

JEODEZİK KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜNDE YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMASI

Mustafa Yılmaz¹, Mevlüt Güllü²

¹AKÜ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Afyonkarahisar, mustafayilmaz@aku.edu.tr
²AKÜ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, mgullu@aku.edu.tr

ÖZET

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, büyük ölçekli haritalardaki konumsal bilgilerin, WGS-84'de tanımlı TUTGA-99A'ya göre üretilmesini öngörmektedir. Türkiye'deki bütün jeodezik ve kartografik bilgilerin 2001 yılına kadar ED-50 datumunda üretilmesi nedeniyle, ED-50 ve WGS-84 sistemleri arasında koordinat dönüşümü zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, Yapay Sinir Ağları (YSA) nın ED-50 ve WGS-84 arasındaki iki boyutlu jeodezik koordinat dönüşümünde kullanılmasıdır. Afyonkarahisar ilinde oluşturulan test ağlarında, Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (GYSA) ve Radyal Bazlı Fonksiyon Sinir Ağı (RBFSA), Benzerlik ve Afin yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. GYSA, RBFSA, Benzerlik ve Afin yöntemleriyle hesaplanan koordinatlar ile bilinen koordinatlar arasındaki farklar karesel ortalama hata yönünden değerlendirilmiş ve YSA yöntemi (GYSA ve RBFSA) ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yapay sinir ağları, Koordinat dönüşümü, Benzerlik, Afin

ABSTRACT

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN GEODETIC COORDINATE TRANSFORMATION

Large Scale Map and Map Information Production Regulation has required the positional information with TNFGN-99A that is defined in WGS-84, on large scale maps. The coordinate transformation between ED-50 and WGS-84 systems became necessary because all geodetic and cartographic information produced in Türkiye, up to year 2001, have been in ED-50 datum. The objective of this study is to apply artificial neural networks (ANN) in two-dimensional geodetic coordinate transformation between ED-50 and WGS-84. Back propagation artificial neural Networks (BPANN) and radial basis function neural Networks (RBFNN) are compared with similarity and affine methods over Afyonkarahisar test areas. The differences between the coordinates based on BPANN, RBFNN, similarity and affine methods and the known coordinates are evaluated, in terms of root mean square error, and better results are obtained with ANN method (BPANN and RBFNN).

Keywords: Artificial neural networks, Coordinate transformation, Similarity, Affine

1. GİRİŞ

Küresel Konumlama Sistemi (GPS), yüksek doğrulukla koordinat ve zaman bilgisi üretmesi nedeniyle, günümüzde jeodezik ağların kurulmasında en yaygın kullanılan tekniktir. Ülkemizin aktif tektonik yapısı ve gerçekleşen depremler sonucu oluşan deformasyonlar nedeniyle modern jeodezik uygulamaların ihtiyaçlarını karşılayamayan, Avrupa Datumu-1950 (ED-50) de tanımlanmış Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı yerine kullanılmak amacıyla Harita Genel Komutanlığı tarafından Dünya Jeodezik Sistemi-1984 (WGS-84) de tanımlı Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99A) kurulmuş ve 2001 yılından itibaren kullanılmaya başlanılmıştır (Ayhan vd., 2002). Uydu konumlama sistemlerindeki teknolojik gelişmelere ve hızla artan GPS kullanımına paralel olarak, 2005 yılında Bakanlar Kurulu tarafından onaylanarak yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, büyük ölçekli (1/5000 ve daha büyük) haritalardaki konumsal bilgilerin TUTGA-99A koordinat sistemine dayalı olarak üretilmesini öngörmektedir. Türkiye'de bütün jeodezik ve kartografik çalışmalar 2001 yılına kadar ED-50 datumunda yürütülmüştür. Kadastral sınırlar ve yasal haklar bakımından ED-50 datumunda üretilen paftaların hala kullanımda olması nedeniyle ED-50 ve WGS-84 datumlarını referans olarak üretilen koordinatlar arasında dönüşüm zorunlu hale gelmiştir.

Bilimsel çalışmalarda ve mühendislik alanlarında son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan Yapay Sinir Ağları (YSA), jeodezinin koordinat dönüşümünü de içeren çeşitli alanlarında da uygulanmaktadır (Miima vd., 2001; Lin ve Wang, 2006; Tierra vd., 2008; Yılmaz vd., 2010; Güllü vd., 2011). Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de kullanımda bulunan ED-50 ve WGS-84 datumlarına dayalı olarak üretilen koordinatlar arasındaki iki boyutlu (2B) jeodezik koordinat dönüşümü problemine YSA'nın uygulanmasıdır. Bu amaçla oluşturulan farklı iki test ağında, YSA uygulamalarında en çok kullanılan iki YSA modeli olan Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (GYSA) ve Radyal Bazlı Fonksiyon Sinir Ağı (RBFSA) ile gerçekleştirilen koordinat dönüşümü, jeodezik çalışmalarda ve kartografik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan 2B Helmert (Benzerlik) ve 2B Afin (Afin) dönüşüm yöntemleri ile karşılaştırılarak sonuçlar karesel ortalama hata (KOH) yönünden incelenmiştir.

2. İKİ BOYUTLU KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ

Bir koordinat sisteminde üretilmiş olan nokta koordinat bilgisinin başka bir koordinat sistemindeki karşılıklarının hesaplanmasına koordinat dönüşümü denir. Jeodezik çalışmalarda, ED-50 datumunda üretilmiş koordinatların TUTGA-99A sistemindeki yani WGS-84 datumundaki karşılıklarının hesaplanmasında, deformasyon analizi için datum farklılığının ele alınmasında, kartografik çalışmalarda, farklı bir koordinat sisteminde üretilmiş haritaların yeni bir sisteme göre yeniden çizilmesinde, fotogrametrik çalışmalarda alet koordinatları ile resim koordinatları, resim koordinatları ile arazi koordinatları arasındaki geçişte koordinat dönüşümü uygulanır.

Ülkemizdeki nirengi ağlarının yatay ve düşey kontrol ağları olarak iki farklı ve bağımsız şekilde oluşturulması nedeniyle yatay kontrol ağları arasındaki datum farklılıklarını giderme amacıyla düzlem koordinatları arasında 2B koordinat dönüşümü söz konusu olmaktadır. 2B koordinat dönüşümünde; (y, x) sistemindeki koordinatlar (Y, X) sistemine, her iki sistemde koordinatları bilinen yeterli sayıda eşlenik nokta yardımıyla hesaplanan dönüşüm parametreleri kullanılarak dönüştürülür.

2.1. Benzerlik Dönüşümü

Jeodezik çalışmalarda sık olarak kullanılan benzerlik dönüşümünde geometrik şekillerin benzerliği korunur (Şekil 1-a). Dönüşüm sonrası kenarlar aynı oranda büyümekte veya küçülmektedir ve açıların mutlak değerleri sabit kalmaktadır (Pektek, 1989). Benzerlik dönüşümü, eksenler birbirine dik olmak üzere, 2 öteleme, 1 dönüklük ve 1 ölçek faktörü olarak toplam 4 parametreden oluşur.

Benzerlik dönüşümü ED-50 ve WGS-84 datumları arasında düzlem koordinatlarına aşağıdaki şekilde uygulanır.

$$Y_{WGS84} = a Y_{ED50} + b X_{ED50} + c \quad (1)$$

$$X_{WGS84} = a X_{ED50} - b Y_{ED50} + d \quad (2)$$

a , b , c ve d , 4 adet koordinat dönüşüm parametresi olup her iki sistemde koordinatları bilinen en az iki ortak nokta yardımıyla en küçük kareler yöntemine göre hesap edilir.

2.2. Afin Dönüşümü

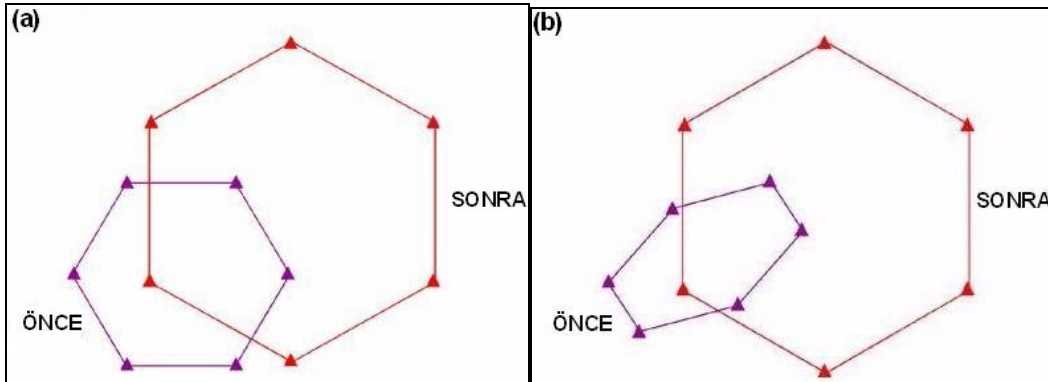
Kâğıt, film vb. maddelerde farklı yönlerde farklı deformasyonlar meydana gelmesi nedeniyle kartografik ve fotogrametrik çalışmalarda sık olarak kullanılan Afin dönüşümü, farklı eksenlerde farklı ölçek içermesi ve koordinat eksenlerinin birbirine dik olmaması bakımından benzerlik dönüşümünden farklıdır (Wolf ve Dewitt, 2000). Afin dönüşümünde koordinat sistemi eksenlerindeki ölçek faktörü birbirinden farklıdır. Dönüşüm sonrası elde edilen koordinatlarla hesaplanan semt, kenar ve açı değerleri eski sisteme göre değişmiştir (Şekil 1-b). Afin dönüşümü, 2 öteleme, 2 dönüklük ve 2 ölçek faktörü olarak toplam 6 parametreden oluşur.

Afin dönüşümü ED-50 ve WGS-84 datumları arasında düzlem koordinatlarına aşağıdaki şekilde uygulanır.

$$Y_{WGS84} = a Y_{ED50} + b X_{ED50} + c \quad (3)$$

$$X_{WGS84} = d Y_{ED50} + e X_{ED50} + f \quad (4)$$

a , b , c , d , e ve f , 6 adet koordinat dönüşüm parametresi olup her iki sistemde koordinatları bilinen en az üç ortak nokta yardımıyla en küçük kareler yöntemine göre hesap edilir.



Şekil 1: İki boyutlu koordinat dönüşümü (a) Benzerlik (b) Afin

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA, insan beyninin karar verme işleminin basitleştirilmiş bir modeli olarak geliştirilmiş, birbirine ağırlıklar ile bağlı çok sayıda yapay sinir hücresinden (nöron) oluşan bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir (Haykin, 1999). Farklı mimari yapıda YSA modelleri bulunmaktadır. Bu mimari yapı, YSA'da veri akış ve hata yayılım yönünü, nöronların tanımlandığı tabakaları, tabakalardaki nöron sayılarını, nöronlar arasında tanımlı sinaptik ağırlıkları, sistemin eğitim algoritmasını ve aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir (Akyılmaz, 2005). Günümüzde gerçekleştirilen YSA uygulamalarında en sık kullanılan YSA modelleri GYYSA ve RBFSA'dır (Şekil 2).

3.1 Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağı

GYRSA, çok katmanlı, ileri beslemeli, danışmanlı öğrenme yönteminin uygulandığı bir YSA modelidir. GYRSA, N girdili bir giriş tabakası, q birimli bir gizli tabaka ve n çıkıtlı bir çıkış tabakasından oluşmaktadır. Tek bir çıkış nöronunun ($i=1$) olduğu GYRSA modelinde ağırlık değeri;

$$y = f \left(\sum_{j=1}^q W_j f \left(\sum_{l=1}^N w_{j,l} x_l \right) \right) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. W_j gizli tabaka ile çıkış tabakası arasındaki ağırlık, w_j giriş tabakası ile gizli tabaka arasındaki ağırlık ve x_j girdi parametresidir. Aktivasyon fonksiyonu (f) olarak aşağıda ifade edildiği şekilde sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$f(z) = 1 / (1 + e^{-z}) \quad (6)$$

GYRSA'nın eğitim prosedüründe en küçük karesel hata kuralını kullanan Delta kuralı kullanılmaktadır (Haykin, 1999). Ağırlık eğitim işlemi, bilinen girdi ve çıktı parametrelerinden oluşan bir veri seti ile ilgili olarak gizli tabaka ile çıkış tabakası arasındaki ağırlıkların, dengelenmesidir. Bu iteratif dengelemede ağırlıklar, ağırlık değeri ile hedef (gerçek) değer arasındaki farkı azaltacak şekilde güncellenmektedir. Ağırlık eğitim işlemi temel olarak iki basamaktan oluşur. İleri besleme ve geri yayılım. Ağırlık performansı kabul edilebilir bir büyüklüğe ulaştıkça eğitim işlemi sonlandırılır. GYRSA'da performans ölçütü olarak ortalama karesel hata (OKH) kullanılmıştır.

$$OKH = 1/N \sum_{i=1}^N (y_i^{hedef} - y_i^{ağ})^2 \quad (7)$$

N girdi sayısını, y_i^{hedef} istenen (bilinen-gerçek) değeri ve $y_i^{ağ}$ ağ tarafından üretilen değeri ifade etmektedir.

3.2. Radyal Bazlı Fonksiyon Sinir Ağı

RBFSA; sınıflandırma, fonksiyon yakınsama yapıları olarak çok katmanlı ağlara alternatif olmak üzere geliştirilmiş olan YSA modelidir. RBFSA'nın gizli tabakasında aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal olmayan radyal bazlı fonksiyonlar kullanılmaktadır. Ağırlık değeri ise doğrusal fonksiyonların uygulandığı çıkış tabakasında hesap edilmektedir. Girdi parametrelerinin tanımlı olduğu uzayın bölünmesi suretiyle oluşturulan alt uzaylar üzerinde eşleştirme gerçekleştirilerek lokal özelliklerin tanımlanmasında oldukça etkin YSA modelidir.

RBFSA için aktivasyon fonksiyonu olarak seçilen Gauss fonksiyonu;

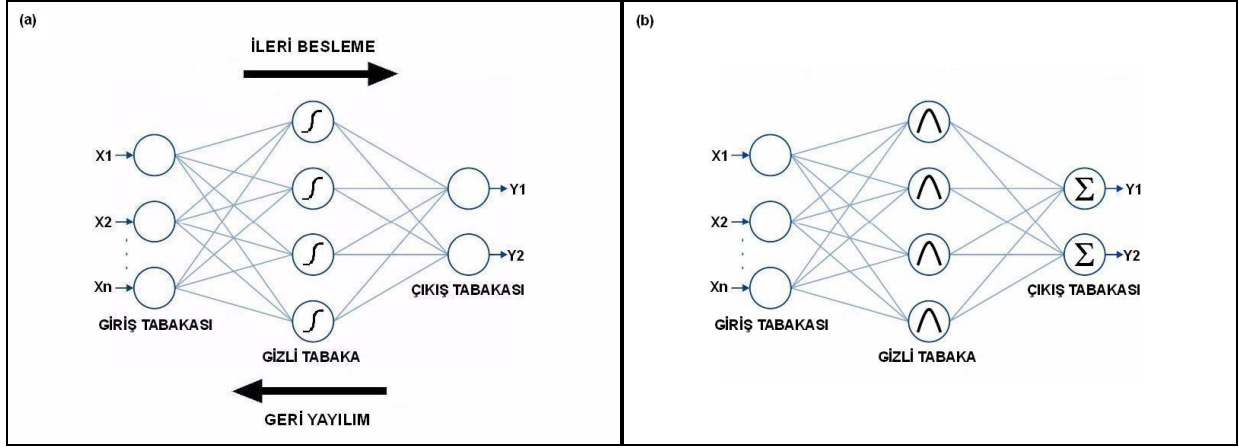
$$G_j(X) = \exp \left(- \frac{\|X - u_j\|^2}{2\sigma_j^2} \right) \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır. X girdi vektörü, u_j ve σ_j radyal bazlı fonksiyon G 'nin ve genişlik parametresinin j nci gizli nörona ait merkez değerleridir. $\|\cdot\|$ terimi ise Öklit mesafesini ifade etmektedir.

Temel olarak RBFSA'nın performansı merkez değerlerine bağlıdır. X RBFSA'daki karşılığı olan u ya gerektiği kadar yaklaştığında, gizli nöron aktifleştirilmektedir. Her bir gizli nöronun karşılığı, kendisine bağlanan ağırlıklar ve çıkış nöronları tarafından ölçeklendirilmektedir. RBFSA modelinde ağırlık değeri;

$$y_k = \sum_{j=1}^p W_{jk} a_j + W_0 \quad (9)$$

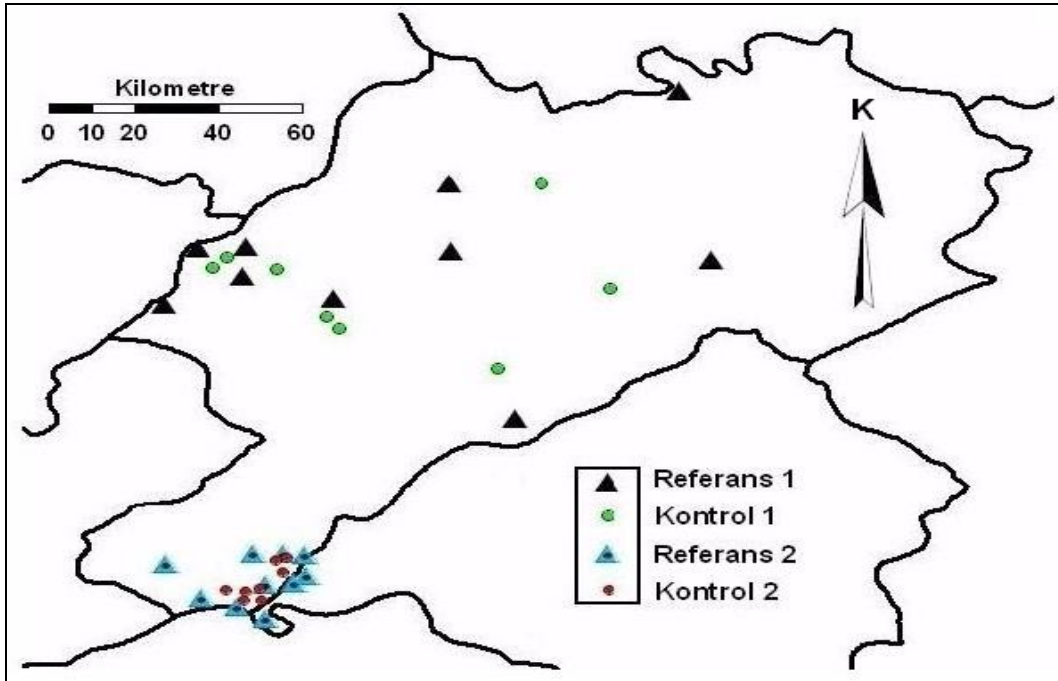
ile hesaplanır. W_{jk} : j inci gizli nöron ile k nci çıkış nöronu arasındaki ağırlık, W_0 : bias faktörü ve p : gizli nöron sayısıdır. RBFSA için de performans ölçütü olarak Formül (7) ile tanımlanan OKH kullanılmaktadır.



Şekil 2: Yapay sinir ağları (a) GYSA (b) RBFSA

4. ÇALIŞMA ALANI, KAYNAK VERİ VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

GYSA ve RBFSA kullanılarak 2B koordinat dönüşümü çalışmasını gerçekleştirmek üzere Afyonkarahisar ilinde; iki ayrı test alanı ($38.2^{\circ} K < \varphi_1 < 39.1^{\circ} K$; $29.8^{\circ} D < \lambda_1 < 31.0^{\circ} D$ ve $37.7^{\circ} K < \varphi_2 < 37.9^{\circ} K$; $29.8^{\circ} D < \lambda_2 < 30.2^{\circ} D$) oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: Test noktalarının coğrafi dağılımı

GYSA ve RBFSA kullanılarak ayrıca Benzerlik ve Afin yöntemleriyle gerçekleştirilen koordinat dönüşümü, ED-50 ve WGS-84'e göre koordinatları belirlenmiş toplam 36 adet TUTGA-99A ve ana GPS ağı (AGA) noktasını temel almaktadır.

Gerçekleştirilen koordinat dönüşümünün performansı, noktaların bilinen düzlem koordinatları ile GYSA, RBFSA, Benzerlik ve Afin yöntemleri ile hesaplanmış düzlem koordinatları arasındaki farklara göre değerlendirilmektedir.

$$\Delta_{Y,X} = (Y,X)_{\text{bilinen}} - (Y,X)_{\text{hesaplanmış}} \quad (10)$$

Hesaplanan koordinat farklarının ($\Delta_{Y,X}$) istatistiksel analizi için, maksimum negatif, maksimum pozitif, ortalama ve KOH değerleri hesaplanmış ve $\Delta_{Y,X}$ ler, hesaplanan ve bilinen model değerleri arasındaki küçük farklara duyarlı bir ölçüt olan KOH (Abghari vd., 2009) kullanılarak incelenmiştir.

$$\text{KOH} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta_{Y,X})^2} \quad (11)$$

5. DÖNÜŞÜM ÇALIŞMASI

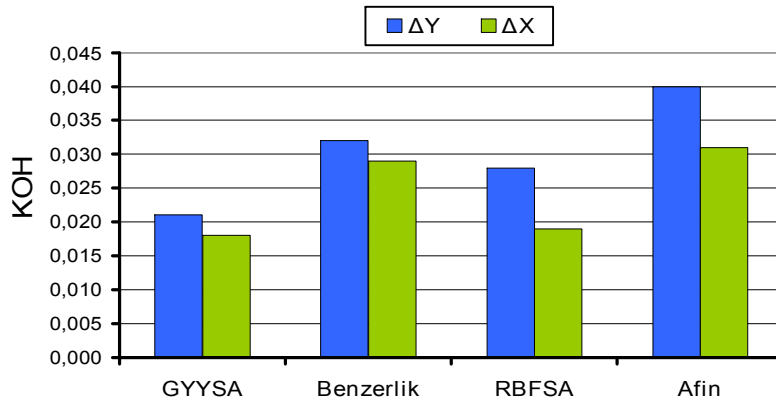
Kaynak veri seti referans ve kontrol veri seti olarak iki gruba ayrılmış olup, 1 ve 2 no'lu test alanlarında 10'ar adet nokta referans veri seti olarak YSA yönteminde GYYSA ve RBFSA'nın eğitim işlemi için, Benzerlik ve Afin yöntemlerinde ise dönüşüm parametrelerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Ağ eğitimi ve parametre hesabında kullanılmayan 8'er adet nokta her iki test alanında kontrol veri seti olarak, bilinen nokta koordinatları ile karşılaştırılmak suretiyle, GYYSA, RBFSA, Benzerlik ve Afin yöntemlerinin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. 1 no'lu test alanında GYYSA ile Benzerlik yöntemi ve 2 no'lu RBFSA ile Afin yöntemi karşılaştırılmıştır.

GYYSA ve RBFSA; giriş, gizli ve çıkış tabakası olarak 3 katmanlı şekilde tasarlanmıştır. Her iki YSA modelinde de giriş ve çıkış tabakasında 2'şer adet nöron bulunmakta olup, noktaların, (Y_{ED50} , X_{ED50}) düzlem koordinatları girdi parametreleri ve (Y_{WGS84} , X_{WGS84}) düzlem koordinatları ise çıktı parametreleri olarak kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayılarının belirlenmesinde izlenen deneme-yanılma prosedürü sonucunda en uygun ağ yapısı olarak GYYSA için [2:23:2] ve RBFSA için [2:28:2] belirlenmiştir.

YSA yönteminde; referans veri setleri ile eğitilen GYYSA ve RBFSA kullanılarak kontrol noktalarının koordinatları hesaplanmıştır. Benzerlik ve Afin yöntemlerinde ise referans veri setlerinden elde edilen dönüşüm parametreleri kullanılarak kontrol noktalarının koordinatları hesaplanmıştır. Kontrol noktalarının hesaplanan koordinatları ile bilinen koordinatları arasındaki koordinat farklarının hesaplanan istatistiksel değerleri ve KOH'ları Tablo 1'de verilmekte ve ilgili KOH değerleri Şekil 4'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Kontrol veri setlerine ilişkin koordinat farklarına ait istatistiksel değerler (birimler metre).

DÖNÜŞÜM		Maks. (-)	Maks. (+)	Ortalama	KOH	
TEST 1	GYYSA	ΔY	0.018	0.019	0.005	0,021
		ΔX	0.015	0.021	0.004	0,018
	Benzerlik	ΔY	0.020	0.025	0.008	0,032
		ΔX	0.015	0.023	0.008	0,029
TEST 2	RBFSA	ΔY	0.017	0.015	-0.005	0,028
		ΔX	0.022	0.013	-0.007	0,019
	Afin	ΔY	0.019	0.027	0.007	0,040
		ΔX	0.022	0.024	0.011	0,031



Şekil 4: Kontrol noktalarının koordinat farklarına ait KOH değerleri (birimler metre)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen koordinat dönüşüm sonuçlarına ilişkin olarak Tablo 1’de verilen maksimum negatif, maksimum pozitif ve ortalama değerler incelendiğinde YSA modellerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 4’de de görülebileceği üzere, Tablo 1’deki sonuçlar KOH yönünden değerlendirildiğinde; 1 no’lu test alanında GYYSA’nın kontrol noktalarının koordinatlarını Benzerlik yönteminden daha doğru ($\pm 0,021$ m, $\pm 0,018$ m) hesapladığı, 2 no’lu test alanında da RBFSA’nın Afin yönteminden daha doğru ($\pm 0,028$ m, $\pm 0,019$ m) sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bu çalışmada, YSA’nın 2B koordinat dönüşümü probleminde alternatif bir yöntem olarak uygulanması amaçlandığı için, elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki önermeler yapılabilir.

- 1) ED-50 ve WGS-84 datumlarına dayalı olarak üretilen koordinatlar arasındaki 2B jeodezik koordinat dönüşümünde, KOH yönünden, GYYSA ve RBFSA’nın kullanımı ile Benzerlik ve Afin yöntemlerinden daha doğru sonuçlar elde edilmektedir.
- 2) Uygun bir şekilde tasarlanmış ve eğitim işlemi tamamlanmış olan YSA, 2B koordinat dönüşümü probleminde mevcut koordinat dönüşüm yöntemlerine alternatif bir dönüşüm aracı olarak kullanılabilir.
- 3) Daha yüksek doğruluklu (hassas) koordinat bilgisi ve daha iyi bir coğrafi örtüye sahip koordinat verisi ile YSA ile koordinat dönüşümünde daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca farklı mimariye sahip GYYSA, RBFSA ve diğer YSA modelleri (farklı eğitim algoritmaları, aktivasyon fonksiyonları, ilave gizli tabaka ve nöron vb.) kullanılarak daha geniş bir koordinat veri kaynağı ile 2B koordinat dönüşümü ve 3B datum dönüşümü gelecekteki çalışmalarda ele alınabilir.

KAYNAKLAR

- Abghari H., Mahdavi M., Fakherifard A., Salajegheh A., 2009. *Cluster analysis of rainfall-runoff training patterns to flow modelling using hybrid RBF networks*. Asian Journal of Applied Sciences, 2 (2), 150-159.
- Akyılmaz O., 2005. *Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamalar*. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayhan M.E., Demir C., Lenk O., Kılıçoğlu A., Aktuğ B., Açıkgöz M., Fırat O., Şengün Y.S., Cingöz A., Gürdal M.A., Kurt A.İ., Ocak M., Türkezer A., Yıldız H., Bayazıt N., Ata M., Çağlar Y., Özerkan A., 2002. *Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99)*, Harita Dergisi, Özel Sayı: 16.
- Güllü M., Yılmaz İ., Yılmaz M., Turgut B., 2011. *An alternative method for estimating densification point velocity based on back propagation artificial neural networks*. Studia Geophysica et Geodaetica, 55 (1), 73-86. (DOI: 10.1007/s11200-011-0005-6)
- Haykin S., 1999. *Neural networks: A comprehensive foundation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Lin L.S., Wang Y.J., 2006. *A study on cadastral coordinate transformation using artificial neural network*. Proceedings of the 27th Asian Conference on Remote Sensing, Ulaanbaatar, Mongolia.
- Miima J.B., Niemeier W., Kraus B., 2001. *A neural network approach to modelling geodetic deformations*. In: Carosio, A., Kutterer, H. (Eds.), Proceedings of the 1st International Symposium on Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS, Zurich, Swiss.
- Pektekin A., 1989. *Dönüşümler ve seçmeli noktalara göre programlanması*. Türkiye II. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 6-10 Ocak, Ankara.
- Tierra A., Dalazoana R., De Freitas S., 2008. *Using an artificial neural network to improve the transformation of coordinates between classical geodetic reference frames*. Computers and Geosciences, 34, 181-189.
- Wolf P.R., Dewitt B.A., 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, McGraw-Hill Companies, New York, NY.
- Yılmaz İ., Güllü M., Yılmaz M., Dereli M.A., 2010. *Compass roses on the Book of Navigation (Kitab-ı Bahriye): Declination data source for geomagnetic field models*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 182, 170-174. (DOI:10.1016/j.pepi.2010.07.011)