

Esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulamaları

Orhan AKYILMAZ^{*}, Tevfik AYAN

İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) jeodezinin en önemli problemlerinden bazılarının çözümü için kullanılmıştır. Bu problemler sırayla, Yer yuvarı gravite alanının modellenmesi ve de GPS/Nivelman ölçülerinden geoid yüzeyinin belirlenmesidir. Gravite alanı modellenmesi için GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) uydu gravimetre verileri, GPS/Nivelman geoidi için ise İzmir metropolitan GPS nirengi ağında yapılan GPS ve nivelman ölçülerinden türetilmiş geoid yükseklikleri bilinen kontrol noktaları kullanılmıştır. Her iki uygulama sonucunda esnek hesaplama yöntemlerinin, özellikle girdi-çıkı sistemleri şeklinde tanımlanan jeodezik problemlerin çözümü için uygun yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: BÇS, geoid, GRACE, gravite alanı, YSA.

Applications of soft computing methods in geodesy

Abstract

Soft computing methods such as artificial neural networks (ANN) and fuzzy inference systems (FIS) have been widely used methods in various science and engineering fields. As the backgrounds of these methods are not very old, they have shown a rapid development with the improvements in computer systems and computation techniques. Their use in geodesy is quite new. In this study, both ANN and FIS have been used to solve the some of the major problems in geodesy. These problems are modelling of Earth's gravity field and the determination of geoid surface from GPS/Levelling. For gravity field modeling, GRACE (Gravity recovery And Climate Experiment) satellite gravimetry data, and for GPS/Levelling geoid control points with known geoid heights derived from GPS and levelling measurements in İzmir metropolitan GPS network were used. The results from the soft methods used in computations were also compared with those from the conventional methods in terms of model quality measures like root mean square (RMS) error, mean error, mean absolute error, error range, correlation coefficient. Both applications' results have concluded that soft computing methods are appropriate methods for the solution of geodetic problems especially which can be defined as input-output systems and should be considered for the solution of different other problems in geodetic science.

Keywords: ANN, FIS, geoid, GRACE, gravity field.

^{*}Yazışmaların yapılacağı yazar: Orhan AKYILMAZ. akyilma2@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 60 09.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulamaları" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 13.04.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 22.04.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Jeodezinin bugünkü koşullara uygun olarak uğraş alanı “ Jeodezinin ödevi yer yuvarının ve diğer gök cisimlerinin şeklini, dış ağırlık alanını zamanın bir fonksiyonu olarak belirlemek ve yeryüzündeki ve uzaydaki ölçümlere dayalı olarak ortalama yer elipsoidini saptamaktır” diye açıklanmaktadır (Torge, 1975). Özellikle uydu ölçme sistemleriyle beraber dünyanın tümünü kapsayan global çalışmalar da büyük bir hız kazanmıştır. Global veri toplama, bu verinin değerlendirilmesi ve analiz edilmesi için hesap yöntemlerinin gerçekleştirilmesinde gerekli olan veri organizasyonu bilgisayar sistemlerinin de paralel gelişmesiyle olanaklı kılınmıştır. Bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler çok değil, birkaç on yıl öncesinde yapılması imkansız görünen karmaşık hesaplamaların kolayca yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Bununla beraber, jeodeziciler, önceleri basit modellerle tasvir etmeye çalıştıkları süreçler için daha çok parametrenin göz önüne alındığı daha detaylı modeller kurma yoluna gitmişlerdir. Diğer yünden, yeni yüksek doğruluk sağlayan ölçme sistemlerinin yaratıcısı teknolojik gelişmeler yeni hesaplama yöntemlerinin de yolunu açmıştır.

Esnek hesaplama yöntemlerinden olan yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantığa dayalı modelleme yöntemleri bu yüzyılın son çeyreğinde bilim dünyasına sunulmuş ve kısa zamanda birçok farklı disiplin tarafından benimsenmiş ve yaygın olarak kullanılmış yöntemlerdir. Jeodezik çalışmalarda kullanımı ise henüz çok yenidir ve bunun giderek artacağı düşünülmektedir.

Bundan sonraki bölümlerde, kullanılan metodlar olan YSA ve BÇS hakkında özet bilgiler verilecektir. Daha sonra, çalışmanın amacı olan bu esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulanabilirliği araştırılacak ve örnek sayısal uygulamalar ile birlikte sunulacaktır.

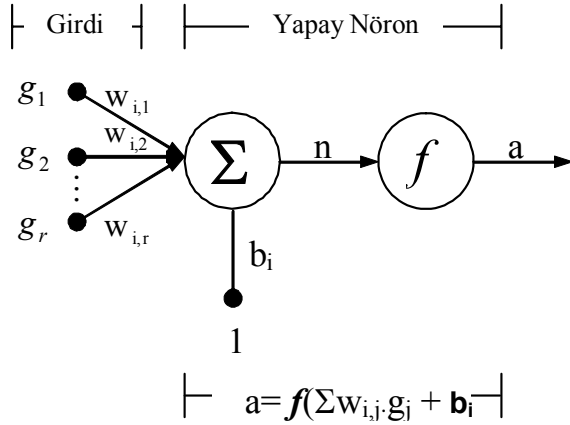
YSA hakkında genel bilgiler

YSA'ya ilişkin mevcut birçok tanım olmakla birlikte genel olarak bilgi teknolojisindeki tanım olarak, YSA insan beyninin çalışma prensibini taklit eden program ve veri yapısı sistemleridir.

Bir YSA genellikle herbiri kendi bilgi alanı çerçevesi ve yerel hafızası içerisindeki veriler ile ve birbirleriyle paralel işlem yapan çok sayıda işlemciden (nöron ya da sinir) oluşur. Tipik olarak, bir YSA büyük boyutlardaki verilerle ya da veri ilişkileri hakkındaki kurallar (örneğin; “Büyükbaba kişinin kendisinden daha yaşlıdır” gibi) ile eğitilir ya da beslenir.

YSA da kullanılan terminoloji hakkında da kısaca bahsetmekte yarar vardır. YSA'lar her şeyden önce bir mimariye sahiptir. Bu mimari YSA'da veri akışının yönünü, sınırların tanımlandığı katmanları, herbir katmanda bulunan işlemci eleman sayılarını, işlemci elemanlar arasında tanımlı sinaptik ağırlıkları sistemin girdi ve çıktılarını göstermektedir. Bu yönüyle YSA mimarisi aynı zamanda YSA'ların sınıflandırılmasının da temelini oluşturmaktadır. Bir YSA mimarisi, en az bir girdi bir çıktı katmanı adı verilen iki katmandan oluşur. Bunlara ek olarak genellikle ara katmanlar olarak adlandırılan gizli katman(lar) da YSA mimarisinde kullanılmaktadır. Herbir katmandaki sinirler diğer katmanlardaki sinirler ile sinaptik bağlar ile bağlıdır ve herbir bağ bir ağırlık değerine sahiptir (Haykin, 1994).

YSA'daki her bir sinir kendisine bir önceki sinir(ler)den gelen bilgiyi veri olarak alıp bir aktivasyon (ya da transfer) fonksiyonu ile işleme tabi tutup varsa bias değeri ile toplayıp oluşan çıktısını kendinden sonra bağlı olduğu sinirlere ilgili sinaptik ağırlıklar ile çarparak iletir. Genellikle bu çıktı değeri bundan sonraki sinirlere bir iletim olup olmayacağını belirleyecek bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenir. Bu ardışık işlemler süreci ta ki en son çıktı katmanında çıktı değerlerinin elde edilmesine kadar sürdürülür. Bir yapay sinir kendisine gelen sinyalleri (g_j) geldikleri sinirlerle olan sinaptik bağlantıların ağırlıkları ($w_{i,j}$) ile çarparak toplamakta, buna varsa bias terimini (b_i) de ekleyerek elde edilen sonucu (n) tanımlanan aktivasyon fonksiyonuna (f) göndermektedir. Argümanı n olan aktivasyon fonksiyonu da skaler sinir çıktısı olan a değerini üretmektedir. Şekil 1'de genel olarak herhangi bir ara katmandaki i -inci yapay sinirin yapısı ve işlem akışı gösterilmiştir.



Şekil 1. YSA'da işlemci eleman (Haykin, 1994)

Yukarıdaki şekil göz önüne alındığında aktivasyon fonksiyonuna girecek olan toplam büyüklük,

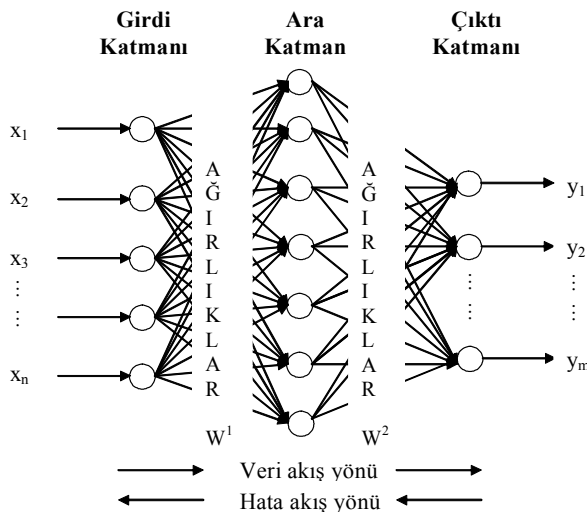
$$n = w_{i,1}g_1 + w_{i,2}g_2 + \dots + w_{i,r}g_r + b_i \quad (1)$$

$$= Wg + b_i = \sum w_{i,j}g_j + b_i \quad j = 1, 2, \dots, r$$

ve sinirin sonuç çıktı değeri ise;

$$a = f(Wg + b_i) \quad (2)$$

eşitlikleri ile ifade edilir.



Şekil 2. ÇKİB YSA mimarisi

Değişik YSA türleri mevcut olmakla beraber en yaygın olarak bilinen ve de kullanılan YSA türü

çok katmanlı ileri beslemeli (ÇKİB) ağlardır. Böyle bir ağ yapısına örnek Şekil 2'de verilmiştir. ÇKİB ağlar, karmaşık süreçlerin modellenmesinde, girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlere olan projeksiyonu yüksek doğrulukta sağlayabilme yeteneklerine sahiptir. YSA ile yüksek doğrulukta modelleme için ağların parametrelerinin bir optimizasyon yöntemi ile optimize edilmesi gereklidir. Bu optimizasyon işlemine eğitime, kullanılan yöntemde öğrenme algoritması adı verilir. En yaygın kullanılan öğrenme algoritması eğitim azaltımı (geriye yayma-backpropagation) ve Levenberg-Marquardt algoritmasıdır (Haykin, 1994).

Bulanık çıkarım sistemleri

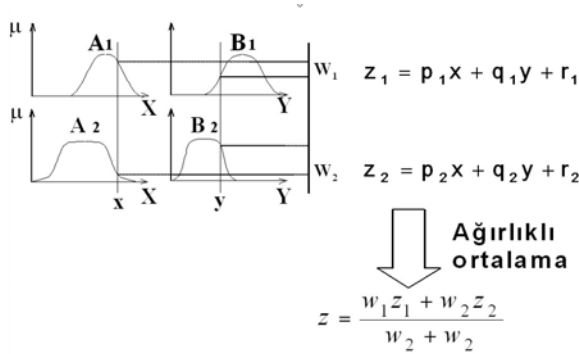
Bulanık sistemler, genel anlamda, giriş değişkenlerinden çıkış değişkenlerine dönüşümü sağlamak amacıyla bulanık kümeleri kullanan sistemlerdir (Zadeh, 1965). Bu sistemler, özellikle insan deneyimlerinin ve sözel verilerin modele katılmasında büyük yarar sağlamaktadırlar. Bu amaçla modelin değişkenleri bulanık alt kümeler ile ifade edilirler ve söz konusu çıkarım için klasik küme işlemlerinin genelleştirilmesiyle elde edilen bulanık küme işlemleri yapılır. Bulanık mantık, model yada verideki belirsizliklerin ele alınmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Bulanık çıkarım sistemleri, bulanık eğer-ise kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir. Bu nedenle bulanık çıkarım sistemleri, bulanık kural tabanlı sistemler olarak da adlandırılır. Bazı kaynaklarda bulanık çıkarım sistemleri yerine bulanık model, bulanık çağrışimli bellek, bulanık mantık kontrolör (Jang vd., 1997) terimleri de kullanılmaktadır. Bulanık çıkarım sistemlerinin temel olan bulanık eğer-ise kuralları, anlaşılacağı üzere öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. Öncül kısımda sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, soncul kısımda ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişken(ler)i yer alır. Genel olarak bir bulanık kural aşağıdaki formdadır:

Kural: **eğer** A (“koşul”) **ise** B (“sonuç”)

Burada A öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşulları, B ise soncul kısımdaki

çıkıtu değişkenlerince tanımlanan sonuçları ifade eder.

Uygulamada bulanık çıkarım sistemleri için çok sayıda ve değişik modeller önerilmektedir (Jang vd., 1997). Bunlar genel işlem sırası ve metodolojisi bakımından birbirine benzemekle birlikte soncul kısımlarındaki üyelik fonksiyonlarının yapıları itibariyle farklılıklar gösterirler. Soncul kısımlarındaki bu farklılıklar bakımından bulanık çıkarım sistemleri üç farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar Mamdani, Tsukamoto ve Sugeno tipi çıkarım sistemleridir. Bunlardan Sugeno tipi çıkarım sistemi, parametrelerinin optimize edilebilmesinin kolaylığı bakımından diğer sistemlerden avantajlıdır. Sugeno tipi BÇS’de soncul kısımdaki çıkıtu değişkeni, girdi değişkenlerinin lineer bir fonksiyonu ya da sabit bir fonksiyon şeklindeki üyelik fonksiyonuna sahiptir. Parametreleri optimize edilen Sugeno tipi çıkarım sistemlerine Adaptif Ağ tabanlı BÇS (ANFIS) adı verilir (Jang vd., 1997). Şekil 3’te iki bulanık kurallı Sugeno tipi bir BÇS yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3. Sugeno tipi BÇS örneği

ANFIS parametrelerinin optimizasyonunda, geriye yayma, en küçük kareler kestirimi, Kalman filtresi ya da birden fazla matematiksel optimizasyon yönteminin birleşmesinden oluşan hibrid öğrenme algoritmaları gibi değişik yöntemler kullanılabilir (Akyılmaz, 2005). Burada uygulamalarda hibrid yöntem kullanılmıştır.

Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemlerinde kurallar,

$$\text{Eğer } x \in A_i \text{ ve } y \in B_j \text{ ise } z_k = f_k(x, y)$$

şeklinde dir. Burada A ve B sırasıyla öncül kısımdaki X ve Y değişken uzayını bulanık alt uzaylara ayıran kümelerin etiketidir. z_k ise ($k=i \times j$ ile) o kurala ait çıkış değeridir ve bu, girdi değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Herhangi bir x,y girdi çifti için sonuç çıkış değeri ise tüm kuralların çıkış değeri olan z_k ’ların ağırlıklı ortalamasıdır:

$$z = \frac{\sum_{m=1}^k w_m z_m}{\sum_{m=1}^k w_m} \quad (3)$$

Sayısal uygulamalar

Bu bölümde, yer yuvarı gravite alanı modellenmesi ve GPS/Nivelman ölçülerinden geoid yüzeyi belirlemesi olmak üzere iki farklı uygulama verilmiştir.

Yer yuvarı gravite alanı modellenmesi

Yeryuvarının çekim potansiyeli, standart olarak aşağıdaki şekilde küresel harmonik fonksiyonlar ile ifade edilmektedir (Rapp, 1986):

$$V(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} + \frac{GM}{R} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} \cdot \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \left[\cos m \lambda \bar{C}_{nm}^V + \sin m \lambda \bar{S}_{nm}^V \right] \quad (4)$$

Burada G, yeryuvarı çekim sabiti, M, yeryuvarı kütlesi, R yeryuvarı ortalama yarıçapı, (r, θ, λ) ise Yer’in merkezine göre uzayda herhangi bir noktanın koordinatlarını göstermektedir. \bar{P}_{nm} , n-inci derece ve m-inci mertebeye kadar normalize edilmiş Legendre fonksiyonu katsayıları, \bar{C}_{nm}^V ve \bar{S}_{nm}^V ise n-inci derece ve m-inci mertebeden bilinmeyen küresel harmonik katsayılarıdır. Pratik olarak, bu küresel harmonik çekim potansiyeli, sonlu bir derece ve mertebeye kadar hesaplanmaktadır, ($n = N_{maks}$).

Koordinat sisteminin başlangıcı yerin ağırlık merkezi alındığında birinci derece harmonikler $\bar{C}_{1,0}^V$, $\bar{C}_{1,1}^V$ ve $\bar{S}_{1,1}^V$ ortadan kalkar. GRS80 (Moritz, 1992) gibi (bilinen) bir referans alanının tanımlanmasıyla (toplam) potansiyel gözlemlerin yerine artık (bozucu) potansiyel gözlemleri ile işlem yapılması yaygınca kullanılan

bir yöntemdir. GRS80, tanımlanan 4 temel sabit ile oluşturulmuştur; 1) Yer'in ekvatorial yarıçapı, 2) Yer'in jeosentrik çekim sabiti, GM^{GRS80} , 3) Yer'in basıklığı, 4) Yer'in açılal hızı. Bu parametrelere bağlı olarak, normal potansiyel U , aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Han, 2003).

$$U(r, \theta, \lambda) = \frac{GM^{GRS80}}{r} + \frac{GM}{R} + \sum_{n=2}^{\infty} \bar{P}_{n0}(\cos \theta) \cos m\lambda \bar{C}_{n0}^{GRS80} \quad (5)$$

Burada \bar{C}_{nm}^{GRS80} (yalnız çift değerli n 'ler için) yukarıda tanımlanan büyüklükler kullanılarak hesaplanmıştır. Çoğu durumda sadece ilk beş ($n=2,4,6,8$, ve 10) katsayı normal potansiyel U 'nun yüksek doğrulukta hesaplanması için yeterlidir. Yer'in çekim potansiyeline büyük bir katkı bu normal potansiyelden gelmektedir. Böylece, bozucu potansiyel T ,

$$T(r, \theta, \lambda) = V(r, \theta, \lambda) - U(r, \theta, \lambda) \quad (6)$$

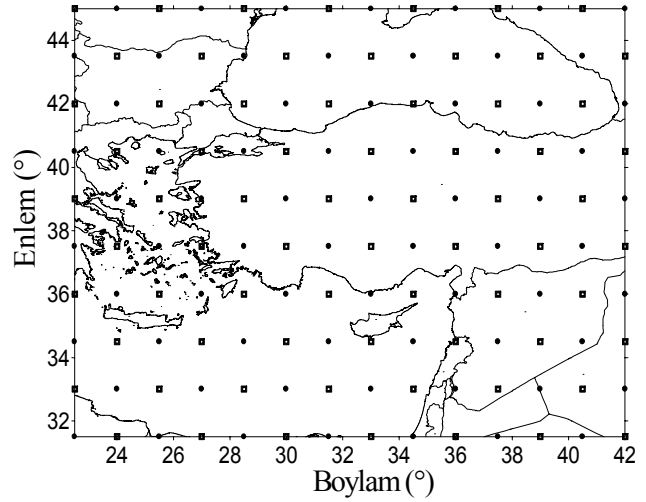
ile hesaplanır. Uzayda herhangi bir noktadaki gravite anomalileri bu bozucu potansiyelden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta g(r, \theta, \lambda) = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r}T(r, \theta, \lambda) \quad (7)$$

Gravite alanı belirleme amaçlı CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload), GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) ve GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) gibi uydu sistemleri yeryuvarının global gravite alanının şimdiye kadar tahmin bile edilemeyen yüksek doğruluk ve çözünürlükte belirlenmesini amaçlamaktadır. Yer'in statik ve zamana bağlı gravite alanı için yeni modeller aylık olarak GRACE'in bilimsel ürünleri arasında yer almaktadır. GRACE ile gravite alanı belirlemenin temelini, GRACE uydu sistemini oluşturan, yüksekliği 485 km ve aynı yörünge üzerinde aralarındaki mesafe 220 ± 50 km olan ikiz uydular arasındaki potansiyel farkının GPS ve çok yüksek presizyonlu uydular

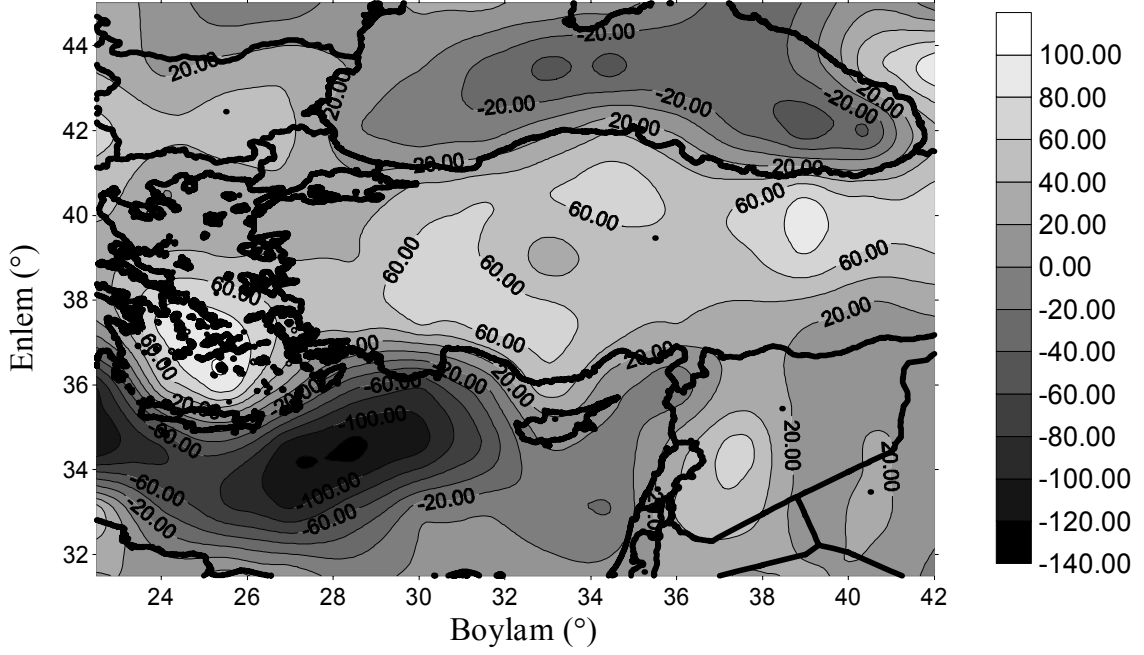
arası baz ölçmelerinden belirlenmesi esasına dayanır.

Bu uygulamada 111 gün boyunca GRACE uydularından toplanan veriler ile 120 derece ve mertebeye kadar hesaplanmış jeopotansiyel katsayılarından geoid yüzeyinde hesaplanmış gravite anomalileri kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak 31.5° - 45° enlemleri ve 22.5° - 42° boylamları arasında kalan Türkiye'nin büyük bölümü ile komşu ülkeleri, Karadeniz, Ege ve Akdeniz'in batısını kapsayan bölge seçilmiştir. $n=120$ için en yüksek çözünürlük yarı dalga boyu yaklaşık 165 km, diğer bir deyiş ile 1.5° yay derecesidir. söz konusu bölge için $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ grid aralıklı homojen olarak dağılmış geoid yüzeyine indirgenmiş 140 adet gravite anomalileri kullanılmıştır (Şekil 4). Noktaların yarısı modelin eğitiminde diğer yarısı da testinde kullanılmıştır. Veri sayısı az olduğu için YSA ile modelleme yapılmamış, sadece ANFIS kullanılmıştır.

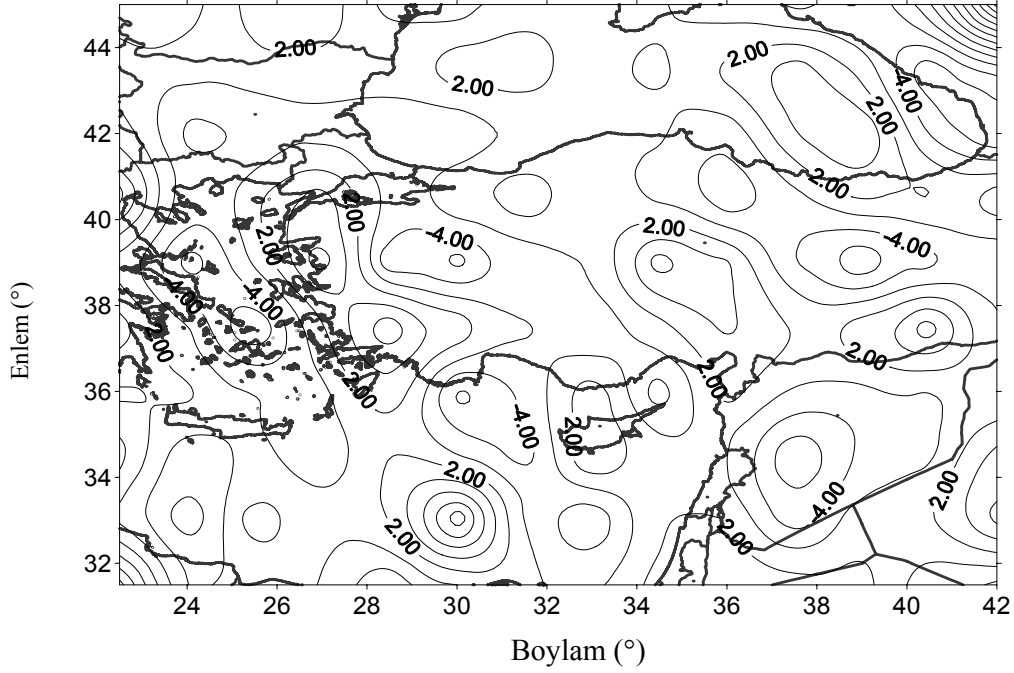


Şekil 4. Çalışma alanı ve nokta dağılımı

ANFIS modeli için girdi değişkenleri sırasıyla enlem, boylam ve yaklaşık geoid yükseklikleri, çıktı değişkeni ise söz konusu noktadaki gravite anomalileri değerleridir. En uygun ANFIS yapısında enlem ve boylam için 3, geoid yüksekliği içinse 1 adet Gauss fonksiyonu tipi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 5'te söz konusu alan için ANFIS ile oluşturulan gravite alanı, Şekil 6'da ise model hatalarının bölgedeki dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 5. ANFIS gravite alanı modeli (mgal biriminde)



Şekil 6. ANFIS gravite alanı modelinde hataların dağılımı (mgal biriminde)

ANFIS modeli ile belirlenen gravite alanının karesel ortalama hatası test noktalarında 6.7 mgal seviyesindedir. Bu değer, eğitim noktala-

rında 5.3 mgal düzeyindedir. Bu doğruluk Global model için (Gruber, 2002)'nin belirttiği doğrulukla uyum göstermektedir.

GPS/Nivelman Geoidi belirleme

Yeryuvarının şekli ve fiziksel yapısı Gauss tarafından tanımlanmış ve daha sonra Listing tarafından geoid olarak adlandırılmıştır. Geoid belirlemenin amacı yeryüzünde herhangi bir noktada, elipsoid yüksekliklerinin referans yüzeyi olan elipsoid ile nivelman yüksekliklerinin referans yüzeyi olan geoid arasındaki farkın belirlenmesidir. Bu farka geoid yüksekliği ya da geoid ondülasyonu adı verilir. h ; elipsoidal yükseklik, H ; ortometrik ya da nivelman yüksekliği, N ; geoid yüksekliği olmak üzere bunların arasındaki ilişki yeterli bir yaklaşımla,

$$N \approx h - H \quad (8)$$

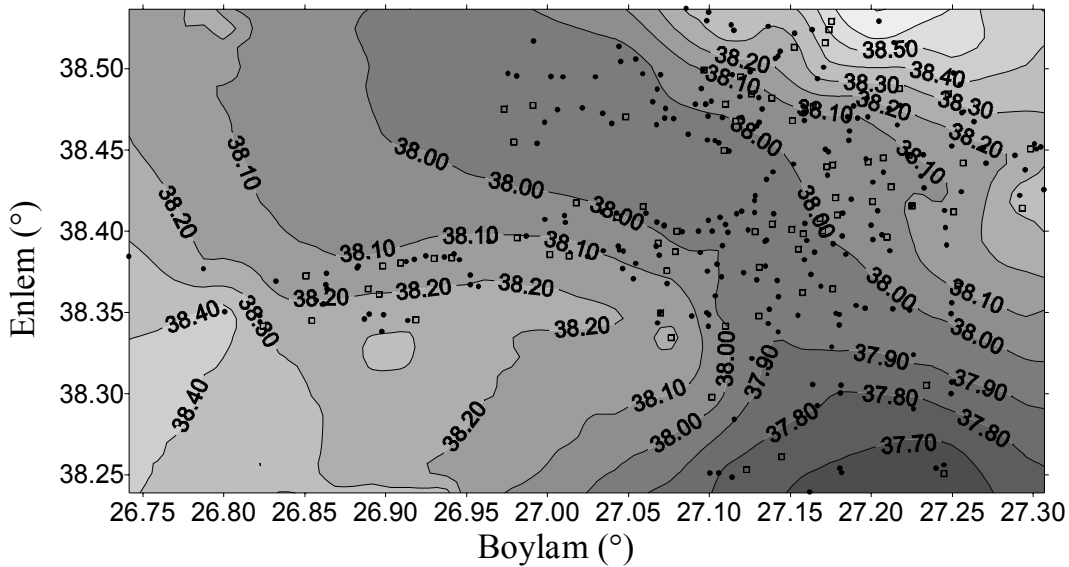
şeklinde ifade edilir.

Bu uygulamada İzmir metropolitan nirengi ağının 310 noktasında yapılan GPS ve nivelman ölçülerinin ayrı ayrı dengelenmesi ile hesaplanan elipsoidal ve nivelman yükseklikleri kullanılmıştır. Bu noktalardan 235'i eğitimde diğer 75'i ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Girdi değişkenleri olarak enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik, çıktı değişkeni olaraksa geoid yükseklikleri alınmıştır. Burada sadece YSA ile yapılan uygulama sonuçları verilmiştir. Aynı probleme, (Akyılmaz vd., 2003) ANFIS ile çözüm de getirilmiştir ve sonuçlar polinom sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

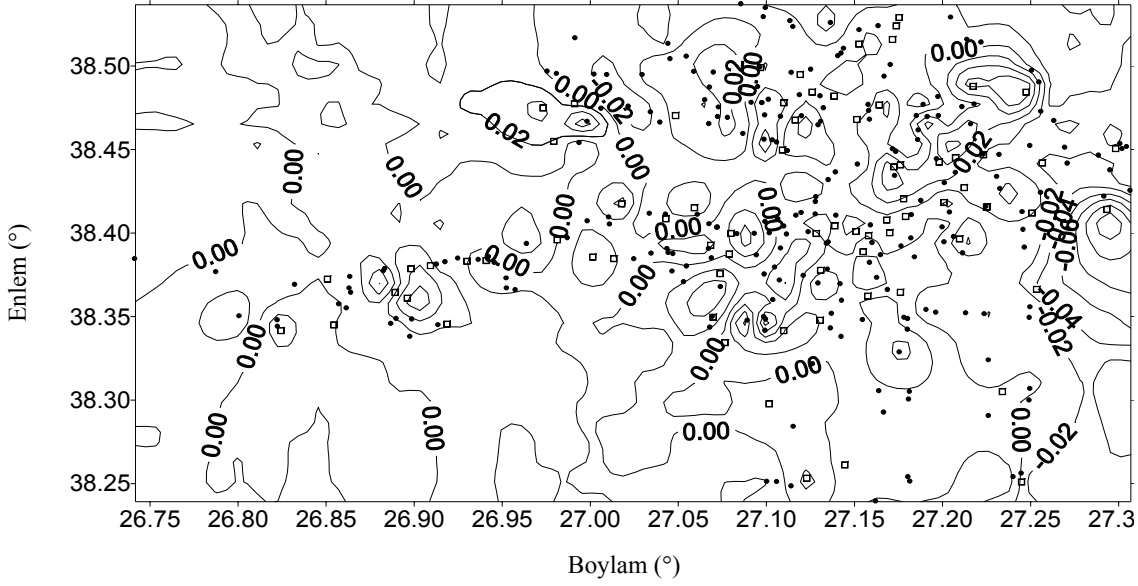
YSA modelinin belirlenmesinde öğrenme oranı, öğrenme algoritması, gizli katmanların sayısı, gizli katmanlardaki sinir sayısı ve ağ tipi gibi parametreler değiştirilerek yapılan yüzlerce denemeden sonra en uygun ağ yapısı olarak iki gizli katmandan oluşan ve her bir gizli katmanda 13 adet sinir bulunan ileri beslemeli YSA yapısı elde edilmiştir. Öğrenme oranı 0.05 ve öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmıştır. YSA modeli sonucu İzmir geoidi için karesel ortalama hata olarak yaklaşık 3.5 cm değeri elde edilmiştir. Bu değer dengeleme sonrası elipsoidal yükseklikler için belirlenen doğruluk ile hemen hemen aynen uyuşmaktadır. Verideki gürültünün (rastlantısal hatanın) daha üstünde bir doğruluk ile gerçekçi bir model kurmak imkansızdır. Şekil 7'de İzmir bölgesi için YSA ile elde edilen geoid profili gösterilmektedir. Şekil 8'de, bölgedeki model hatalarının (gerçek geoid yükseklikleri ile YSA ile hesaplanan geoid yükseklikleri arasındaki farkların) dağılımı verilmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada YSA ve BÇS gibi esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezik problemlere uygulanabilirliği bazı sayısal örneklerle ortaya konmuştur. Bu yöntemlerin, özellikle girdi-çıktı sistemleri şeklinde ifade edilebilen problemlerin çözümü için uygun yöntemler olduğu gösterilmiştir.



Şekil 7. YSA ile belirlenen İzmir geoidi



Şekil 8. İzmir YSA geoid modelinde hataların dağılımı

Gravite alanı modellemesinde, global modelden elde edilen verilerin yaklaşık olarak belirtilen doğrulukta olduğu ANFIS modelinin sonucu ile de kanıtlanmıştır. Bu doğruluğu artırmak için yörünge üzerinde ölçülen gravite gradyanlarının geoid yüzüne indirgenmesi ile elde edilecek verilerin yersel verilerle birlikte doğruluğu artıracakı düşünülmektedir.

Geoid belirlemede ise, YSA'ların iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Burada dikkat edilecek husus herbir ara katmanda bulunması gereken sınır sayısının belirlenmesi ve aşırı eğitim denilen genelleme yapamama durumunun önlenmesi için verilerin test ve eğitim kümesi olmak üzere ayrılmasının gerekliliğidir. Gerek ANFIS olsun gerekse YSA olsun optimum ağ yapısı deneme yanılmalar ile belirlenmektedir. Söz konusu yöntemlerin çok yakında jeodezik uygulamalardaki yerini alacağı açıktır.

Kaynaklar

Akyılmaz, O., Ayan, T., Özlüdemir, M. T., (2003). Geoid surface approximation by using Adaptive

- Network based Fuzzy Inference Systems. *AVN*, 8-9, 22-27, Wichmann, Hüthig, Almanya.
- Gruber, T., (2002). Gravity Field Models beyond CHAMP, GRACE and GOCE: A synergetic view of global gravity field computation. *Proc. of Heiskanen Symposium in Geodesy*, 1-4, Columbus, OH., ABD.
- Han, S.-C., (2003). Efficient global gravity determination from satellite-to-satellite tracking (SST), *PhD. Thesis*, OSU, Columbus, OH., ABD.
- Haykin, S.S., (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, NY: Mcmillan Press.
- Jang, J.-S.R., Sun, C.-T., Mizutani, E., (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, First Edition, Prentice Hall.
- Moritz, H., (1992). Geodetic reference system 1980. *Bull. Géod.* **66**, 2, 187-192.
- Rapp, R.H., (1986). Global geopotential solutions, In: *Lecture Notes in Earth Sciences: Mathematical and Numerical Techniques in Physical Geodesy*, pp. 365-415, Eds. Sünkel H., Springer-Verlag, Heidelberg, Almanya.
- Torge, W., (1975). *Geodaesie. Sammlung göschen, walter de gruyter*, 268 s., Berlin-New York, ABD.
- Zadeh, L.A., (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**, 3, 338-353.