

DÜŞEY DATUM BELİRLEMEDE DENİZ DÜZEYİ VERİLERİNİN ANALİZİ

Analysis of Sea Level Data From Vertical Datum Determination

D. Uğur ŞANLI* , Coşkun DEMİR** , Şerif HEKİMOĞLU* , M. Emin AYHAN*

ÖZET

Düşey datum belirleme Jeodezi'nin önemli problemlerinden biridir. Türkiye Ulusal Düşey Datumu' nun belirlenmesi amacıyla bir proje oluşturulmuştur. Bu proje kapsamında yersel verileri (deniz düzey ölçer, geometrik nivelman, gravite) ve uydu gözlemleri (SLR, GPS) ile görel ve mutlak deniz düzeyi değişimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yükseklikler için dayanak yüzeyi olarak yaygın bir biçimde kullanılan JEOD'e en yakın yüzey ortalama deniz düzeyi (MSL)' dir ve bir durakta düşey datum belirlemenin ilk adımı MSL' nin belirlenmesidir. Deniz düzeyi kaydedilirken yapılan hataların, meteorolojik ve oşinografik olayların, global iklim değişiminin, yer kabuğu hareketlerinin, astronomik gelgitlerin MSL üzerinde olumsuz etkileri vardır. Antalya deniz düzey ölçer durağındaki MSL, 1938-1977 yılları arasında kaydedilen anlık deniz düzeyi verilerindeki uyumsuz ölçüler ayıklandıktan sonra, yukarıda sayılan etkiler büyük ölçüde dikkate alınarak robust regresyon analizi ile belirlenmiş, elde edilen sonuçlar global deniz düzeyi artışı ve düşey kabuk hareketleri açısından yorumlanmıştır.

ABSTRACT

Vertical datum determination is one of the most important problems of Geodesy. A project has been established in order to determine the Turkish National Vertical Datum. By means of terrestrial (tide-gauge, spirit leveling, gravity) data and satellite (SLR, GPS) observations, absolute and relative changes of sea level will be determined. First step of vertical datum determination is the determination of mean sea level (MSL) which almost coincides with geoid used commonly as reference surface for heights. Errors occurring during the record of sea level changes, meteorological and oceanographic phenomena, global climatic change, vertical crustal movements, and astronomical tides have disturbing effects on MSL. After the elimination of outliers in sea level data recorded for the period 1938-1977 at Antalya tide-gauge, MSL has been determined by robust estimation method where above effects are considered, and results have been discussed from the point of view of global sea level rise and vertical crustal movements.

GİRİŞ

Düşey datum kısaca; "düşey kontrol ağı yüksekliklerinin belirlenmesinde kullanılan başlangıç yüzeyi" olarak tanımlanabilir. Önceleri, düşey datum olarak, bir deniz düzey ölçer durağındaki anlık deniz düzeyi değişimlerinin aritmetik ortalaması ile kolayca belirlenen ve yükseklikler için başlangıç yüzeyi alınan jeoidle çakıştığı düşünülen ortalama deniz düzeyi kullanılıyordu. Son yıllarda yapılan çalışmalar ortalama deniz düzeyinin jeoidle çakışmadığını, aralarında 1-2 m' ye varan ve deniz yüzeyi topoğrafyası (SST) adı verilen bir fark olduğunu ortaya koymuştur. Bu farkın oşinografik, meteorolojik, global sıcaklık artışı, gelgitler, vb. olaylardan kaynaklandığı ve ortalama deniz düzeyinin zamanla değiştiği belirlenmiştir. Bu gelişmelerin paralelinde düşey datum kavramı da değişmiş, jeoide seçenek olarak yeni yüzeyler

(quasijeoid, elipsoid) tanımlanmış ve düşey datumun belirlenmesinde yersel ölçümler (deniz düzey verileri, geometrik nivelman, gravite, vb.) yanında uydu gözlemlerinden (SLR, GPS, VLBI, uydu altimetresi) de yararlanılmaya başlanmıştır (Vanicek ve Krakiwsky 1982, Vanicek 1991, Hekimoğlu ve Şanlı 1993, Hekimoğlu ve diğ.1993a).

Türkiye ulusal düşey kontrol ağı (TUDKA-92) nokta yüksekliklerinin belirlenmesinde düşey datum olarak; Antalya deniz düzey ölçer durağında, 1936-1971 yılları arasında kaydedilen deniz düzeyi verilerinin yıllık ortalamalarının aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama deniz düzeyi kullanılmıştır (Ayhan ve Demir 1993). Bu yüzeyin SST nedeniyle kayık olması ve deniz düzeyi verilerinin uygun bir biçimde analiz edilmemesi nedeniyle düşey datumun yeniden tanımlanması uygun görülmüştür. Bu amaçla Yıldız Teknik Üniversitesi ile

* Yıldız Teknik Üniversitesi

** Harita Genel Komutanlığı

Harita Genel Komutanlığının ortaklaşa yürüteceği bir proje oluşturulmuştur (Hekimoğlu ve diğ. 1993a, Ayhan ve diğ. 1994). Projenin amaçları: Ulusal düşey datumu belirlemek, Türkiye Jeoidi-1991 (TG-91)'deki mevcut kayıklığı belirleyerek mutlak bir jeoid tanımlamak ve deniz düzeyinin mutlak izlenmesine uygun uydu jeodezi teknikleri ve deniz düzey ölçer duraklarından oluşan yerel bir ağı oluşturup mevcut ağı iyileştirmek olarak sıralanabilir.

Düşey datum belirlemenin ilk uygulaması Antalya deniz düzey ölçer durağında yapılacaktır. Bunun yanında yermerkezcil sistemde konumu belli olan ve uydu laser ölçümlerinin yapıldığı Melengiçlik/KARAMAN SLR noktasından da yararlanılacaktır. Böylece düşey datum deniz düzeyi verilerinin analizi ile doğrudan, uydu gözlemleri ile dolaylı olarak belirlenebilecek (Vanicek 1991), ayrıca elde edilen veri tür ve özelliklerine göre karma yaklaşımlar da uygulanabilecektir (Hekimoğlu ve diğ. 1993 a).

Ortalama deniz düzeyi, deniz düzey ölçer yakınındaki bir kara (düşey kontrol-röper) noktasına göre belirlenir. Eğer deniz düzey ölçerinin bulunduğu bölgede düşey yer kabuğu hareketi varsa bunun ortalama deniz düzeyinin hesaplanmasında göz önünde bulundurulması gerekir. Bu nedenle çalışma için gerekli veriler derlendikten sonra deniz düzey ölçerinin bulunduğu bölgenin tektonik yapısı araştırılmış ve istasyon yakınında bulunan bir GPS noktası ile Melengiçlik/KARAMAN SLR noktasında 1991-1994 yılları arasında yapılan eş zamanlı uydu gözlemleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Antalya ve çevresinin yılda 0.96-1.20 cm hızda çıktığı belirlenmiştir (Ayhan ve diğ. 1994). Ayrıca deniz düzeyi verileri uygun bir biçimde analiz edilerek, analiz sonuçları global deniz düzeyi değişimleri ve uydu ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır.

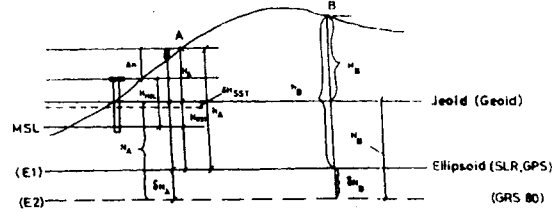
Bundan sonraki bölümde düşey datum belirleme yöntemleri ve ülkemiz için düşünülen model kısaca açıklandıktan sonra üçüncü bölümde deniz düzeyi verilerinin analizi ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

DÜŞEY DATUM BELİRLEME

Bir noktanın jeoidden olan yüksekliği, bir deniz düzey ölçer durak noktasındaki ortalama deniz düzeyi (H_{MSL}) ve SST (H_{SST}) yardımıyla belirlenebilmektedir (Şekil 1). Düşey datumun bu şekilde belirlenmesi Vanicek (1991) tarafından "Doğrudan Çözüm" olarak adlandırılmıştır. Son yıllarda VLBI, SLR ve GPS gibi uydu teknikleri de düşey datum belirleme ve mutlak deniz düzeyinin izlenmesinde kullanılmaya başlamıştır (Carter et al. 1987, Bilham 1990, Dixon 1991, Baker 1993). Bu yöntemler yardımıyla elipsoid yüksekliği (h) birkaç cm doğrulukla belirlenebilmektedir. Böylece jeoidden bir yeryüzü noktasına kadar olan ortometrik yükseklik (H),

$$H = h - N \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada N jeoid yüksekliğidir. Vanicek (1991) tarafından "Dolaylı Çözüm" olarak adlandırılan bu yöntemde elipsoid yüksekliği; SLR, GPS veya VLBI yardımıyla, jeoid yüksekliği ise yersel veriler (gravite, topoğrafya, vb.) ve yerpotansiyeli katsayılarının kombinasyonu ile belirlenir (Rapp ve diğ. 1991).



Şekil 1: Karma yöntem

Figure 1: The Unified Method

Türkiye Ulusal Düşey Datumu'nun belirlenmesinde ise Hekimoğlu ve diğ. (1993a) tarafından tanımlanan "Karma Çözüm" uygulanacaktır. Bu yöntemde doğrudan ve dolaylı yöntemler ile deniz düzey ölçer ve SLR/GPS verileri birlikte ele alınmaktadır.

Şekil 1'de A deniz düzey ölçer noktasını, B ise SLR noktasını göstermektedir. A ve B noktalarının ortometrik yükseklikleri

$$H_A = h_B - \Delta h_{AB} - (N_A - \delta N') \quad (2)$$

$$H_B = h_B - (N_B - \delta N') \quad (3)$$

$$\delta N' = h_B - (H_{MSL} - H_{SST} + \Delta n) -$$

$$1/2 (\Delta h_{AB} + \Delta h_{AB} + N_A + N_B) \quad (4)$$

ile bulunur (Hekimoğlu ve diğ. 1993a). (2)-(4) eşitlikleri dikkatle incelendiğinde karma yöntemde; SLR noktasının elipsoid yüksekliği, GPS ile elde edilen Δh_{AB} elipsoid yükseklik farkı, Δn , Δh_{AB} ortometrik yükseklik farkları (geometrik nivelman + yol boyunca gravite), varolan N_A , N_B jeoid yükseklikleri, H_{MSL} ortalama deniz düzeyi ve H_{SST} deniz yüzeyi topoğrafyası verilerine gereksinim duyulduğu görülür. (4) eşitliğinde geçen $\delta N'$ mutlak jeoidi elde etmek için varolan jeoidde getirilen düzeltmedir. Bu düzeltme, koordinat sistemleri arasındaki farklılık ve SST'nin kısa dalga boyulu kesiminin göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. (2)-(4) eşitliklerinin ve $\delta N'$ 'nin türetilmesi ile ilgili ayrıntılı bilgi Hekimoğlu ve diğ. (1993a)'dan edinilebilir.

DENİZ DÜZEYİ VERİLERİNİN ANALİZİ

Düşey datum noktası olarak ilk aşamada Antalya deniz düzey ölçer durak noktası seçilmiştir ve ortalama deniz

düzeyinin belirlenebilmesi için bu durakta 1936-1977 yılları arasında kaydedilen anlık deniz düzeyi değişimleri kullanılacaktır. İleride gerek duyulduğunda diğer deniz düzey ölçerler de projeye dahil edilebilecek ve o zaman Vanıcek (1991)'deki öneriler göz önünde bulundurulacaktır.

Antalya'daki deniz düzey ölçer tek kuyulu, çizgisel kayıt yapan ve dik konumlu Favak S.A. (İsviçre) modelidir. Çizim altlıkları üzerine çizgisel olarak kaydedilen deniz düzeyi değişimleri sonradan bir saatlik aralıklarla elle sayısallaştırılmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Uyuşumsuz Ve Katı Hatalı Verilerin Ayıklanması

Analize başlamadan önce, gerek aletsel hatalar ve gerekse sayısallaştırma sırasında oluşan hatalar nedeniyle deniz düzeyi verileri bir ön incelemeden geçirilmelidir. Sözü geçen hatalar; çizim altlığı sıfırının yerleştirilme hatası, zaman hatası, aletin sıfır eksenini (datum) kayıklığı, kalibrasyon hatası, çizim altlıklarının yer değiştirmesi ile oluşan hatalar, okuma hataları ve boşlukların doldurulmasındaki kestirim hataları olarak sıralanabilir (Graff ve Karunaratne 1980, Pugh 1987). Bunların yanısıra sayısal değerlerin bilgisayar ortamına aktarılması sırasında, operatör tarafından da hatalar yapılabilmektedir. Ayrıca deniz düzeyi üzerinde ani ve büyük değişimlere yol açarak ölçüleri bozan fırtına dalgası (storm surge) etkisi de dikkate alınmalıdır. Yukarıda ifade edilen hatalardan çoğu değişik yöntemler kullanılarak giderilebilmesine karşın, çizim altlığının sıfırını yerleştirme ve kalibrasyon hatasının giderilmesi oldukça zordur.

Sayısal deniz düzeyi değerlerinin doğru olarak elde edilmesi için yukarıda değinilen hataların dikkatlice belirlenmesi ve ölçülerden ayıklanması gerekir. Bu amaçla öncelikle sayısal deniz düzeyi değişimleri grafik olarak çizdirilmiş ve verilerin sürekliliği ile veriler üzerindeki fırtına dalgası etkisi kontrol edilmiş, ayrıca datum kayması, zaman hatası ve belli orandaki kaba hatalar belirlenmiştir. Daha sonra uyumsuz (outliers) ve kaba hatalı ölçüleri bulmak amacıyla Lagrange İnterpolasyonu ve Harmonik Bileşenler Yöntemi (Harmonic Component Fit Method - HCFM) uygulanmıştır (Karunaratne 1980, Graff ve Karunaratne 1980). Bu yöntemlerde, herhangi bir andaki deniz düzeyi ölçü değeri $X(t)$, ölçü öncesi ve sonrasını içine alan belirli bir zaman aralığındaki diğer ölçülerden yararlı kestirilir ve kestirilen değer $X^*(t)$ ile ölçü değeri arasındaki fark belirli bir sınır değeri ile karşılaştırılır. Kestirilen değerle ölçü değeri farkı, seçilen sınır değerinden büyükse ilgili ölçüye kuşku ile bakılır ve bu ölçü orijinal çizgisel kayıtlardaki değeri ile yeniden karşılaştırılır. Herhangi bir okuma hatası yapılmamış ise ölçü atılır.

Bu çalışmada kullanılan geliştirilmiş Lagrange İnterpolasyon yöntemi

$$X^*(t_0) = 0.0079X_{t-5} - 0.0714X_{t-4} + 0.2857X_{t-3} - 0.6667X_{t-2} + X_{t-1} + 0.6667X_{t+1} - 0.28857X_{t+2} + 0.0714X_{t+3} - 0.0079X_{t+4} \quad (5)$$

eşitliği ile uygulanmıştır. Burada $X^*(t_0)$, t_0 anında (saat biriminde) deniz düzeyi değeri $X(t_0)$ 'ın kestirim değeridir. Harmonik Bileşenler Yönteminde ise herhangi bir andaki deniz düzeyi

$$X^*(t) = g_0 + \dots (g_n \cos \omega_n t + h_n \sin \omega_n t) \\ g_n = R_n \cos \phi_n \quad h_n = R_n \sin \phi_n \quad (6)$$

ile ifade edilir. Burada N harmonik bileşenlerin sayısı, R_n , ϕ_n ve ω_n sırasıyla n'inci gel-git bileşeninin genliği, fazı ve hızını temsil etmektedir. (6) eşitliğinde $t = -(N+1)$, $-N$, -1 , $+1$, $N-1$, N alınarak oluşturulan denklem sisteminden g_0 , g_n ve h_n bilinmeyenleri çözülüp tekrar eşitlikte yerine konularak $t=0$ anındaki deniz düzeyi değeri kestirilir. Sözü edilen bu iki yöntem ile ilgili ayrıntılı bilgiler Karunaratne (1980)'de verilmektedir.

Lagrange ve Harmonik Bileşenler yöntemleri $N=4$ olarak uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen deneyimlere dayalı olarak sınır değeri ± 3 cm seçilmiş ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın olduğundan ikinci yöntemin sonuçları esas alınmıştır. Değerlendirmede sınır değerini aşan ölçüler orijinal kayıtlardan kontrol edilerek hatalı olanlar düzeltilmiştir.

Uyuşumsuz ve kaba hatalı ölçülerin belirlenmesi işleminde hatalı ölçülerin birbirini gizlediği saptanmış ve işlemler bir kaç kez tekrarlanmıştır. Her yıl için ayrı ayrı yapılan bu hesaplamalar sonucunda başlangıçta ölçüler içinde hatalı olanların oranının yıllara göre %0,8 ile %6,2 arasında değiştiği ve ortalama %2,6 olduğu belirlenmiştir. Birinci adımda yapılan düzeltmeler sonucu hatalı ölçülerin ortalama %1, ikinci adım sonunda ise bunun %0,3 olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, sözü edilen iki interpolasyon yönteminin başarı ile uygulandığı ve ölçülerdeki değişik nedenlerle oluşan kaba hata ve uyumsuz ölçülerin büyük oranda belirlenerek düzeltildiği söylenebilir.

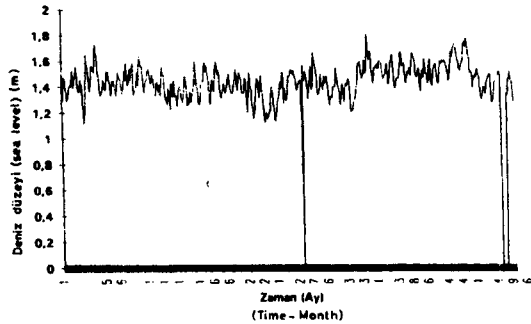
Aylık Ortalamaların Belirlenmesi

Bu çalışmada, ortalama deniz düzeyinin belirlenmesinde aylık ortalamalar esas alınmıştır. Aylık ortalamaların hesaplanması için kullanılan yöntemler; aritmetik ortalama, alçak geçirici filtre, 3- saatlik değerler, ortalama gelgit düzeyi'dir (Pugh 1987). Bu yöntemlerden en uygunu kısa periyotlu titreşimleri ve aliasing etkisini en iyi gideren alçak geçirici filtre'dir. En çok kullanılan alçak geçirici filtre ise 39 saatlik Doodson X_0 filtresidir (IOC 1985, Pugh 1987).

Aritmetik ortalama yöntemine de, fazla matematiksel bir yük getirmediği ve ayrıntılı olarak geliştirilen diğer yöntemlere yakın sonuçlar verdiği için sıkça başvurulur. Doodson Filtresi' ni uygulayabilmek için saatlik verilerin sürekli olması gerekir. Yapılan incelemede saatlik verilerin yaklaşık %5' inin boş olduğu, bu durum ay bazında değerlendirildiğinde aylık verilerin %35' inde veri boşluğu olduğu ve bunun %72' sinin doldurulabilecek nitelikte olduğu belirlenmiştir. Kısaca, verilerde 1- 476 saat arasında değişen boşluklar bulunması ve boşlukların homojen olmaması nedeniyle Doodson Filtresi uygulanamamıştır. Aritmetik ortalamanın da uyumsuz ölçülere karşı direncinin düşük olması nedeniyle aylık ortalamaların hesaplanmasında uyumsuz ölçülere karşı direnci en yüksek olan "medyan" operatörü kullanılmıştır. Bir aylık bir dizi için medyan değeri, dizinin elemanları küçükten büyüğe sıralandığında en ortada olanıdır, yani,

$$X(t_j) = \text{medyan}\{X(t_i)\} \quad (7)$$

dir. Burada $X(t_i)$ aylık ortalama deniz düzeyini, $X(t_j)$ saatlik deniz düzeyi, t_j ay, t_i saati göstermektedir. Medyan operatörü kullanılarak hesaplanan aylık deniz düzeyi değerleri (1938-1977) Şekil 2'de sergilenmektedir.



Şekil 2: Monthly mean sea levels

Figure 2: Düzeltmelerin Fourier analizi

Ortalama Deniz Düzeyinin Belirlenmesi

Birçok meteorolojik ve oşinografik parametre deniz düzeyi değişimini etkilemektedir. Bunlar rüzgar kuvveti, atmosferik basınç etkisi, akıntılar, sıcaklık, deniz suyundaki tuzluluk oranı, yağışlar, nehir ağzlarında oluşan altüyonlar ve uzun periyodlu gelgitler olarak sıralanabilir. Bu etkiler ortalama deniz düzeyinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulmalıdır. Aylık deniz düzeyi değerlerinin analizinde Rossiter (1967) ve Hannah (1990) tarafından önerilen

$$X(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i t^i + b_1 \delta P(t) + b_2 \delta T(t) + \sum_{j=1}^m c_j \cos(\omega_j t + \phi_j + v(t)) \quad (8)$$

regresyon modelinin benzeri esas alınmıştır. Eşitliğin sağ tarafındaki ilk iki terim verilen zaman aralığındaki ortalama deniz düzeyi değeri ve uzun süreli ortalama deniz düzeyi değişimini göstermektedir. Diğer terimlerde sırasıyla basınç ve sıcaklık değişimi ile gelgit etkileri dikkate alınmakta, son terim ise artık hataları (residuals) göstermektedir. Eşitlikte yer alan a_0 , a_j , b_1 , b_2 , c_j katsayıları geleneksel olarak En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) ile belirlenmektedir. Burada uygulanan modelin geleneksel olandan farkı, parametrelerin uyumsuz ölçülere karşı dirençsiz olan EKKY ile değil kırılma noktası zaman eksenini yönünde yaklaşık % 20 olan Robust Kestirim ile belirlenmesi ve $\delta P(t)$, $\delta T(t)$ parametrelerinde, Hannah (1990)' dan farklı olarak, uzun süreli değişim (doğrusal trend) yanında periyodik bileşenlerin de göz önüne alınmasıdır. Dolayısıyla

$$\delta P(t) = P(t) - \left\{ d_1 + e_1 t + \sum_{j=1}^p f_j \cos(\omega_j t + \phi_j) \right\} \quad (9)$$

$$\delta T(t) = T(t) - \left\{ T(t) - d_2 + e_2 t + \sum_{i=1}^q f_i \cos(\omega_i t + \phi_i) \right\} \quad (10)$$

ile ifade edilmektedir. Burada $P(t)$ ve $T(t)$ sırasıyla aylık basınç ve sıcaklık değerlerini, parantez içindeki terim ise uzun süreli değişim ve periyodik titreşimleri göstermektedir.

Deniz düzeyini en çok etkileyen meteorolojik parametreler atmosferik basınç ve rüzgar kuvvetidir. Örneğin, 1 mbar' lık bir basınç değişimi deniz düzeyinde 1 cm' lik değişime neden olmaktadır (Pugh 1987). Bu oran Antalya için deniz düzeyi-basınç verilerinin regresyon analizi ile doğrulanmıştır. Pugh (1987), analiz modelinde rüzgar etkisini basıncın gradyanları olarak dikkate almaktadır. Fakat bunun uygulanabilmesi için deniz düzey ölçer etrafında, bir üçgenin köşelerini oluşturacak şekilde konumlandırılmış üç meteoroloji istasyonu olması gerekmektedir. Antalya'da bir meteoroloji istasyonu olduğundan rüzgar etkisi modelde dikkate alınamamıştır.

Geleneksel EKKY' ye göre bilinmeyenler ve ölçülerin düzeltmeleri matris gösterimiyle

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P I \quad (11)$$

$$V = A X - I$$

şeklinde hesaplanır. Burada A ve P sırasıyla katsayılar ve ölçülerin ağırlık matrislerini, I ölçü, X bilinmeyenler,

V ise düzeltmeler (residuals) vektörünü göstermektedir. Robust kestirimde ise, Huber (1964) tarafından ortaya atılan geliştirilmiş Maksimum Likelihood M kestirici, yani

$$M = \sum p(v_i) = \text{Minimum}$$

ve $p(v)$, daha doğrusu $w(v) = \{\partial p(v)/\partial v\}/v$ ağırlık fonksiyonları kullanılır. EKKY'nin normal denklemlerine benzer olarak ortaya çıkan doğrusal denklemlerden bilinmeyenler çözümlürse

$$X = (A^T W A)^{-1} A^T W l$$

elde edilir. Burada, ağırlık fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılan v 'ler bilinmediğinden çözüm ancak iteratif olarak gerçekleştirilebilir. Yinelemeli (iteratif) ve yeniden ağırlıklandırılmalı EKK yöntemi şu şekilde uygulanır:

$$\hat{X}_k = (A^T W_k A)^{-1} A^T W_k l$$

$$\hat{V}_k = A \hat{X}_k - l$$

$$W_k = P W(v_{k-1}), \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

$$W(v_0) = I$$

Burada k iterasyon sayısını göstermektedir. Başlangıçta $k=1$ için $W(v_0) = I$, ya da ölçülerin ağırlıklarının farklı olması durumunda $W_1 = P$ alınır (Hekimoğlu ve diğ., 1993b). Bu çalışmada ölçülerin ağırlıkları (p_i) verilerdeki boşluklar dikkate alınarak belirlenmiş ve Andrews ve Beaton-Tukey ağırlık fonksiyonları kullanılmıştır (Andrews 1974, Beaton ve Tukey 1974). Bunlardan Andrews fonksiyonu

$$W(v_i) = \begin{cases} \left[\frac{|v_i|}{\varepsilon_i} \right]^{-1} \sin \left[\frac{|v_i|}{\varepsilon_i} \right] & |v_i| \leq \varepsilon_i \pi \\ 0 & |v_i| = \varepsilon_i \pi \end{cases}$$

$$\varepsilon_i = \sigma_0 \sqrt{P_i} \sqrt{Q_{vivi}} t_{1-\alpha/2}$$

şeklinde hesaplanır. Burada ε_i düzeltmeler için sınır değeri, σ_0 teorik standart sapma, p_i ağırlık, Q_{vivi} düzeltmelerin kofaktörleri, t ; $1-\alpha/2$ güven düzeyi için t-dağılımı sınır değeri, α ise yanılma olasılığıdır.

Gerek sıcaklık ve basınç ve gerekse deniz düzeyi verilerinin $\alpha = 0,05$, σ_0 yerine deneysel standart sapma σ alınarak elde edilen Robust regresyon analizi sonuçları Çizelge 1 ve 2' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre Antalya deniz düzey ölçer durağındaki deniz düzeyinin yılda 6.9 mm yükseldiği belirlenmiştir. Kestirim sonucu elde edilen robust düzeltmelerin Fourier analizi sonuçlarına bakıldığında, aylık değerler

üzerinde henüz tam modellenemeyen birtakım etkilerin olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Çizelge 1: Aylık basınç ve sıcaklık değerlerinin uzavn süreli eğilimleri ve periyodik bileşenleri.

Table 1: Secular trend and periodic signals in monthly pressure and temperature.

Parametreler (Parameters)	Sıcaklık (Temperature)	Basınç (Pressure)
c	18.698 ± 0.189 °C	1007.409 ± 0.169 mbar
e	0.001 ± 0.001 °C/ay (month)	-0.001 ± 0.001 mbar/ay
1 yıl G (year) H	-7.654 ± 0.134	4.352 ± 0.120
6 ay G	-	-0.336 ± 0.120
H	-	1.662 ± 0.119
4 ay G	-	0.015 ± 0.119
H	-	-0.477 ± 0.119

G = f cos φ, H = f sin φ

Çizelge 2: Aylık deniz düzetti verilerinin robust regresyon analizi sonucu belirlenen parametreler.

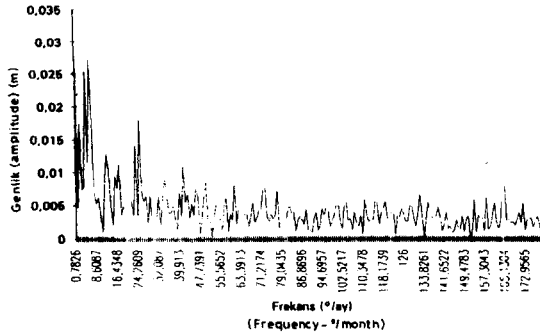
Table 2: Estimated parameters in robust regression analyses of monthly sea levels.

Parametreler (Parameters)	Değerler (Values)
a ₀	1.4295 ± 0.0099 m
a ₁	-0.0006 ± 0.0001 m / ay (month)
a ₂	0.0000 ± 0.0000
b ₁	-0.0146 ± 0.0026
b ₂	0.0198 ± 0.0018
Node 18.6 yıl G (year) H	-0.0356 ± 0.0041 -0.0027 ± 0.0042
9 yıl G	-0.0247 ± 0.0041
H	0.0002 ± 0.0039
7.7 yıl G	-0.0517 ± 0.0040
H	0.0216 ± 0.0041
SA 1 yıl G	0.0209 ± 0.0046
H	0.1351 ± 0.0271
6 ay G (month) H	-0.0208 ± 0.0041 -0.0337 ± 0.0074
4 ay G	-0.0026 ± 0.0040
H	0.0174 ± 0.0041

4. SONUÇ

Düşey datumun oluşturulmasında ilk aşama, ortalama deniz düzeyinin belirlenmesidir. Ortalama deniz düzeyi, anlık deniz düzeyi değerlerinin deniz düzeyinin değişmesine neden olan her türlü bozucu etkiler dikkate alınarak ve uyuşumsuz ölçülere karşı dirençli bir yöntemle analiz edilmesiyle belirlenmelidir. Türkiye Ulusal Düşey Datumu' nu belirlemek amacıyla, Antalya deniz düzey ölçer durağında 1938-1977 yılları arasında kaydedilen saatlik verilerden - medyan operatörü kullanılarak - elde edilen aylık ortalama değerler analiz edilerek, ortalama deniz düzeyi belirlenmiştir. Deniz düzeyi değişimine katkısı olan ve çoğunlukla gözardı edilen meteorolojik bileşenler büyük ölçüde dikkate alınmıştır. Ayrıca uyuşumsuz ve kaba hatalı veriler üzerinde önemle durulmuş ve analizde robust kestirim yöntemi tercih edilmiştir. Buna karşılık kaydedilen ham

verilerin farklı datumlara dayanması ve kısa periyotlu bileşenlerin elimine edilmesinde alçak geçirici filtrenin uygulanamamasının sonuçlar üzerinde olumsuz etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3: Düzeltmelerin Fourier analizi.

Figure 3: Fourier analysis of residuals.

Analiz sonucunda elde edilen 6.9 mm/yıl'lık deniz düzeyi artışı Douglas (1991)'de verilen 1.8 mm/yıllık değer ile uyuşmamakta, aradaki farkın düşey yer kabuğu hareketlerinden veya modelde yer verilerneyen sistematik etkilerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. GPS gözlemlerinden elde edilen ilk sonuçlar da bölgede düşey yer kabuğu hareketlerinin olabileceğini doğrular yöndedir.

Sonuç olarak, Türkiye Ulusal Düşey Datumunu belirlemek amacıyla geliştirilen karma yaklaşım için gerekli olan verilerin büyük bir bölümü - uydu altimetresi ve gravite verileri hariç - derlenmiştir. Şu ana kadar yapılan çalışmaların - tektonik yapı, uydu gözlemlerinin değerlendirilmesi, deniz düzeyi verilerinin analizi - sonuçları bölgede düşey yer kabuğu hareketleri olduğu izlenimini vermektedir. Düşey yer kabuğu hareketlerinin düşey datumun belirlenmesinde önemli bir rolü vardır ve ileride daha somut sonuçlar alabilmek amacıyla, 2 veya 3 yıllık aralarla GPS gözlemleri sürdürülecektir.

KAYNAKLAR

- Andrews, D.T. 1974, A robust method for multiple linear regression. *Technometrics*, 16. pp. 523-531
- Ayhan, M.E., Demir, C. 1993, Türkiye Düşey Kontrol Ağı'nın (TUDKA-92) tanıtımı, Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Genel Kurulu, Ankara.
- Ayhan, M.E., Hekimoğlu, Ş., Demir, C., Şanlı, D.U., Kahveci, M. 1994, Secular variation of mean sea level and vertical crustal motion using tide-gauge and GPS data. *1st International Symposium on Deformations in Turkey, September 5-9, Istanbul (in press)*.
- Baker, T.T. 1993, Absolute sea level measurements, climate change and vertical crustal movements. *Global and Planetary Change*, 8, pp.149-159.
- Beaton, A.E. ve Tukey, J.W. 1974, The fitting of power series meaning polynomials, illustrated on band-spectroscopic data. *Technometrics*, 16, pp.147-185.
- Bilham, R. 1990, Earthquakes and sea level: space and terrestrial metrology on a changing planet. *Review of Geoph.*, 29, pp. 1-29.
- Carter, W., Diamente, J., Douglas, B., Scherer, W. 1987, A NOAA program in sea level and related observations. *Draft*.
- Dixon, T.H. 1991, An introduction to the Global Positioning System and some geological applications. *Reviews of Geophysics*, 29(2), pp. 249-276.
- Douglas, B.C. 1991, Global sea level rise. *JGR*, 96(C4), pp. 69-81.
- Graff, J. and Karunaratne, D.A. 1980, Accurate reduction of sea level records. *International Hydrographic Review*, LVII(2), July.
- Huber, P.J. 1964, Robust estimation of location parameter. *Ann Math. Statist.*, pp.73-101.
- Hannah, J. 1990, Analysis of mean sea level data from New Zealand for the period 1899-1988. *J. Geophys. Res.*, 95(B8), pp.12399-12405.
- Hekimoğlu, Ş., Ayhan, M.E., Demir, C., Şanlı, D.U. 1993, Türkiye Ulusal Düşey Datum projesinin tanıtımı. Prof. Dr. Helmut Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul
- Hekimoğlu, Ş., Ayan, T., Aktaş, O. 1993, Birden fazla uyşumsuz ölçünün robust kestirim yöntemleriyle tanıtı ve uyşumsuz ölçü testleriyle belirlenmesi. Prof. Dr. Wolf Jeodezi Sempozyumu, İstanbul.
- Hekimoğlu, Ş. ve Şanlı, D.U. 1993, Düşey datum belirlenmede sorunlar ve aşamalı yaklaşım, Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Genel Kurulu, 8-11 Haziran, Ankara.
- IOC 1985, Manual on sea level measurement and interpretation. *Manuals and Guides 14*. Karunaratne, D.A. 1980, An improved method for smoothing and interpolating hourly sea level data. *International Hydrographic Review*, LVII(1), January.
- Pugh, D. 1987, Tides, Surges and Mean Sea Level. A Handbook for Engineers and Scientists. John Willey and Sons, New York.
- Rapp, R.H., Wang, Y.M. and Pawlis, N.K. 1991, The OSU 1991 geopotential and sea surface topography harmonic coefficient models, Rept. No. 410, Dept. of Geod. Sci. and Surv., OSU, Columbus.
- Rossiter, J.R. 1967, An analysis of annual sea level variations in European waters. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 12, 259-299.
- Vanicek, P. and Krakiwsky, E. J. 1982, *Geodesy: The Concepts*, North Holland Publ. Comp., Amsterdam.
- Vanicek, P. 1991, Vertical datum and NAV88, *Surv. and Land Inf Sys.*, 51, 2, pp. 83-86