ve Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES)'in oluşturulması faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. TUDES ile ilgili ayrıntılı bilgiler Yıldız v.d.(2003)'de verilmektedir. Bu kapsamda Erdek mareograf istasyonuna Nisan 1999'da sayısal ve otomatik mareograf aleti yerleştirilmiştir.

Türkiye'deki tüm mareograf istasyonlarında benzer sistemler mevcut olup, bu sistemlerde akustik prensiple çalışan ve kendi kendini kalibre edebilen deniz seviyesi ölçme sensörü ve meteorolojik sensörler mevcuttur. Bu sistemler; Global Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (GLOSS) standartlarında olup, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nın Ulusal Okyanus Servisi (NOS) Yeni Nesil Su Seviyesi Ölçme Sistemleri (NGWLMS) ve Avustralya Deniz Seviyesi İzleme Sistemleri (SeaFrame)'nde temel olarak kullanılmaktadır (IOC, 2000; Martin vd., 1996).

Erdek mareograf istasyonda 1985-1998 yıllarında deniz seviyesi ölçüleri grafik kayıtlara kaydedilmiş, 1999 yılından sonra ise sayısal mareograf istasyonu ile deniz seviyesi ölçüleri ve meteorolojik ölçümler (atmosferik basınç, sıcaklık, nem, rüzgar yön ve hızı) sayısal olarak elde edilmiştir. Erdek akustik deniz seviyesi ölçme ve meteorolojik sensörler Şekil-2.2'de verilmektedir (Yıldız vd, 2003).



Şekil-2.2: Erdek mareograf mareograf istasyonu

b. Marmara Ereğlisi Mareograf İstasyonu

Proje kapsamında Marmara Ereğlisi'ne bir mareograf istasyonu kurulmuş olup bu amaçla yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Mareograf istasyonun yerinin belirlenmesi amacıyla; Coşkun Demir (HGK), Uğur ŞANLI (YTÜ), Semih ERGİNTAV ve Alpay BERGEN (TÜBİTAK-MAM)'dan oluşan bir ekip tarafından, Mart 2004 ayında, TÜBİTAK-MAM'ın işlettiği Marmara Ereğlisi Sabit GPS istasyonu bölgesinde bir inceleme gezisi yapılmıştır. Mareograf istasyonun olabildiğince SGPS istasyonuna yakın olması benimsendiğinden, istasyon için en uygun yer olarak, 5. Kor.K.ığı sorumluluk bölgesinde bulunan Askeri Liman tespit edilmiştir.

Daha sonra mareograf istasyonunu yer tahsisi ile ilgili gerekli müsaadelerin alınması için ilgili makamlar ile yazışma yapılmış ve izinlerin alınmasını müteakiben 19-24 Temmuz 2004 tarihleri arasında, Hasan YILDIZ (HGK) gözetiminde, yüklenici firma personeli tarafından Marmara Ereğlisi istasyonu kurulmuştur.

Sayısal ve otomatik mareograf sistemi ölçü aletleri, deniz seviyesi değişimlerini ölçen akustik aleti ile atmosferik basınç ölçerden oluşmakta olup deniz seviyesi ölçme sistemi açık denizde veri toplayabilme özelliğine sahiptir. Akustik deniz seviyesi ölçer PVC koruma ve muhafaza borusunun içine yerleştirilmiştir. Ayrıca deniz seviyesi ölçme aletini dışarıdan gelebilecek tehlikelere karşı korumak maksadıyla 2 mm kalınlığında krom malzemedan yapılan bir koruyucu deniz seviyesi ölçerin içinde bulunduğu PVC borunun etrafına monte edilmiştir.

Meteorolojik parametreleri ölçen algılayıcılardan sadece atmosferik basınç ölçer yerleştirilmiş olup, veri toplayıcı (datalogger), deniz seviyesi ölçme aletinin hemen yanına 3 metre yüksekliğindeki üç ayaklı düzeneğe monte edilmiştir. Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu güç kaynağını üç ayaklı galvanizli çelik düzeneğe monte edilen güneş panelinden sağlamaktadır. Ayrıca istasyonun hemen yakınındaki 220 volt elektrik enerjisi bir adaptör yardımıyla 12 V'a dönüştürülmüş ve güneş panelinde bir sorun olması durumunda elektrik enerjisi devreye alınabilmektedir. İstasyonda ölçülen verilerin veri merkezine aktarılması Telekom telefon hattı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Atmosferik basınç ölçer, veri toplayıcı, modem, Aquatrak deniz seviyesi ölçme ara biriminin monte edildiği üç ayaklı çelik düzeneğin etrafı 2.00 m. yüksekliğinde tel örgü ile çevrilmiştir. Ayrıca deniz seviyesi ölçerin etrafındaki krom koruyucu tel örgü ile çevrelenerek denizden emniyete alınmıştır. Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu Şekil-2.3'de gösterilmektedir.



Şekil-2.3: Marmara Ereğlisi Mareograf İstasyonu

c. Deniz Seviyesi Ölçülerinin Analizi

(1) Kalite kontrol işlemi

Mareograf istasyonlarında analog ve sayısal sistemlerle elde edilen saatlik deniz seviyesi ölçüleri öncelikle kalite-kontrol (ön-analiz) işlemine tabi tutulup, özellikle analog sistemlerle elde edilen ölçüler içindeki donanım ve operatörden kaynaklanan datum ve zaman hataları (Graf ve Karunaratne, 1980) arındırılmalıdır. Bu işlem özellikle analog tipte mareograf istasyonlarında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde daha büyük önem taşımaktadır. Bunun için öncelikle ilgili istasyona ait yaklaşık 13 aylık kaliteli saatlik deniz seviyesi ölçüleri değerlendirilerek o istasyon için gel-git tiplerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Hawaii üniversitesinde geliştirilen ve tüm dünyada yaygın olarak kullanılan (Sea Level Processing-2000) SLPR2 yazılımı (Caldwell, 1998) kullanılmıştır. Erdek mareograf istasyonunda akustik deniz seviyesi ölçer ile elde edilen 13 aylık veri kullanılarak gel-git parametreleri kestirimi yapılmış ve analog alet ile elde edilen veriler kalite kontrol işlemine tabi tutulmuştur (Demir ve Yıldız, 2002; Yıldız vd., 2003).

1984 yılında faaliyete geçirilen Erdek mareograf istasyonunun 21 yıllık, Temmuz 2004'de kurulan Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunun 34 aylık deniz seviyesi verileri analizde kullanılmıştır. Erdek mareograf istasyonunun 1984-2005 dönemi, Marmara Ereğlisi

mareograf istasyonunun Temmuz 2004 - Nisan 2007 dönemi saatlik deniz seviyesi ölçüleri ön-analiz (kalite kontrol) işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla, sayısal ve otomatik mareograf istasyonundan elde edilen güvenilir saatlik deniz seviyesi değerleri gelgit analizinde kullanılmış ve hesaplanan harmonik katsayılar ile söz konusu dönemlere ilişkin kestirimler yapılarak, deniz seviyesi ölçü değerlerinin kalite kontrolü yapılmıştır.

Böylece ölçülerden zaman ve datum kayıklıkları arındırılarak güvenilir saatlik değerler elde edilmiştir. Kalite kontrolü yapılmış saatlik deniz seviyesi ölçülerindeki yarım günlük ve günlük bileşenler kaldırılarak 119 noktalı filtre ile günlük ortalamalar belirlenmiş ve daha sonra günlük ortalamaların aritmetik ortalaması alınarak aylık ortalamalar hesaplanmıştır.

(2) Deniz Seviyesi Ölçülerinin Analizi

Aylık ortalama deniz seviyesi değerleri, harmonik analiz yöntemi ile değerlendirilerek ortalama deniz seviyesi (ODS) ve değişimleri belirlenmiştir. Harmonik analiz için hangi gel-git bileşenlerinin modele dâhil edileceği konusunda iki farklı yol izlenebilir. Birincisinde, harmonik bileşenler için Foreman ve Neufeld (1991) tarafından verilen ve 18.6 yıldan daha uzun saatlik deniz seviyesi ölçülerinin analizinde kullanılan gel-git bileşenlerinden; periyodu 1 aydan daha büyük olan gelgit bileşenleri doğrudan seçilebilir yada spektral analiz ile veri içerisinde bulunan periyodik sinyallerin frekansları belirlenebilir. Gel-git bileşenleri belirlendikten sonra, harmonik analizde ortalama deniz seviyesi değerleri ölçü; deniz seviyesi trendi ve gelgit bileşeni katsayıları bilinmeyen alınarak,

$$h_i = Z_o + at_i + \sum_{j=1}^N A_j \cos(\omega_j t_i - \theta_j)$$

eşitliği ile verilen matematiksel model (Vanicek ve Krakiwsky,1986; Pugh,1980) kullanılmıştır. Burada;

- h_i : t_i nci aya ilişkin ortalama deniz seviyesi değeri
- t_i : başlangıç epoğundan itibaren geçen ay sayısı ($i=1,2,\dots,M$)
- Z_o : başlangıç epoğunda ortalama deniz seviyesi
- a : aylık doğrusal trend (mm/ay)
- A_j : j inci gelgit bileşeninin genliği
- ω_j : j inci gelgit bileşeninin frekansı
- θ_j : j inci gelgit bileşeninin faz açısı
- N : modelde kullanılan anlamlı gelgit bileşenlerinin toplam sayısı
- M : toplam aylık ortalama değeri sayısıdır

Harmonik analiz sonucunda uyuşumsuz ölçüleri belirlemek için $1-\alpha = 0.90$ istatistiksel güven

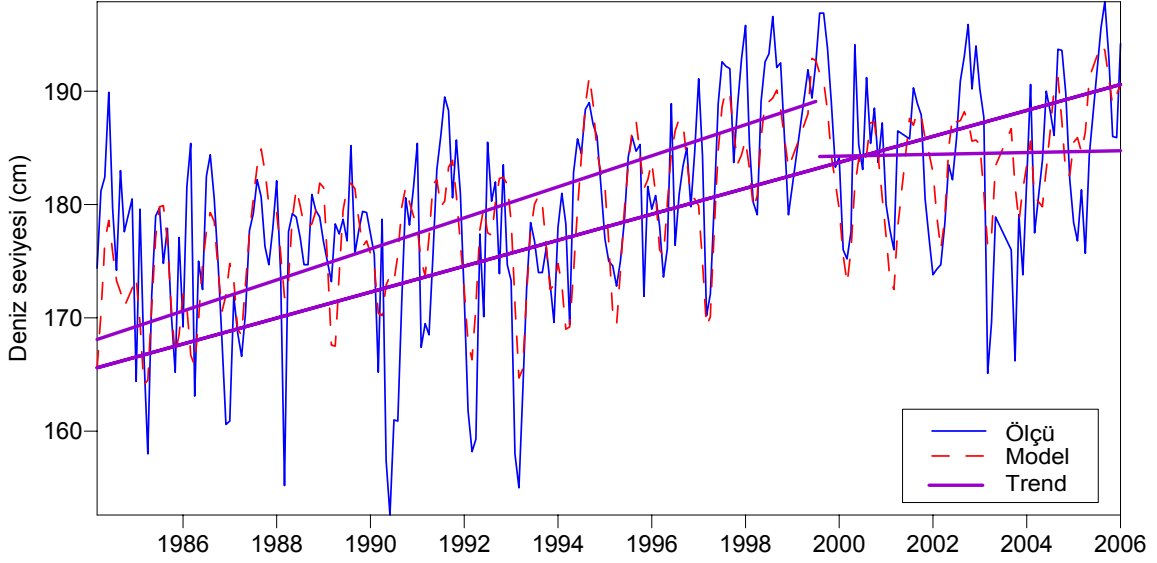
düzeyinde Tau test yöntemi (Pope,1976; Aksoy, 1987) uygulanmıştır. Ayrıca tüm bilinmeyenler, $1-\alpha=0.90$ istatistiksel güven düzeyinde anlamlılık testine (t-testi) (Koch,1983; Aksoy, 1987) tabi tutulmuştur.

Gel-git bileşenlerinin belirlenmesi için bu çalışmada iki yöntem de uygulanmıştır. Birincisinde Foreman ve Neufeld (1991)'de verilen gel-git bileşenlerinin tamamı başlangıçta modele dâhil edilmiş ve iteratif yöntemle analiz edilmiştir. Her aşamada istatistiksel olarak $1-\alpha = 0.90$ güven düzeyinde anlamsız bulunan gel-git bileşenleri adım adım elemine edilmiş ve bu işlem anlamlı gel-git bileşenleri elde edilinceye kadar sürdürülmüştür. Bu testte eğer bir gelgit bileşeninin iki katsayısı da anlamsız bulunmuşsa frekans listesinden atılmıştır. Eğer gelgit bileşeni katsayılarından birisi anlamlı bulunmuşsa o gelgit bileşeni anlamlı kabul edilmiş ve modelde yer verilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen anlamlı gel-git bileşenleri Tablo-2.1'de verilmektedir.

Tablo-2.1: Erdek mareograf istasyonundaki anlamlı gel-git bileşenleri

Nu	Frekans (1/ay)	Periyot (ay)	Periyot (yıl)
1	0.00896	111.658	9.30482
2	0.02332	42.8861	3.57384
3	0.08333	12.0007	1.00006
4	0.08781	11.3887	0.94906
5	0.14335	6.97577	0.58131
6	0.14783	6.76447	0.56371
7	0.15725	6.35911	0.52993
8	0.16667	5.99985	0.49999
9	0.17563	5.69389	0.47449
10	0.25000	4.00002	0.33333
11	0.87347	1.14486	0.09541
12	0.92901	1.07642	0.08970
13	0.94738	1.05554	0.08796
14	0.95232	1.05007	0.08751

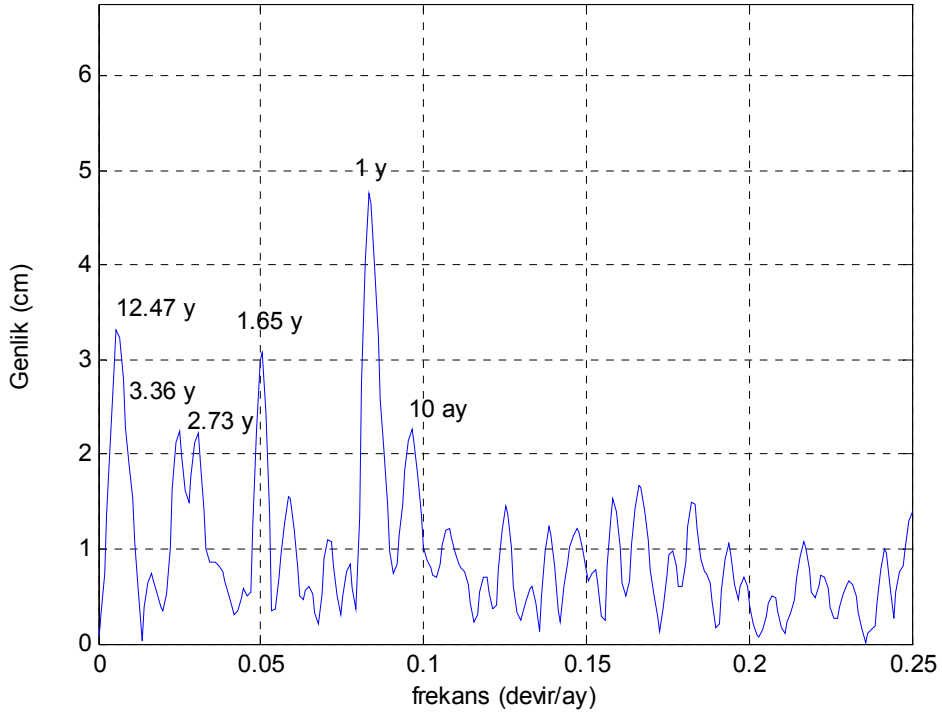
Harmonik analiz sonucunda; Erdek mareograf istasyonunda 1984-2005 döneminde görelî ODS trendi 7.1 ± 0.7 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Şekil-2.4). Şekil-2.4'te mavi sürekli çizgi aylık deniz seviyesi ölçülerini, kesikli kırmızı çizgi modellenmiş deniz seviyesi verilerini, mor çizgi ise deniz seviyesi trendini göstermektedir.



Şekil-2.4 : Erdek mareograf istasyonunda ortalama deniz seviyesi değişimi (1984-2005)

İkinci yöntemde Erdek mareograf istasyonunun 1984-2005 dönemi deniz seviyesindeki periyodik sinyalleri belirlemek amacıyla, doğrusal trendi çıkarılmış boşluk içeren aylık ortalama deniz seviyesi ölçülerine spektral analiz uygulanmıştır. Erdek mareograf istasyonuna ait aylık ortalama deniz seviyesi ölçülerinin genlik spektrumu Şekil-2.5'te gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi Erdek mareograf istasyonunda, 10 ay, 1.0, 1.65, 2.73, 3.36 ve 12.47 yıllık periyodik deniz seviyesi değişimleri anlamlı bulunmuştur. Genlik spektrumlarının hesaplanmasında Heslop ve Dekkers (2002) tarafından geliştirilen CLEAN Algoritması V2.0 (MC-CLEAN V2.0) kullanılmıştır.

Aylık ortalama deniz seviyesi ölçülerine, spektral analiz ile belirlenen frekanslar bilinen alınarak en küçük kareler yöntemine göre harmonik analiz uygulanmıştır. Bu analizde yukarıda ifade edildiği gibi uyumsuz ölçü testi ve bilinmeyenlerin testi yapılmıştır. Erdek'te uyumsuz ölçü tespit edilmemiştir. Erdek mareograf istasyonunda spektral analizle belirlenen tüm frekanslara ilişkin harmonik katsayılarından en az biri anlamlı olarak belirlenmiş ve ortalama deniz seviyesi trendi 7.2 ± 0.6 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna göre her iki yöntemle elde edilen trend değerleri arasındaki farkın çok küçük (0.1 mm düzeyinde) olduğu görülmektedir.

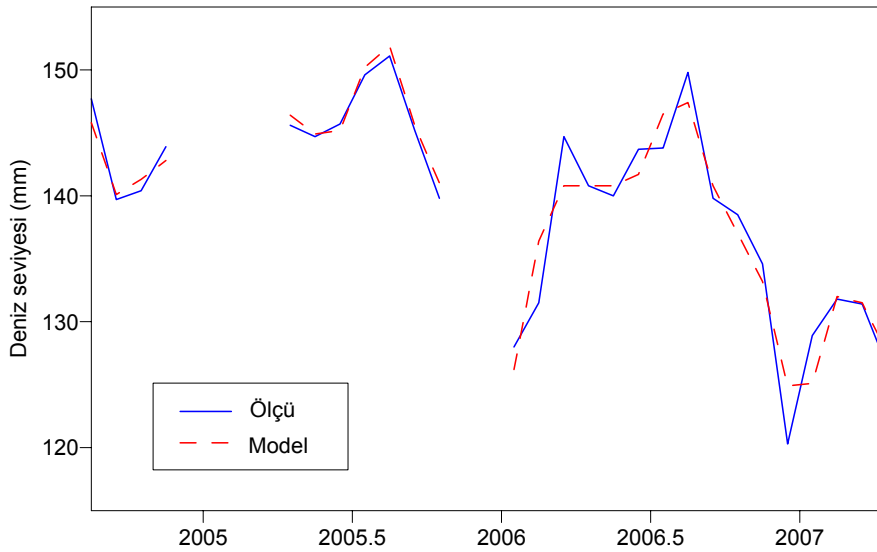


Şekil-2.5: Erdek mareograf istasyonu 1984-2005 boşluk içeren aylık deniz seviyesi ölçülerinin genlik spektrumu.

Bunun yanısıra, Yıldız vd. (2007)'de Erdek mareograf istasyonundaki 1984-2005 dönemindeki aylık deniz seviyesi verileri aylık ortalama hava sıcaklığı ve hava basıncı verileri ile birlikte değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda ortalama deniz seviyesinin 7.3 ± 0.6 mm/yıl hızla yükseldiği belirlenmiştir. Meteorolojik parametrelerinin ODS harmonik analiz modeline dahil edilmesi ODS trendini değiştirmemektedir. Sonuç itibariyle Şekil-2.4'ten de anlaşılacağı üzere Erdek mareograf istasyonunda ortalama deniz seviyesinin belirgin olarak yükseldiği görülmektedir. Söz konusu ODS yükselmenin 1993-2002 döneminde dünya genelinde (Holgate ve Woodworth, 2004) tarafından ifade edilen kıyı alanlarındaki 1990'lardaki artan deniz seviyesi yükselmesi ile tutarlı olduğu değerlendirilmektedir. Yıldız vd.(2007)'de ise Erdek mareograf istasyonundaki 1984-2005 dönemindeki global deniz seviyesi yükselmesinden daha yüksek olan ODS trendinin büyük ölçüde Erdek mareograf istasyonu ile yakın bölgede olan Bandırma meteoroloji istasyonundaki hava sıcaklığı yükselmesi ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Yıldız vd. (2007)'de Erdek mareograf istasyonundaki 1984-2005 döneminde global ODS yükselme hızından çok daha yüksek olarak belirlenen ODS hızının (Yıldız vd.,2003)'de ifade edildiği gibi Erdek mareograf istasyonundaki düşey yer kabuğu hareketlerinden değil, 1990'lardan sonra hava sıcaklığı artışından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Vigo vd. (2005) ve Simav vd. (2007)'de Doğu Akdeniz'de uydu altimete ve mareograf verilerinden 1999 ortalarında deniz seviyesi trendlerinde anlamlı bir değişiklik gözlemlendiği belirtilmektedir. Bu çalışmalara benzer şekilde Erdek istasyonuna ait veriler Haziran 1999 tarihinin öncesini ve sonrasını içermek üzere iki bölüme ayrılmış ve yapılan analiz sonucunda, bu tarihten sonra deniz seviyesi yükselme trendinde anlamlı bir azalma olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil-2.4).

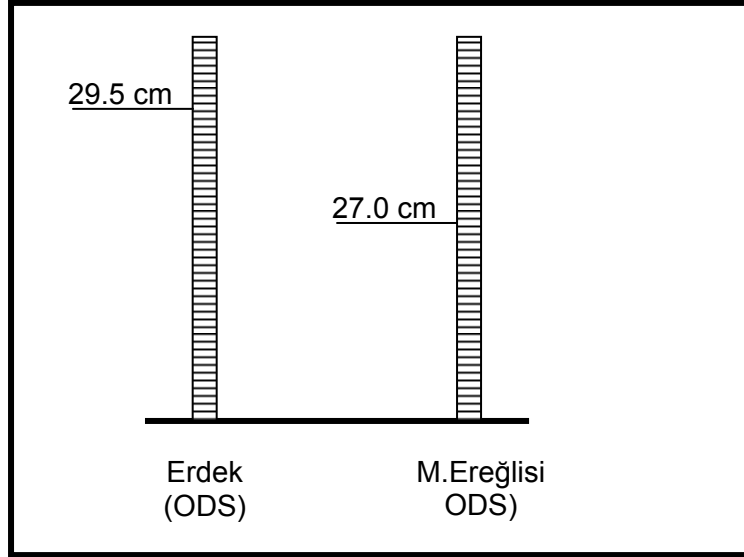
Proje kapsamında kurulan Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunda Temmuz 2004 - Nisan 2007 tarihleri arasında deniz seviyesi ölçüleri elde edilmiştir. 34 aylık bu dönem içerisinde Aralık 2004-Nisan 2005 ve Kasım-Aralık 2005 dönemlerinde istasyondaki arızalar nedeniyle veriler toplanamıştır. Bu istasyondaki verilerin analizinde, veri döneminin kısalığı nedeniyle deniz seviyesi değişimi ile ilgili bir incelemenin anlamsız olacağı düşüncesiyle, modelde trend ile ilgili terim çıkarılarak, sadece ortalama deniz seviyesi ve Foreman ve Neufeld (1991)'de verilen gel-git bileşenleri göz önünde tutulmak suretiyle bir harmonik analiz uygulanmış ve ortalama deniz seviyesi belirlenmiştir. Marmara Ereğlisi deniz seviyesi değişimi Şekil-2.6'da verilmektedir.



Şekil-2.6 : Marmara Ereğlisi ortalama deniz seviyesi değişimi (Temmuz 2004-Nisan 2007)

Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonları ortalama deniz seviyeleri arasında herhangi bir fark olup olmadığını araştırmak amacıyla, harmonik analiz sonucunda, her iki istasyondaki ortalama deniz seviyelerinin aynı epokta hesaplanması öngörülmüştür. Bu amaçla Marmara Ereğlisi veri döneminin yaklaşık ortasına tekabül eden 2006.0 epogunda her iki istasyondaki ortalama deniz seviyeleri Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA)'ya

dayalı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, TUDKA datumuna bağlı olarak Erdek ve Marmara Ereğlisinde ortalama deniz seviyeleri sırasıyla 29.5 cm ve 27.0 cm bulunmuştur. Buna göre mareograf ve geometrik nivelman bağlantı ölçülerinden, Marmara'da ortalama deniz seviyelerinde kuzeyin güneye göre 2.5 cm aşağıda olduğu belirlenmiştir (Şekil-2.7).



Şekil-2.7: Erdek mareograf istasyonu (Şubat 1984 - Aralık 2005) ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu (Temmuz 2004 - Nisan 2007) verilerinden TUDKA-99 datumuna göre 2006.0 epeğinde hesaplanan ODS'lerin karşılaştırılması

Bu fark içerisinde sözkonusu iki mareograf istasyonunu birbirine bağlayan TUDKA geometrik nivelman ölçülerindeki sistematik hataların etkisi bulunmaktadır. TUDKA'nın bu bölümünde istasyonlar arasındaki nivelman bağlantısı boğaz geçiş nivelmanı (İstanbul ve Çanakkale) içerdiğinden, muhtemel sistematik hataların büyüklüğü konusunda kesin bir yargıya varmak zordur. Ayrıca, Marmara Ereğlisi istasyonunda elde edilen deniz seviyesi ölçülerinin periyodu kısa olduğundan hesaplanan ODS'nin güvenilirliği düşüktür.

3. GPS ÖLÇÜLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

a. Sabit GPS ölçüleri

Proje kapsamında; Marmara Ereğlisi (MER1) ve Erdek (ERDT) sabit GPS (SGPS) istasyonlarında elde edilen verilerinin değerlendirilmesi ve elde edilecek koordinat zaman serilerinin analizi ile bu istasyonların düşey yöndeki hareketlerinin belirlenmesi ve bu istasyonların mareograf istasyonlarına tekrarlı duyarlı geometrik nivelman bağlantı ölçülerinden yararlar da mareograf istasyonlarındaki mutlak düşey kabuk hareketlerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

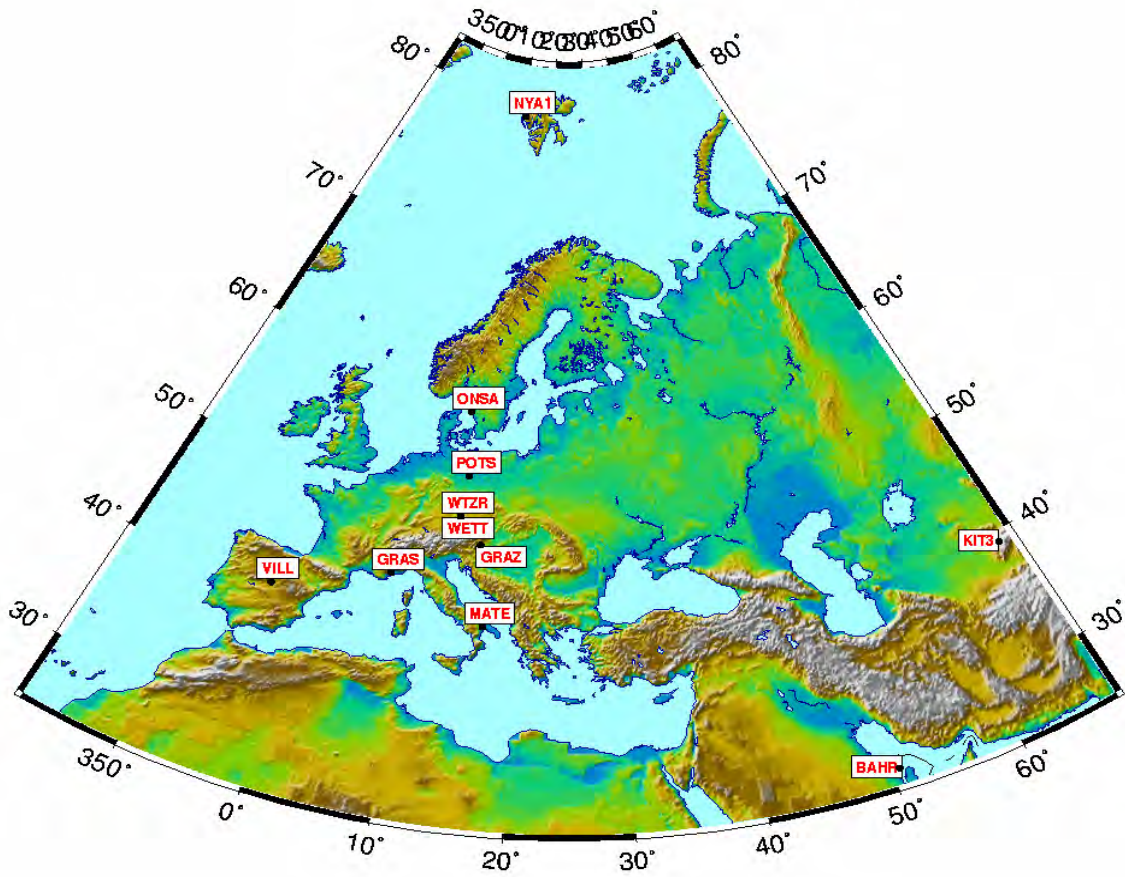
Marmara Ereğlisi SGPS istasyonu, Marmara Sürekli GPS Gözlem Ağı (MAGNET) projesi kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) tarafından 16.07.1999 tarihinde faaliyete geçirilmiş ve 15.12.2000 tarihinde istasyonun yeri değiştirilmiştir. Erdek SGPS istasyonu ise Harita Genel Komutanlığı ve TÜBİTAK-MAM tarafından ortaklaşa 05.07.2002 tarihinde kurulmuştur. Bu istasyon mareograf istasyonunun ~4 km batısında ve ERDE tekrarlı GPS istasyonuna 1 km uzaklıktadır. MAGNET'in temel amacı, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) batı kesiminde aktif fayların üzerindeki gerilme birikimlerini saptamak ve buna bağlı olarak deprem riskini ortaya çıkarmaktır.

Marmara Ereğlisi SGPS istasyonu TÜBİTAK-MAM tarafından, Erdek SGPS istasyonu ise Harita Genel Komutanlığı tarafından işletilmektedir. Erdek istasyonunun verileri telefon hattı üzerinden modem ile Harita Genel Komutanlığına aktarıldıktan sonra internet üzerinden TÜBİTAK-MAM veri merkezine gönderilmektedir. Marmara Ereğlisi istasyonunun verileri TÜBİTAK-MAM tarafından toplanarak internet üzerinden sunulmakta ve proje dâhilindeki kuruluşlar, verilere kullanıcı adı ve şifrelerini kullanarak ulaşmaktadır. Marmara Ereğlisi istasyonu ilk kurulduğu noktadan yaklaşık 1.5 yıl sonra, ikinci ve şu andaki konumuna (ilk noktanın 5 m. kuzey doğusunda) taşınmıştır. Elektrik kesintisi gibi etkenlerin sebep olduğu veri kesiklikleri dışında istasyonun şu anki konumunda iken topladığı yaklaşık 6 yıl uzunluğundaki veriler değerlendirmeye alınmıştır. Erdek SGPS istasyonunun ise yaklaşık 4.5 yıllık verisi mevcut olup, bu verilerin tamamı değerlendirmeye dâhil edilmiştir.

b. Sabit GPS Veri Değerlendirme

Erdek ve Marmara Ereğlisi SGPS istasyonlarının verileri Harita Genel Komutanlığının Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) projesi kapsamında GAMIT/GLOBK (V10.1) yazılımı (King ve Bock, 2003; Herring, 2003) ile değerlendirilmektedir.

SGPS istasyonlarından elde edilen GPS verilerinin günlük bazda değerlendirilmesinde; Şanlı (1999)'da ayrıntılı olarak incelenen ve özellikle düşey bileşen (yükseklik) üzerindeki çoklu yansıma, okyanus yüklemesi, atmosferik yüklemesi, yıllık sinüsoidal etkiler dikkate alınmış ve uygun troposferik modeller araştırılmıştır. Bu değerlendirmelerde geliştirilen modellerden yararlanarak, periyodik GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde sistematik etkiler göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.1: GPS ölçü değerlendirmesinde kullanılan IGS global noktaları (10 nokta)

SGPS istasyonlarının çözümlerine, Türkiye'nin yakın çevresinden, koordinatları ve hızları ITRF2000'de (International Terrestrial Reference Frame – 2000) tanımlı 10 adet global IGS (International GPS Service) istasyonunun verisi de dâhil edilmiştir (Şekil-3.1). Söz konusu istasyonlara ait mevcut veri durumu Tablo-3.1'de gösterilmiştir.

Tablo-3.1: Değerlendirmeye dahil edilen IGS istasyonlarının mevcut veri durumu

No	Nokta	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1	GRAZ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	MATE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	ONSA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	WETT / WTZR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	POTS	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	KIT3	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	GRAS	--	--	--	X	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	VILL	--	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	BAHR	--	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	NYA1	--	--	--	--	--	--	X	X	X	X	X	X	X	X

* 11 Şubat 1996 tarihinden itibaren, WETT istasyonunun yerini WTZR almıştır. WETT ile WTZR arasındaki bağlantı ölçüleri, WTZR istasyonuna ait bilgi dosyasında (site log) dx:+2.105 m, dy :+0.981 m, dz :-1.994 m olarak verilmiştir.

SGPS istasyonları ve 10 IGS istasyonundan her güne ilişkin elde edilen GPS verilerinin değerlendirilmesinde aşağıda belirtilen model ve strateji izlenmiştir.

- Yörünge bilgisi olarak IGS SP3 (Standard Product 3) hassas yörünge bilgileri ve yer dönme parametreleri olarak da USNO (United States Naval Observatory) tarafından üretilen Bulletin-B (Bülten-B) değerleri,
- Radyasyon-basınç etkileri için SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) tarafından da standart olarak kullanılan 9 parametrelili Berne modeli,
- Günlük ve yarım günlük gelgit etkileri ile özellikle yıllık ve 460 günlük gibi uzun periyotlu etkileri içeren kutup gelgit etkileri (pole tide effect) için IERS/IGS standart modelleri,
- Okyanus yüklemesi etkisi (ocean tide loading effect) için İsveç Chalmers Üniversitesinden Hans-Georg Scherneck tarafından geliştirilen 11 bileşenli Scherneck modeli,

- Zenit gecikme bilinmeyenleri (kuru ve ıslak bileşen için) Saastamoinen öncül standart troposfer modeline dayalı olarak 2 saatlik aralıklarla hesaplanan değerler (Referans değerler; TO = 20° C, PO = 1013.25 mbar ve HO = % 50 alınmıştır.),

- Zenit modeli olarak; her iki saatte bir hesaplanan değerler arasındaki her bir zaman aralığı için farklı bir doğrusal fonksiyon tanımlayan “parçalı doğrusal fonksiyon (piecewise linear function) modeli” ,

- Uyduya olan zenit açısı doğrultusundaki değerlerin hesaplanmasını sağlayan “1/cosZ” fonksiyonu; indirgeme fonksiyonu (mapping function) olup, GAMIT yazılımında Troposferin kuru ve ıslak bileşenlerindeki gecikme değerlerinin her ikisi için de Arthur Niell tarafından geliştirilen “Niell indirgeme fonksiyonu” ,

- Anten faz merkezleri değişimlerini belirleyebilmek için yüksekliğe bağlı model (ELEV),

- L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız LC (L3) doğrusal kombinasyonu,

$$\Phi_{LC} = 2.546 \Phi_{L1} - 1.546 \Phi_{L2}$$

- 1000 km'ye kadar olan bazlarda başlangıç faz belirsizliğinin çözümünde ve faz kesikliklerinin onarılmasında ise; “Wide Lane (WL)”

$$WL = \Phi_{L2} - \Phi_{L1} = (P1 + P2) * (f1 - f2) / (f1 + f2)$$

gözlem kombinasyonu,

- En düşük yükseklik açısı olarak 10 derece uygulanmıştır.

- GAMIT yazılımında V10.2 versiyonu ile birlikte atmosferik yükleme etkisi modeli uygulanabilmekte ise de bu değerlendirmede kullanılmamıştır.

- Artık hatalara otomatik temizleme algoritması uygulanarak faz kayıklıkları onarılmış ve problemler tespit edilmiştir. Düzeltmiş verileri iyileştirmek için manuel herhangi bir işlem yapılmamıştır.

- GPS verileri 30 saniye veri aralığında temizlendikten sonra sonuç çözüm için 2 dakikalık veri aralığına düşürülmüştür. Gözlem ağırlıkları ise uydu yükseklik açısı ile değişmekte ve her nokta için ilk hazırlık çözümü sonrası artık hataların dağılımına göre üretilmiştir.

- Günlük çözüm dosyası olarak, 24 saat esasına dayalı olarak değerlendirilen verilerden elde edilen gevşek koşullu parametre tahmini ve varyans-kovaryans değerleri oluşturulmuştur.

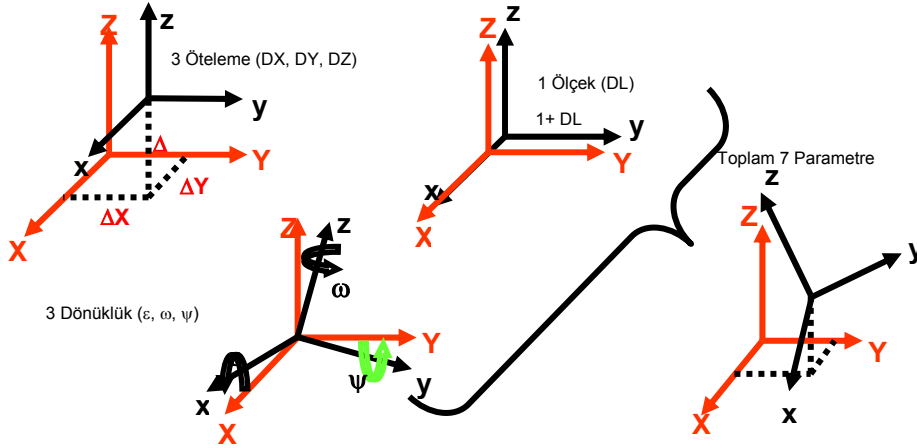
Serbest koşullu günlük çözümler oluşturulduktan sonra, IERS birleştirilmiş çözümlerinin ITRF2000 (1997.0) koordinatı ve hızı hassas olarak bilinen IGS noktaları kullanılarak, GAMIT/GLOBK yazılımı “GLOBK” ve “GLORG” modülleri vasıtasıyla koordinatlar ve nokta hızları için datum tanımlaması (*stabilizasyon*) yapılmıştır. Diğer bir deyişle günlük serbest koşullu çözümler üç boyutlu Helmert benzerlik dönüşümü uygulanarak günlük koordinatlar belirlenmiştir. Koordinatlar ve hızlar datuma bağlı büyüklükler olduğundan uzun dönemli analizin doğru yapılabilmesi için datum tanımının tüm veri periyodunu kapsayacak şekilde aynı ve tutarlı olması büyük önem taşımaktadır. Aksi takdirde datum tanımının zaman içerisinde değişmesi, SGPS zaman serisinde sistematik hatalara, bu ise hatalı analiz sonuçlarına neden olacaktır. Bu amaçla bölgesel ve global olmak üzere iki farklı yaklaşım uygulanmıştır.

Bölgesel Stabilizasyon:

Günlük serbest koşullu çözümler, çözümlere dâhil edilen 10 IGS noktasından yararlı üç boyutlu dönüşüm parametreleri hesaplanarak referans sistemi tanımlanmış ve her güne ilişkin çözümler bu datuma dönüştürülmüştür. Bu yöntemde, uydu yörünge doğruluğu 5 cm mertebesinde olduğundan uydu konumlarına 5 cm, yörüngedeki hızlarına ise 5 mm/saniye öncül koşul verilmiştir. Yer dönme parametrelerine sıkı koşul uygulanmıştır. Kutup hareketi ve UT1 parametrelerine konumda 0.25 mas, hızlarına da 0.001 mas/gün koşul verilmiştir. Üç boyutlu dönüşüm için; 3 dönüklük, 3 öteleme ve 1 ölçek olmak üzere 7 dönüşüm parametresi hesaplanmıştır. Dönüşüm eşitliği ve grafik olarak açıklaması Şekil-3.2’de gösterilmiştir.

Koordinat dönüşümü için en az 3 noktaya ihtiyaç varken ortak nokta sayısının daha fazla olması stabilizasyonun kalitesini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. 2-3 mm karesel ortalama hata sonuç değerine sahip bir stabilizasyon güvenilir kabul edilmektedir. Dönüşüm sırasında uyşumsuz olarak elde edilen SGPS noktaları, söz konusu gün için stabilizasyondan otomatik olarak ayıklanmaktadır.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DX \\ DY \\ DZ \end{bmatrix} + (1 + dL) \begin{bmatrix} 1 & w & -y \\ -w & 1 & e \\ y & -e & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$



Şekil-3.2: Stabilizasyonda kullanılan 7 parametrelî dönüşüm.

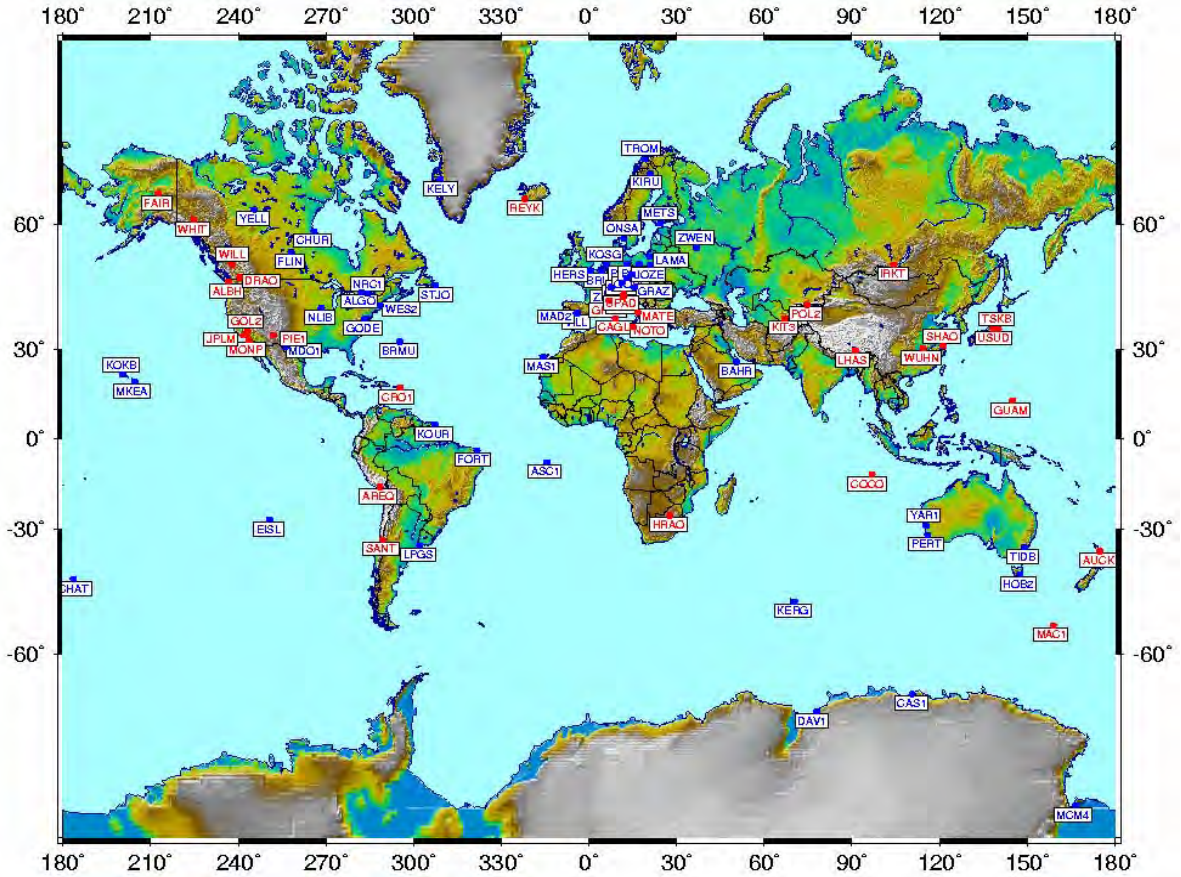
Global Stabilizasyon:

Global stabilizasyon için uzun yıllar aktif olarak işletilen ve “core” olarak adlandırılan SGPS istasyonları verilerinden faydalanılmıştır. Bu yöntemde, SOPAC analiz merkezlerince analizi tamamlanmış, dünyadaki tüm IGS istasyonlarını içeren global nokta koordinatları, yörünge parametreleri ve varyans-kovaryans matrislerini içeren günlük gevşek koşullu global dengeleme sonuç dosyaları beş parça dosya (örn; higs1a.05101.Z, higs2a.05101.Z, ...higs5a.05101.Z) halinde yine SOPAC Internet arşivinden alınarak, SGPS analizlerinden elde edilen sonuçlar ile günlük bazda birleştirilmiştir.

Ortak nokta olarak, ITRF2000 tanımlamasında kullanılan ve uzun yıllar güvenilir verisi mevcut olan IGS istasyonlarından 65 adedi kullanılmıştır (Şekil-3.3). Stabilizasyon, birleştirilmiş sonuç dosyası ile ortak noktaların yardımıyla iki koordinat sistemi arasında koordinat dönüşümü uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Dönüşüm için benzer şekilde 3 dönüklük, 3 öteleme ve 1 ölçek olmak üzere 7 dönüşüm parametresi hesaplanmıştır.

Yer dönme parametre bilgileri global çözümler içinde mevcut olduğundan, stabilizasyonda bu parametreler için öncül olarak verilen tablo değerleri kullanılarak gevşek koşul uygulanmıştır. Kutup hareketi ve UT1 parametreleri için, konumda 100 mas (derece saniyesinin bindesi), hızları için de 10 mas/gün koşul verilmiştir. Aynı şekilde, uydu yörünge bilgileri yine global sonuç dosyalarının içinde mevcut olduklarından gevşek (uydu konumları için 100'er metre,

hızları için de 10 mm/saniye) öncül koşullar uygulanmıştır.



Şekil-3.3: Global stabilizasyonda kullanılan yüksek kaliteli veriye sahip IGS istasyonları (65 adet). Mavi Renkli Noktalar: Katı plaka üzerindeki istasyonları, Kırmızı Renkli Noktalar: Deforme olan bölgeler üzerinde olan ancak hızlarının hassas ve doğru bir olarak bilindiği istasyonları işaret etmektedir.

c. Sabit GPS Koordinat Zaman Serileri Analizi

SGPS istasyonlarının günlük koordinat zaman serileri üretildikten sonra zaman serileri analizleri ile istasyon koordinat hızları hesaplanabilmekte, deprem anı koordinat atımları belirlenebilmekte ve zaman serilerindeki periyodik etkiler araştırılabilmektedir. Bu projede esas olarak MER1 ve ERDT SGPS istasyonlarındaki GPS verilerinin, özellikle düşey yöndeki yer değiştirmeleri ortaya çıkaracak şekilde analizi için değişik modellerin kullanılması öngörülmüştür.

SGPS istasyonlarına ait bölgesel ve global olmak üzere iki farklı veri kümesi mevcuttur. Bu iki farklı veri ile yapılan analiz sonuçları arasında çok küçük farklılıklar belirlenmiştir. Benzer yaklaşım, Harita Genel Komutanlığının GPS analiz merkezi olarak katıldığı, Avrupa kıtası çevre denizlerindeki deniz seviyesi ve düşey yer kabuğu hareketlerini amaçlayan Avrupa Deniz Seviyesi Servisi-Araştırma Altyapısı (ESEAS-RI) projesi kapsamında uygulanmış ve Harita Genel Komutanlığının GAMIT yazılımı ile elde ettiği bölgesel çözümlerin, BERNESE ve GIPSY yazılımlarını kullanan diğer analiz merkezleri sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür (Kierulf vd.,2007). Bu nedenle, bu projede bölgesel stabilizasyon ile elde edilen çözümler esas alınarak sonraki zaman serileri analizleri yapılmıştır.

Blewitt ve Lavallee (2002) tarafından SGPS zaman serilerinin 2.5 yıldan daha kısa süreli olması durumunda jeodezik ve jeofizik yorumlama amacıyla analiz edilmemesi önerilmektedir. Simav vd. (2006)'da SGPS veri uzunluğunun; doğu ve kuzey bileşeni için yaklaşık 24-30 ay, yükseklik bileşeni için ise yaklaşık 24-36 aydan sonra istasyon hızlarının 0,03 mm'den daha küçük değişim gösterdiği belirlenmiş ve hızlarının güvenilir olarak belirlenebilmesi için seçilmesi gereken zaman serisi uzunluğunun, kuzey ve doğu bileşenleri için en az 2.5 yıl yükseklik bileşeni için ise 3 yıl olması gerektiği önerilmiştir.

MER1 ve ERDT SGPS istasyonlarında yaklaşık olarak sırasıyla 6 ve 4.5 yıllık veri mevcut olup, bu veri uzunluğu yukarıda belirtilen güvenilir bir analiz için olması gereken en küçük veri uzunluğunun önemli derecede daha fazladır.

SGPS koordinat zaman serilerinde değişik etkenlerden kaynaklanan kısa ve uzun periyotlu etkenlerin varlığı ve bu periyodik etkenlerin koordinat hızlarını etkilediği son yıllarda bir çok araştırmada konu edilmiştir (Calais, 1999; Blewitt ve Lavallee, 2002; Herring ve Springer, 2002; Mao vd.,1999; Dong vd., 2002). Bu etkilerin, bazı jeofizik olgular nedeniyle oluşabileceği gibi atmosferik ve hidrolojik yüklenme, anten ve anten koruyuculardaki kar ve

buz birikmesi vb. bazı iklimsel etkiler GPS referans sistemindeki hatalar, uydu yörünge veya yer dönme parametrelerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

Veri uzunluğuna bağlı olarak çok kısa ve uzun dönemli etkilerin modellendirilmesi olanaklıdır. Bu etkilerin uygun şekilde modellendirilmesi, hızların doğru belirlenmesinin yanısıra bazı jeofizik olayların ortaya çıkarılması açısından da önem taşımaktadır. Spektral analiz ile de SGPS zaman serilerindeki periyodik etkilerin varlığı ortaya konabilir. Bu etkilerin modellendirilmesi koordinat hızlarının doğru kestirilmesi için önem taşımaktadır. Ancak bu etkilerin nedenlerinin ortaya konması ayrıntılı araştırma gerektirmektedir. Bu projede temel amaç SGPS zaman serisi üzerindeki bu tür jeofizik olayların kaynağının ayrıntılı incelenmesinden ziyade, istasyonlardaki düşey doğrusal hız büyüklüklerinin doğru olarak kestirilmesidir. Genel olarak yapılan araştırmalar sonucunda SGPS zaman serilerinde belirgin olarak yıllık periyodik sinyalin kabulü ile modellendirme tercih edilmektedir (Wdowski, 1997; Dong, 2002).

SGPS koordinat zaman serilerinin analizlerinde değişik türde matematiksel modeller kullanılmaktadır. En genel matematiksel model;

$$x(t) = x_0 + v(t - t_0) + \sum g(t, x) + \varepsilon(t)$$

şeklinde. Burada, $x(t)$ zaman serileri gözlem vektörü, t_0 zaman serileri başlangıç epochu, x_0 zaman serisinin $t = t_0$ anındaki başlangıç koordinat değeri, v istasyon doğrusal hızını, $g(t, x)$ istasyon hızlarını etkileyen zamana bağlı diğer jeofiziksel etkenler, $\varepsilon(t)$ ise hata terimidir. Bu eşitlikteki $g(t, x)$ terimi, zaman serisi içerisinde olması muhtemel periyodik ve periyodik olmayan etkilere göre çeşitli biçimlerde ifade edilebilir. Zaman serisi için temel olarak ilk iki terim olan ortalama koordinat ve hız dışında, veri içerisinde değişik nedenlerle (anten değişmesi, yer kabuğu hareketi vb.) oluşan etkiler atım, mevsimsel ve referans sistemi tanımından kaynaklanan periyodik etkiler, harmonik fonksiyonlarla, deprem sonrası post sismik vb. davranışlar exponansiyel veya logaritmik fonksiyonlar ile modellendirilebilir. $g(t, x)$ terimi açık olarak,

$$g(t, x) = \sum_{j=1}^M p_j \sin(2\pi f_j t_i) + q_j \cos(2\pi f_j t_i) + \varepsilon_y(t_i) + (C + D) \Theta t_{eq} \quad (i = 1, 2, \dots, N), (j = 1, 2, \dots, M)$$

$$D = \varepsilon (1 - \exp\{- (t - t_{eq}) / \tau\})$$

şeklinde yazılabilir. Eşitliğin sağındaki toplam içerisindeki terim periyodik etkileri içeren harmonik terimler olup, M harmonik bileşen sayısı, N ise veri sayısıdır. C ko-sismik ofset, D ise deprem sonrası post sismik etkileri içeren terim ve Θt_{eq} ise basamak fonksiyonu olup, deprem (atım) öncesi 0, deprem (atım) sonrası 1 değerini alır. D terimi içerisinde geçen ε genlik, τ sönümlenme zamanıdır. Eğer zaman serisi içerisinde deprem veya herhangi bir nedenle ofset ve deprem sonrası post sismik etki yok ise buna ilişkin terimler modelde yer almaz.

MER1 ve ERDT SGPS istasyonlarının zaman serilerinin analizinde, yıllık trend ile yıllık ve yarı yıllık mevsimsel periyodik etkiler göz önünde tutulmuş olup buna ilişkin matematik model açık olarak;

$$x(t) = x_0 + v(t_i - t_0) + \sum_{j=1}^2 p_j \sin(2\pi p_j t_i) + q_j \cos(2\pi q_j t_i) + \varepsilon_x(t_i)$$

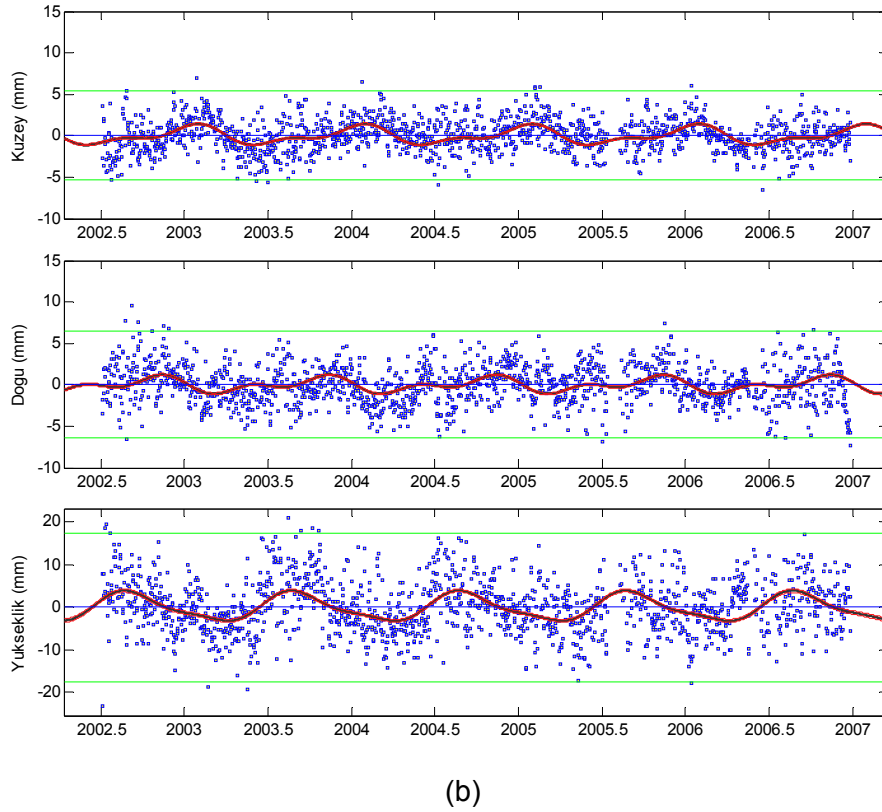
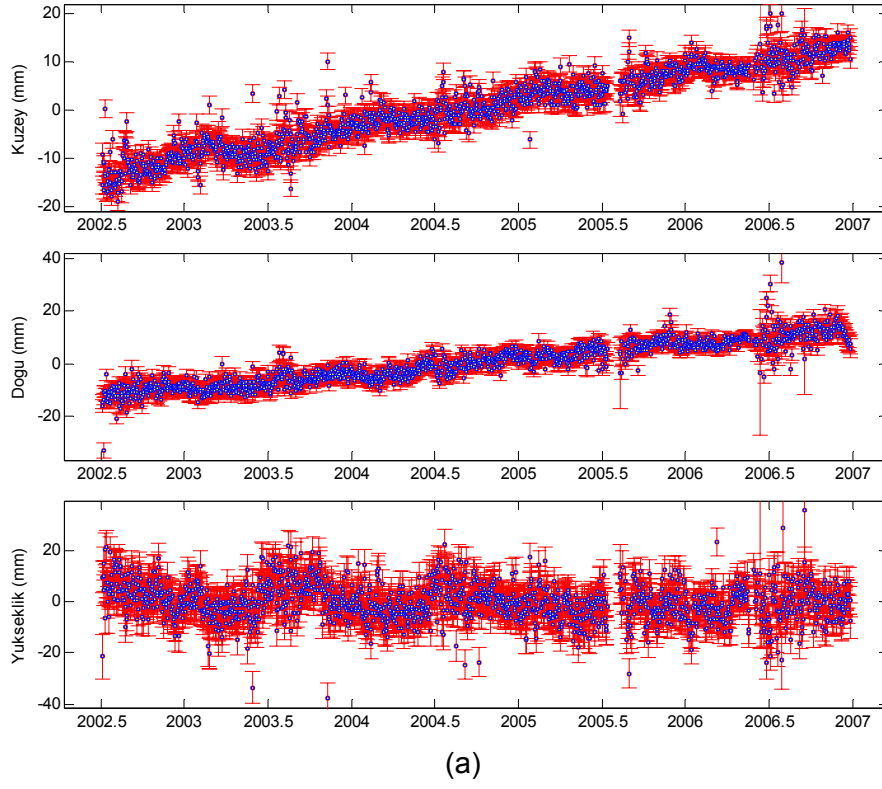
şeklindedir. Burada; $x = (x_0, v, p_j, q_j)^T$; bilinmeyen parametreler vektörü, f periyodik bileşenin frekansı, p sinüs genliği ve q kosinüs genliğidir (Williams ve Teferle, 2003; Simav vd., 2006).

SGPS koordinat zaman serileri öncelikle, istatistiksel olarak rasgele karakterde, zamanla korelasyonsuz ve normal dağılımda olduğu varsayımı ile yıllık trend ve mevsimsel periyodik etkiler (yıllık ve yarı yıllık) göz önünde tutularak En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Değerlendirmede kaba hatalı (uyuşumsuz) ölçüler 3-sigma kriteri esas alınarak ayıklanmıştır. Değerlendirme sonucunda elde edilen SGPS istasyonlarındaki yıllık hızlar ile birlikte yıllık ve yarı-yıllık etkilere ilişkin sinüs ve kosinüs'lü terimlerin genliği Tablo-3-2'de verilmektedir. Ayrıca ERDT ve MER1 SGPS istasyonları için sırasıyla kuzey, doğu ve yükseklik zaman serileri ile analiz sonucunda trend (hız) elemine edilmiş zaman serileri Şekil-3.4 ve Şekil-3.5'de gösterilmektedir.

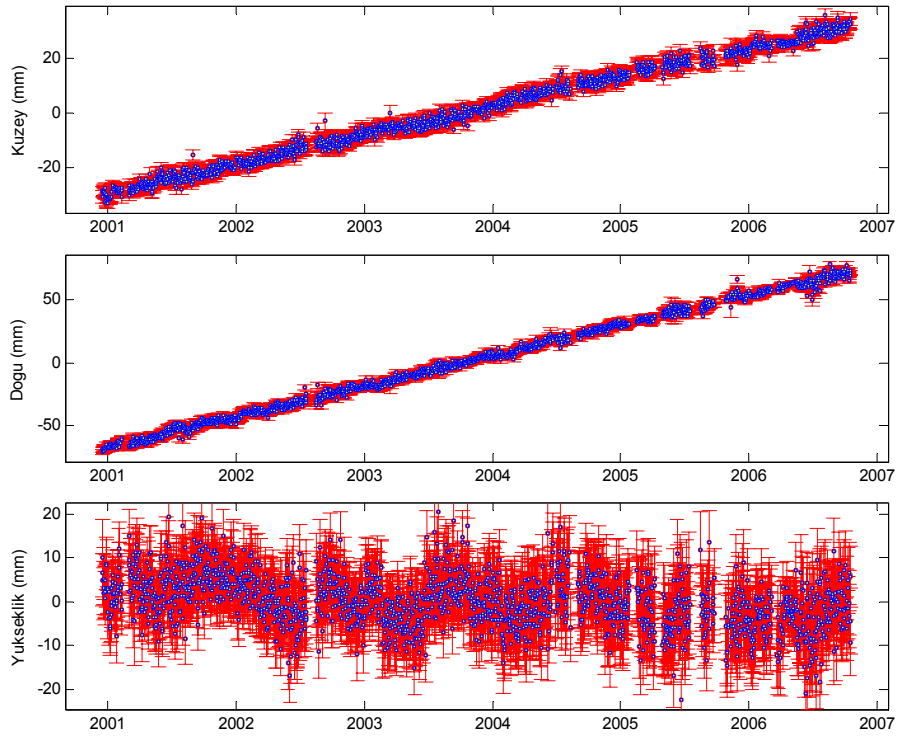
GPS zaman serilerinin belirgin olarak yıllık periyodik sinyal içerdiği ve genel olarak yatay konumda genliği 2 mm, düşey konumda ise 4 mm civarında olduğu Blewitt ve Lavallee(2002)'de belirtilmekte olup, Tablo-3.2 incelendiğinde yıllık yükseklik bileşeni için bu değerlerin uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo:3.2: ERDT ve MER1 SGPS zaman serileri EKK yöntemine göre çözüm sonuçları

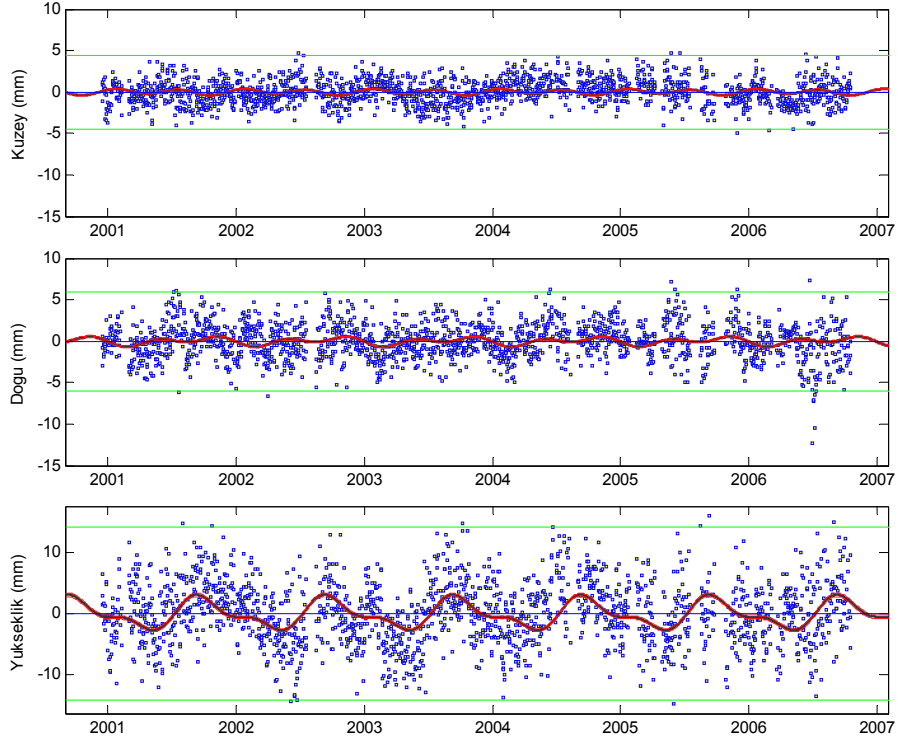
İstasyon	Bileşen	Hız (mm/yıl)	Yıllık Kos (mm)	Yıllık Sin (mm)	6 Aylık Cos (mm)	6 Aylık Sin (mm)
ERDT	Yükseklik	-0.91 ± 0.13	-1.39 ± 0.22	-2.92 ± 0.21	0.19 ± 0.21	0.86 ± 0.22
	Doğu	5.78 ± 0.05	0.20 ± 0.08	-0.70 ± 0.08	0.13 ± 0.08	-0.59 ± 0.08
	Kuzey	5.89 ± 0.04	0.95 ± 0.07	0.19 ± 0.06	0.11 ± 0.06	0.11 ± 0.07
MER1	Yükseklik	-1.26 ± 0.07	0.01 ± 0.16	-2.26 ± 0.16	-0.49 ± 0.16	0.97 ± 0.16
	Doğu	24.32 ± 0.03	-0.07 ± 0.07	-0.31 ± 0.07	0.06 ± 0.07	-0.38 ± 0.07
	Kuzey	10.61 ± 0.02	0.02 ± 0.05	0.10 ± 0.05	0.24 ± 0.05	0.19 ± 0.05



Şekil-3.4: ERDT noktası SGPS zaman serileri analiz sonuçları.
 (a) orijinal veri, (b) doğrusal trend giderilmiş veri



(a)



(b)

Şekil-3.5: MER1 noktası SGPS zaman serileri analiz sonuçları.
(a) orijinal veri, (b) doğrusal trend giderilmiş veri

SGPS zaman serilerinin istatistiksel olarak rasgele karakterde, zamanla korelasyonsuz ve normal dağılımda olduğu varsayımı ile En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılarak belirlenen SGPS istasyon hız hataları olması gerekenden 5-10 kat daha küçük bulunmaktadır (Mao vd., 1999). SGPS zaman serilerinin rasgele ölçü hataları (beyaz gürültü) yanında zamanla korelasyonlu renkli gürültü (kırışma gürültüsü, rastgele yürüyüş gürültüsü) içerdiği Mao vd. (1999), Zhang vd. (1997) ve Williams (2003) tarafından gösterilmiş olup, SGPS istasyon hız ve hatalarının daha gerçeğe yakın belirlenmesi için zamanla korelasyonlu gürültü karakterinin hesaplamalarda dikkate alınması önerilmektedir.

Birçok fiziksel ve jeofizik prosessin, güç spektrumunu aşağıda verilen güç kanunu uyduğu ifade edilmektedir. (Agnew, 1992, Williams ve Teferle,2003).

$$P_x(f) = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^\kappa$$

Burada, f konumsal ya da zamansal frekans, P_0 ve f_0 normalizasyon sabitleri, κ ise spektral indisidir. κ spektral indisi tipik olarak -3 ile 1 arasında değerler alır. κ , -3 ile -1 ($-3 < \kappa < -1$) arasında değerler için kesirli kahverengi gürültü (fractional Brownian motion), -1 ile 1 arasında ($-1 < \kappa < 1$) değerler için ise kesirli beyaz gürültü söz konusudur. κ spektral indisinin tam sayı değerlerinde; $\kappa = 0$ için beyaz gürültü (BG), $\kappa = -1$ için kırışma gürültüsü (KG) ve $\kappa = -2$ için ise rasgele yürüyüş gürültüsü sözkonusudur. SGPS zaman serilerinde rasgele hataların veri sayısına bağlı olarak azaltılması mümkün olmakla birlikte, zamana bağlı renkli gürültü için bu sözkonusu değildir.

SGPS zaman serilerinde baskın olan gürültü karakterinin beyaz+kırışma gürültüsü birleşimi olduğu ve gürültü karakterinin analizinde en doğru ve hassas yöntem olarak En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK; Maximum Likelihood Estimation- MLE) önerilmektedir. EBOK kullanılarak birden fazla gürültünün genlikleri ile birçok parametrenin (örneğin; hız, periyodik sinyaller ve koordinat atımları) aynı anda kestirilmesi olanaklıdır (Zhang vd., 1997; Mao vd., 1999; Williams, 2003; Williams ve Teferle, 2003; Williams vd., 2004).

SGPS istasyonu yatay ve düşey hız ve hatalarının, zaman serilerinde beyaz + kırışma gürültüsü (BG+KG) varsayımı ve hız + yıllık + altı aylık harmoniklerle tanımlanan matematiksel model ile EBOK yöntemi kullanılarak belirlenmesinin, hesaplama süresi ve güvenilirlik açısından en uygun yaklaşım olduğu Simav vd. (2006)'da önerilmiştir.

SGPS zaman serilerinde yükseklik bileşenindeki gürültü oranı yatay bileşenlere göre daha büyük olduğundan, düşey hızların belirlenmesinde gürültünün uygun şekilde modellendirilmesi önem taşımaktadır.

Yukarıda zaman serilerinin sadece beyaz gürültü (BG) içerdiği kabul edilerek EKK yöntemiyle yapılan analize ilave olarak detayları Simav vd. (2006)'da açıklanan iki farklı gürültü modeli kullanılarak EBOK yöntemiyle hesaplama yapılmıştır. Birincisinde, herhangi bir gürültü varsayımı yapılmadan önce spektral indis hesaplanmış sonra istasyon hızı hesaplanmıştır. İkincisinde ise zaman serisinin beyaz+kırpışma (BG+KG) gürültüsü içerdiği varsayılarak istasyon hızları hesaplanmıştır. Üç farklı gürültü modeli ile yapılan analiz sonuçları toplu olarak Tablo-3.3'de verilmektedir.

Tablo-3.3: EKK ve EBOK yöntemi kullanılarak değişik gürültü modelleri ile hesaplanan SGPS istasyon hızları.

İstasyon	Bileşen	BG ile Hız (Trend) (mm/yıl)	Spektral İndis	Spektral indis ile Hız (Trend) (mm/yıl)	BG+KG Varsayımı Hız (Trend) (mm/yıl)
ERDT	Yükseklik	-0.9 ± 0.13	-0.57	-1.1 ± 0.5	-1.3 ± 1.1
	Doğu	5.7 ± 0.05	-0.48	5.6 ± 0.2	5.5 ± 0.4
	Kuzey	5.9 ± 0.04	-0.54	5.9 ± 0.1	5.8 ± 0.4
MER1	Yükseklik	-1.3 ± 0.07	-0.55	-1.3 ± 0.3	-1.4 ± 0.3
	Doğu	24.3 ± 0.03	-0.84	24.2 ± 0.2	24.2 ± 0.3
	Kuzey	10.7 ± 0.02	-0.55	10.7 ± 0.1	10.7 ± 0.2

Tablo-3.3'de verilen SGPS analiz sonuçları incelendiğinde, beyaz gürültü kabulü ile EKK ve EBOK yönetimi ile iki farklı gürültü modelleri ile hesaplanan trend değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu, ancak sadece beyaz gürültü varsayımında trend hatalarının beklenildiği gibi diğer modellere nazaran küçük değerler aldığı görülmektedir. Özellikle trend (hız) değerlerinin değişik modellerde birbirlerine yakın olması, her iki istasyonda da yeterli düzeyde verinin bulunması olarak ifade edilebilir. Elde edilen trend değerlerinden yararlı ortalama bir değer vermek gerekirse, ERDT noktasında -1.1 ± 0.5 mm/yıl ve MER1 noktasında -1.3 ± 0.3 mm/yıl olmak üzere her iki SGPS istasyonunda da mm düzeyinde bir çökmeyi işaret etmektedir. Bu sonuçlar Marmara denizi kuzey ve güney kıyılarının birbirlerine göre belirgin olarak düşey yönde yer değiştirmedeğini göstermektedir.

d. Tekrarlı GPS verilerinin değerlendirilmesi

Erdek mareograf istasyonu hemen yakınında bulunan ERDK Mareograf-GPS (Mar-GPS) noktasında 1995-2006 döneminde ve istasyonun yaklaşık 4 km batısında ERDE tekrarlı GPS noktasında 1992-2001 döneminde periyodik GPS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. ERDE tekrarlı GPS noktası yakınında ERDT SGPS istasyonu faaliyete geçirildikten sonra, bu noktadaki periyodik GPS ölçüleri durdurulmuştur. Yıllara göre GPS kampanya ölçüleri Tablo-3.4'de verilmektedir.

Tablo-3.4: ERDE GPS ve ERDK Mar-GPS noktalarında gerçekleştirilen GPS kampanyaları

Nokta	1992	1994	1995	1996	1997	2001	2003	2005	2006
ERDE	X	X		X		X			
ERDK			X		X	X	X	X	X

Bu istasyonlara ait GPS ölçüleri, Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) kapsamında yürütülen tüm mareograf GPS ölçülerinin değerlendirilmesi çalışmalarına dâhil edilerek analiz edilmiştir. Aşağıda bu GPS ölçü değerlendirme çalışması ile ilgili hususlar açıklanmakta ve söz konusu iki nokta için elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Öncelikle, GPS kampanya ölçüleri ve değerlendirme için gerekli bilgiler düzenlenmiş ve ölçülerin değerlendirilmesinde GAMIT/GLOBK V10.1 yazılımı (King ve Bock, 2003; Herring, 2003) kullanılmıştır. Tekrarlı GPS ölçülerinin değerlendirmesinde bir önceki alt bölümde ayrıntılı olarak ifade edilen SGPS veri değerlendirmedeki yöntemler aynen izlenmiştir.

GAMIT çözümleri sonrasında elde edilen gevşek zorlamalı günlük çözümler; ITRF2000 referans sisteminde, 10 global IGS noktasından yararlı 7 parametrelilik (3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek) dönüşüm ile tanımlanmıştır. GPS' den elde edilen düşey koordinatlar, yatay koordinatlara göre çok düşük duyarlılıkta olduğundan, dönüşümde IGS noktalarının düşey koordinatları, ağırlıkları 1/100 oranında düşürülerek kullanılmıştır.

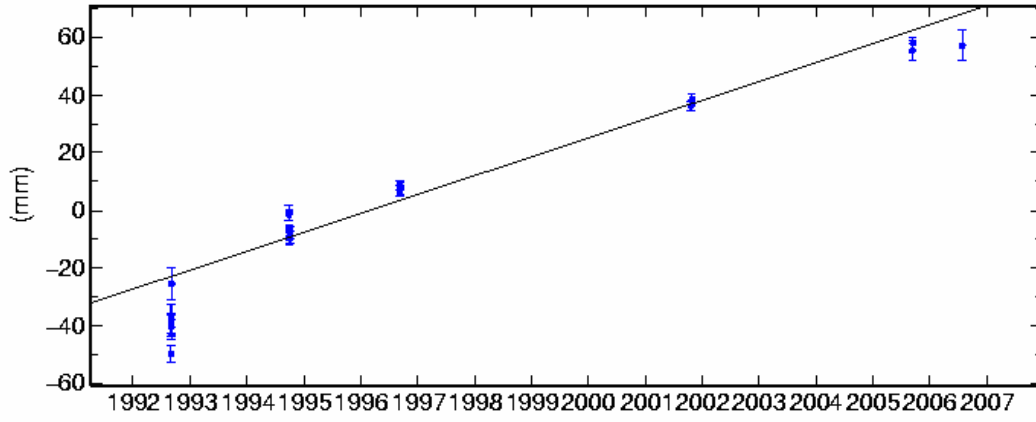
Yapılan değerlendirme sonucunda ERDE GPS ve ERDK Mar-GPS noktalarında her ölçü epöğünde elde edilen elipsoid yükseklik değerlerindeki doğrusal değişimler regresyon analizi ile En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile hesaplanmıştır.

Tekrarlı GPS elipsoid yüksekliklerinden doğrusal regresyon modeline göre uyuşumsuz olanları tespit edebilmek için $1-\alpha=0.90$ istatistiksel güven düzeyinde Pope test yöntemi uygulanmıştır. Her iki noktada da uyuşumsuz ölçü bulunmamıştır. Daha sonra, dengeleme ile hesaplanan trend değerleri $1-\alpha = 0.90$ istatistiksel güven düzeyinde anlamlılık testine (t-testi) tabi tutulmuştur.

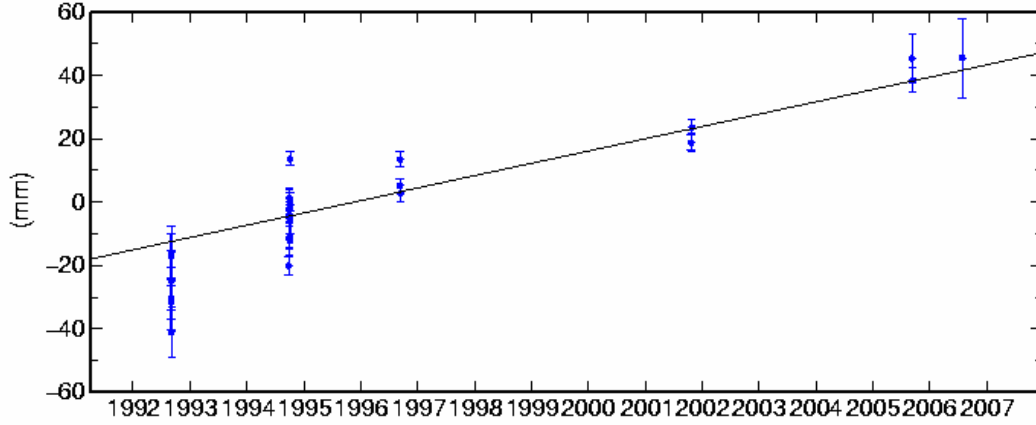
Değerlendirme sonucunda, elipsoid yüksekliğinin ERDE GPS noktasında -3.9 ± 0.5 mm/yıl istatistiksel olarak anlamlı, ERDK Mar-GPS noktasında ise -0.7 ± 1.8 mm/yıl istatistiksel olarak anlamsız olduğu tespit edilmiştir (Şekil-3.6, Şekil-3.7). Bu sonuçlara göre ERDT SGPS istasyonundaki yükseklik değişimi (-1.3 ± 1.2 mm) ile bu nokta yakınındaki ERDE tekrarlı GPS noktasında bulunan değerlerin birbirleriyle uyumlu olmadığı, ancak mareograf istasyonu yakınındaki ERDK GPS ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tekrarlı GPS modellendirilemeyen hata kaynakları nedeniyle, özellikle yükseklik değişiminin birkaç mm/yıl gibi çok düşük düzeyde olduğu bölgelerdeki düşey hareketlerin belirlenmesi için uygun bir yöntem olarak görünmemektedir. Bu nedenle değerlendirmelerde SGPS ile elde edilen sonuçların göz önünde tutulmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

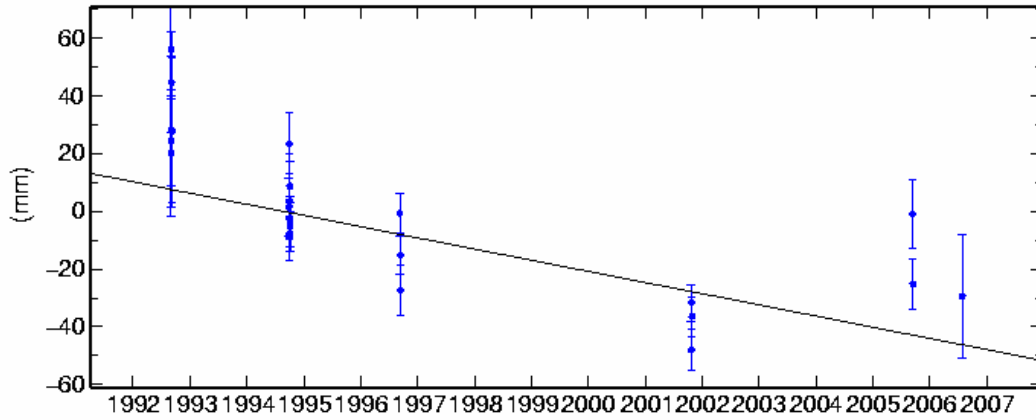
ERDE North Offset 4497334.385 m
rate(mm/yr)= 6.55 ± 0.12 nrms= 2.94 wrms= 6.8 mm # 25



ERDE East Offset 2358139.969 m
rate(mm/yr)= 3.89 ± 0.19 nrms= 2.83 wrms= 9.1 mm # 25

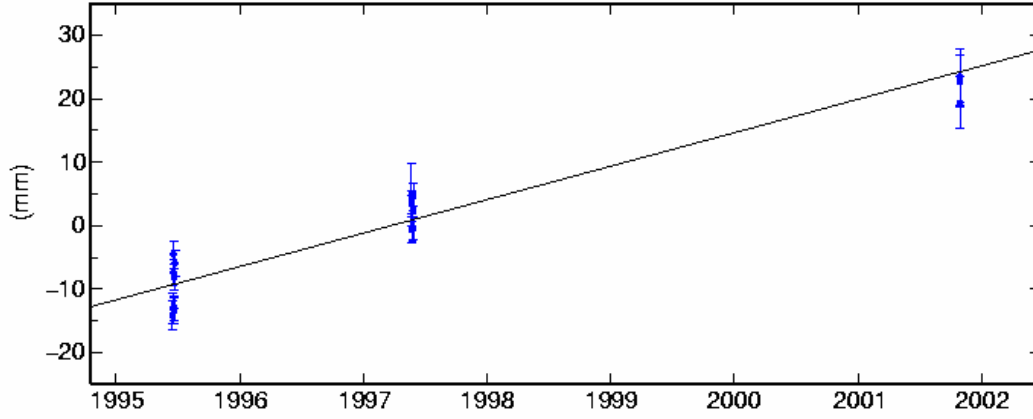


ERDE Up Offset 79.100 m
rate(mm/yr)= -3.87 ± 0.48 nrms= 1.61 wrms= 14.4 mm # 25

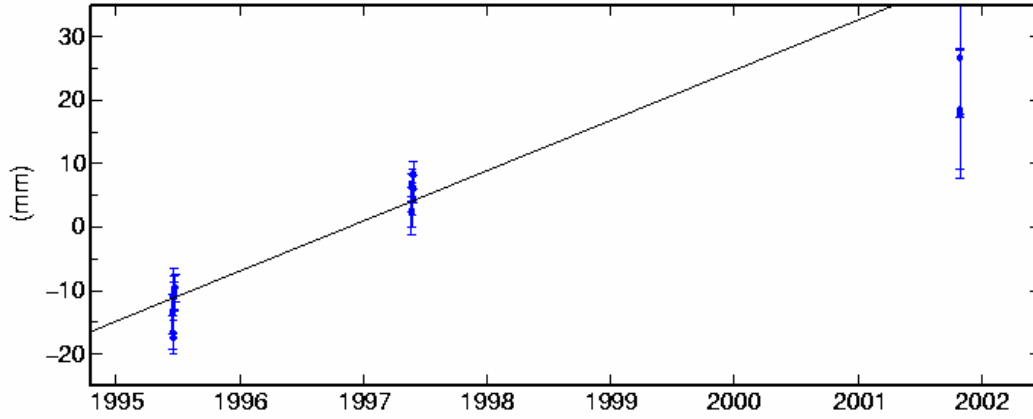


Şekil-3.6: Erdek (ERDE) tekrarlı GPS noktasındaki kuzey, doğu ve yükseklik koordinat değişimleri

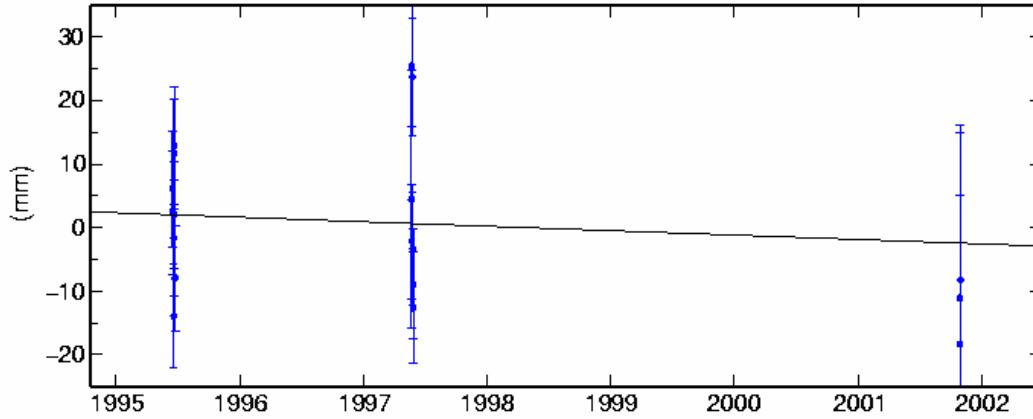
ERDK North Offset 4496246.317 m
rate(mm/yr)= 5.27 ± 0.35 nrms= 1.49 wrms= 3.3 mm # 18



ERDK East Offset 2360875.496 m
rate(mm/yr)= 7.91 ± 0.55 nrms= 1.36 wrms= 3.6 mm # 18



ERDK Up Offset 39.993 m
rate(mm/yr)= -0.71 ± 1.79 nrms= 1.27 wrms= 12.5 mm # 18



Şekil-3.7: Erdek (ERDK) tekrarlı GPS noktasındaki kuzey, doğu ve yükseklik koordinat değişimleri

4. GEOMETRİK NİVELMAN ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ

a. Mareograf İstasyonu Yerel Nivelman Ağı

Duyarlı geometrik nivelman ölçüleri, deniz seviyesi ölçülerinin bağıl olarak ölçüldüğü mareograf istasyonu sıfır noktasının, mareograf istasyonu yakınında bulunan nivelman noktasına (asıl mareograf röperi) bağlantısı ve istasyonun yakınında tesis edilen yerel nivelman ağının Ulusal Düşey Kontrol Ağına bağlantısı için yapılır. Yerel nivelman ağları genellikle mareograf istasyonundan itibaren 2-3 km uzanacak şekilde 4-6 noktadan oluşur. İstasyon yakınında düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi amacıyla tekrarlı GPS, SGPS ve mutlak gravite noktaları mevcut ise bu noktalar ağ noktaları içerisine dâhil edilir.

Yerel nivelman ağlarında duyarlı geometrik nivelman ölçüleri bölgenin tektonik yapısına göre genellikle bir veya birkaç yılda bir yapılır. Tektonik olarak aktif veya hareketli zeminlerdeki mareograf istasyonlarında duyarlı geometrik nivelman ölçülerine daha sık gereksinim duyulur. Böylece mareograf istasyonu deniz seviyesi ölçme noktasının (sıfır noktasının) ve mareograf röperlerinin ağıdaki diğer nivelman noktalarına göre yükseklik değişimleri izlenir. Mareograf ölçme sisteminde zamanla herhangi bir yer değiştirme nedeniyle datum değişikliği olup olmadığının belirlenmesi için özellikle sıfır noktası ile mareograf röperleri arasındaki bir kaç porte nivelman bağlantı ölçülerinin mümkünse yılda en az bir defa yapılması önemlidir. Aksi durumda mareograf istasyonunda elde edilen deniz seviyesi ölçülerinde datum kayıklıkları oluşabilir.

Harita Genel Komutanlığı tarafından mareograf istasyonlarındaki düşey yer kabuğu hareketlerini izlemek, deniz seviyesi ölçme sistemlerinin karadaki röper noktasına olan datum bağlantısını sağlamak amacıyla mareograf istasyonları yerel nivelman ağları TUDKA'ya bağlantılı olarak oluşturulmuştur. Yerel nivelman ağları mareograf röper noktaları ve GPS noktalarının yanısıra, birkaç TUDKA noktasını da içerecek şekilde bu ağlarda yapılan tekrarlı geometrik nivelman ölçüleri, mareograf sıfır noktası ile ağıdaki diğer noktalar arasındaki rölatif düşey yer değiştirmelerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktaları Şekil-4.1'de gösterilmektedir. Erdek mareograf istasyonunun kurulmasından günümüze kadar (1986-2006 yılları arasında) 1-3 yıl aralıklarla mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktalarında I nci derece duyarlı geometrik nivelman ölçüleri yapılmıştır. Tablo-4.1'de Yerel nivelman ağı noktalarında yapılan ölçülerin yıllara göre dağılımı verilmektedir. Tablo-4.1 İncelendiğinde ağı noktalarının zaman

içerisinde değişik etkenlerle tahrip olması nedeniyle yeni noktaların tesis edilerek ağın zamanla genişletildiği ve oldukça iyi sayılabilecek nokta sayısına sahip olduğu söylenebilir. Bu noktalar mareograf röper noktaları, nivelman noktaları ERDK ve ERDE tekrarlı GPS noktaları ile ERDT SGPS noktasını içermektedir.



Şekil-4.1: Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktaları (mareograf istasyonu röper noktaları ile ERDE SGPS noktasını içermektedir).

Yerel nivelman ağında gerçekleştirilen ölçüler düzenlenerek kontrolleri yapılmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Tekrarlı nivelman ölçülerinin değerlendirilmesine yönelik olarak Matlab (MATLAB Users' Guide, 2003) dilinde bir Nivelman Deformasyon Analizi programı hazırlanmıştır. Bu program temel olarak matematik modeli Koch (1983) ve Nakiboğlu ve Demir (2002)'de verilen Bayesian yöntemine göre çalışmaktadır ve bir nivelman ağında farklı yıllarda değişik ölçü planlarında yapılan geometrik nivelman ölçülerinin değerlendirebilmektedir.

Tablo-4.1: ERDEK mareograf yerel nivelman ağında ölçü yapılan noktaların yıllara göre dağılımı.

NOKTA	1986	1989	1990	1994	1995	1996	2000	2002	2003	2004	2005	2006
R-84	x	x	x	x	x	x	x					
R-84A								x	x	x	x	x
KAR		x		x	x	x						
MAR-1								x	x	x	x	x
MAR-2								x	x	x	x	x
MAR-3								x	x	x	x	x
R-1	x	x	x									
R-1A				x	x	x	x	x	x	x	x	x
ERDK_GPS					x	x	x	x	x	x	x	x
R-2	x	x	x	x	x	x						
R-2A							x	x	x	x	x	
R-3	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
DN-8	x	x	x		x	x	x	x	x		x	
DN-7			x									
YDN-1								x	x		x	
DN					x	x	x					
DNA								x	x		x	
ERDE_GPS					x	x	x	x	x		x	
YDN-2								x	x		x	
YDN-3								x	x		x	
YDN-4								x	x		x	
ERDT								x				

Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağında 1986-2006 yıllarında gerçekleştirilen tekrarlı geometrik nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda mareograf istasyonu röper noktalarının mareograf röperine (R-84) göre görelî düşey hızları Tablo-4.2'de verilmiştir. Tablo-4.2 incelendiğinde mareograf istasyonu röperlerinin istasyonun yakınındaki ERDK GPS noktasına göre yaklaşık 0.2 mm/yıl hızla çöktüğü belirlenmiştir. Mareograf röper noktası ile ERDE GPS noktası arasında ise anlamlı bir düşey hareket belirlenmemiştir. Buna göre mareograf yerel nivelman ağındaki noktalar arasında yapılan duyarlı periyodik geometrik nivelman ölçülerinin analizi neticesinde belirgin bir düşey hareket olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo-4.2: Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktalarının hızları
($t_{\text{tablo}}=1.29$ alındı)

Nokta Adı	Hız (mm/yıl)	St.sapma (mm/yıl)	t-hesap değeri	Açıklama
R-84	0.00	0.00	-	Datum noktası
R-84A	0.00	0.11	0.03	-
KAR	0.11	0.06	1.75	Anlamlı
MAR-1	-0.18	0.15	1.15	-
MAR-2	-0.02	0.12	0.2	-
MAR-3	0.32	0.12	2.82	Anlamlı
R-1	0.74	0.10	7.11	Anlamlı
R-1A	0.16	0.06	2.56	Anlamlı
GPS	0.24	0.06	3.76	Anlamlı
R-2	0.07	0.05	1.33	Anlamlı
R-2A	0.16	0.09	1.78	Anlamlı
R-3	0.09	0.05	1.86	Anlamlı
DN-8	0.12	0.07	1.8	Anlamlı
DN-7	0.20	0.41	0.49	-
YDN-1	-0.04	0.54	0.08	-
DN	0.44	0.37	1.2	-
DNA	-0.45	0.54	0.83	-
ETH508	-0.20	0.28	0.73	-
YDN-2	-1.10	0.47	2.34	Anlamlı
YDN-3	-0.06	0.83	0.08	-
YDN-4	-0.06	0.84	0.08	-

Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunun kurulması esnasında (Temmuz 2004), istasyonun hemen 1-2 metre yanına mareograf röperi olarak dört adet yer noktası ve mareograf istasyonunun 7-8 m uzağına Mar-GPS (betonda bronz) ve 60 m uzağına bir adet duvar noktası inşa edilmiştir. Deniz seviyesi ölçme aletinin vidası ile inşa edilen mareograf röperleri arasında 1 nci periyot geometrik nivelman ölçüsü gidiş-dönüş-gidiş şeklinde I nci derece hassas nivelman kriterinde yapılmıştır. Marmara Ereğlisi yerel nivelman ağına bulunan altı nokta arasındaki bu ölçüler 2005 ve 2006 yıllarında tekrarlanmıştır. Tekrarlı geometrik nivelman ölçülerinin değerlendirilmesi sonucunda belirgin bir düşey yer değiştirme tespit edilmemiştir.

b. Mareograf İstasyonları TUDKA bağlantı ölçüleri

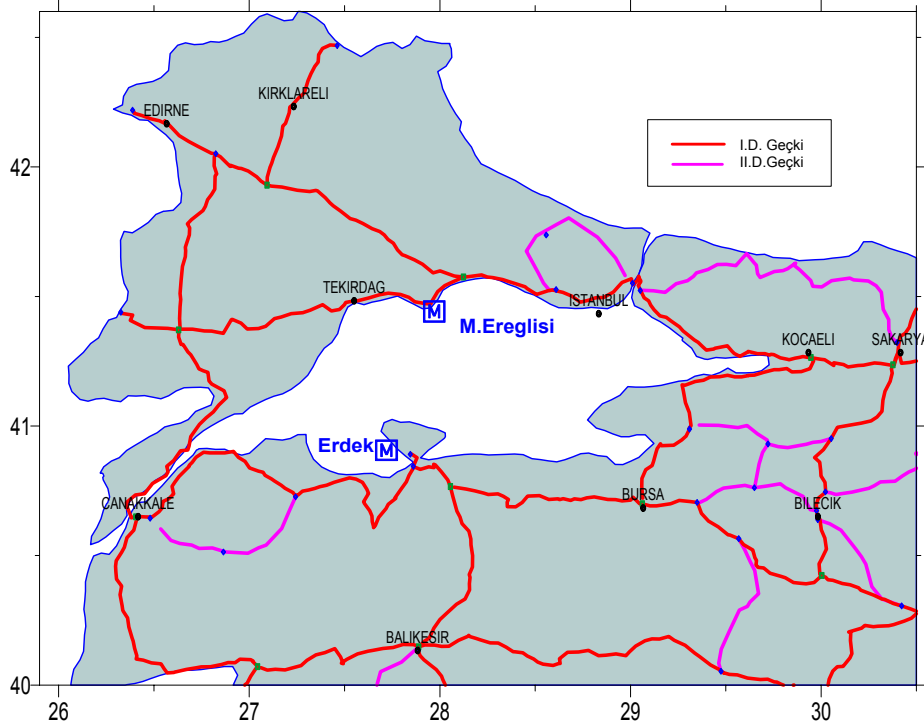
Erdek ve Marmara mareograf istasyonlarının, ülkedeki tüm mareograf istasyonları gibi geometrik nivelman ölçüleriyle Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (TUDKA) Ağına bağlantıları mevcuttur. Bu ölçüler Erdek istasyonu için kurulması sonrasında 1986 yılında, Marmara Ereğlisi için ise 2004 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, istasyonlardaki deniz seviyesi ölçülerinden hesaplanan ortalama deniz seviyelerinin aynı datuma dönüştürülmesi ve aralarındaki farkların belirlenmesi ile ulusal ve yerel datum tanımlanmasında kullanılması sağlanabilmektedir.

Erdek ve Marmara Ereğlisi istasyonlarını birbirlerine bağlayan TUDKA geometrik nivelman geçkileri Şekil-4.2'de gösterilmektedir. Her iki istasyonda tanımlanan ortalama deniz seviyeleri arasındaki ilişkinin ortaya konabilmesi için her istasyondaki yerel datumlar arasındaki bağlantı nivelman ölçülerinin ve değerlendirilmesinin uygun şekilde yapılması gereklidir.

TUDKA ülke yüzeyine dağılmış, ana karayolları boyunca oluşturulan I ve II nci derece geometrik nivelman geçkilerinden oluşmaktadır. Geçkilerde ortalama 1-2 km aralıklı düşey kontrol (nivelman) noktaları tesis edilmiştir. Ağın ilk faz ölçüleri 1936-1970 yılları arasında yapılmış, ikinci faz ölçüleri ise 1973 yılından itibaren başlatılmıştır. TUDKA kapsamında yapılan tüm ölçülerin topluca dengelenmesi amacıyla, IAG (International Association of Geodesy)'nin UELN (United European Levelling Network) alt komisyonu paralelinde yapılan çalışmalar sonucunda TUDKA-92 (Ayhan ve Demir, 1992) ve bu ağın geliştirilmesiyle TUDKA-99 (Demir, 1999; Demir ve Cingöz, 2002) tanımlanmıştır.

TUDKA-99 toplam uzunluğu 29316 km ve nokta sayısı 25680 olan geçkilerden oluşmaktadır. TUDKA-99 dengelemesinde geometrik nivelman ve gravite ölçülerinin birleştirilmesiyle elde edilen noktalar arasındaki jeopotansiyel sayılar ölçü olarak alınmış, Vanicek, ve Krakiwsky (1986)'de önerilen iki aşamalı bir hesaplama modeli uygulanarak tüm noktalardaki jeopotansiyel sayı, helmert ortometrik yükseklik ve normal yükseklik değerleri hesaplanmıştır. TUDKA'nın düşey datumu Antalya mareograf istasyonunda 1936-1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçülerinin doğrudan aritmetik ortalaması ile belirlenmiştir (Ayhan ve Demir, 1992; Demir, 1999; Demir ve Cingöz, 2002). Jeopotansiyel Sayılar ile yapılan dengeleme sonrasında; düşey kontrol noktalarında Antalya'da tanımlanan datuma bağlı olan Jeopotansiyel sayı duyarlılıklarının ± 0.3 cm ile ± 9 cm. arasında değiştiği belirlenmiştir. Datuma bağlı olmayan noktalar arasındaki yükseklik farklarının dengeleme sonrası

hesaplanan standart sapmalarının I nci dereceler için geçki uzunluğuna bağlı olarak 0.1 - 5.0 cm arasında değiştiği bulunmuştur. şekil-4.2'de Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonlarını birbirlerine bağlayan geometrik nivelman geçkileri Çanakkale ve İstanbul boğazlarından geçmekte olup bu bölgelerdeki bağlantılar boğaz geçiş nivelmanı ile yapılmıştır.



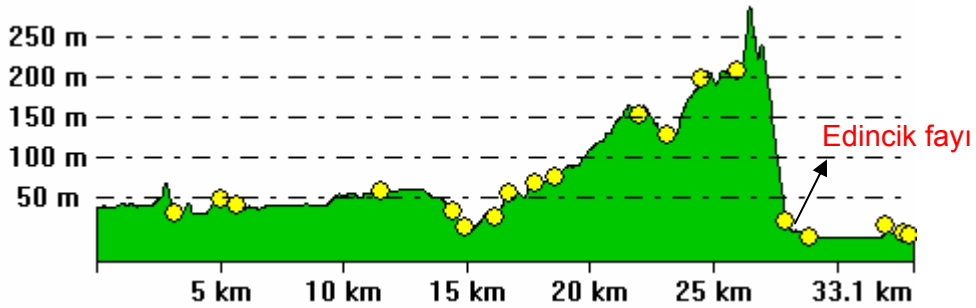
şekil-4.2: Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonlarını içeren TUDKA geçkileri

Erdek mareograf istasyonunun da içeren ve istasyonu ana karadaki düğüm noktasına (Bandırma) bağlayan yaklaşık 33 km'lik nivelman gekisinin ölçüsü 1986 yılında yapılmıştır. Mareograf istasyonu bölgesinde oluşturulan yerel nivelman ağı ile sadece mareograf istasyonu yakın çevresindeki grel düşey hareketler belirlenebilmektedir. Proje kapsamında mareograf istasyonunu ile Bandırma arasındaki nivelman gekisinin de yeniden lölmesi ngrlmş olup, 2006 yılı yazında bu gekilerde tekrarlı nivelman ölçüsü yapılmıştır. şekil-4.3'de 20 yıl arayla (1986 ve 2006) llen yaklaşık 33 km ve 8 km uzunluğunda iki adet I nci derece geçki parçası gösterilmektedir.

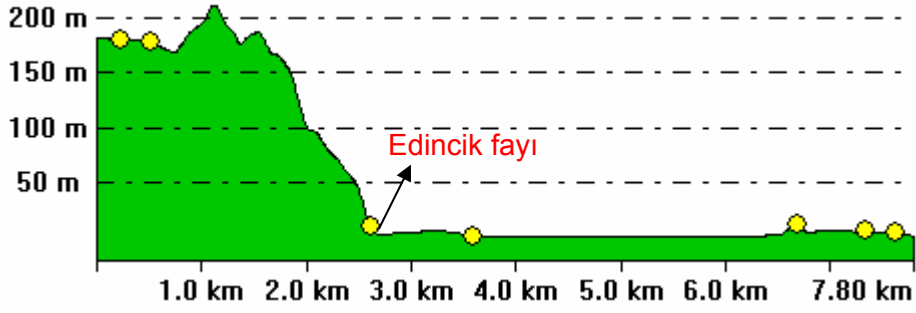


Şekil-4.3: 1986 ve 2006 yıllarında tekrarlı geometrik nivelman ölçüsü yapılan I nci derece geçkiler (kırmızı=33.1 km, yeşil=7.8 km dir) ve Edincik fayının konumu.

Şekil-4.3'de gösterilen iki geçkinin (kısa ve uzun) başlangıç noktası Edincik fayının güneyinde yer almakta olup, doğudaki uzun geçkinin başlangıç noktası 4 nolu I nci derece düğüm noktası (DUG-4), kısa olan geçkinin başlangıcı ise fayın hemen güneyinde yer almaktadır. Bu geçkiler boyunca arazi profilleride Şekil-4.4 ve Şekil-4.5'de gösterilmektedir. Bu şekillerde düşey eksen topoğrafyanın yüksekliğini, yatay eksen ise başlangıç noktasından itibaren (güneyden-kuzeye) uzaklığı göstermektedir.



Şekil-4.4: Doğudaki geçki boyunca arazi profili ve Edincik fayının konumu (sarı daireler nivelman noktalarını göstermektedir)



Şekil-4.5: Batıdaki geçki boyunca arazi profili ve Edincik fayının konumu (sarı daireler nivelman noktalarını göstermektedir)

Tablo-4.3 : 1 nolu geçki parçasında 1986 ve 2006 yıllarında ölçülen yükseklik farkları arasındaki farklar

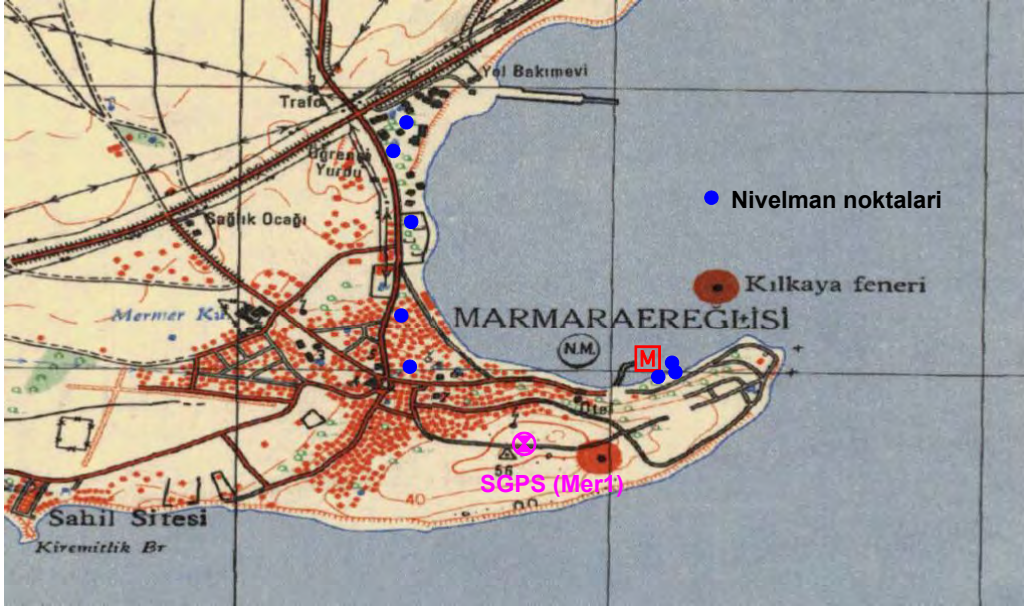
No	NOKTADAN	NOKTAYA	YÜKSEKLİK FARKLARIN FARKI (cm) 2006 -1980	KÜMÜLATİF FARK (cm)	MESAFE (km)	AÇIKLAMA
1	6-4915T	7-2656	-0.14	-0.14	3.90	Bandırma
2	7-2656	7-1	-2.76	-2.90	2.34	
3	7-1	7-DN2	1.30	-1.60	0.76	
4	7-DN2	7-7	-7.79	-9.39	6.54	
5	7-7	7-12	11.31	1.92	3.10	
6	7-12	7-DN13	1.16	3.08	0.54	
7	7-DN13	7-15	-7.21	-4.13	1.44	
8	7-15	7-DN16	6.85	2.72	0.02	
9	7-DN16	7-6450	-1.72	1.00	0.89	
10	7-6450	7-18	-0.52	0.48	1.28	
11	7-18	7-19	1.51	1.99	1.09	
12	7-19	7-6453	2.04	4.03	3.67	
13	7-6453	7-DN24	-0.71	3.32	1.19	
14	7-DN24	7-26	0.17	3.49	1.80	
15	7-26	7-27	-0.62	2.87	1.69	
16	7-27	132-DN2	2.00	4.87	3.08	Edincik fayı
17	132-DN2	132-DN3	-0.72	4.15	1.06	
18	132-DN3	132-DN7	0.15	4.30	5.26	
19	132-DN7	132-DN8	-0.07	4.23	0.71	
20	132-DN8	132-R3	-0.17	4.06	0.35	
21	132-R3	132-R1	-0.07	3.99	0.23	
22	132-R1	132-R84	0.13	4.12	0.01	Mareograf

Tablo-4.4: 2 nolu geki parasında 1986 ve 2006 yıllarında lülen yükseklik farkları arasındaki farklar

No	NOKTADAN	NOKTAYA	YÜKSEKLİK FARKLARINI N FARKI (cm)	KMLATİ F FARK (cm)	MESAFE (km)	Açıklama
			(2006-1980)			
1	7-31	7-DN30	2.89	2.89	0.32	Fay güneyi
2	7-DN30	7-6456	-8.05	-5.16	0.44	
3	7-6456	132-DN2	9.56	4.40	2.74	Edincik fayı
4	132-DN2	132-DN3	-0.72	3.68	1.06	
5	132-DN3	132-DN7	0.15	3.83	5.26	
6	132-DN7	132-DN8	-0.07	3.76	0.71	
7	132-DN8	132-R3	-0.17	3.59	0.35	
8	132-R3	132-R1	-0.07	3.52	0.23	
9	132-R1	132-R84	0.13	3.65	0.01	Mareograf

Sözü edilen iki geçki boyunca 2006 ve 1986 yıllarında yapılan ölçülerin karşılaştırılması Tablo-4.3 ve Tablo-4.4'de verilmektedir. Bu tablolardaki 20 yıllık sürede oluşan farklar incelendiğinde her iki gekide de Edincik fayının güneyinin kuzeyindeki bölümüne göre yaklaşık 4 cm büyüklüğünde düşey yönde düştüğü gözlenmiştir. 20 yıllık sürede elde edilen bu değr ise yıllık bazda 2 mm/yıl değrine karşılık gelmektedir. Ancak birinci geçkinin güneydeki bölümü Bursa grabeninin hemen kuzeyindedir. Sözkonusu büyüklük üzerinde bu faydaki normal bileşenli hareketten kaynaklanan etkilerin de bulunduğ değrlendirilmektedir (Koçyiğit, 2007).

Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu yerel nivelman ağıının TUDKA'ya bağlantı ölçüleri 2005 yılında yapılmış olup, tek epok veri mevcut olduğundan herhangi bir karşılaştırma yapılamamıştır. Bu bağlantı ağıında ikinci periyot nivelman ölçülerinin önümüzdeki dönemlerde yapılması planlanmaktadır. Marmara Ereğlisi nivelman bağlantı ağı noktaları konumları Şekil-4.6'da gösterilmektedir.



Şekil-4.6: Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu yerel nivelman ağı noktaları ve MER1 SGPS istasyonu

5. UYDU ALTİMETRESİ VERİLERİ VE ANALİZİ

Marmara denizinde uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar Kılıçoğlu vd.(2007)'de verilmiştir. Aşağıda temel olarak bu çalışmada ayrıntılı olarak yer verilen bazı bilgilere yer verilmiştir.

Uydu altimetre ölçülerinin jeodezik ve jeofizik amaçlarla kullanılması 1975 yılında NASA (Nautical Aeronautics and Space Administration) tarafından GEOS-3 uydusunun fırlatılmasıyla başlamıştır. Daha sonra 1978 yılında yine NASA tarafından SEASAT (ERM ve GM) uydusu fırlatılmıştır. 1985'de GEOSAT uydusunun ABD Deniz Kuvvetleri (U.S.Navy) tarafından fırlatılmasından sonra özellikle deniz yüzey yüksekliği (SSH-sea surface height) ve serbest hava gravite anomolilerinin belirlenmesi çalışmaları hız kazanmıştır. Uydu altimetre çalışmaları ESA tarafından (European Space Agency) 1991 yılında ERS-1 (European Remote Sensing Satellite System), 1995 yılında ERS-2 uydularının fırlatılması ve 1992 yılında NASA ve CNES (Centre Nationale d'Etudes Spatiales) tarafından ortaklaşa fırlatılan TOPEX / POSEIDON (T/P) ile devam etmiştir. T/P uydusu 2002 yılında Jason-1 ile, ERS-2 uydusu ise 2003 yılında EnviSat ile değiştirilmiştir.

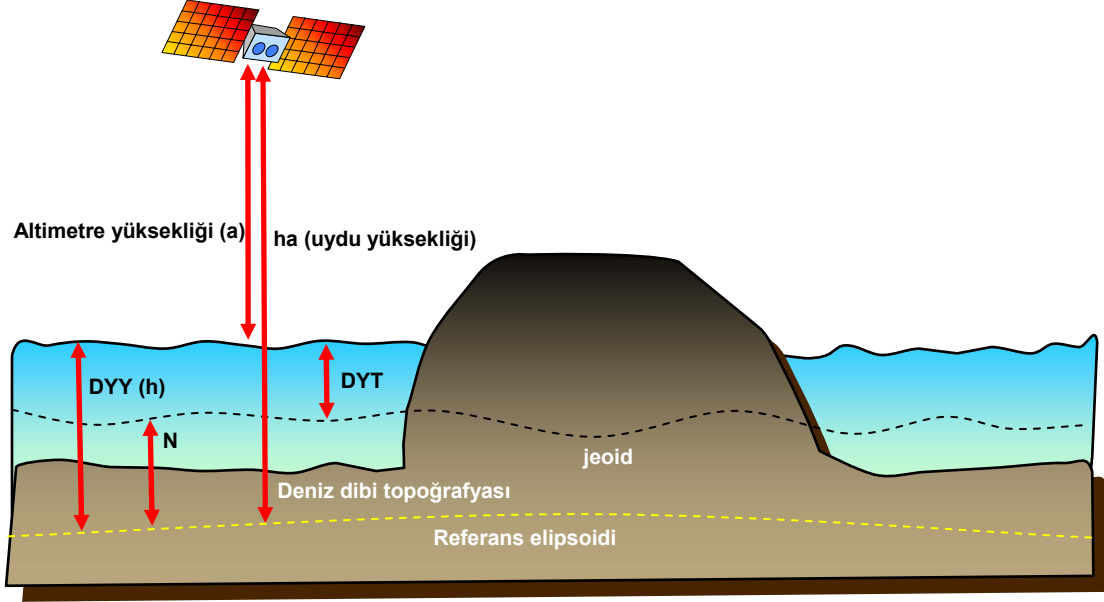
Altimetre ölçme prensibi, yere yakın bir yörüngede hareket eden uydular tarafından gönderilen radar sinyalinin deniz yüzeyine çarparak uydu alıcısına geri dönmesi arasında geçen zamanın ölçülmesine dayanır (Cazenave, 2002; Chelton vd., 2001). Uydu altimetresinin temel çalışma prensibi Şekil-5.1'de gösterilmektedir. Basit olarak altimetre ile ölçülen uzaklık (a), uydunun yörünge bilgisi (ha) ile birleştirilerek deniz yüzeyi yüksekliği (h);

$$h = ha - a$$

eşitliğiyle elde edilir ve deniz yüzeyinin elipsoidal yüksekliği (DYY) olarak tanımlanır (AVISO, 1996). Altimetre uydularına yerleştirilen GPS ve DORIS gibi konum belirleme sistemlerinin alıcıları sayesinde, günümüzde uyduların yörünge üzerindeki hareketi ve konumu duyarlı olarak belirlenebilmektedir.

Günümüzde yaklaşık 15 yıldır süregelen zaman içinde sürekli bir uydu altimetre ölçü veri seti bulunmaktadır. Bu durum yer bilimcilerine uzun dönemli araştırmalar yapma olanağı vermekte ve bu ölçülerinden yararlanarak birçok jeofizik ve jeodinamik çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Cazenave, 2002; Sandwell and Smith, 1997; Sandwell, 1990; Smith, 1998; Andersen vd., 2006; Tziavos vd., 2006). Bu amaca ulaşmak için değişik uydulardan (ERS1, ERS2 ve T/P) değişik zamanlarda ve değişik etkilere maruz ölçülerin

homojenleştirilmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Bu çalışmada, uydu altimetre ölçülerinin jeofizik veri düzeyine getirildikten sonra işlenmesi, doğrulanması ve belirli düzeltmelerin getirilmesinden sonra elde edilen düzeltilmiş deniz yüzü yüksekliği (DYY) bilgileri kullanılmaktadır.

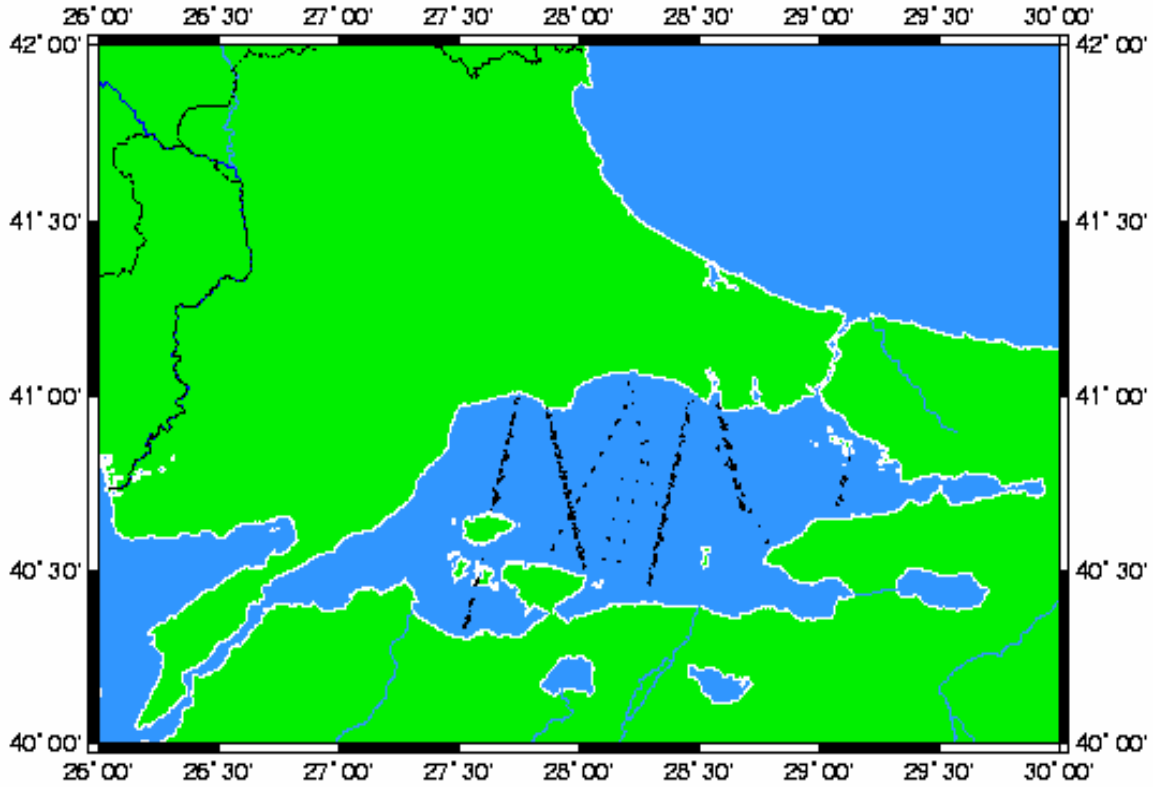


Şekil-5.1: Uydu altimetresi prensibi.

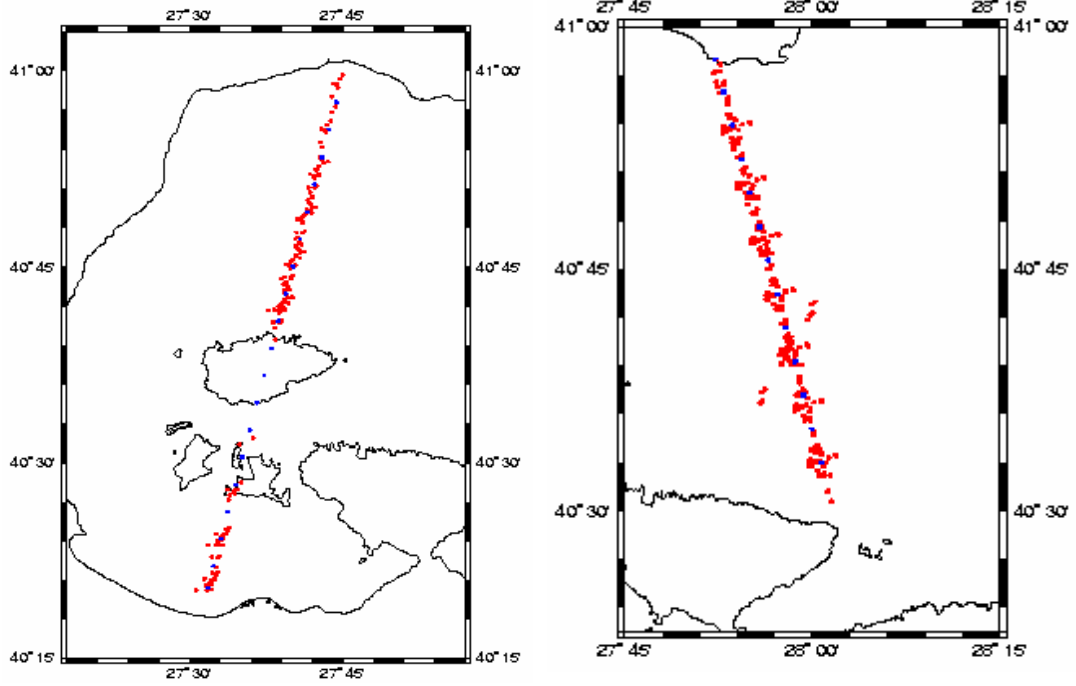
Rüzgâr, akıntı, gel-git vb. etkilerden arındırılmış deniz yüzeyi yüksekliği (DYY), jeoid yüzeyine çok yakın bir yüzey tanımlamaktadır. İki yüzey arasında Deniz Yüzeyi Topoğrafyası (DYT) olarak adlandırılan bir fark mevcut olup, bu fark okyanus akıntıları, rüzgâr, gel-git, mevsimsel etkiler vb. kaynaklanır. DYT okyanuslarda genellikle 1 m düzeyindedir ve belirlenebilmesi için jeoidin duyarlı olarak tanımlanması gerekir.

Türkiye'de yer potansiyeli modeli, gravite ve topoğrafya verileri ile birlikte çevre denizlerdeki gravite anomalileri de kullanılarak bölgesel gravimetrik jeoid belirlenmiştir (Kılıçoğlu, vd, 2006). Uydu altimetre ölçülerinden elde edilen ve zamana bağlı olarak hesaplanan DYY verileri ortalama deniz seviyesinin ve zamana bağlı değişimlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem genellikle kıyrdan açıkta ve okyanuslarda güvenilir ve diğer yöntemlerle tutarlı sonuçlar vermekle birlikte; küçük bir iç deniz olan Marmara'da DYY verileri kullanılarak ortalama deniz seviyesi ve zamana bağlı değişimlerinin belirlenmesine yönelik inceleme yapılmıştır.

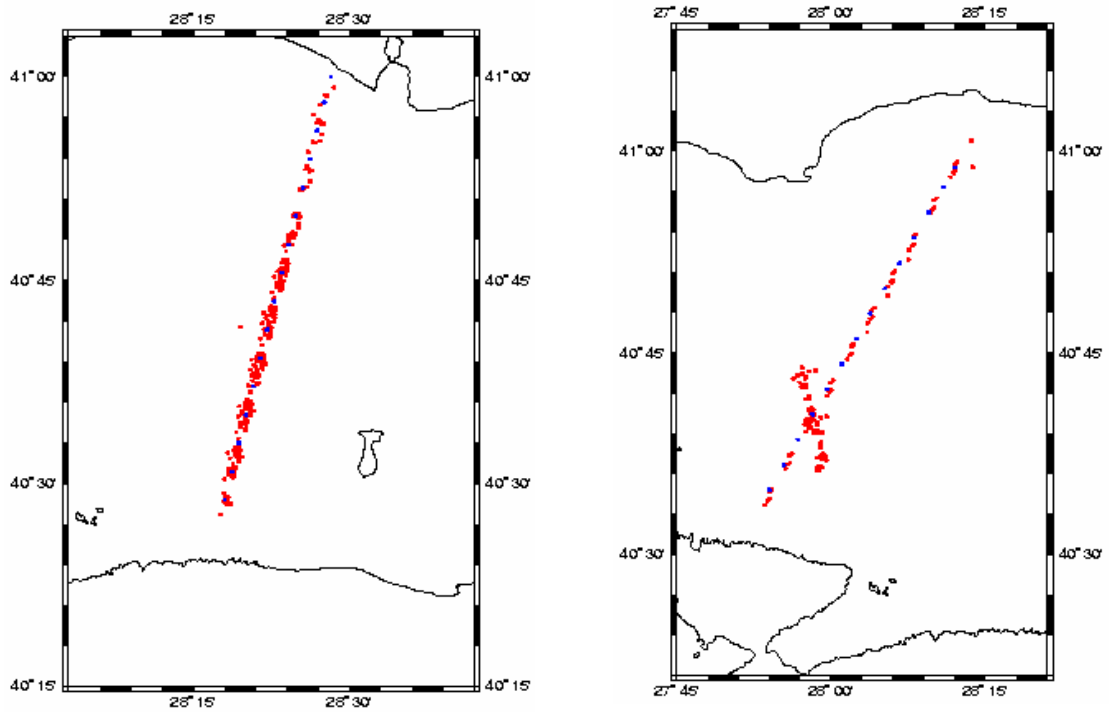
Bu çalışmada 1992-2003 yılları arasından ERS1, ERS2 ve Topex/Poseidon ölçülerinden elde edilen ve AVISO tarafından sağlanan düzeltilmiş deniz yüzü yüksekliği verileri kullanılmıştır. Marmara denizindeki ERS-1, ERS-2 ve TOPEX/POSEIDON uydu altimetresi izleri Şekil-5.2'de gösterilmektedir. Şekil-5.2 incelendiğinde uydu izlerinin bazılarında veri yoğunluğunun diğer izlerdekine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Mevcut izlerden en yüksek veri yoğunluğuna sahip dört tanesi alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sözü edilen dört adet profil boyunca uydu altimetre izleri Şekil-5.3 ve Şekil-5.4'te verilmektedir.



Şekil-5.2 : Marmara Denizi'ndeki Uydu Altimetresi izleri



Şekil-5.3: Bir ve iki nolu profil boyunca uydu altimetresi verileri



Şekil-5.4: Üç ve dört nolu profil boyunca uydu altimetresi verileri

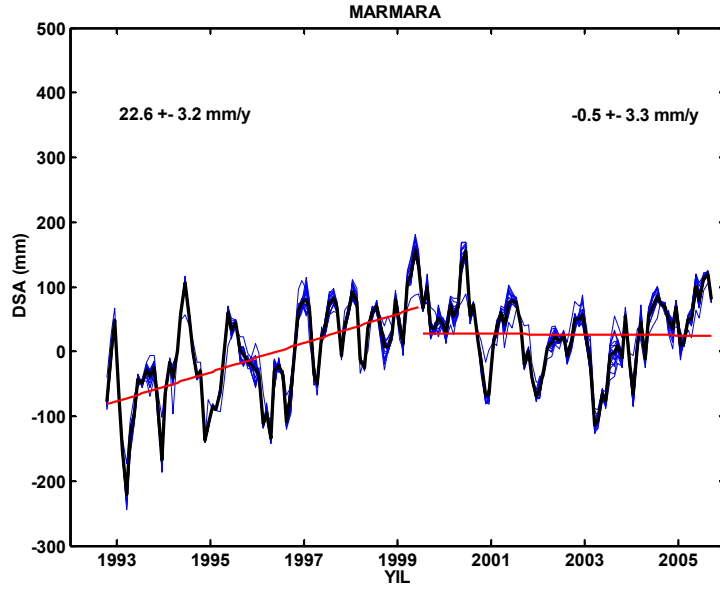
Bu çalışmada; Marmara denizinde ERS-1, ERS-2 ve TOPEX/POSEIDON uydu altimetre ölçüleri kullanılarak, uydu izleri boyunca mutlak deniz yüzeyi değişimleri ile deniz yüzeyi yükseklik (DYY) değerleri, deniz yüzeyi eğimi ve Marmara Denizinin kuzey ve güney kıyıları arasındaki deniz yüzeyi yükseklik farkı incelenmiştir. Her bir uydu izi üzerinde belirli aralıklarla (yaklaşık 5.6 km) ve tekrarlı ölçü alındığından aynı iz üzerinde oldukça fazla miktarda ölçü bulunmaktadır. Bu nedenle bu ölçülerle değişik periyotlu (aylık, mevsimsel veya yıllık) deniz yüzeyi değişimlerinin izlenmesi olanaklıdır.

Marmara denizinde mutlak deniz yüzeyi değişimlerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmaların ayrıntıları İmre (2005) ve Şanlı vd. (2005)'de verilmiştir. Bu incelemede veri analizleri ERS-1, ERS-2 ve TOPEX/POSEIDON uyduları için ayrı ayrı ve topluca yapılmış ve uydu izleri boyunca yıllık ortalama değerler hesaplanarak deniz seviyesindeki yıllık değişimler izlenmiştir. Değerlendirmede uydu altimetresi verileri aletsel, çevre, gel-git ve yörünge hatalarından arındırılmış Deniz Yüzeyi Yüksekliği (DYY) ölçüleri kullanılmış ve ölçüler her bir altimetre uydusuna ve yıllara göre düzenlenmiştir.

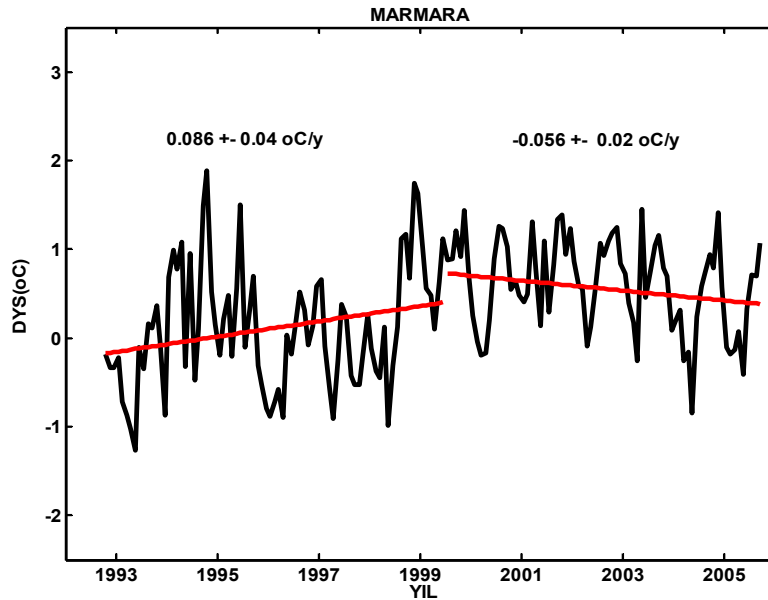
Mutlak deniz seviyesinin değişimi profil bazında incelenmiştir. Herhangi bir profile ait tüm noktalarda yıllık deniz seviyesi değişimi değerleri kestirilmiş daha sonra bir profili temsilen bir değer kullanabilmek üzere bunların ortalamaları ve ortalamanın hatası hesaplanmıştır. Dört ayrı profil kullanılarak Marmara denizi için 0.1-1.6 mm/yıl büyüklüğünde bir deniz seviyesi değişimi hesaplanmıştır. Ancak bu değerlerin literatürde (Douglas 1997, Nerem vd. 1997, Cazenave vd. 1997, Nerem ve Leuliette 2003) verilen değerlere yakın olmasının yanında kestirim hatasının büyüklüğü, uydu altimetresinin iç denizlerdeki performansının düşük olması ve bir ölçüde de Marmara denizine ait fazla verinin bulunmaması olarak değerlendirilmiştir (Şanlı vd., 2005).

Bunun yanı sıra Simav vd. (2007)'de Doğu Akdeniz'de uydu altimetre verileri ile deniz seviyesi değişimlerinin araştırılması çalışmasında, yıllar arası ve uzun dönemli ortalama deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesi amacıyla Marmara denizinde 1992-2005 dönemi $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ grid aralıklarındaki aylık ortalama uydu altimetri deniz seviyesi anomalileri ve $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ aylık ortalama deniz yüzeyi sıcaklık anomalileri analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda Marmara'da seçilen 17 grid noktasında 4.1-10.1 mm/yıl arasında değişen ve ortalama 6 mm/yıl deniz seviyesi değişimi belirlenmiştir. Bu değer bir önceki çalışmada belirtilen değerlere göre farklılık göstermekle birlikte, mareograf verilerinden elde edilen sonuçlarla uyumludur.

Simav vd. (2007)'de ayrıca Marmara denizi'nde uydu altimetri deniz seviyesi anomalileri (Şekil-5.5) ve aylık ortalama deniz yüzeyi sıcaklık anomalilerinde (Şekil-5.6) 1999 ortalarında anlamlı bir değişim gözleendiği ve bu tarihten önce yükselme eğilimindeki anomalilerin, bu tarihten sonra düşüşe geçtiği ve ortalama deniz seviyesindeki değişimin kısmen deniz yüzeyi sıcaklığındaki yıllar arası değişimlerden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil-5.5: Marmara denizinde aylık ortalama uydu altimetri deniz yüzeyi anomalileri (Simav, vd.,2007).



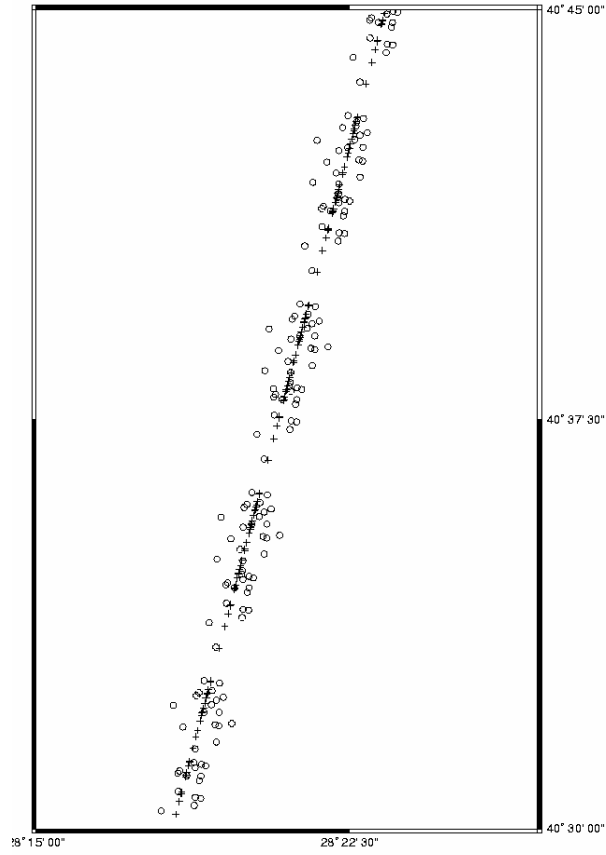
Şekil-5.6: Marmara denizinde aylık ortalama uydu altimetri deniz yüzeyi sıcaklık anomalileri (Simav, vd.,2007).

Kılıçoğlu vd. (2007)'de ise Şanlı vd., (2005)'deki çalışmaya ek olarak söz konusu dört uydu izinde, ortalama deniz yüzeyi yükseklik (DYY) değerleri ile Marmara denizinin kuzey ve güney kıyıları arasındaki deniz yüzeyi eğimi incelenmiştir. Öncelikle on yıllık DYY llerinden ODY elde edilmiş ve daha sonra her noktadaki ODY değerinden EGM96 yer potansiyel modeline (Lemoine vd., 1998) dayalı olarak hesaplanmış Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03) (Kılıçoğlu, 2002; Kılıçoğlu vd., 2005) jeoid yüksekliği çıkarılarak deniz yüzeyi topoğrafyası (DYT) hesaplanmıştır.

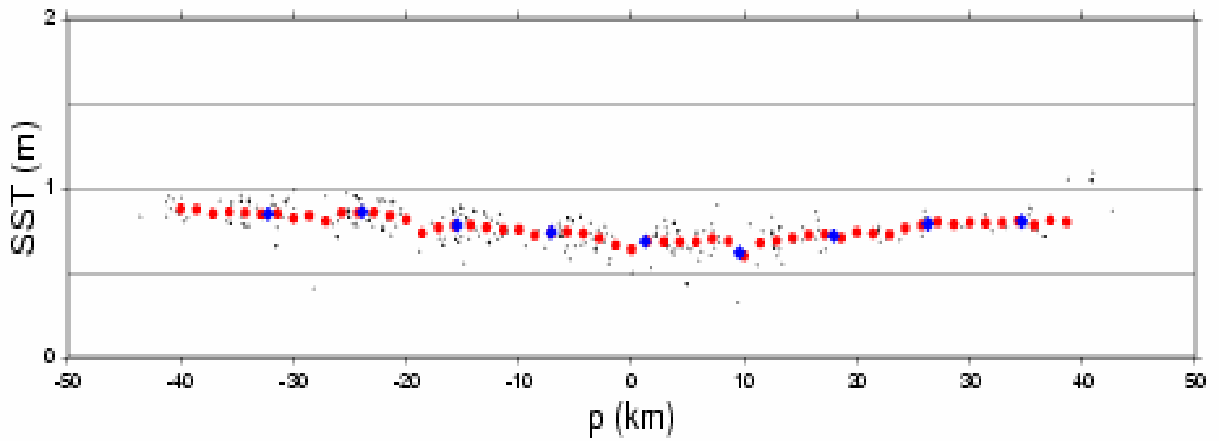
Uydu izleri boyunca DYY verileri birleştirilerek her uydu izi için bir ortalama deniz yüzeyi oluşturulabilir. Uydular kuramsal olarak tekrarlı yörünge ve buna bağlı olarak aynı iz üzerinde hareket etmekle birlikte uygulamada iz üzerinden sapmalar olmakta ve ölçüler genel olarak tanımlanan ize uyan bir şerit şeklinde elde edilmektedir. Uydu izi boyunca DYY ve buna bağlı olarak DYT değerlerinin elde edilmesi için şerit biçimindeki ölçülerin tek bir uydu izine dönüştürülmesi ve değerlendirilmesi gereklidir.

Bu amaçla her iz üzerinde şerit şeklinde bulunan ölçüler, bu şerite en uygun büyük daire yayı hesaplanarak bu daire üzerine iz düşürülmüş ve büyük daire yayı için oluşturulan koordinat sisteminde noktaların koordinatları belirlenmiştir (Wessel and Smith, 1998). Bu işlem ile ilgili ayrıntılı bilgiler Kılıçoğlu vd (2007)'de verilmiştir. rnek olarak 3 numaralı uydu izine ilişkin büyük daire yayı ve bunun üzerine iz düşürülmüş noktalar Şekil-5.7'de gösterilmektedir.

Uydu izine en uygun büyük daire yayı üzerine tüm ölçü noktalarının iz düşürülmesinden sonra, uydu izine dik doğrultuda belirli uzaklığı (1.5 km) aşan noktalar çıkarılmış ve iz boyunca düzensiz aralıklarla elde edilen ölçülerdeki mevcut düzensizlikler ve hataların giderilerek düzgün bir ölçü grubunun elde edilmesi için ölçülere en iyi uyan bir trend ve sinyal hesaplanmıştır. Böylece l noktalarında filtreleme yapılarak uyurumlu olmayan ölçüler atılmış ve düzgün bir ölçü grubu elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra uydu izi boyunca düzenli aralıklarla ortalama deniz yüzeyi yükseklikleri hesaplanmıştır (Şekil-5.8).

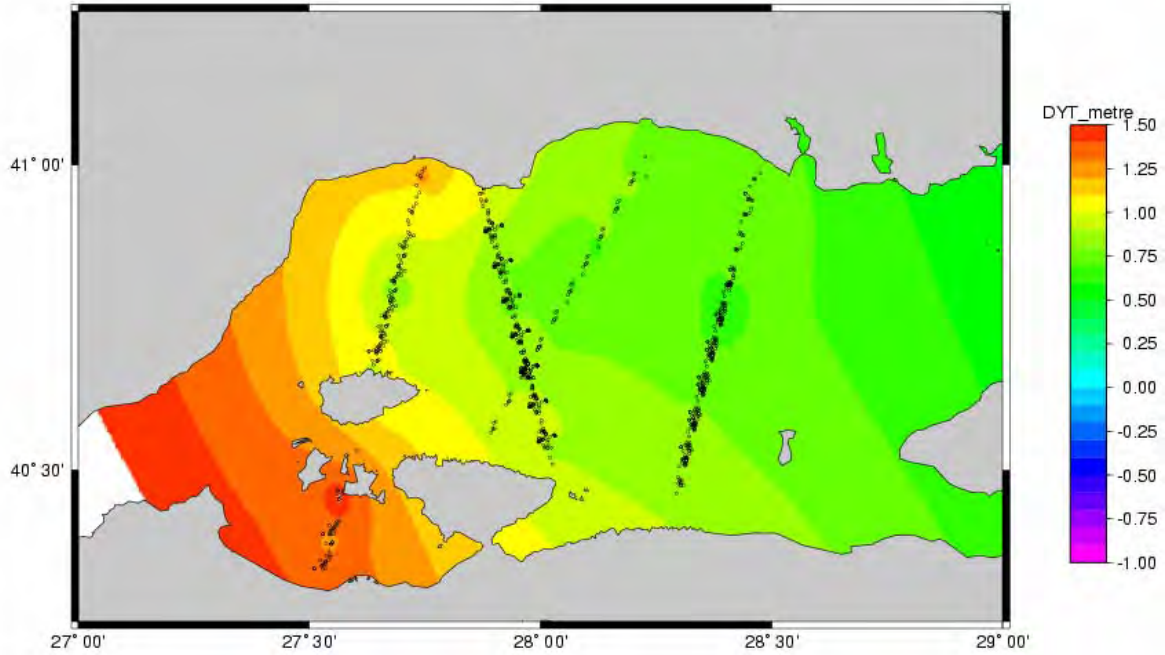


Şekil-5.7: 3 numaralı uydu izinde ölçü noktaları (Büyük daire yayına iz düşürülmüş ölçü noktaları uydu izinin yaklaşık ortasında doğrusal şekilde görülmektedir).



Şekil-5.8: İzdüşüm yatay koordinat sistemine dönüştürülmüş 1 numaralı uydu izine ait ölçülerinin büyük daire yayı boyunca kesiti (yaklaşık 80 km)

Uydu izleri boyunca düzenlenen DYY değerlerinden Marmara denizi için hesaplanan TG-03 jeoid yükseklikleri çıkarılarak DYT değerleri elde edilmiştir. Tüm DYT değerleri Marmara denizi için gridlenmiş ve elde edilen değerler Şekil-5.9'da verilmiştir. Bunun yanı uydu izleri boyunca DYT değerlerine polinomlar uydurularak deniz yüzeyi eğimi ve Marmara denizinin kuzey ve güney kıyıları arasındaki deniz yüzeyi yükseklik farkları bulunmuştur. Uydu izleri boyunca DYT ölçülerinin filtrelenmesi sonucu tüm ölçüler ve belirli aralıklarla örneklenmesiyle Marmara Denizinin kuzey ve güney kıyısı arasındaki yükseklik farkları elde edilmiş ve sırasıyla Tablo-5.1 ve 5.2'de verilmiştir.



Şekil-5.9: Marmara deniz yüzeyi topoğrafyası (DYT) (Uydu izleri boyunca elde edilen DYT değerlerinin tüm Marmara için gridlenmesi ile oluşturulmuştur).

Tablo-5.1: Marmara Denizinde uydu izleri boyuca filtrelenmiş DYT değerlerinden hesaplanan deniz yüzeyi yükseklik farkları (m).

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
Güney (G)	1.282	1.020	0.876	0.969
Kuzey (K)	0.947	0.920	0.798	0.801
Fark=K-G	-0.335	-.100	-0.078	-0.168
Uz.(km)	75.9	52.4	60.4	57.6

Tablo-5.2: Marmara Denizinde uydu izleri boyuca filtrelenmiş DYT değerlerinin belirli aralıklarla örneklenmesi ile hesaplanan deniz yüzeyi yükseklik farkları (m).

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
Güney (G)	1.285	0.989	0.845	0.930
Kuzey (K)	1.109	0.967	0.802	0.783
Fark=K-G	-0.174	-0.022	-0.043	-.0147
Uz. (km)	75.9	52.4	60.4	57.6

Tablo-5.1 ve 5.2'de verilen değerler; tüm profillerde Marmara Denizinin kuzey kıyılarında deniz yüzeyi yüksekliğinin güney kıyılarına göre daha aşağıda olduğunu göstermektedir. Marmara Denizi kuzey ve güney kıyılarında deniz yüzeyi yükseklik değerleri için uydu izlerinden ortalama bir değer türetmek için 1 nolu uydu izindeki DYT değerinin diğer uydu izlerine nazaran belirgin olarak farklı olduğu ve bu nedenle Marmara denizi temsil etmek üzere diğer üç uydu izinin kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmiş ve 2, 3 ve 4 nolu uydu izlerinde; filtrelenmiş DYT değerleri ve bu değerlerden belirli aralıklarla örneklenen değerlerden yararlanarak kuzey kıyıların güney kıyılarına göre ortalama 7.0-11.5 cm aşağıda olduğu sonucuna varılmıştır (Kılıçoğlu vd., 2007).

6. SONUÇLAR

Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) tarafından desteklenen TUJJB-UDP03-01 proje kod numaralı “Marmara Bölgesinde deniz seviyesi değişimleri ve düşey yer kabuğu hareketlerinin araştırılması” isimli proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmaktadır.

a. Projenin ana amacı, Marmara denizinin kuzey ve güney kıyılarında (Erdek ve Marmara Ereğlisi) jeodezik ve jeolojik verilerin değerlendirilerek düşey yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, relatif ve mutlak deniz seviyesi değişimleri ile Marmara denizinde deniz yüzeyi eğiminin araştırılması olarak belirlenmiştir.

b. Marmara denizi kıyılarında sadece Erdek'te bir mareograf istasyonu bulunmaktadır. Proje kapsamında sağlanan finans desteğinin önemli bir bölümü ile Temmuz 2004'te Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu kurulmuş olup halen faal olarak işletilmektedir. Ayrıca, bu istasyon civarında oluşturulan yerel nivelman ağı ile bu ağın Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA)'na bağlantı ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Bu istasyonda Temmuz 2004-Nisan 2007 döneminde elde edilen deniz seviyesi ölçüleri değerlendirilmiştir. Diğer taraftan 1984 yılında faaliyete geçirilen Erdek mareograf istasyonu ise 2006 yılı başında arızalandığından, 1984-2005 dönemine ait deniz seviyesi ölçüleri analize tabi tutulmuştur.

Erdek mareograf istasyonu aylık ortalama deniz seviyesi ölçülerinin harmonik analizi, 1984-2005 döneminde ortalama deniz seviyesinin 7.1 ± 0.7 mm/yıl mm/yıl yükseldiğini ortaya koymaktadır. Mareograf istasyonlarında deniz seviyesi değişimleri karaya göre ölçüldüğünden, bu değer tek başına görelî deniz seviyesi hakkında bilgi taşımaktadır. Bu nedenle, mareograf istasyonu yakınında bulunan tekrarlı GPS ve sabit GPS verilerinin analiz edilerek düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi ve daha sonra Tekrarlı GPS (TGPS) ve SGPS istasyonlarını mareograf istasyonuna bağlayan geometrik nivelman geçki ölçüleriyle birleştirilerek Erdek mareograf istasyonunda mutlak deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

c. Erdek mareograf istasyonu yakınında bulunan iki farklı TGPS noktasında yapılan tekrarlı GPS ölçüleri düzenlenmiş ve standart yöntemler izlenerek yeniden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, istasyonun hemen yakınındaki noktada anlamlı bir düşey yer değiştirme bulunmazken istasyonun yaklaşık 3.7 km uzağındaki noktada -3.9 ± 0.5 mm/yıl büyüklüğünde bir çökme değeri tespit edilmiştir. Ancak GPS ölçüleri üzerinde etkili olan

periyodik ve modellendirilemeyen etkilerin düşey bileşen üzerinde önemli derece olumsuz etkisi bulunduğundan, TGPS ölçülerinin yatay bileşen üzerinde doğruluğu yüksek sonuçlar vermesine karşın, düşey yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi amacıyla uygun olmadığı ve bu nedenle TGPS ölçüleri ile elde edilen sonuçların güvenilirliğinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

ç. Düşey yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi amacıyla, Erdek ve Marmara Ereğlisi sabit GPS istasyonlarında toplanan yaklaşık olarak sırasıyla 4.5 ve 6 yıllık döneme ilişkin veriler düzenlenmiş ve Bölüm 3'te verilen standart yöntemlerle değerlendirilmiştir. SGPS istasyonlarına ait ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen günlük çözümler tüm veri dönemini içerecek şekilde uygun referans sistemi tanımlamasıyla, her güne ilişkin koordinatlar hesaplanmıştır. Özellikle zaman serisi üzerinde temel etken olan referans sisteminin belirlenmesine yönelik ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra günlük zaman serileri farklı gürültü modelleri kullanılarak En Küçük Kareler (EKK) ve En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK) yöntemleriyle analiz edilmiş ve Erdek ve Marmara Ereğlisi SGPS istasyonlarında sırasıyla -1.1 ± 0.5 mm/yıl ve -1.3 ± 0.3 mm/yıl düzeyinde çökmeyi işaret eden düşey yer kabuğu hareketleri tespit edilmiştir. Buna göre Marmara denizi kuzey ve güney kıyılarının birbirlerine göre düşey yönde anlamlı bir yer değiştirmedeği anlaşılmaktadır.

d. Erdek mareograf istasyonu yerel nivelman ağına 1986-2006 yıllarını kapsayan geometrik nivelman ölçüleri düzenlenmiş ve EKK yöntemiyle değerlendirilmesi sonucunda mareograf istasyonu asıl röper noktasında, diğer nivelman noktalarına göre belirgin bir yer değiştirme tespit edilmemiştir. Benzer şekilde Marmara Ereğlisi yerel nivelman ağına 2004-2006 yılları arasındaki üç epok ölçününün analizi sonucunda da herhangi bir düşey yer değiştirme belirlenmemiştir.

e. Erdek mareograf istasyonunda deniz seviyesi ölçülerinin, SGPS ve geometrik nivelman ölçüleriyle birleştirilmesi sonucu 6.0 ± 0.9 mm/yıl büyüklüğünde mutlak deniz seviyesi değişimi elde edilmiştir. Bu değer Simav vd (2007)'de uydu altimetre verilerinden Marmara'da elde edilen deniz seviyesi değişimlerinden hesaplanan ortalama değer (6 mm/yıl) ile uyum göstermektedir. Bu değer global deniz seviyesi artış hızından yüksek olup, bunun 1990 yıllardaki dünya genelinde artan deniz seviyesi yükselmesi ile tutarlı olduğu ve büyük ölçüde deniz suyu sıcaklığı artışından kaynaklandığı değerlendirilmiş olup, oşinografik ve hidrolojik verilerin ODS değişimleri üzerindeki etkilerinin ayrıca incelenmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Marmara Ereğlisi mareograf istasyonundaki mevcut veri uzunluğu (30 ay) kısa olduğundan bu verilerin harmonik analizi ile ortalama deniz seviyesi belirlenmiştir. Diğer taraftan bazı aylarda istasyon arızasından kaynaklanan veri boşlukları vardır. Aylık ortalama deniz seviyesi veri uzunluğunun yeterli olmaması nedeniyle ODS'nin uzun dönemli değişimi ile ilgili güvenilir bilgi türetilmemiştir.

f. Proje kapsamında Marmara bölgesinde mevcut yaklaşık 10 yıllık ERS-1, ERS-2 ve Topex/Poseidon DYY ölçüleri değerlendirilmiştir. Öncelikle dört adet uydu izleri boyunca ölçüler düzenlenmiş ve bir dizi ön işlemde geçirilerek uydu izleri boyunca ortalama deniz yüzeyi yükseklikleri (DYY) ve deniz yüzeyi topoğrafyası (DYT) değerleri hesaplanmıştır.

Uydu izleri boyunca düzenlenen DYY ve DYT değerleri incelenerek Marmara Denizinin güney ve kuzey kıyıları arasındaki deniz yüzeyi yüksekliği farkı ile deniz yüzeyi eğimi de incelenmiştir. Tüm profillerde Marmara Denizinin kuzey kıyılarında deniz yüzeyi yüksekliğinin güney kıyılarına göre daha aşağıda olduğu belirlenmiştir. Marmara Denizi kuzey ve güney kıyılarında ortalama deniz yüzeyi yükseklik değerleri için kuzey kıyıların güney kıyılarına göre ortalama 7.0-11.5 cm aşağıda olduğu belirlenmiştir. Uydu altimetresinin Marmara gibi kapalı ve küçük denizler ile karaya yakın kısımlarda yüksek doğruluk sağlamadığı bilinmektedir. Ancak genel eğilimin ortaya konması açısından burada elde edilen sonuçların önemli olduğu değerlendirilmektedir.

g. Diğer taraftan Marmara denizinde ortalama deniz seviyesinin eğimi mareograf ve geometrik nivelman ölçülerinden yararlanarak belirlenmiştir. Bunun için Erdek ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonları ortalama deniz seviyeleri aynı epokta (2006.0) hesaplanmış ve her iki istasyonun TUDKA datumuna bağlı aralarındaki yükseklik farkı belirlenmiştir. Bu hesaplamada Marmara'da ortalama deniz seviyelerinin kuzeyinin güneyine göre 2.5 cm aşağıda olduğu belirlenmiştir. Bu fark içerisinde ortalama deniz seviyelerinin belirlenmesindeki doğruluğun yanısıra, mareograf istasyonlarının birbirine bağlayan TUDKA geometrik nivelman ölçülerindeki sistematik hataların etkisi bulunmaktadır. Bundan başka Marmara Ereğlisi istasyonunda deniz seviyesi ölçülerinin kısa dönemli olması nedeniyle hesaplanan ODS'nin güvenilirliği düşüktür.

Mareograf istasyonu ve uydu altimetresi verilerinden elde edilen DYT değerlerinin genel anlamda uyumlu oldukları görülmektedir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasındaki farkın, uydu altimetresinin kapalı ve küçük denizlerle kıyılara yakın kısımlarda duyarlı sonuçlar vermemesi, mareograf istasyonlarındaki düşey datum farkı, düşey kontrol ağının

Anadolu ile Trakya bağlantısındaki muhtemel hatalar gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünölmektedir.

h. Erdek mareograf istasyonundaki muhtemel düşey yer değıştirmenin, istasyonun yakınındaki yerel nivelman ağındaki geometrik nivelman ölçüleri ile izlemenin yanı sıra, istasyonunun hemen güneyinde KD-GB uzanımlı Edincik fayından kaynaklanan herhangi bir yer değıştirme olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, istasyonu TUDKA'ya bağlayan ve 1986 yılında ölçölen iki farklı geçki parçasında 2006 yılında ikinci epok geometrik nivelman ölçüsü yapılmıştır. 20 yıl aralıklı yapılan iki ölçü arasında Edincik fayının güneyinin kuzeyindeki bloğa göre yaklaşık 4 cm büyüklüğünde yıllık bazda 2 mm/yıl düşey yönde düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuç, Kuzey Anadolu Fay sistemin bu bölgedeki yatay yöndeki yer değıştirmelerin yanında normal bileşenli fay karakteriyle de paralellik göstermektedir.

i. Dünyada deniz veya okyanuslara kıyısı olan çoğu gelişmiş ölkede mutlak deniz seviyesi değışimleri ve düşey yer kabuğu hareketlerinin sürekli izlemek amacıyla uygulanan mareograf, sabit GPS ve uydu altimetresi kombinasyonu, bu proje kapsamında uygulanmış ve Marmara denizinde deniz seviyesi değışimleri ve düşey tektonik aktivite konusunda bilgiler türetilmiştir.

i. Proje kapsamında bir adet Yüksek Lisans tez çalışması yaptırılmış ve iki adet ulusal yayın yapılmıştır.

(1) İmre, İ. (2005): Uydu Altimetri Tekniğı ve Marmara Denizi'ndeki Uydu Altimetre İzlerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

(2) Şanlı, D. U., A. Kılıçoğlu, İ. İmre (2005): Marmara Denizi Uydu Altimetrisi Verilerinin Analizi, TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, KTÜ, Trabzon, 22-24 Eylül.

(3) Kılıçoğlu, A., Şanlı, U., Demir, C., Yıldız, H., Cingöz, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M. (2007): Marmara Denizindeki deniz yüzeyi değışimlerinin ERS-1, ERS-2, ve Topex/Posedion uydu altimetre ölçöleriyle araştırılması. Harita Dergisi (Baskıda).

j. Projede yapılması öngörölen Erdek bölgesindeki aktif faylar ve fay taraçalarının konum ve yaşlarının araştırılması çalışmaları mali problemler nedeniyle bu konuda ayrılan kaynak kullanılmadığından gerçekleştirilememiştir.

k. Projenin tam anlamıyla başarısı için başlangıçta;

(1) Proje kapsamında Marmara Ereğlisi'ne yeni bir mareograf istasyonu kurulması ve Erdek mareograf istasyonu ile birlikte gerçek zamanlı deniz seviyesi değişimlerinin izlenmesi,

(2) Mareograf istasyonlarında elde edilen verilerin değerlendirilmesi, elde edilen sonuçların uydu altimetre ve diğer jeodezik verilerle birleştirilerek Marmara denizi kuzey ve güneyinde ortalama deniz seviyeleri eğimi ile uzun periyotlu değişimlerinin belirlenmesi,

(3) Sabit GPS istasyonu verilerinin değerlendirilerek düşey yer kabuğu hareketlerinin sürekli izlenmesi,

(4) Marmara bölgesindeki mutlak deniz seviyesi değişimleri ile deprem riskine yönelik bilgilerin elde edilmesi,

(5) Projede elde edilen sonuçların ulusal ve uluslararası bilimsel dergilerde yayınlanması,

hedeflerine ulaşılması öngörülmüş olup bu hedeflerin önemli oranda gerçekleştirildiği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Agnew D. (1992): The Time-Domain Behavior of Power-Law Noises. *Geophys. Res.Lett.*, 19, 333-336.
- Aksoy, A. (1987) : Jeodezik Değerlerin Matematik-İstatistik Testlerle İrdelenmesi. Türkiye 1nci Hrt.Bil.ve Tek.Kurultayı, 23-27 Şubat, İstanbul, 559-592.
- Aksu, E.A., Hiscott,R.N., Yaşar, D. (1999) : Oscillating Quaternary water levels of the Marmara Sea and vigorous outflow into the Aegen Sea from the Marmara Sea-Black Sea drainage corridor. *Marine Geology*. 153 275-302.
- AVISO (1996) : AVISO User Handbook, Corrected Sea Surface Heights (CORSSHs), AVI-NT-011-311-CN, Edition 2.0, Collecte Localisation Satellites, France.
- Ayhan,M.E., Demir, C. (1992): Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92). *Harita Dergisi*, sayı 109, ss: 22-44, 1992.
- Ayhan, M.E., Demirkol, Ö, Gündoğdu O. (Raportör) (1999): Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) Ulusal Deprem Programı, 27 Sayfa, Harita Genel Komutanlığı, Aralık, 1999, Ankara (www.hgk.mil.tr).
- Ayhan, M.,E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Altıner, Y., Barka, A.A., Ergintav, S., Özener, H. (2001) : Interseismic Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, *Bull. Seis. Soc. of America*, 2001.
- Ayhan, M.E., C. Demir, O. Lenk, A. Kılıçoğlu, B. Aktuğ, M.Açıkgoz, O. Fırat, Y.S. Şengün, A. Cingöz, M.A. Gürdal, A.İ. Kurt, M. Ocak, A. Türkezer, H. Yıldız, N. Bayazıt, M. Ata, Y. Çağlar, A. Özerkan (2002) : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), *Harita Dergisi*, Özel sayı 16, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Baker, T.F. (1993) : Absolute Sea Level Measurements, Climate Change and Vertical Crustal Movements, *Global and Planetary Change*, (8), pp: 149-159.
- Barka,A.A.,Kadinsky-Cade (1988) :Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7, pp.663-684.
- Barka, A. (1996): Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with large earthquakes of the period 1939 to 1967, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 86,pp.1238-1254.
- Blewitt, G., Lavallee, D. (2002): Effect of annual signals on geodetic velocity. *Journal of Geophysical Research*, 107 (B7), ETG9-1/9-11, DOI:10.1029/2001JB000570.
- Cabanes, C., A. Cazenave, and C. Le Provost (2001) : Sea level change from Topex-Poseidon altimetry for 1993-1999 and possible warming of the southern oceans, *Geophy. Res. Lett.*, 28 (1),9-12.
- Calais, E.(1999) :Continuous GPS measurements across the Western Alps, 1996-1998. *Geophysical Journal International*, 138 (1), 221-230, 1999.
- Caldwell, P. (1998) : Sea Level Data Processing Software on IBM PC Compatible Microcomputers. Version 3.0 (Year 2000 Compliant) National Oceanographic Data Center and University of Hawaii Sea Level Center, Honolulu, Hawaii.

Carter,W.E,Aubrey, D.G.,Baker,T., Boucher, C., LeProvost, C., Pugh, D., Peltier, W., Zumberge,M. Rapp, R., Schutz,B., Emery,K.,Enfield,D.(1989): Geodetic Fixing of Tide Gauge Bench Marks, in Woods Hole Oceanographic Institution, Technical Report, WHOI-89-31.

Cazenave, A. (2002): Present-day sea level change: observations from satellite altimetry and tide gauges and causes, Lecture notes, International Workshop on Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography: Summer Lecture Series and Scientific Applications, September 8-13, 2002, Wuhan, China.

Chelton, D. B., J. C. Ries, B. J. Haines, L. L. Fu, and P. S. Callahan (2001): Satellite Altimetry', Satellite Altimetry and Earth Sciences, ed. L.L. Fu and A. Cazenave, pp. 1131.

Chen, J., C. Shum, C. Vilson, D. Chambers, and B. Tapley (2000) : Seasonal sea level change from TOPEX/POSEIDON observation and thermal observation, Journal of Geodesy, 73, 638-647.

Crampin,S., Üçer (1975): The Seismicity of the Marmara Sea Region of Turkey, Geophys. J. R. Astr.Soc., No.40, pp.269-288, 1975.

Demir.C. v.d. (1999) : Pre-Earthquake GPS Velocity Field in the Marmara Sea Region. AGU Fall Meeting. EOS Transactions, Volume 80, No 46.

Demir, C. (1999) : Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)'un Dengelenmesi. HGK İç Rapor No: Jeof-99-2, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Demir, C. and Yıldız, H. (2001): Vertical crustal motion at Erdek tide gauge, poster presented in COST Action 40 European Sea Level Observing System (EOSS) Final Workshop Sea Level in Europe: Observation, Interpretation And , Exploitation, 19-21 September 2001, Dubrovnik, Croatia. 2001.

Demir, C. ve Cingöz, A. (2002): Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA-99). Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2002 yılı Bilimsel Toplantısı. Tektonik ve Jeodezik Ağlar. Çalıştay Kitabı.10-12 Ekim İznik. 139-153.

Demir,C., Yıldız,H. (2002): Erdek Mareograf istasyonu ve Çevresinde Tekrarlı GPS ve diğer Jeodezik Ölçüler Kullanılarak Düşey Yer Kabuğu.Hareketlerinin Araştırılması. Harita Dergisi No.127.

Dong.D., Fang, P., Bock, Y., Cheng, M.K., Miyazaki,S. (2002) Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series. J.Geophy.Res.vol.107,No.B4, 10.1029.

Douglas, B.C.(1997): Global Sea Level Rise: A Redetermination, Surveys in Geophysics 18: 279-292.

Emery, K.O. and Aubrey, D.G.(1991) : Sea Levels, Land Levels and Tide Guges, Springer, Newyork, 273 pp.

Eyidoğan,H. (1988): Rates of crustal deformation in western Turkey as deduced from major earthquakes, Tectonophysics, 148 (83-92).

Foreman, M.G.G. and Neufeld, E.T. (1991): Harmonic Tidal Analyses of Long Time Series", International Hydrographic Review, Monaco LXVIII(1), pp: 85-109.

Graff, J., Karunaratne (1980): A. Accurate Reduction of Sea Level Records, Int. Hyd. Review, LVII (2).

Gürdal, M.A. (1998) : Deniz Seviyesi Ölçmeleri ve Harita Genel Komutanlığınca İşletilen Mareograf İstasyonları”, Harita Dergisi, No: 119, pp. 1-14.

Herring, T. A., Springer, T. (2002): Current state of IGS analysis: Quality assessment. IGS Central Bureau (Ed.), IGS Technical Report 2000. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, pp. 51–59, 2002.

Herring, T.A. (2003): GAMIT/GLOBK Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program, Version 5.08, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Heslop, D., Dekkers, M.J. (2002): Spectral analysis of unevenly spaced climatic time series using CLEAN: signal recovery and derivation of significance levels using a Monte Carlo simulation, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 130, 103–116.

IOC (2000): Manual On Sea Level Measurement and Interpretation: Reappraisals and Recommen. as of the Year 2000, Manual and Guides UNESCO, IOC, Paris 14(3), 57 pp.

İmre, İ. (2005): Uydu Altimetri Tekniği ve Marmara Denizi’ndeki Uydu Altimetre İzlerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ketin, I. (1969). On the North Anatolian Fault, Mineral Research Institute Pub., 72, 1-26. (In Turkish).

Kılıçoğlu, A., A.Aksoy (1999) : Horizontal Crustal Motion in the Marmara Sea from repeated Global Positioning System (GPS) measurements. Pp: 813-823.

Kılıçoğlu, A. (1999) : İTÜ-ETHZ-TUJJB Marmara projesinde değişik zamanlarda ölçülen GPS kampanyalarının birleştirilmesi ve yer kabuğu hareketleri açısından analizi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kılıçoğlu, A. (2002): Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi – 1999 (TG-99A), Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı Bildiri Kitabı, s.153-166.

Kılıçoğlu, A., O. Fırat, C. Demir (2005): Yeni Türkiye Jeoidinin (TG-03) hesabında kullanılan ölçüler ve yöntemler. TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, KTÜ, Trabzon, 22-24 Eylül.

Kılıçoğlu, A., Şanlı, U., Demir, C., Yıldız, H., Cingöz, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M. (2007) : Marmara Denizindeki deniz yüzeyi değişimlerinin ERS-1, ERS-2, ve Topex/Posedion uydu altimetre ölçüleriyle araştırılması. Harita Dergisi (Baskıda).

Kierulf, H. P., Plag, H. P., Bingley, R. M., Teferle, N., Demir, C., Cingoz, A., Yıldız, H., Garate, J., Davila, J. M., Silva, C. G., Zdunek, R., Jaworski, L., Martinez-Benjamin, J. J., Orus, P., & Aragon, A., 2007. Comparison of GPS analysis strategies for high-accuracy vertical land motion, Physics and Chemistry of the Earth, In Press, Accepted Manuscript, doi:10.1016/j.pce.2006.11.003.

King R.W., Y.Bock, (2003) : Documentation for the GAMIT analysis software release V.10.1 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Knudsen, P. (1992) : Altimetry for Geodesy and Oceanography, Lecture Notes, NKG Autumn School in Helsinki, September 7-13.

Koch, H.R. (1983) : Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models. Springer-Verlag.

Koçyiğit, A. (2007) : Kişisel görüşme.

Lemoine, F. G., S. C. Kenyon, J. K. Factor, R. G. Trimmer, N. K. Pavlis, D. S. Chinn, C. M. Cox, S. M. Klosko, S. B. Luthcke, M. H. Torrence, Y. M. Wang, R. G. Williamson, E. C. Pavlis, R. H. Rapp, and T. R. Olson (1998): The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96, National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

Mao, A., Harrison, C. G. A., Dixon, T. H., 1999. Noise in GPS coordinate time series. Journal of Geophysical Research 104 (B2), 2797–2818.

MATLAB Users' Guide, The Mathworks, 2003.

Mitchum, G.T. (2000) : An Improved Calibration of Satellite Altimetric Heights Using Tide Gauge Sea Levels with Adjustment for Land Motion, Marine Geodesy, 23, 145-166.

Nakiboğlu M. ve Demir C., 2002. Dengeleme Hesabı Cilt I,Cilt II, Harita Genel Komutanlığı, Harita Yüksek Teknik Okulu Komutanlığı, Ankara.

Nerem, R.S., B.J. Haines, J. Hendricks, J.F. Minster, G.T. Mitchum, and W.B. White (1997): Improved determination of global mean sea level variations using TOPEX/POSEIDON altimeter data, Geophys. Res. Lett., 24 (11), 1331-1334.

Nerem, R.S., and G.T. Mitchum (2000) : Observations of Sea Level Change from Satellite Altimetry, in Sea Level Rise: History and Consequences, edited by B.C. Douglas, M.S. Kearney, and S.P. Leatherman, pp. 121-163, Academic Press.

Poutanen, M., Koivula, H., Ollikainen, M. (2110): On the periodicity of GPS time series, Proceedings of the IAG 2001 Scientific Assembly, Vistas for Geodesy in the New Millennium. Budapest, Hungary, 2-7, p.4. September, 2001.

Pugh, D.T. (1987) : Tides, Surges and Mean Sea Level, John Wiley and Sons Ltd. Wiley, Chichester, 472 pp.

Rossiter, J.R. (1967): An Analysis of Annual Sea Level Variations in European Waters. Geophys.J.R.astr.Soc. 12, 259-299.

Sandwell, D.T. and W.H.F. Smith (1997): Marine gravity anomaly from Geosat and ERS1 satellite altimetry. J. Geophys.Res., Vol. 102(B5), 10039-10054.

Sandwell, D.T (1990): Geophysical applications of satellite altimetry. Rev. Geophys., Vol.29, Part 1, Suppl. S., 132-137.

Shum, C., C. Huang, D. Martin, M. Parke, W. Scherer, P. Woodworth (1999) : Combining GPS, tide gauge and radar altimetry in the determination of mean sea level variations, GPS99 meeting, Tsukuba, Japan.

Shum, C., C. Zhao, Y. Yi, C. Reigber, A. Braun, T. Scheone, D. Wolf, P. Woodworth (2000) :

Determination and characterization of global mean sea level change. ERS-ENVISAT Symposium, Gothenbury, Sweden.

Simav, Ö., Demir,C., Simav,M., Yıldız, H. (2006) : Sabit GPS Koordinat Zaman Serilerinin Analizi. Harita Dergisi, sayı 136,1-15.

Simav, M., (2007) : Doğu Akdeniz’de Uydu Altimetre Verileri ile Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, İstanbul.

Simav, M., Yıldız, H., Arslan, E. (2007): Doğu Akdeniz’de Uydu Altimetre Verileri ile Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, Harita Dergisi, (İncelemede).

Smith, W.H.F. (1998): Seafloor tectonic fabric from satellite altimetry. Annu. Rev. Earth Planet Sci., Vol.26, 697-738.

Straub, C.(1996): Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, N.W. Anotolia, inferred from GPS Measurements, Ph.D. Thesis, Institute for Geodesy and Photogrammetry (ETH), Zürich, 1996.

Şanlı, D.U. (1999) : GPS Strategies for Tide Gauge Monitoring with Assessment of Sea Level Analysis Models, Ph. D. Thesis, Department of Geomatics , University of Newcastle upon Tyne, 1999.

Şanlı, D. U., A. Kılıçoğlu, İ. İmre (2005): Marmara Denizi Uydu Altimetrisi Verilerinin Analizi, TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, KTÜ, Trabzon, 22-24 Eylül

Taymaz, T., Jackson,J., D.McKenzie (1991): Active Tectonics of the north and central Aegean Sea, Geophys. J.Int. No.106, pp. 433-490, 1991.

Tziavos, I.N., M. Sideris, G.S. Vergos, V.N. Grigoriadis, V.D. Andrisantos (2006): An overview of spectral methods for the optimal processing of satellite altimetry and other data. 15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Venice, Italy, 13-18 March.

Vanicek, P. and E.J.Krakiwsky (1986) : Geodesy: The Concept. North Holland Pub.

Vigo I., Garcia, D., Chao, B.F. (2005) : Change of sea level trend in the Mediterranean and Black seas, *Journal of Marine Research*, 63, 1085-1100.

Wdowinski, S., Bock, Y., Zhang, J., Fang, P., Genrich, J.(1997): Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Spatial filtering of daily positions for estimating coseismic and postseismic displacements induced by the 1992 Landers earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 102 (B8), 18057–18070.

Williams, S.D.P.(2003): The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series, *Journal of Geodesy*, 76, 483-494.

Williams, S.D.P., F.N.,Teferle, (2003): ESEAS CGPS Coordinate Time Series Analysis Strategy, May 13, 11 pages.

Williams, S.D.P.,Y.Bock, P.Fang, P.Jamason, R.M.Nikolaidis, L.Prawirodirdjo, M.Miller and D.J.Johnson (2004): Error analysis of continuous GPS position time series, *Journal of Geophysical Research*, 109, B03412, doi:10.1029/2003JB002741.

Wessel, P., and W. H.F.Smith (1998): New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, vol. 79 (47), pp. 579.

Woodworth, P.L. (1987) : Trends in U.K. Mean Sea Level. Marine Geodesy. Vol. 11, pp.57-87.

Yıldız, H., Demir, C. (2002) : Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, 10-12 Ekim, İznik,Bursa, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı.Bildiriler ve Konuşma Tutanakları Kitabı, 109-121.

Yıldız, H., Demir, C., Gürdal, M. A., Akabalı, O. A., Demirkol, E. Ö., Ayhan, M. E., ve Türkoğlu, Y. (2003): Antalya-II, Bodrum-II, Erdek ve Menteş mareograf istasyonlarına ait 1984-2002 yılları deniz seviyesi ve jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi. Harita Dergisi Özel Sayı 17, 1-75.

Yıldız, H., Simav, M., Cingöz, A., Kahveci, M., (2006) . 1984-2005 Dönemindeki Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) Mareograf (Mar) ve Jeodezik Verilerinin (Deniz Seviyesi, Mar-GPS, Mar-Sabit GPS (SGPS) ve Tekrarlı Duyarlı Geometrik Nivelman) Analizi, *Teknik Rapor*, JEOFNİV-01-2006, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

Yıldız, H. vd. (2007) : Türkiye kıyılarında ortalama deniz seviyesi değişimlerinin mareograf, meteorolojik ve jeodezik verilerin analizi ile araştırılması, Harita Dergisi (İncelemede).

Zhang,J., Bock, Y., Johnson, H.,Fang, P., Williams, S., Genrich, J., Wdowinski, S., Behr, J., (1997):. Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Spatial filtering of daily positions for estimating coseismic and postseismic displacements induced by the 1992 Landers earthquake. Journal of Geophysical Research 102 (B8), 18057–18070.