

**Makale
(Article)**

Yapay Sinir Ağları ile Jeodezik Nokta Hız Kestirimi

Mustafa YILMAZ*, Mevlüt GÜLLÜ**

*Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Afyonkarahisar/TÜRKİYE

** Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar/TÜRKİYE
mustafayilmaz@aku.edu.tr

Özet

Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından, oluşturulan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA)'nın zaman boyutu; nokta koordinatlarında gerçekleşen zamana bağlı değişikliklerin dikkate alınmasını ve Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHBBÜY) de, TUTGA sıklaştırma nokta koordinatlarının, referans epokuna göre elde edilmesini öngörmektedir. Söz konusu işlemler, noktaların koordinatları ile birlikte hız vektörlerine (V_x , V_y , V_z) ihtiyaç duymaktadır. Mevcut uygulamalarda, tekrarlı GPS oturumları ile hızları belirlenmiş TUTGA nokta hız vektörlerinden diğer TUTGA noktalarının hızları kestirilerek TUTGA hız alanı oluşturulmaktadır. Sıklaştırma noktalarının hızları ise TUTGA noktalarının veya daha yüksek dereceli sıklaştırma noktalarının hızlarından enterpolasyonla hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, birçok mühendislik alanında yaygın olarak uygulanmaya başlanan Yapay Sinir Ağlarının (YSA), jeodezik nokta hızlarının kestiriminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. YSA'nın en çok kullanılan modeli olan Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağı (GYSA) ile jeodezik nokta hızları hesaplanmıştır. GYSA'nın performansını değerlendirebilmek amacıyla HGK tarafından TUTGA hız alanının belirlenmesinde kullanılan Kriging (KRIG) enterpolasyon yöntemi ile de hız kestirimi yapılarak elde edilen sonuçlar, karesel ortalama hata (KOH) ölçütüne göre karşılaştırılmıştır. Toplam 125 adet TUTGA noktası kullanılarak, nokta yoğunluğunun sonuçlara olan etkisini değerlendirebilmek amacıyla iki farklı yapıda oluşturulan kontrol ağları üzerinde hız kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Referans nokta sayısının, test nokta sayısından az olduğu jeodezik ağ yapısında GYSA'nın KRIG yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği, referans noktasının test noktasından fazla olduğu diğer jeodezik ağ yapısında ise KRIG ile daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Hızları bilinen nokta sayısının, hızları hesaplanacak nokta sayısından daha az olduğu kestirim problemlerinde; GYSA kullanımı ile KRIG yönteminden daha etkin şekilde jeodezik nokta hızlarının kestirilebileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: TUTGA, Jeodezik ağ, Nokta hız kestirimi, Yapay sinir ağları, Geri yayılım, Kriging.

The Geodetic Point Velocity Estimation by Artificial Neural Networks

Abstract

Turkish National Fundamental GPS Network (TNFGN) has been established in order to cover the current geodetic needs by General Command of Mapping (GCM) in parallel with the technological developments in satellite positioning systems and the rapidly growing in the use of Global Positioning System (GPS) techniques. Due to the geodetic design of TNFGN with time dimension, the GPS measurements performed in different sessions are required to process with the same reference epoch for consideration of the coordinate displacements of geodetic points caused by the active tectonic structure of Turkey. Furthermore, Large Scale Map and Map Information Production Regulation (LSMMIPR) that came into force in 2005 in parallel with the establishment of TNFGN requires obtaining the coordinates of the densification network points to be created within TNFGN according to the specified reference epoch. These transactions require the velocity vectors (V_x , V_y , V_z) besides the coordinates of TNFGN points. In the present applications, the velocity field of TNFGN is generated by estimating the velocities of TNFGN points from the velocity vectors of other TNFGN points that are determined by two or more GPS sessions. In the densification networks, the velocities of the constructed points are estimated from the velocities of TNFGN points or from higher order densification points by interpolation methods. In this

Bu makaleye atf yapmak için

Yılmaz M., Güllü M., "Yapay Sinir Ağları ile Jeodezik Nokta Hız Kestirimi" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2012, 4(2) 42-50

How to cite this article

Yılmaz M., Güllü M., "The Geodetic Point Velocity Estimation by Artificial Neural Networks" Electronic Journal of Map Technologies, 2012, 4 (2) 42-50

study, the utility of Artificial Neural Networks (ANN) that have been widely applied in diverse fields of science and engineering by various disciplines for estimation, modelling, classification, prediction, nonlinear regression since the last quarter of the passed century, is investigated for the problem of estimating the geodetic points velocities. The geodetic point velocities are estimated with Back Propagation Artificial Neural Network (BPANN) and Radial Basis Function Neural Network (RBFNN) that have been more widely applied among all other ANN applications by using the velocity information that are determined by GCM as fundamental values. In order to evaluate the performance of BPANN and RBFNN, the velocities are also estimated by Kriging (KRIG) interpolation method that is used by GCM in determining the velocity field of TNFGN and the results are compared in terms of the root mean square error (RMSE). 125 TNFGN points that are located in central and western Anatolian parts of Turkey are selected as the study area and the velocities are estimated on five different geodetic networks that were generated to assess the impact of the point density on the results. In the geodetic networks that the reference points are less than the test points, BPANN gave more accurate results than KRIG. RBFNN gave approximately same accuracy results with KRIG in the geodetic network with the least reference points. When the number of the points that will be estimated are smaller than the number of the points that are estimated, the estimation of geodetic point velocity with the use of BPANN is evaluated to be more effective and accurate than using KRIG.

Keywords: TNFGN, Geodetic network, Point velocity estimation, Artificial neural networks, Back propagation, Kriging.

1. GİRİŞ

Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), uygun donanıma sahip kullanıcılarına, herhangi bir zamanda, yeryuvarının her yerinde ve tüm meteorolojik koşullar altında konum, yön, zaman ve hız bilgisi sağlamaktadır. GPS ölçmeleri; jeodezik uygulamalar, büyük ölçekli harita üretimi ve coğrafi bilgi sistemi işlemlerinin temeli olan üç boyutlu koordinatların tespit edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olup bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak GPS kullanımı, tüm Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de köklü değişimlere neden olmuştur [1].

GPS’in üç boyutlu konum belirleme olanağını ülke genelinde etkin bir şekilde kullanmak ve ülkemizdeki tektonik plaka hareketleri ile depremler sonucu oluşan konum değişiklikleri nedeniyle güncel jeodezik gereksinimleri büyük ölçüde karşılayamayan Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı (TUYKA) yerine kullanılmak amacıyla, Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından 1997 ve 1999 yılları arasında yapılan çalışmalarla Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) kurulmuştur. Türkiye ve çevresinin aktif tektonik yapısının neden olduğu deformasyonlar nedeniyle, dört boyutlu (X, Y, Z ve zaman) olarak tasarlanan TUTGA’nın yaşatılması ve iyileştirilmesi için bünyesinde bulunan noktaların zamana bağlı koordinat değişimlerinin yüksek doğrulukla belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen periyodik GPS kampanyalarının değerlendirilerek belirlenmiş bir referans epokunda birleştirilmesi sonucu, ITRF sisteminde TUTGA koordinat ve hız alanı hesaplanmaktadır [2]. TUTGA noktalarına ait hızlar iki veya daha fazla tekrarlı GPS ölçmelerinden veya tekrarlı GPS ölçümü bulunmayan noktalarda diğer TUTGA noktalarının hızlarından kestirilerek hesap edilmektedir [3].

TUTGA’nın kurulmasına müteakip jeodezik uygulamalarda ve büyük ölçekli harita faaliyetlerinde GPS kullanımının artmasına paralel olarak, 2005 yılında Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY), noktaların koordinatları ile birlikte hızlarının da hesaplanarak kullanılmasını benimsemiştir. Büyük ölçekli harita üretimi amacıyla, uydu konumlama teknikleriyle TUTGA’nın sıklaştırılması sonucu oluşturulan C1 dereceli Ana GPS Ağı (AGA) ve C2 dereceli Sıklaştırma GPS Ağı (SGA) kapsamında tesis edilen noktaların ölçme epokundaki koordinatları, değerlendirmelerde zaman birliği sağlamak amacıyla, belirlenmiş bir referans epokuna ötelenirler. Bu işlem için kullanılacak olan AGA ve SGA nokta hızları, TUTGA veya yüksek dereceli sıklaştırma nokta hızlarından enterpolasyonla hesaplanır [4]. Jeodezik ağların hız alanlarının hesaplanması, GPS ile yüzey kabuğu hareketlerinin, fay sistemlerinin ve tektonik hareketlere bağlı deformasyonun modellenmesi ve jeodezik sıklaştırma nokta koordinatlarının istenilen referans epokuna

ötenmesi çalışmalarında temel parametre olarak kullanılan jeodezik nokta hız bilgilerinin yüksek doğrulukla kestirilmesi büyük önem arz etmektedir [5].

Temeli insan beyninin veri işleme ve karar verme mekanizmasının taklit edilmesine dayanan Yapay Sinir Ağları (YSA), geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinden itibaren, gelişen bilgisayar sistemlerine paralel olarak, birçok bilim ve mühendislik alanında modelleme, sınıflandırma, tahmin ve doğrusal olmayan regresyon gibi çalışmaların yanı sıra kestirim problemleri gibi çok sayıda örnek verinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yeterli olandan fazla ölçüyü temel ilke kabul eden jeodezide; özellikle son 15 yılda, lokal jeoid tespiti, yeryuvarı dönüklük parametrelerinin kestirimi, jeodezik deformasyon analizi, datum transformasyonu, koordinat dönüşümü, uyuşumsuz ölçü testi gibi kapsamlı ölçü kümeleri ile çalışılan problemlerde, YSA uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Jeofiziksel alışmalar bünyesinde yüzey kabuğuna ilişkin hız alanının modellenmesi ile ilgili bazı uygulamalarda YSA kullanılmış olmakla birlikte jeodezik faaliyetlere yönelik olarak; bölgesel bir kontrol ağı bünyesinde nokta hızlarının kestirimi ile ilgili bir YSA uygulamasının bulunmaması nedeniyle bu çalışma kapsamında Türkiye'nin orta ve batı Anadolu bölümlerinde yer alan toplam 125 adet TUTGA noktası seçilerek oluşturulan jeodezik ağlarda, nokta hızlarının kestiriminde YSA'nın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Nokta yoğunluğunun sonuçlara olan etkisini değerlendirebilmek amacıyla söz konusu 125 adet nokta ile iki farklı jeodezik ağ oluşturularak, YSA'nın en çok kullanılan modeli olan Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (GYRSA) [6] ile jeodezik nokta hızları hesaplanmıştır. GYRSA'nın performansını değerlendirebilmek amacıyla HGK tarafından TUTGA hız alanının belirlenmesinde kullanılan Kriging (KRIG) [1] enterpolasyon yöntemi ile de hız kestirimi yapılarak elde edilen sonuçlar, karesel ortalama hata (KOH) ölçütüne göre, HGK tarafından belirlenmiş TUTGA noktalarına ait hız değerleri temel alınarak karşılaştırılmıştır.

GPS'in üç boyutlu konum belirleme olanağını ülke genelinde etkin bir şekilde kullanmak amacıyla, Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından dört boyutlu (X, Y, Z ve zaman) olarak tasarlanan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA)'nın bünyesinde bulunan noktaların zamana bağlı koordinat değişimlerinin yüksek doğrulukla belirlenmesi büyük önem taşımaktadır [1]. Bu amaçla hesaplanan TUTGA koordinat ve hız alanı kapsamında, TUTGA noktalarına ait hızlar tekrarlı GPS ölçmelerinden veya tekrarlı GPS ölçümü bulunmayan noktalarda diğer TUTGA noktalarının hızlarından kestirilerek hesap edilmektedir. TUTGA'nın kurulmasına müteakip 2005 yılında yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY), noktaların koordinatları ile birlikte hızlarının da hesaplanarak kullanılmasını benimsemiştir. Uydu konumlama teknikleriyle TUTGA'nın sıklaştırılması amacıyla tesis edilen noktaların ölçme epokundaki koordinatları, belirlenmiş bir referans epokuna ötenirler. Bu işlem için kullanılacak olan nokta hızları, TUTGA veya yüksek dereceli sıklaştırma nokta hızlarından enterpolasyonla hesaplanır [2].

Jeodezik ağların hız alanlarının hesaplanması, GPS ile yüzey kabuğu hareketlerinin, fay sistemlerinin ve tektonik hareketlere bağlı deformasyonun modellenmesi ve jeodezik sıklaştırma nokta koordinatlarının istenilen referans epokuna ötenmesi çalışmalarında temel parametre olarak kullanılan jeodezik nokta hız bilgilerinin yüksek doğrulukla kestirilmesi büyük önem arz etmektedir [3]. Temeli insan beyninin veri işleme ve karar verme mekanizmasının taklit edilmesine dayanan Yapay Sinir Ağları (YSA), geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinden itibaren, birçok alanda modelleme, sınıflandırma, tahmin ve kestirim gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Jeodezide, özellikle son onbeş yılda, lokal jeoid tespiti, yeryuvarı dönüklük parametrelerinin kestirimi, jeodezik deformasyon analizi, datum transformasyonu, koordinat dönüşümü, uyuşumsuz ölçü testi gibi kapsamlı ölçü kümeleri ile çalışılan problemlerde, YSA uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Yüzey kabuğu hız alanının modellenmesi ile ilgili bazı uygulamalarda YSA kullanılmış olmakla birlikte jeodezik faaliyetlere yönelik olarak; bölgesel bir kontrol ağı bünyesinde nokta hızlarının kestirimi ile ilgili

bir YSA uygulamasının bulunmaması nedeniyle, bu çalışma kapsamında toplam 125 adet TUTGA noktası seçilerek oluşturulan jeodezik ağlarda, nokta hızlarının kestiriminde YSA'nın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Nokta yoğunluğunun sonuçlara olan etkisini değerlendirebilmek amacıyla söz konusu 125 adet nokta ile iki farklı jeodezik ağ oluşturularak, YSA'nın en çok kullanılan modeli olan Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (GYRSA) ile jeodezik nokta hızları hesaplanmıştır. GYRSA'nın performansını değerlendirebilmek amacıyla HGK tarafından TUTGA hız alanının belirlenmesinde kullanılan Kriging (KRIG) [1] enterpolasyon yöntemi ile de hız kestirimi yapılarak elde edilen sonuçlar, karesel ortalama hata (KOH) ölçütüne göre, HGK tarafından belirlenmiş TUTGA noktalarına ait hız değerleri temel alınarak karşılaştırılmıştır.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

İnsan beyninin temel işlem elemanı olan sinir hücrelerini yani nöronu (neuron) fonksiyonel olarak taklit ederek biyolojik sinir sisteminin basit bir simülasyonunu oluşturan matematiksel bir bilgi işleme modeli olarak tanımlanabilen YSA; gerçek hayatta karşılaşılan ve klasik yöntemlerle çözülemeyen veya çözümü oldukça karmaşık olan problemlere alternatif bir yaklaşım önermesi nedeniyle, geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinden itibaren, özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak birçok bilim ve mühendislik alanında, sınıflandırma, modelleme, tahmin, kestirim ve kontrol işlemlerinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. YSA'lar genel olarak, doğrusal olmayan, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek verilerinin bulunması durumunda veya problemin çözümü için matematiksel modelin veya algoritmanın bulunmadığı, sadece örneklerin var olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

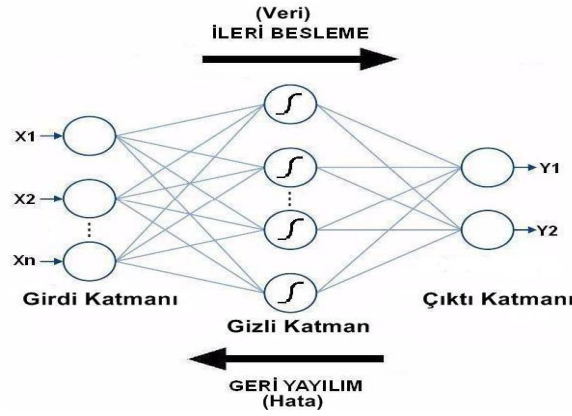
3. JEODEZİK NOKTA HIZ KESTİRİMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında, jeodezik ağ bünyesindeki hızları bilinen noktalar yardımıyla diğer noktaların hızlarının hesaplanması problemi, mekânsal kestirim kapsamında değerlendirmiş ve jeodezik nokta hız kestirimi için; YSA uygulamalarının en yaygın çok katmanlı algılayıcı (multilayer perceptron) (ÇKA) modeli olan GYRSA ve en iyi mekansal enterpolasyon yöntemi olarak kabul edilen KRIG kullanılmıştır.

3.1 Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları

GYRSA; katmanları arasında tam bağlantı bulunan, ileri beslemeli ve danışmanlı olarak eğitilen bir ÇKA modelidir. GYRSA, uygulama kolaylığı, esnek yapısı, yüksek öğrenme kapasitesi ve farklı problemlere uyarlanabilir olması nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan YSA modelidir. GYRSA, bir girdi katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır. Katmanlardaki nöronlar, verilen girdiyi işleyerek diğer nöronlara iletmekte ve istenilen çıktıya ulaşmayı sağlamaktadır. GYRSA'da aktivasyon fonksiyonu olarak, türevinin kolay alınabilir olmasının öğrenim sürecinde hataların geri yayılımını kolaylaştırdığı için, sigmoid fonksiyonu, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [7-8].

GYRSA'da nöronlar, katmanlar arasındaki bağlantıyı sağlar fakat aynı katmandaki nöronlar arasında bağlantı söz konusu değildir. Bu nedenle, girdi katmanından çıktı katmanına doğru gerçekleşen veri akışı ileri besleme yapısını oluşturur. Öğrenme sürecinde, GYRSA'nın ürettiği çıktı değeri ile istenilen çıktı değeri arasındaki farkın azaltılması amacıyla, bağlantı ağırlıklarının çıktı katmanından girdi katmanına doğru güncellenmesi de hatanın geri yayılımını oluşturmaktadır [9]. Genel yapısı Şekil 1'de verilmekte olan GYRSA, özellikle doğrusal olmayan ilişkilerin analizinde uygulamasının pratik olması ve matematiksel olarak kolay ispatlanabilmesi nedeniyle, standart geri yayılım algoritması (genelleştirilmiş delta kuralı) ile eğitilmektedir [7-8].



Şekil 1. Geri yayımlı yapay sinir ağı

3.2 Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Yer bilimlerinde karşılaşılan kestirim problemlerinin çözümüne yönelik olarak ortaya çıkan mekânsal kestirimin temeli; Tobler [10]'in, coğrafyanın ilk yasası sayılan “her şey diğer her şeyle ilgilidir fakat yakın şeyler uzak şeylerden daha ilgilidir” teorisine dayanmaktadır. Klasik istatistiksel yöntemlerden farklı olarak, mekansal kestirim; örnekler arasındaki ilişkiyi, örnekleme noktalarının koordinatlarını ve örnekler arası korelasyonu hesaba katarak ele alır. Mekânsal kestirimde kullanılan deterministik ve stokastik yöntemler arasında en yaygın olanı KRIG enterpolasyon yöntemidir [11].

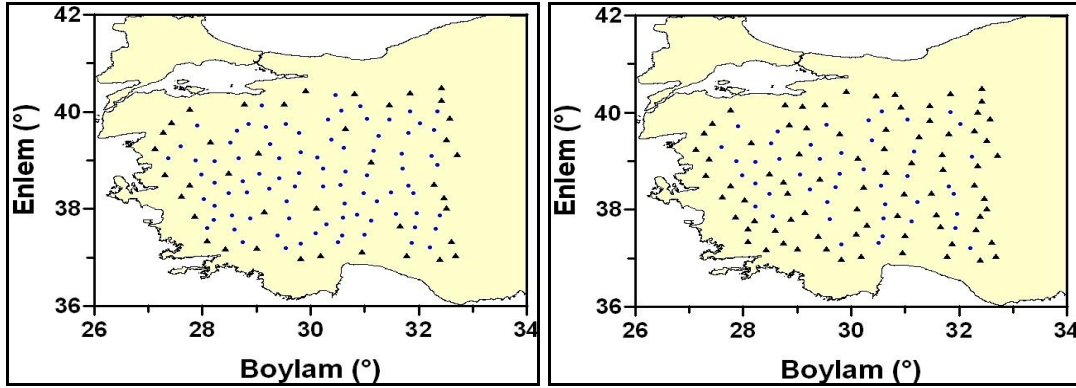
Matheron [12], KRIG yöntemini, en iyi mekânsal doğrusal kestirim yöntemi olarak belirtmiştir. KRIG, matematiksel jeodezide kollokasyon olarak bilinen en iyi lineer yansız hesaplayıcı (best linear unbiased estimator) ya da en iyi lineer yansız kestirimci (best linear unbiased predictor) olarak tanımlanır [13]. KRIG, bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon yöntemidir [14]. KRIG, bir bölgede enterpole edilecek olan değerlerin bölgesel bir değişken olduğunu kabul eder ve birbirine yakın örneklerdeki verilerin daha korelasyonlu olması için bölgesel değişken, sürekli bir konumsal çeşitlilik gösterir. Örnekleme noktalarının sayısı, dağılımı, ölçü kalitesi, örnekleme noktaları ile kestirilecek noktalar arasındaki yakınlık-uzaklık ilişkisi; KRIG yönteminin doğruluğu ve geçerliliği üzerinde büyük etki sahibidir [5].

4. SAYISAL UYGULAMA

Uygulamanın gerçekleştirildiği çalışma alanı olarak; Türkiye'nin orta ve batı Anadolu bölümlerini kapsayan, $36^{\circ},95 < \varphi < 40^{\circ},50$; $27^{\circ},10 < \lambda < 32^{\circ},75$ coğrafi sınırlar arasındaki, yaklaşık 380 km x 480 km ($\sim 182\,500\text{ km}^2$) yüzölçümlü bölge seçilmiş ve çalışma alanında bulunan, toplam 125 adet TUTGA noktasının coğrafi koordinatları ile HGK tarafından belirlenmiş ve BÖHNBÜY'ne göre mevcut büyük ölçekli harita üretim faaliyetlerinde kullanılmakta olan V_x , V_y , V_z hız değerleri, uygulama veri seti olarak düzenlenmiştir.

Çalışma kapsamında; toplam 125 adet TUTGA noktasından oluşturulan veri seti uygulamada, referans ve test olarak iki ayrı alt sete ayrılarak kullanılmıştır. Referans veri seti; GYYSA'nın eğitiminde ve KRIG yönteminde hız yüzeyinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Test veri seti ise eğitilmiş GYYSA'nın performansının değerlendirilmesinde ve KRIG yönteminin kestirim doğruluğunun belirlenmesinde kullanılmıştır. GYYSA'nın eğitiminde ve KRIG yöntemi için hız yüzeyi modelinin oluşturulmasında kullanılan referans veri setindeki nokta yoğunluğunun jeodezik noktaların hız kestirimine olan etkisini değerlendirebilmek amacıyla mevcut veri setinden iki farklı jeodezik ağ modeli (40 ve 80 referans noktası) oluşturularak, tüm V_x , V_y , V_z hız kestirimleri bu iki model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma

alanını dıştan çevreleyecek ve hız alanını karakterize edebilecek şekilde oluşturulan referans veri setinin ve referans noktalarının oluşturduğu jeodezik ağın içinde kalan ve sıklaştırma noktası olarak değerlendirilebilecek şekilde oluşturulan test veri setinin nokta dağılımları, Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. 1 ve 2 no'lu jeodezik ağ modelleri ($\Delta \rightarrow$ Referans; $o \rightarrow$ Test)

Jeodezik nokta hızlarının GYYSA ile kestiriminde, referans ve test noktalarının coğrafi koordinatları (ϕ , λ), girdi verisi olarak ve noktanın her bir $V_{X,Y,Z}$ hız bileşeni, çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Yeterli sayıda nöron kullanıldığında tek gizli katmana sahip YSA yapısı sürekli fonksiyonları yakınsayabildiği için [15-16], çalışma kapsamında kullanılacak GYYSA tek gizli katmanlı olarak tasarlanmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısının tespiti için deneme-yanılma metodu kullanılarak, MATLAB YSA modülünde, katmanlardaki nöron sayılarına göre [2:20:1] yapısına sahip GYYSA tasarlanmıştır. Referans noktasının fazla olduğu Model - 2 üzerinde GYYSA'nın eğitim işlemi gerçekleştirilerek en küçük HKO'yu üreten, YSA parametreleri; diğer modelin eğitim işlemi başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır.

KRIG yöntemi ile jeodezik nokta hızlarının kestiriminde, jeodezik ağ modellerindeki referans noktaları kullanılarak her bir $V_{X,Y,Z}$ hız bileşeni için referans hız alanı oluşturulmuş ve çapraz-doğrulama (cross-validation) tekniği ile oluşturulan hız alanının doğruluğu kontrol edilmiştir. SURFER yüzey modelleme programı kullanılarak KRIG yöntemi ile test noktalarının hızlarının kestirilebilmesi için, referans hız alanlarına ait V_X , V_Y , V_Z hız yüzeyleri oluşturulmuştur.

Jeodezik ağ modellerindeki referans veri setlerine dayalı olarak eğitilmiş GYYSA kullanılarak ve referans hız alanlarına göre oluşturulmuş hız yüzeylerine göre KRIG yöntemi kullanılarak söz konusu modellerdeki test noktalarının V_X , V_Y , V_Z hızları hesaplanmıştır. GYYSA'nın, jeodezik noktaların hızlarının kestirimindeki performansının belirlenebilmesi ve KRIG yöntemi ile kestirilen nokta hızlarının doğruluğunun tespit edilebilmesi amacıyla, test noktalarına ait HGK tarafından TUTGA kapsamında belirlenmiş temel V_X , V_Y , V_Z hız değerleri ile GYYSA, RBFS ve KRIG ile kestirilmiş V_X , V_Y , V_Z hız değerleri arasındaki hız farkları ($\Delta V_{X,Y,Z}$) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

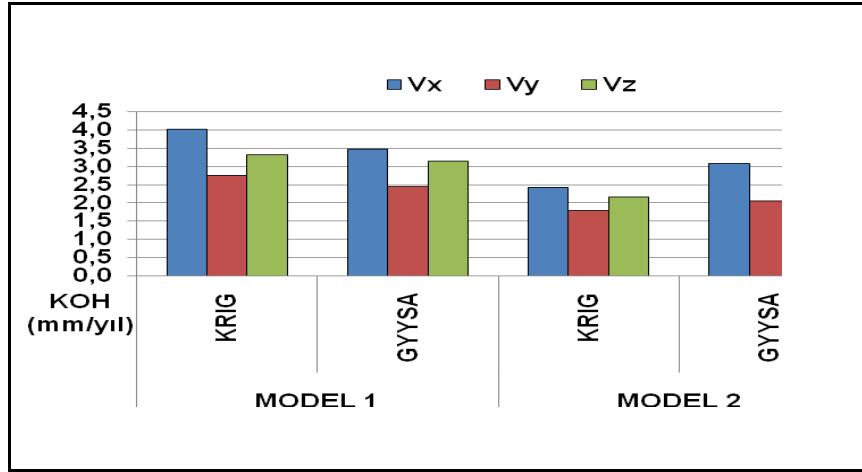
$$\Delta V_{X,Y,Z} = V_{X,Y,Z}(\text{TUTGA}) - V_{X,Y,Z}(\text{GYYSA, RBFS, KRIG}) \quad (1)$$

Elde edilen $\Delta V_{X,Y,Z}$ 'lerin istatistiksel analizi için, minimum, maksimum, ortalama ve KOH değerleri hesaplanmış ve $\Delta V_{X,Y,Z}$ 'ler; hesaplanan ve bilinen model değerleri arasındaki küçük farklara bile duyarlı olan [17], enterpolasyon yöntemlerinin hata hesabında global olarak kullanılan ve YSA uygulama sonuçlarının değerlendirilmesinde etkin olan [18] KOH ölçütüne göre incelenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeodezik ağlarda nokta hızlarının GYSSA ve KRIG yöntemi ile kestirilmesi uygulamasında; GYSSA'nın eğitiminde ve KRIG için hız yüzeylerinin oluşturulmasında kullanılmayan test veri setinin performansı belirleyici olmaktadır.

GYSSA ve KRIG yöntemlerinin nokta hız kestirimindeki performanslarının birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla, jeodezik ağ modelleri üzerinde hesaplanan V_x , V_y , V_z hız farklarının KOH ölçütüne göre karşılaştırılması Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Hesaplanan hız farklarının KOH değerleri

Tablo 1. Hesaplanan hız farklarının istatistiksel değerleri (mm/yıl)

	MODEL 1						MODEL 2					
	KRIG			GYSSA			KRIG			GYSSA		
	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_z	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_z	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_z	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_z
Minimum	-10,1	-9,7	-9,9	-10,4	-10,4	-10,1	-9,6	-8,0	-8,9	-6,0	-4,4	-5,9
Maksimum	15,3	8,5	11,5	10,5	5,7	8,2	6,3	3,7	4,3	7,8	5,7	7,0
Ortalama	1,0	0,5	0,5	0,1	0,3	-0,3	0,1	0,0	0,0	1,0	0,1	0,9
KOH	4,0	2,8	3,3	3,5	2,5	3,2	2,4	1,8	2,2	3,1	2,1	2,9

GYSSA ve KRIG yöntemleri ile elde edilen, test noktalarına ait V_x , V_y , V_z hız farklarının kendi aralarında istatistiksel olarak karşılaştırılmasında kullanılmak üzere, söz konusu hız farklarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri hesaplanarak, KOH değerleri ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir.

GYSSA ile ilgili değerler KRIG'e ait değerler ile karşılaştırıldığında; GYSSA'nın nokta hızlarını, referans noktasının test noktasından daha az olduğu modelde KRIG'den daha doğru olarak hesapladığı görülmektedir. Referans noktasının test noktasından daha fazla olduğu diğer modelde ise KRIG yöntemi, GYSSA'dan daha başarılıdır.

Bu çalışmanın amacı; mekânsal kestirim problemi olarak ele alınan jeodezik noktaların hız kestiriminde YSA'nın kullanılabilirliğinin araştırılması olup, çalışma kapsamında elde edilen verilerin tamamı (Şekil 3 ve Tablo 1) birlikte değerlendirildiğinde, jeodezik noktaların hızlarının, jeodezik ağda bulunan ve hız değerleri bilinen diğer noktalara dayalı olarak kestirilmesi probleminde, en küçük KOH değerini veren yöntemin kullanılabilir en iyi yöntem olduğu düşüncesinden hareketle, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmış ve önerilerde bulunulmuştur:

- Çalışma kapsamındaki GYYSA, genel olarak jeodezik nokta hız kestiriminde, mevcut enterpolasyon yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilir görülmektedir.
- Referans noktasının test noktasından az olduğu Model 1’de GYYSA ile KRIG’den daha iyi sonuçlar elde edilmiş olup, hız değeri bilinen nokta yoğunluğunun küçük olduğu ve geniş alanlarda fazla sayıda noktanın hızlarının kestirilmesine ihtiyaç duyulduğu jeodezik ağ yapılarında, GYYSA’nın etkin bir şekilde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.
- Örneklem noktalarının sayısının enterpolasyon yöntemlerinin sonuçları üzerinde doğrudan ve büyük bir etkiye sahip olması nedeniyle, referans noktasının test noktasından fazla olduğu Model 2’de KRIG ile daha doğru bir modelleme elde edilmiş olup, hız değeri bilinen mevcut nokta sayısının fazla olduğu jeodezik uygulamalarda KRIG yöntemi verimli olarak kullanılabilir.
- Jeodezik nokta hız kestirimi problemi için genel kapsamda kullanılabilir olarak değerlendirilen GYYSA’nın KRIG’e göre temel avantajı, esnek yapısı nedeniyle belirli bir matematiksel model izleme zorunluluğunun bulunmaması ve normal dağılımlı olmayan verilere de uygulanabilmesidir.
- KRIG yöntemi ile hız kestiriminde kullanılan ağırlık değerleri, örneklemeler arasındaki uzaklığa bağlı olarak hesaplandığı için, jeodezik ağa ilave edilen her bir yeni noktanın hızının kestirilebilmesi için ağırlıkların tekrar hesaplanması gerekmektedir. YSA ile bu problem temel olarak çözülmüştür. GYYSA, jeodezik nokta hız kestirimi için kendi içinde bir model oluşturmaktadır ve jeodezik ağa yeni bir nokta ilave edilmesi durumunda söz konusu noktanın hız değerleri, yeni bir hesaplama ihtiyacı duyulmaksızın, GYYSA tarafından oluşturulmuş mevcut model kullanılarak kestirilebilmektedir.
- Bilgisayar sistemlerindeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak bilim ve mühendislik alanlarının çoğunda yaygın olarak kullanılmasına rağmen jeodezik problemlerdeki uygulamaları başlangıç aşamasında kabul edilen YSA’nın farklı mimari yapıları (farklı aktivasyon fonksiyonları, eğitim algoritmaları, ilave gizli katman ve nöronlar) ile jeodezik nokta hız kestirimi probleminde çok daha etkin sonuçlar elde edilebileceği ve özellikle GYYSA’nın hatayı minimize eden algoritması nedeniyle mevcut enterpolasyon yöntemleri ile hibrit bir yapıda kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Güllü, M., Yılmaz, İ., Yılmaz, M. ve Turgut, B., 2011. An alternative method for estimating densification point velocity based on back propagation artificial neural Networks, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 55, 73-86.
2. Aktuğ, B., Sezer S., Özdemir, S., Lenk, O. ve Kılıçoğlu, A., 2011. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı güncel koordinat ve hızlarının hesaplanması, *Harita Dergisi*, 145, 1-14.
3. Kurt, A.İ. ve Deniz, R., 2010. Deformasyon hızlarının iyileştirilmesinde sabit GPS istasyonları zaman serileri analizinden yararlanılması, *Harita Dergisi*, 144, 20-28.
4. HKMO, 2008. Açıklamalı Örneklemeli Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, İşkur Matbaacılık, Ankara.
5. Yılmaz, M., 2012. Jeodezik nokta hız kestiriminde yapay sinir ağlarının kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
6. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. ve Williams, R.J., 1986. Learning representation by backpropagating errors, *Nature*, 323, 9, 533-536.
7. Haykin, S., 1999. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, NJ.

8. Beale, M.H., Hagan, M.T. ve Demuth, H.B., 2010. Neural Network Toolbox 7 User's Guide, The MathWorks Inc., Natick, MA.
9. Graupe, D., 2007. Principles of Artificial Neural Networks, World Scientific Publishing, Singapore.
10. Tobler, W.R., 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46, 2, 234-24.
11. Joseph, V.R., 2006. Limit Kriging, *Technometrics*, 48, 4, 458-466.
12. Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics, *Economic Geology*, 58, 1246-1266.
13. Boogaart, K.G. ve Schaeben, H., 2002. Kriging of regionalized directions, axes and orientations I. Directions and axes, *Mathematical Geology*, 34, 5, 479-503.
14. Barton, J.M.H., Buchberger, S.G. ve Lange, M.J., 1999. Estimation of error and compliance in surveys by Kriging, *Journal of Surveying Engineering*, 125, 2, 87-108.
15. Cybenko, G., 1989. Approximations by superpositions of sigmoidal functions, *Mathematics of Control, Signals and Systems*, 2, 303-314.
16. Bishop, C.M., 2005. Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, New York, NY.
17. Yılmaz, M. ve Güllü, M., 2011. Jeodezik koordinat dönüşümünde yapay sinir ağları uygulaması, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
18. Schroeder, M., Cornford, D. ve Nabney, I.T., 2009. Data Visualisation and Exploration with Prior Knowledge, in: Palmer-Brown, D., Draganova, C., Pimenidis, E. and Mouratidis, H. (Eds.), *Engineering Applications of Neural Networks*, Springer, Berlin.