

**MARMARA DENİZİNDEKİ DENİZ YÜZEYİ YÜKSEKLİK DEĞİŞİMLERİNİN  
ERS-1, ERS-2 VE TOPEX/POSEIDON UYDU ALTIMETRE ÖLÇÜLERİYLE  
ARAŞTIRILMASI**  
(INVESTIGATION OF SEA LEVEL VARIATIONS IN MARMARA SEA BY MEANS OF  
ERS-1, ERS-2 AND TOPEX/POSEIDON SATELLITE ALTIMETRY  
OBSERVATIONS)

**Ali KILIÇOĞLU<sup>1</sup>, Uğur ŞANLI<sup>2</sup>, Coşkun DEMİR<sup>1</sup>, Hasan YILDIZ<sup>1</sup>,  
Ayhan CİNGÖZ<sup>1</sup>, Bahadır AKTUG<sup>1</sup>, Mehmet AÇIKGÖZ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Harita Genel Komutanlığı, Ankara

<sup>2</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul  
ali.kilicoglu@hgk.mil.tr

## **ÖZET**

Özellikle son 15 yılda altimetre uydularından elde edilen deniz yüzeyi yüksekliği ölçülerinin kullanıcılarla sunulmasıyla deniz yüzeyinin izlenmesi ve yer bilimlerinde çok çeşitli çalışmaların yapılması olanağı sağlanmıştır. Bu çalışmada; Marmara Denizinde ERS-1, ERS-2 ve TOPEX/POSEIDON uydu altimetre ölçülerini kullanılarak uydu izleri boyunca deniz yüzeyi yükseklik değerleri, deniz yüzeyi eğimi ve Marmara Denizinin kuzey ve güney kıyıları arasındaki deniz yüzeyi yükseklik farkı incelenmiştir. Uydu izleri boyunca iki farklı veri grubu ile yapılan hesaplamalar sonucunda Marmara Denizinin kuzey kıyısında deniz yüzeyi yüksekliğinin güney kıyısına göre ortalama olarak 7.1 -11.5 cm aşağıda olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelime:** Uydu altimetresi, deniz yüzeyi yüksekliği, ERS, TOPEX/POSEIDON, Marmara Denizi

## **ABSTRACT**

As the altimetry satellites have been launched and Sea Surface Height (SSH) observations have been made available to the user community within the last 15 years especially, monitoring the oceans and various geoscience applications have been achieved by the scientists. In this study; sea level, sea slope and sea level difference between the north and the south coast of the Marmara Sea have been investigated along satellite tracks by making use of ERS-1, ERS-2 and TOPEX/POSEIDON satellite altimetry observations. Computations along satellite tracks showed that the sea level in the north of the Marmara Sea is 7.1 -11.5 cm lower than the sea level in the south.

**Key Words:** Satellite altimetry, Sea Surface Height, ERS, TOPEX/POSEIDON, Marmara Sea

## **1. GİRİŞ**

Altimetri yükseklik ölçme amacıyla kullanılan bir tekniktir. Altimetrelerin uydularda yerleştirilmesiyle okyanusların izlenmesi sağlanmış, bu sayede yerbilimlerinin perspektifi büyük ölçüde değişmiş ve global araştırmaların yapılması olanaklı hale gelmiştir. Günümüzde uydu altimetresi ile elde edilen veriler yüzyıllardır gemilerle

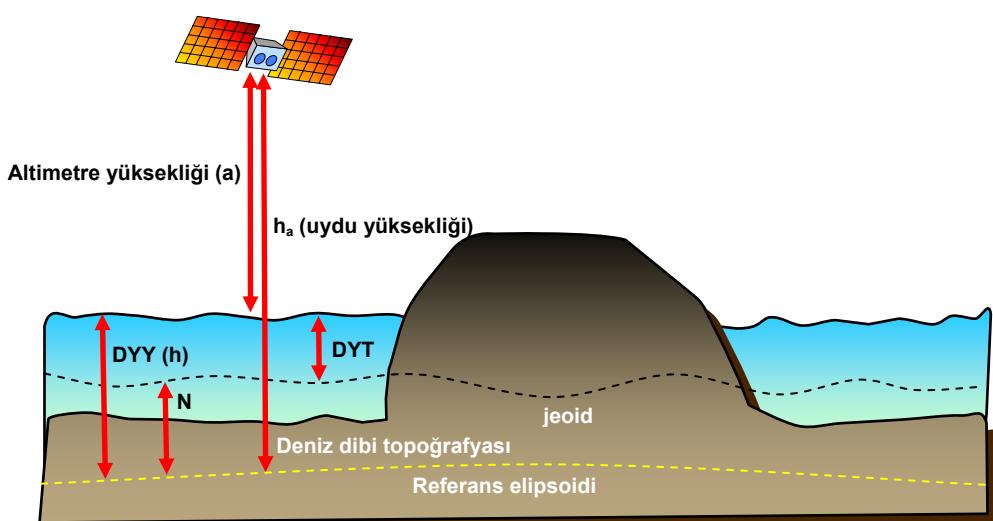
toplanoandan daha fazladır. Uydu altimetresi ile toplanan veriler duyarlılık ve doğruluk açısından da klasik yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır (Cazenave, 2002).

Uydu altimetresi 1970'li yıllarda Skylab ve Geos3 uyduları ile ABD tarafından başlatılmış, 1978 yılında Seasat ve 1985 yılında Geosat uyduları devreye sokulmuştur. 1990'lı yıllarda uydu altimetresi yaygınlaşmaya başlamış; ERS1 (1991–1996), Topex/Poseidon (T/P) (1992–2006), ERS2 (1995– ) ve Geosat-Follow-On (GFO) (1998– ) uyduları fırlatılmıştır. Daha sonra ERS2'nin yerini Envisat (2002– ) ve T/P'nin yerini Jason-1 (2001– ) uyduları almıştır. Gelecek yıllarda mevcut uydu sistemlerinin devamı olarak yeni sistemler planlanmıştır. Bunlar arasında Jason-2 (2008), Cryosat (2005 – uydu yörüngeye yerleştirilemedi), Altika, Wittex, GPS altimetresi (2010), Npoess (2008) sayılabilir (Andersen, 2002; İmre, 2005; Kılıçoğlu, 2005a, 2005b; Scharroo vd., 2006, Stewart, 2006). 1990'lı yıllardan sonra kullanılan uydu sistemleri hakkında kısa bilgiler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Uydu altimetre sistemleri.

Uydu sistemi	Üretici	Yükseklik	Aynı noktadan geçiş zaman aralığı	Yeryüzünde iki geçiş arasındaki açıklık
ERS1 (1991 - 1996)	Avrupa Uzay Ajansı (ESA)	800 km	35 gün	80 km
ERS2 (1995 - )				
Envisat (2002 - )				
T/P (1992 – 2006 )	Fransa / ABD	1330 km	10 gün	315 km
Jason-1 (2001 - )				
GFO (1998 - )	ABD	880 km	17 gün	165 km

Altimetre ölçmeleri, yere yakın bir yörüngede ve düzenli aralıklarla aynı yeryüzü noktaları üzerinde hareket eden uydular tarafından yapılır. Altimetre genellikle uydunun yere bakan kesimine yerleştirilmiş bir radar aletidir ve düşey yönde yüksek frekanslı (genellikle 1700 pulse/sn) bir sinyal gönderir. Uydu altimetre ölçmesi, uydu anteninden gönderilen radar (pulse) sinyalinin atmosfer içinde yol alarak deniz yüzeyine çarpar uydu alıcısına geri dönmesi arasında geçen zamanın ölçülmesine dayanır (Cazenave, 2002; Chelton vd., 2001).



Şekil 1. Uydu altimetresi prensibi (AVISO, 1996).

Uydu altimetresinin temel çalışma prensibi Şekil 1'de gösterilmektedir. Basit olarak altimetre ile ölçülen uzaklık ( $a$ ), uyduunun elipsoid yüksekliği ( $h_a$ ) ile birleştirilerek deniz yüzeyi yüksekliği ( $h$ );

$$h = h_a - a \quad (1)$$

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

Rüzgar, akıntı, gel-git vb. etkilerden arındırılmış deniz yüzeyi yüksekliği (DYY), jeoid yüzeyine çok yakın bir yüzey tanımlamaktadır. Bu nedenle yeryuvarının gravite alanına, deniz altında yerkabuğundaki büyük kitle ve yoğunluk farklarına duyarlıdır. Deniz yüzeyi ile jeoid arasında genellikle okyanus akıntıları, rüzgar, gel-git ve mevsimsel etkilerden kaynaklanan bir dinamik fark Deniz Yüzeyi Topografyası (DYT) olarak adlandırılmaktadır. DYT okyanuslarda genellikle 1 m düzeyindedir ve belirlenebilmesi için jeodin yeterli duyarlılık bilinmesi gereklidir (Vanicek ve Krakwisky, 1986; Andersen, 2002; AVISO, 1996; Benada, 1997; Bosch, 2002).

Uydu altimetresi ile ölçülen deniz yüzeyi yükseklik değerleri çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Özellikle küresel isınma nedeniyle buzulların erimesi ve deniz yüzeyinin yükselişi yerbilimlerinin denizlere olan ilgisini artırmıştır. Bu amaçla uydu altimetre ölçülerini yerbilimcilerin kullanabilmesi sağlanmıştır. AVISO/Altimetry (Fransa) tarafından sağlanan söz konusu ölçülere internet üzerinden (<http://www.aviso.cnes.fr>) erişilebilmektedir. Uydu altimetre ölçülerini öncelikle değerlendirmek DYY elde edilmektedir. Mevcut DYY ölçülerini uydu izleri boyunca gerçekleştirilen bir dizi işlemen sonra çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Özellikle yer gravite alanının belirlenmesinde, deniz yüzeyi yükseklik değişimlerinin izlenmesinde, akıntıların ve deniz yüzeyi eğiminin belirlenmesinde, fırtınaların izlenmesinde ve birçok jeodinamik, atmosferik ve ośinografik uygulamada kullanılmaktadır.

Uydu altimetresinin, son onbeş yıldır, denizler ve okyanuslarının izlenmesinde kullanılmamasına karşın, okyanus ve deniz kıyılara kurulmuş mareograf istasyonlarında yüzyılı aşkın bir süredir deniz seviyesi ölçmeleri yapılmaktadır. Mareograf ölçüler, jeodezide uzun yıllar düşey datum olarak kullanılan ortalama deniz seviyesinin belirlenmesinde ve uzun dönemli deniz seviyesi araştırmalarında temel veri olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, özellikle kıyılarda uygun sonuç vermeyen uydu altimetrelerinin kalibrasyonu ve tamamlayıcısı olarak önem taşımaktadır. Mareograf ölçüler ile ancak sınırlı bölgelerde ve deniz seviyesi değişimleri belirlenmesine karşın ulaşılan doğruluk uydu altimetrelerine göre daha yüksektir. Ancak mareograflar ile görelî deniz seviyesi değişimleri belirlenebilmekte olup, mutlak deniz seviyesi değişimleri için modern jeodezik yöntemlerin birlikte kullanılması önerilmektedir (Carter, 1989; Baker, 1993).

Mareograf istasyonu deniz seviyesi ölçülerini üzerinde özellikle uzun dönemli en önemli etkenin düşey yerkabuğu hareketleri olduğu ifade edilebilir. Ancak son yıllarda önemli gelişme gösteren Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) ile mareograf istasyonlarının yermerkezli global bir jeodezik referans sistemindeki konumları ve

konum değişiklikleri yüksek duyarlılıkla belirlenebilmektedir (Şanlı, 1999; Şanlı ve Blewitt 2001, Yıldız 2005; Bouin vd., 2006). Böylece, deniz seviyesi ölçülerinin tektonik etkiler nedeniyle düzeltilmesi ve bir elipsoide göre tanımlanması, diğer bir deyişle mareograf istasyonlarında mutlak DYY verilerinin elde edilmesi olanaklı olmuştur.

Türkiye'de deniz seviyesi izleme çalışmaları 1935 yılında Antalya mareograf istasyonunun kurulması ile başlatılmıştır. Sonraki yıllarda ülkenin değişik kıyılarda mareograf istasyonları faaliyete geçirilmiştir. Marmara Denizi kıyılarında ilk mareograf istasyonu güney kıyı üzerinde Erdek'te 1985 yılında kurulmuş ve şamandıralı tipteki analog sistemi 1998 yılında akustik tipte sayısal ölçüm cihazı ile değiştirilmiştir. Marmara Denizi kuzey kıyısında Marmara Ereğlisi'ndeki mareograf istasyonu ise benzer akustik ve sayısal ölçüm cihazı ile 2004 yılında faaliyete geçirilmiştir.

Bu çalışmada Marmara Denizinde mevcut uydu altimetre ölçüleri uydu izleri boyunca değerlendirilerek Marmara Denizinin güney ve kuzey kıyıları arasındaki deniz yüzeyi farkı ve uydu izleri boyunca DYT ve ODY belirlenmiştir. Bu çalışmada hesaplamalarda ve tüm gösterimlerde Generic Mapping Tools (GMT) yazılım paketi (Wessel ve Smith, 1998 ) kullanılmıştır.

İkinci bölümde uydu altimetre ölçülerinin uydu izleri boyunca değerlendirilmesi, üçüncü bölümde Marmara Denizinde sayısal uygulamalar ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar verilmektedir.

## 2. UYDU İZİ BOYUNCA DYY ÖLÇÜLERİİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilmesiyle elde edilen düzeltilmiş deniz yüzeyi yükseklik (CorDYY) değerleri jeoide yakın ( $+/- 1\text{m}$ ) bir yüzey oluşturmaktır ve bu nedenle yer gravite alanının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Andersen, 2002; Andersen vd., 1998; Andersen vd., 2006; Kılıçoğlu, 2005a). Bölgede duyarlı bir jeoid modelinin bilinmesi durumunda deniz yüzeyi topoğrafyası (DYT), deniz yüzeyi yüksekliği (DYY) ile jeoid yüksekliği (N) arasındaki fark alınarak elde edilmektedir. Deniz yüzeyi yükseklikleri nokta konumu ile birlikte ölçü zamanı da belirli olacak şekilde kaydedilmekte ve buna göre aylık, mevsimsel veya yıllık deniz yüzeyi yüksekliği değişimleri de incelenmektedir. Bunun yanı sıra birçok jeofizik ve jeodinamik çalışmalar da uydu altimetre ölçülerinden faydalananarak gerçekleştirilmektedir (Cazenave, 2002; Andersen vd., 2006; Tziavos vd., 2006; Sandwell and Smith, 1997; Sandwell, 1990; Smith, 1998).

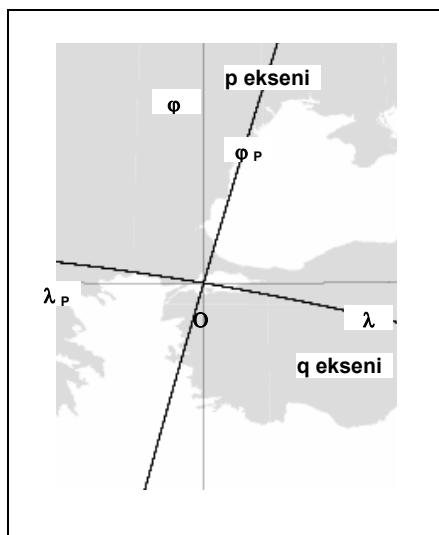
Her bir uydu izi üzerinde bir saniye aralıklarla (yaklaşık 5.6 km) ölçü kaydedilmektedir. Ayrıca uygunun aynı noktadan yaklaşık 10/35 günde bir geçtiği düşünüldüğünde her iz üzerinde oldukça fazla miktarda ölçü bulunmaktadır. Bu ölçüler, rasgele hatalarla yüklü oldukları varsayımlı ile birleştirilerek her uydu izi için bir ortalama deniz yüzeyi oluşturulabilmektedir. Bu durumda elde edilecek deniz yüzeyi uydu izi boyunca oldukça duyarlı olacaktır. Uydular kuramsal olarak tekrarlı yörunge 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, değerlendirilmesi ve istatistik yöntemlerle incelenmesi gereklidir.

Bu amaçla öncelikle her DYY ölçüsüne ait bilinen coğrafi koordinatlar (enlem, boylam) kartezyen dik koordinatlara dönüştürülür. Uydu izi boyunca mevcut nokta koordinatlarının ortalaması ve şerit halindeki uydu izi noktalarına en uygun büyük daire yayının kutup koordinatları hesaplanır. Bir büyük daire yayının herhangi bir noktasının koordinatı ve kutup noktası belirli iken büyük daire yayı üzerindeki nokta koordinatları belirlenebilir. Böylece şerit biçimindeki uydu izi altimetre ölçüleri için büyük daire yayı üzerindeki noktalarla uygun bir iz belirlenmiş olur (Wessel and Smith, 1998). Şerit üzerindeki her ölçü noktası büyük daire yayına dik izdüşürülerek büyük daire yayı için oluşturulan koordinat sisteminde koordinatları belirlenebilir. Bu amaçla ölçü noktası koordinatlarının verildiği coğrafi koordinat sistemine ( $\lambda, \varphi$ ) ek olarak yerin küre olarak kabul edildiği aşağıda açıklanan iki koordinat sistemi tanımlanmaktadır.

#### a. İzdüşüm küresel koordinat sistemi ( $\lambda^P, \varphi^P$ )

Bu koordinat sistemi, küresel jeodezik koordinat sistemine benzer şekilde oluşturulmaktadır. Burada uydu izine en iyi uyan büyük daire yayı ekvator kabul edilerek buna ilişkin kutup yardımıyla bir coğrafi koordinat sistemi tanımlanır. Benzer şekilde; küre yüzeyinde ölçü noktasının ekvatorдан uzaklığını enlem ( $\varphi^P$ ) ve ölçülerle sınırlanan uydu izinin ortasından geçen başlangıç meridyeninden uzaklığını boylam ( $\lambda^P$ ) kabul edilmektedir (Şekil 2). İki jeodezik koordinat sistemi arasında dönüşüm yapılarak her bir ölçü noktasının enlem ve boyamının uydu izini temsil eden en uygun büyük daire yayı üzerindeki izdüşümleri bulunur.



Şekil 2. Uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilmesinde kullanılan koordinat sistemleri:  $(\lambda, \varphi)$ , jeodezik koordinat sistemi;  $(\lambda^P, \varphi^P)$ , izdüşüm küresel koordinat sistemi;  $(p, q)$ , izdüşüm yatay koordinat sistemi.

## b. İzdüşüm yatay koordinat sistemi (p,q)

Başlangıcı uydu izinin orta noktası olan, p ekseni büyük daire yayı boyunca uzanan ve q ekseni başlangıç noktasında büyük daire yayını dik kesen bir dik koordinat sistemidir (Şekil 2). Bu koordinat sistemi düzlem olarak kabul edilebilir. İzdüşüm küresel koordinat sisteminin ekvatoru boyunca  $p=0$ , uydu izi ile çıkışık büyük daire boyunca  $q=0$  ve uydu izinin orta noktasında  $p=q=0$  olur. Uydu izine dik doğrultuda belirli uzaklığı aşan (uygulamada 1.5 km seçilmiştir) noktalar uydu izini yeterince temsil etmediği düşüncesiyle hesaplama dışı bırakılabilir.

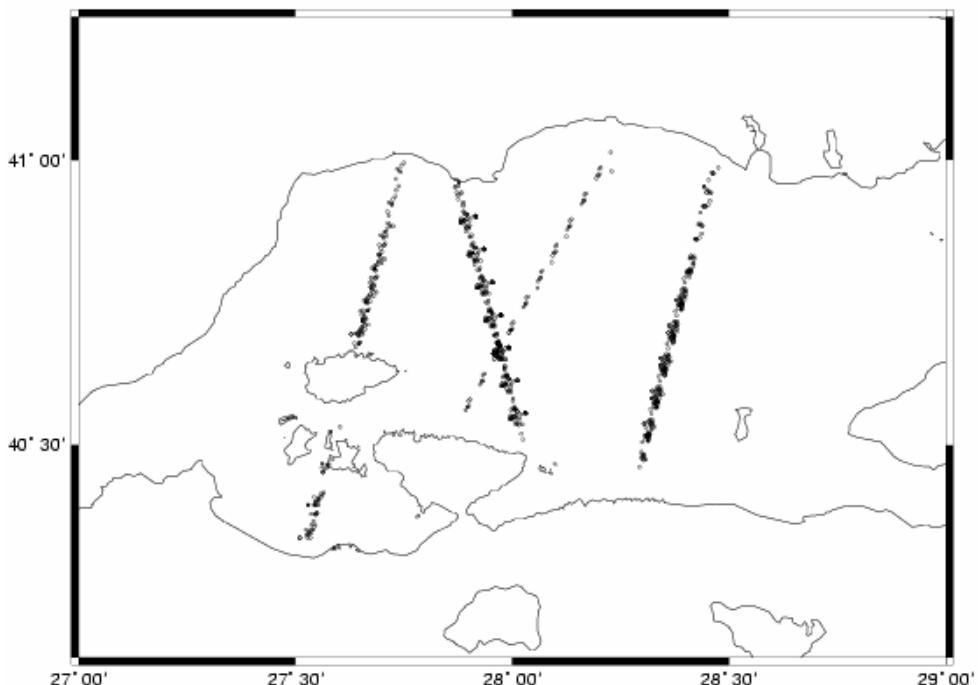
Uydu izine en uygun büyük daire yayının belirlenmesi ve şerit biçimindeki tüm ölçülerin yay üzerine iz düşürülmesinden sonra; uydu izi boyunca düzensiz aralıklarla ölçüler elde edilir. Uydu izine dik doğrultuda belirli uzaklığı aşan noktalar çıkarılmış olsa bile DYY ölçülerinin p ekseni doğrultusundaki değişimi bilinmediğinden tüm ölçü noktaları sanki büyük daire yayı üzerindeymiş gibi kabul edilmektedir. Bu nedenle ölçülerdeki mevcut düzensizliklerin (örneğin aynı nokta için birden fazla DYY değerinin olması vb.) ve hataların giderilmesi ve düzgün bir ölçü grubunun elde edilmesi için ölçülere en iyi uyan bir trend ve sinyal hesaplanabilir. Böylece ölçü noktalarında prediksiyon ve filtreleme yapılarak uyuşumlu olmayan ölçüler atılır ve düzgün bir ölçü grubu elde edilir. Burada 1 saniye aralıklarla ölçü kaydedildiği göz önünde bulundurularak uygun filtreleme yöntemleri uygulanmalıdır. Bu aşamadan sonra gerektiği durumlarda uydu izi boyunca düzenli aralıklarla ortalama deniz yüzeyi yükseklikleri de hesaplanır.

Uydu izlerinde DYY veya DYT kullanılarak ortalama yüzey hesaplandıktan sonra tüm uydu izlerindeki ölçüler birlikte çapraz geçiş dengelemesi ile birbirleriyle uyumlu hale getirilebilir. Bu aşamada uydu izleri boyunca elde edilen filtrelenmiş ölçülerin (DYY veya DYT) kullanıldığı uygun algoritmalarla kareler ağı oluşturularak tüm çalışma bölgesi için ortalama deniz yüzeyi (ODY) ve ortalama deniz yüzeyi topografyası (ODYT) belirlenebilir (Smith ve Wessel, 1990).

## 3. MARMARA DENİZİNDE SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada Şekil 3'te gösterilen dört uydu izi üzerinde 1992–2003 yılları arasında gerçekleştirilen ERS-1, ERS-2 ve Topex/Poseidon uydu altimetre ölçülerini düzenlenmiş, değerlendirilmiş ve Marmara'da ortalama deniz yüzeyi oluşturulmuştur.

Uygulamalarda DYY ölçülerini doğrudan veya jeoid yükseklikleri çıkarılarak elde edilen DYT kullanılabilir. Bu çalışmada yaklaşık on yıllık DYY ölçülerinden ODY elde edilmektedir. Daha sonra her noktadaki ODY değerinden EGM96 yer potansiyel modeline (Lemoine vd., 1998) dayalı olarak hesaplanmış Türkiye Jeodi-2003 (TG-03) (Kılıçoğlu vd., 2005; Kılıçoğlu, 2002) jeoid yüksekliği çıkarılarak deniz yüzeyi topografyası (DYT) elde edilmiştir. Bundan önceki bir çalışmada (Şanlı vd., 2005) yine Marmara Denizinde aynı veriler kullanılarak, sadece uydu izleri buyunca deniz seviyesindeki değişim belirlenmiş ve deniz seviyesindeki artışın 0.1-1.6 mm/yıl olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3. Marmara'da mevcut DYY ölçüleri.

Marmara Denizinde mevcut dört uydu izi (batıdan doğuya doğru 1'den itibaren numaralandırılmıştır) için ikinci bölümde açıklanan çalışmalar gerçekleştirılmıştır. Öncelikle her uydu izi boyunca çalışma bölgesiyle sınırlı mevcut nokta koordinatlarının ortalaması ve uydu izi noktalarına en uygun büyük daire yayının kutup koordinatları hesaplanmıştır. Şekil 4'te bir numaralı uydu izine ait ölçü noktaları gösterilmekte olup, uyduunun 1 saniyelik hareketine karşılık gelen yaklaşık 6 km'de bir ölçülerin yoğunluk gösterdiği görülmektedir. Bu uydu izinin orta noktasının koordinatları ( $\lambda=27.6404$ ,  $\varphi=40.6733$ ) ve uydu izi ile çıkışık büyük daire yayı ekvator olacak şekilde kutbun koordinatları ( $\lambda=-71.9184$ ,  $\varphi=10.9373$ ) hesaplanmıştır. Bu şekilde tüm izlerin orta nokta ve kuzey yarımküre için kutup koordinatları hesaplanmıştır (Tablo 2).

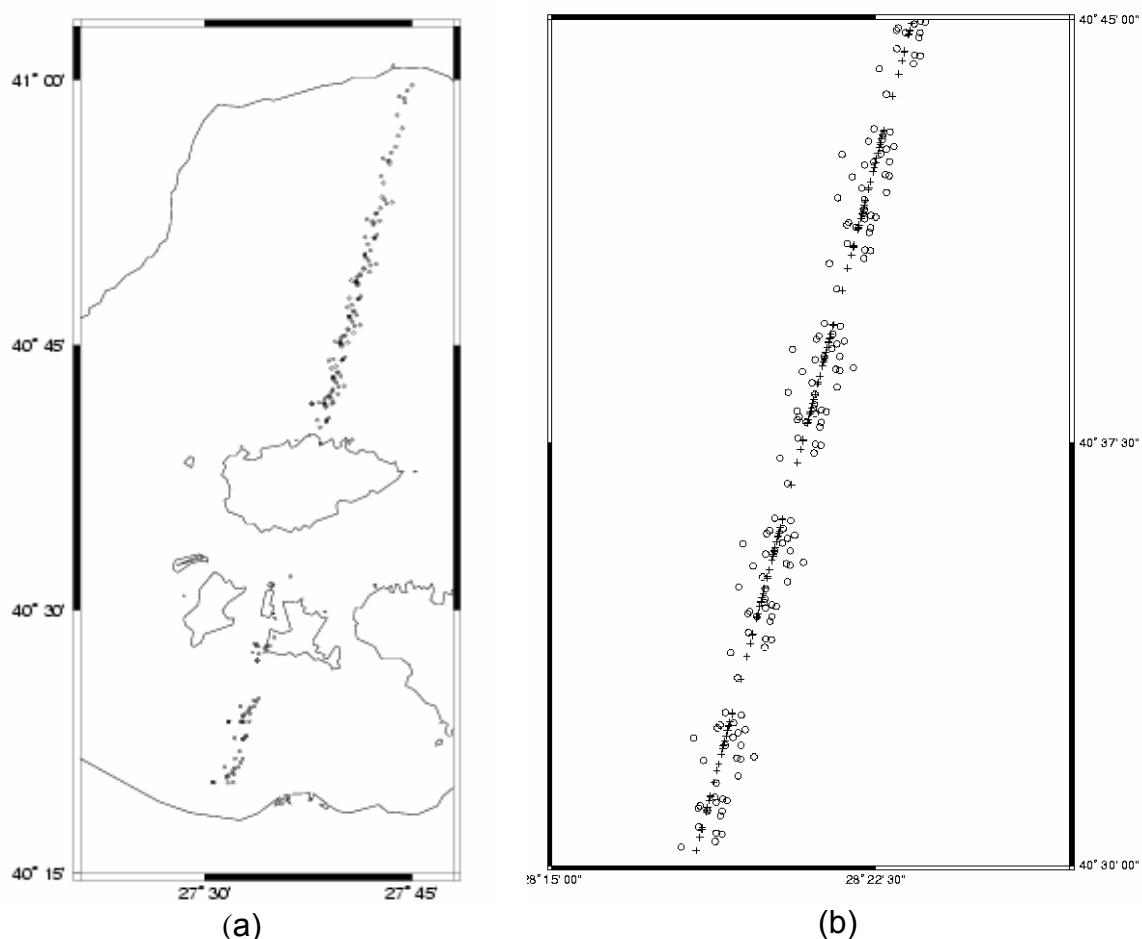
Tablo 2. Uydu izlerine ilişkin orta ve kutup nokta koordinatları.

	Orta nokta koordinatları		Kutup nokta koordinatları	
Uydu İzi	Boylam	Enlem	Boylam	Enlem
Profil 1	27.6404	40.6733	-71.9184	10.9373
Profil 2	27.9517	40.7263	128.2650	11.7468
Profil 3	28.3667	40.6838	-71.2016	10.9439
Profil 4	28.0011	40.7131	-82.6649	22.2993

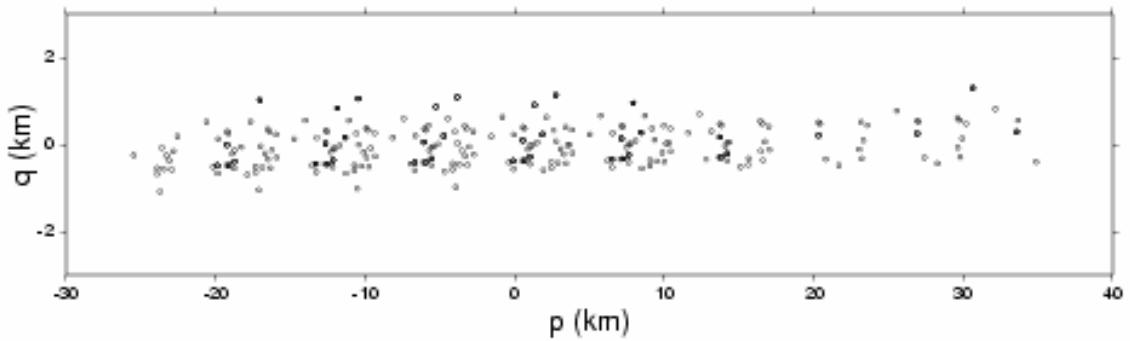
Bu aşamada her DYY ölçü noktası büyük daire yayına dik izdüşürülerek büyük daire yayı için oluşturulan izdüşüm küresel koordinat sisteminde ( $\lambda^P, \varphi^P$ ) ve izdüşüm yatay koordinat sisteminde ( $p, q$ ) koordinatları belirlenmiştir. Bu işlemde, p eksenine (uydu izi) dik doğrultuda 1.5 km'den daha uzak olan noktalar değerlendirme dışı

bırakılmıştır. 3 numaralı uydu izine ait ölçü noktaları izdüşüm yatay koordinat sisteminde, Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 6'da ise 1 numaralı uydu izi izdüşüm yatay koordinat sistemine ( $p,q$ ) dönüştürülmüş DYT ölçülerinin büyük daire yayı boyunca yatay kesitinden 0-24 km arasındaki bölümü gösterilmektedir.

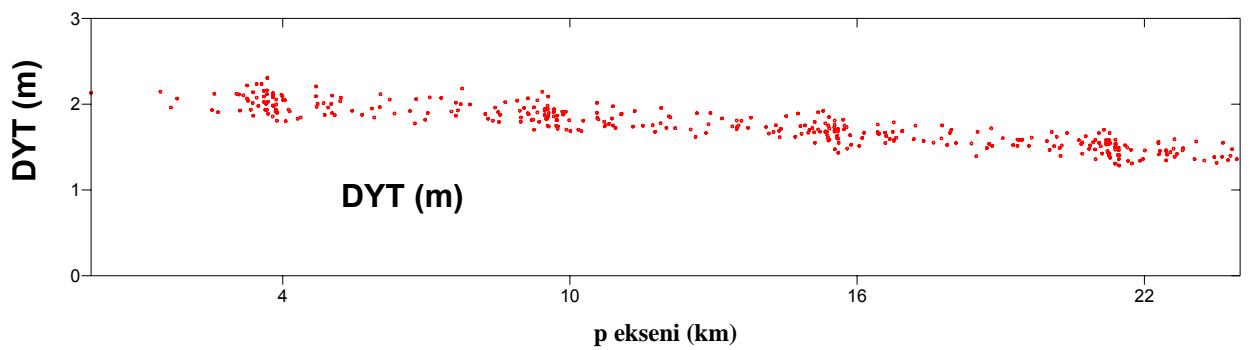
Uydu izini oluşturan büyük daire yayının belirlenmesi ve tüm ölçülerin yay üzerine iz düşürülmesinden sonra; uydu izi boyunca düzensiz aralıklarla ölçüler elde edilmektedir. Bu nedenle ölçülerdeki mevcut düzensizlikleri (örneğin aynı nokta için birden ölçü değerinin olması vb.) ve hataları gidermek için Gauss filtresi uygulanarak uyumlu olmayan ölçüler atılmış ve düzgün bir ölçü grubu elde edilmiştir. Daha sonra uydu izi boyunca filtrelenmiş ölçüler belirli aralıklarda interpolasyon ile örneklenmiştir (Şekil 7). Gauss filtresi kullanılarak filtrelenmiş olan uydu izlerindeki DYT değerleri, tüm Marmara Denizi için gridlenmiş ve Şekil 8'de verilmiştir. Ayrıca uydu izleri boyunca elde edilen deniz yüzeyi değerlerinin tüm Marmara için gridlenmesi ile oluşturulan ODY Şekil 9'da verilmektedir.



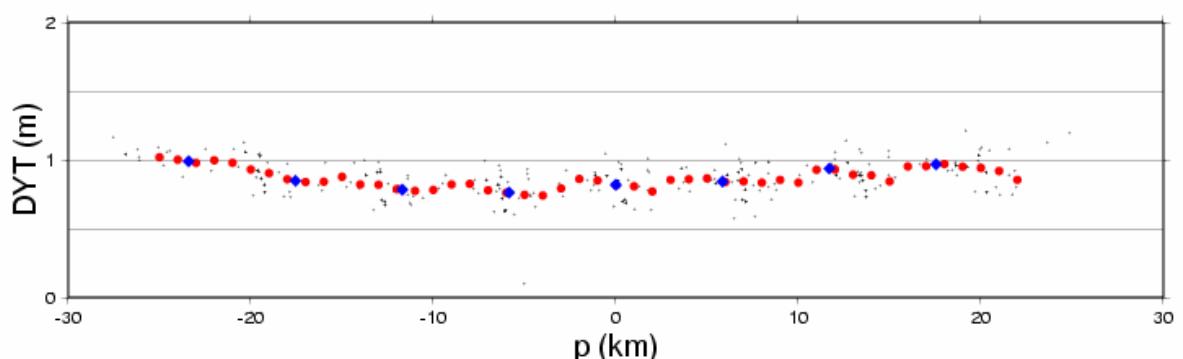
Şekil 4. a). 1 numaralı uydu izinde DYY ölçü noktaları, b). 1 numaralı uydu izinde DYY ölçü noktaları (Büyük daire yayına iz düşürülmüş DYY ölçü noktaları ( $\lambda^p, \varphi^p$ ) koordinatları ile uydu izinin yaklaşık ortasında doğrusal şekilde görülmektedir).



Şekil 5. 3 numaralı uydu izine ait DYY ölçü noktalarının izdüşüm yatay koordinat sisteminde dağılımı (Burada yalnızca orta noktadan kuzey-güney doğrultusunda en çok 50 km uzaklıktaki noktalar gösterilmektedir.).



Şekil 6. İzdüşüm yatay koordinat sistemine ( $p, q$ ) dönüştürülmüş 1 numaralı uydu izine ait DYT ölçülerinin büyük daire yayı boyunca kesitinden 0-24 km arasındaki bölüm.

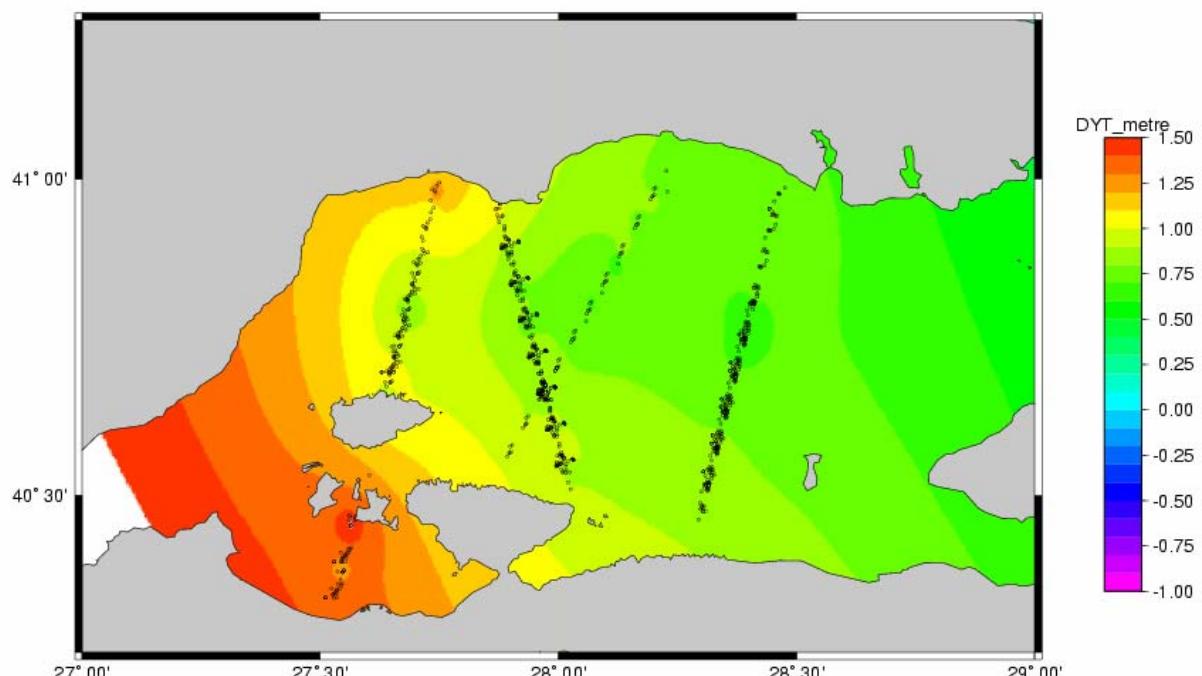


Şekil 7. İzdüşüm yatay koordinat sistemine ( $p, q$ ) dönüştürülmüş 1 numaralı uydu izine ait DYT ölçülerinin büyük daire yayı boyunca kesiti (yaklaşık 80 km).

Uydu izleri boyunca düzenlenen DYY değerlerinden Marmara Denizi için hesaplanan TG-03 jeoid yükseklikleri çıkarılarak DYT değerleri elde edilmiştir. Tüm DYT değerleri birlikte kullanılarak ölçü periyodu için ortalama deniz yüzeyi hesaplanmıştır. Ortalama deniz yüzeyi yardımıyla Marmara Denizinin kuzey ve güney

kıyıları arasındaki deniz yüzeyi yükseklik farkları belirlenmiştir. Bu amaçla uydu izleri boyunca DYT değerlerine polinomlar uydurularak deniz yüzeyi eğimi bulunmuştur. Uydu izleri boyunca DYT ölçülerinin Gauss yöntemi ile filtrelenmesi ve belirli aralıklarla örneklenmesiyle Marmara Denizinin kuzey ve güney kıyısı arasındaki yükseklik farkları elde edilmiştir (Tablo 3 ve 4).

Tablo 3 ve 4'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 türetilebilir. Ancak Şekil 8 incelendiğinde, 1 nolu uydu izindeki DYT değişiminin diğer uydu izlerine nazaran belirgin olarak farklı olduğu ve bu nedenle Marmara Denizi temsil etmekte diğer üç uydu izinin kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Sözü edilen 2, 3 ve 4 nolu uydu izlerinde; filtrelenmiş DYT değerleri ve bu değerlerden belirli aralıklarla örneklenen değerlerden yararlanarak kuzey kıyılarının güney kıyılarına göre ortalama 7.1-11.5 cm aşağıda olduğu sonucuna varılmıştır. Marmara Denizinin kuzey (Marmara Ereğlisi) ve güney (Erdek) kıyılarında birer mareograf istasyonu mevcuttur. Bu mareograf istasyonlarında toplanan deniz seviyesi verilerinin geometrik nivelman verileriyle birleştirilmesiyle Marmara Ereğlisi'nde deniz yüzeyi yüksekliğinin Erdek istasyonuna göre yaklaşık 2 cm aşağıda olduğu belirlenmiştir (Demir vd., 2007).



Şekil 8. Marmara deniz yüzeyi topoğrafyası (DYT).

Mareograf istasyonlarında toplanan verilerden ve uydu altimetresinden 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

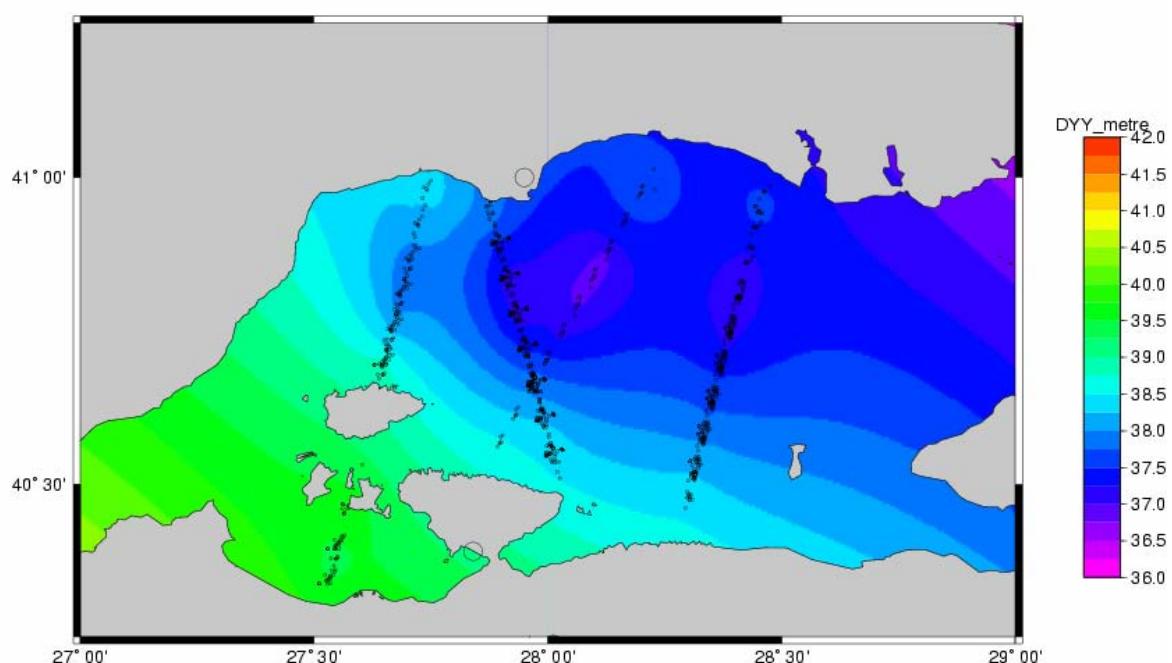
düsey datum farkı, düsey kontrol ağıının Anadolu ile Trakya bağlantısındaki muhtemel hatalar, TG-03'ün kuzey-güney yönündeki eğimi gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Uydu altimetresinin iç denizlerdeki performansı ile ilgili ayrıntılı bilgiler İmre (2005)'de verilmektedir.

Tablo 3. Marmara Denizinde uydu izleri boyuca filtrelenmiş DYT değerlerinden hesaplanan deniz yüzeyi yükseklik farkları (m).

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

Tablo 4. Marmara Denizinde uydu izleri boyuca filtrelenmiş DYT değerlerinin belirli aralıklarla örneklenmesi ile hesaplanan deniz yüzeyi yükseklik farkları (m).

	<b>Profil 1</b>	<b>Profil 2</b>	<b>Profil 3</b>	<b>Profil 4</b>
<b>Güney (G)</b>	1.285	0.989	0.845	0.930
<b>Kuzey (K)</b>	1.109	0.967	0.802	0.783
<b>Fark=K-G</b>	-0.174	-0.022	-0.043	-0.147
<b>Uzunluk (km)</b>	75.9	52.4	60.4	57.6



Şekil 9. Marmara ortalama deniz yüzeyi yüksekliği (ODY).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada Marmara Denizinde mevcut yaklaşık 10 yıllık ERS-1, ERS-2 ve Topex/Poseidon DYY ölçüleri kullanılmıştır. Öncelikle uydu izleri boyunca ölçüler düzenlenmiş ve bir dizi ön işleminden geçirilerek uydu izleri boyunca ortalama deniz

yüzeyi yükseklikleri (DYY) ve deniz yüzeyi topografyası (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 belirlenmiştir. Uydu altimetresinin Marmara gibi kapalı ve küçük denizler ile karaya yakın kısımlarda yüksek doğruluk sağlamadığı bilinmektedir. Bu çalışmada Marmara Denizindeki uydu izlerdeki DYT ölçülerinin tamamı ve örneklenmiş grubu ile yapılan değerlendirmelerde kuzey kıyılarındaki deniz yüzeyinin güney kıyılarına göre ortalama 7.1-11.5 cm aşağıda olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca uydu izleri boyunca elde edilen filtrelenmiş ölçüler (ODY veya DYT) uygun algoritmalarla gridlenerek tüm Marmara Denizi için ortalama deniz yüzeyi (ODY) ve deniz yüzeyi topografyası (DYT) elde edilmiştir. Elde edilen ortalama deniz yüzeyi jeoide çok yakın bir yüzey oluşturduğundan, yer gravite alanının belirlenmesi ve modellenmesinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

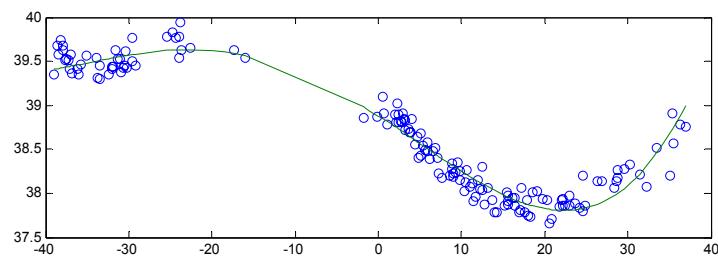
## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ulusal Deprem Programı kapsamında Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) tarafından desteklenen “Marmara Bölgesinde Deniz Seviyesi Değişimlerinin ve Düşey Yerkabuğu Hareketlerinin Araştırılması” projesinin bir alt çalışması olarak Harita Genel Komutanlığı ve Yıldız Teknik Üniversitesi'nin katkıları ile gerçekleştirılmıştır. Bu çalışmada kullanılan uydu altimetre verileri “AVISO Altimetry” tarafından sağlanmıştır.

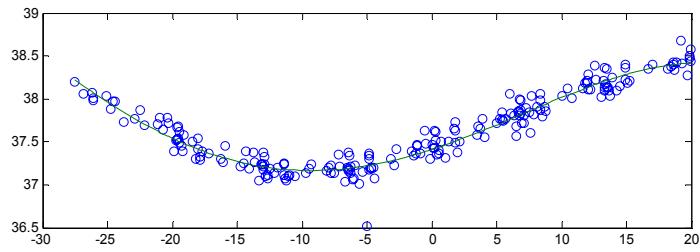
## EK

Marmara Denizinde uydu izleri boyunca elde edilen DYY ve DYT değerleri. Uydu izleri boyunca elde edilen DYY ve DYT değerlerine polinomlar uydurularak deniz yüzeyi eğimleri belirlenmiştir. Aşağıda DYY ve DYT değerleri için elde edilen sonuçlar verilmektedir.

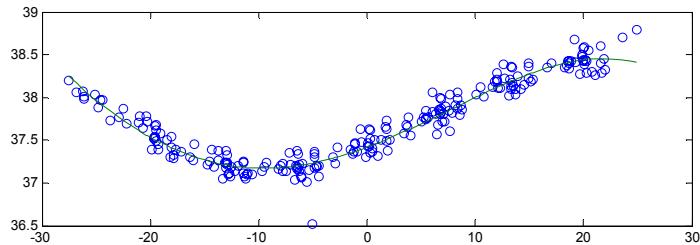
### 1. DYY ÖLÇÜLERİİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ



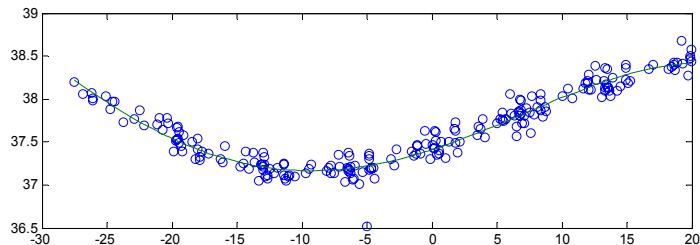
Şekil 10. Profil 1 boyunca ERS-1/2 uydusundan elde edilen DYY değerleri (Marmara adalarının üzerinden geçen uydu izi; karalara rastladığından başlangıç kısmı düzensizdir. Güneydeki düzensiz bölüm atıldıktan sonra yenilenen hesaplama sonucu Şekil 11'de verilmektedir.).



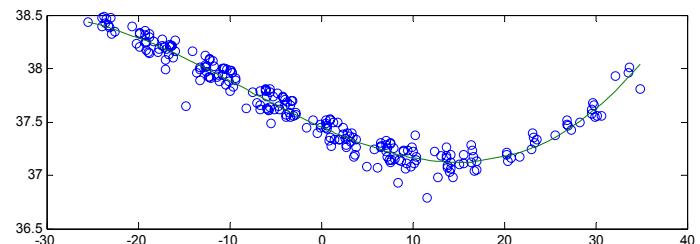
Şekil 12. Profil 1'e ait ölçülerden güneydeki düzensiz bölüm atıldıktan sonraki yeni hesaplama sonucu (DYY).



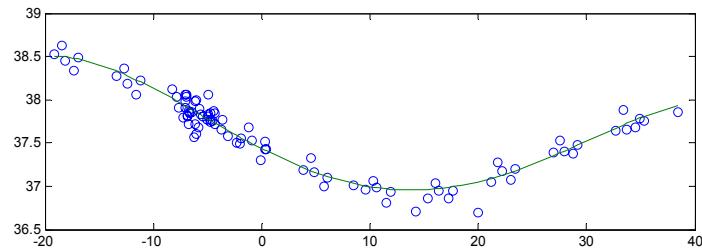
Şekil 13. Profil 2 boyunca ERS-1/2 uydusundan elde edilen DYY değerleri (Güney başlangıç noktası Kapıdağı yarımadasının kuzeyinden başlamaktadır. Karaya yaklaşıkça oluşan düzensiz parça atılarak yeniden değerlendirilmiş, sonuç Şekil 14'de verilmiştir.)



Şekil 14. Profil 2'ye ait ölçülerden düzensiz olanlar atıldıktan sonra elde edilen yeni değerlendirme sonucu (DYY).

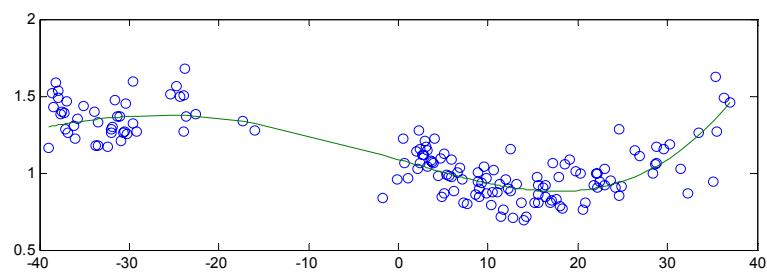


Şekil 15. Profil 3 boyunca ERS-1/2 uydusundan elde edilen DYY değerleri.

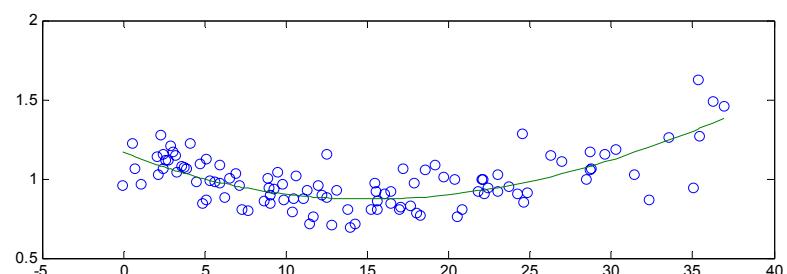


Şekil 16. Profil 4 boyunca TOPEX/POSEIDON uydusundan elde edilen DYY değerleri.

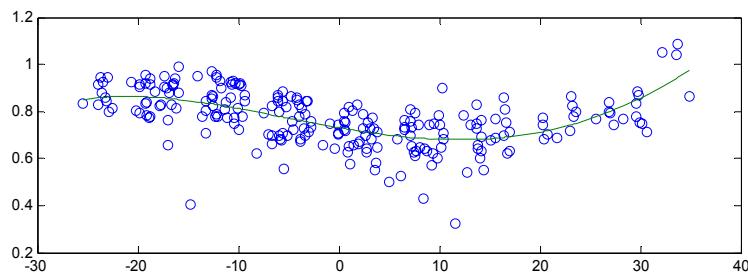
## 2. DYT ÖLÇÜLERİİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ



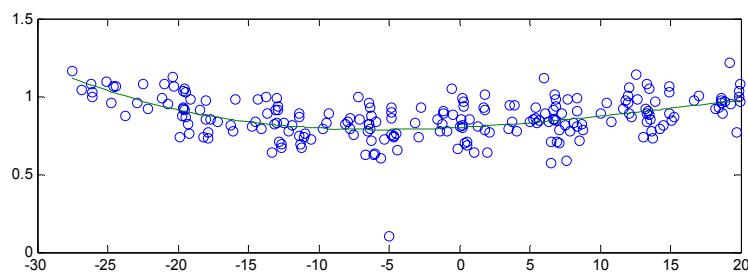
Şekil 17. Profil 1 boyunca ERS-1/2 uydusundan elde edilen DYT değerleri (Marmara adalarının üzerinden geçen uydu izi; karalara rastladığından başlangıç kısmı düzensizdir. Güneydeki düzensiz bölüm kısmi atıldıktan sonra yenilenen hesaplama sonucu Şekil 18'de verilmektedir.).



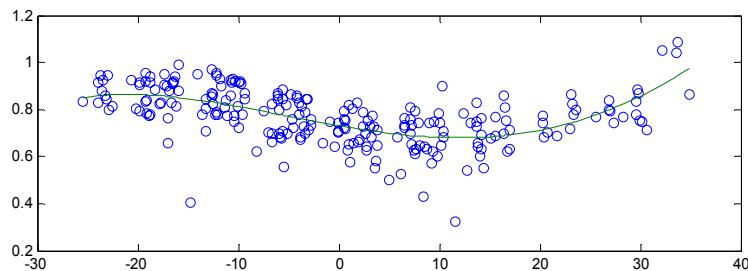
Şekil 18. Profil 1'e ait ölçülerden güneydeki düzensiz bölüm atıldıktan sonraki yeni hesaplama sonucu (DYT).



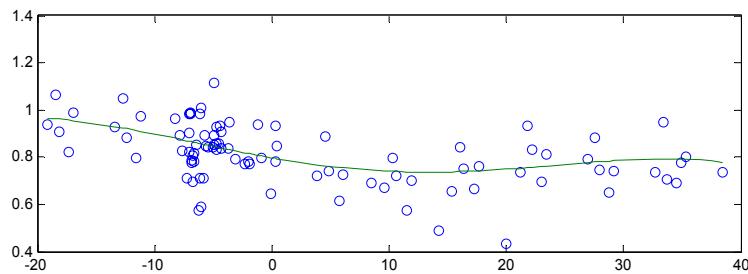
Şekil 19. Profil 2 boyunca ERS-1/2 uydusundan elde edilen DYT değerleri (Güney başlangıç noktası Kapıdağ yarımadasının kuzeyinden başlamaktadır. Karaya yaklaştıkça oluşan düzensiz parça atıldıktan sonra yeniden değerlendirilmiş, sonuç Şekil 20'de verilmiştir.)



Şekil 20. Profil 2'ye ait ölçülerden düzensiz olanlar atıldıktan sonra elde edilen yeni değerlendirme sonucu (DYT).



Şekil 21. Profil 3 boyunca ERS-1/2 uydusundan elde edilen DYT değerleri.



Şekil 22. Profil 4 boyunca TOPEX/POSEIDON uydusundan elde edilen DYT değerleri.

## KAYNAKLAR

- Andersen, O.B.**, (2002) : Marine gravity and geoid from multi satellite altimetry and applications. Lecture notes, International Workshop on Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography: Summer Lecture Series and Scientific Applications, September 8-13, 2002, Wuhan, China.
- Andersen, O.B., P. Knudsen, P. Berry, S. Kenyon** (2006) : The DNSC05 high-resolution global marine gravity field. 15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Venice, Italy, 13-18 March.
- Andersen O. B. and P. Knudsen** (1998) : Global Marine Gravity Field from the ERS-1 and GEOSAT Geodetic Mission Altimetry, J. Geophys. Res., 103(C4), 8129-8137
- AVISO** (1996): AVISO User Handbook, Corrected Sea Surface Heights (CORSSHs), Edition 2.0, Collecte Localisation Satellites, France.
- Baker, T. F.**, (1993) : Absolute sea level measurements, climate change and vertical crustal movements. Global and Planetary Change, 8, 149-159.
- Benada, J. R.**, (1997) : ``PO.DAAC Merged GDR (TOPEX/POSEIDON) Generation B User's Handbook", Version 2.0, JPL D11007.
- Bosch, W.** (2002) : Geodetic applications of satellite altimetry, International Workshop on Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography: Summer Lecture Series and Scientific Applications, September 8-13, 2002, Wuhan, China
- Bouin, M-N., V. Ballu, G. Jan, S. Calmant, M. Diaement, J-M., Bore, K. Cheng** (2006) : Comparison between sea height measurements and satellite altimetry data in the New Hebrides Subduction Zone. 15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Venice, Italy, 13-18 March.
- 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.
- Demir,C., A. Kılıçoglu, H. Yıldız, A. Cingöz, D.U.Şanlı, M. Simav, S. Ergintav** (2007): Marmara Bölgesinde Deniz Seviyesi Değişimleri ve Düşey Yer Kabuğu Hareketlerinin Araştırılması, TUJJB projesi (TUJJB-EDP03-03) Sonuç Raporu , MAYIS 2007 Ankara (Yayınlanmadı).
- İmre, İ.** (2005) : Uydu Altimetri Tekniği ve Marmara Denizi'ndeki Uydu İzlerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıçoglu, A.** (2005a) : Gravity anomaly map over the Black Sea using corrected sea surface heights from ERS1, ERS2 and TOPEX/POSEIDON satellite altimetry missions. Stud. Geophys. Geod. Vol. 49, pp:1-12.
- Kılıçoglu, A.** (2005b) : Jason-1 uydu altimetre ölçülerinin değerlendirilmesi ve Karadeniz'de uygulamalar. TUJK 2005 Yılı Bilimsel Toplantısı, Jeoid ve Düşey Datum Çalıştayı Bildiri Kitabı, KTÜ, Trabzon, 22-24 Eylül, (Baskıda).

- Kılıçoğlu, A.** (2002). Güncelletirilmiş Türkiye Jeodi – 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, (Baskıda).
- 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.
- Scharroo, R., J.Lillibridge, E.Doornbos** (2006) : Fifteen years of ERS satellite orbits and altimetry : an overview. 15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Venice, Italy, 13-18 March.
- 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.
- Smith, W.H.F. (1998)** : Seafloor tectonic fabric from satellite altimetry. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, Vol.26, 697-738.
- Smith, W. H. F, P.Wessel** (1990): Gridding with continuous curvature splines in tension, *Geophysics*, 55, 293-305.
- Stewart, R., M.Lefevre** (2006) : History of Altimetry, 1960-1992. 15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium, Venice, Italy, 13-18 March.
- 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.
- Şanlı, D.U and G. Blewitt** (2001) : Geocentric sea level trend using GPS and >100-year tide gauge record on a postglacial rebound nodal line, *J.Geophys. Res.*, Vol. 106, No. B1, Pages 713-719.
- 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, (Baskıda).
- 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.
- Wessel, P., and W. H. F. Smith** (1998) : New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS trans. AGU*, 79, 579.
- Yıldız, H.** (2005) : Mareograf ve Sabit GPS Verileri İle Uzun Dönemli Mutlak Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü