

YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI SİLİNDİRİK DÜZ DİŞLİ ÇARK TASARIMI

İhsan TOKTAŞ*, Nizami AKTÜRK**

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Teknikokullar/Ankara

**Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Maltepe/Ankara

Geliş Tarihi : 23.01.2007

ÖZET

Bu çalışmada, silindirik düz dişli çarkların analitik yöntemle tasarım hesaplamaları yapılarak, Yapay Sinir Ağları (YSA) modelinde kullanılmak üzere, eğitim ve test küme verileri oluşturulmuştur. Girdi katmanında silindirik düz dişli çarkların ihtiyaç ve sınırlandırma değişkenleri, çıktı katmanında ise modül (diş dibi gerilmesine ve yüzey basıncına göre) ve dişli sayıları kullanılmıştır. Bu veriler, çok katmanlı, tek yönlü, hiyerarşik bağlantılı, hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasının Scaled Conjugate Gradient (SCG) ve Levenberg-Marquardt (LM) versiyonlarının her biri için 'logistic sigmoid' transfer fonksiyonu kullanılarak, değişken sayıda gizli katman ve işlem eleman sayılarında eğitilmiştir. Sonuçta, eğitilen YSA modeli çok başarılı ve test verileri hata değerleri çok düşük bulunmuştur. Böylece, dişli çarkların kavramsal tasarımında kullanılan analitik hesap yöntemi yerine YSA tabanlı sistematik bir yaklaşımın da kullanılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yapay sinir ağları, Silindirik düz dişli çarklar.

CYLINDRICAL SPUR GEARS DESIGN BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

In this study, testing and training data sets of Artificial Neural Networks(ANNs) models have been produced by employing analytical design calculations of cylindrical spur gears. In the input layer, the constraints and requirement values of cylindrical spur gears are used while at the output layer the modules (e.g. the bending and contact stress) and the number of teeth are used. These data have been presented to train a multi layered, single directed, hierarchically connected ANNs using Scaled Conjugate Gradient (SCG) and Levenberg-Marquardt (LM) Back Propagation algorithms with the logistic sigmoid transfer function. The outcomes demonstrated that, the ANN based model have been very successful and the testing data produced very low level of errors. It has been shown that, the ANN based mechanism may be used in the design of cylindrical spur gears instead of analytical calculations.

Key Words : Artificial neural networks, Cylindrical spur gears.

1. GİRİŞ

Tasarım insana bağlı bir faaliyet olduğu için, tasarımcı kendi düşünce tarzını tasarım problemine yansıtır. Bu nedenle, tasarım için herhangi bir

kararın bağımsız desteklenmesi veya tersi, insan düşünme tarzına paraleldir. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin varsayılan çalışma prensiplerine göre tasarlanmış olup, öğrenme ve paralel çalışma özellikleri sayesinde hacmi geniş ve karmaşık sistemlerde kısa sürede sonuçlar

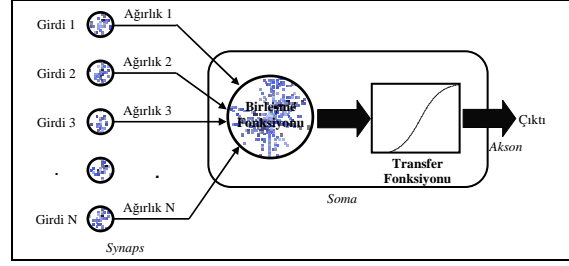
üretebilmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan tasarım problemlerini de çok iyi modelleyebilmektedir (Toktaş, 2005).

YSA günümüzde çoğu alanda büyük bir hızla kullanılmaya devam etmekte olup, sınıflandırma, tahmin, kontrol sistemleri, optimizasyon ve karar verme gibi bazı uygulamaları bulunmaktadır. Son yıllarda YSA'nın modelleme ve tahmin amaçlı kullanımı artmıştır (Prabhakar, 1992; Dağlı, 1993; Henderson, 1994; Nezis, 1997; Chen, 1998; Su, 1998; Sun, 2000; Kwang-Kyu, 2002). Dişli çark tasarımı için ise Su vd. (Su, 2000), yapay sinir ağları, bilgiye dayalı sistemler ve multimedya tekniklerini kullanarak farklı bir zeki karma tasarım işlem modeli geliştirmiştir. Fakat bu çalışmada, YSA'nın uygulanmasında eğitim setleri, ağırlık öğrenmesi ve ağırlık parametreleri konusunda yeterli bilgi verilmemiştir.

Dişli çarkların tasarımında bazı değerler deneme yanılma ile verilip tekrar geri hesaplama yapılmaktadır. Ayrıca, her faktör için ayrı işlem yapıldığından hesaplar çok karmaşıktır ve doğrusal değildir. Bu durum zaman kaybı ve hesap hatalarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, silindirik düz dişli çarkların tasarımı için, YSA tabanlı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Sonuçta eğitilen YSA modeli çok başarılı ve test verileri hata değerleri çok düşük bulunmuştur. Dişli çarkların kavramsal tasarımında kullanılan analitik hesap yöntemi yerine YSA'ların kullanılabilirliği gösterilmiştir.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

İnsan beyni, sinir hücrelerinin (nöronlar) ve bunların birbirleriyle bağlantılarıyla oluşan iletişim ağıyla, görmeyi, hareket etmeyi, öğrenmeyi, hafızaya almayı ve düşünmeyi mümkün kılar. Bir sinir hücresinin analizi, YSA'nın oluşturulmasında temel teşkil ettiğinden önem arz eder. YSA, birbirine bağlanmış ve hiyerarşik yapıda olan basit işlem elemanlarının (yapay sinir hücreleri) yoğun bir paralel dizisi ve verilen girdilere karşı çıktı üretebilen bir Kara Kutu olarak tanımlanabilir. Her işlem elemanının bilgi toplama ve bunu işleyerek diğer elemanlara gönderme özelliği vardır. İşlem elemanları; girdiler, ağırlıklar, birleşme (toplama) fonksiyonu, transfer (aktivasyon) fonksiyonu ve çıktı olmak üzere 5 elemandan oluşur (Şekil 1). Bir ağırlık mimarisi, ağırlık bağlantı tarzı ve işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak tanımlanır. Bir yapay sinir ağı genellikle girdi katmanı, gizli katman(lar) ve çıktı katmanından oluşur (Toktaş, 2006).



Şekil 1. İşlem elemanı yapısı

3. SİLİNDİRİK DÜZ DİŞLİ ÇARKLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI TASARIMI

3. 1. Tasarım Alternatif Çözüm Örneklerinden Veri Tabanı Oluşturulması.

Bu çalışmada, alternatif çözümler YSA'nın veritabanını oluşturacağından ihtiyaç ve sınırlandırmalar belirlenip analiz edildikten sonra, kullanıcıya net bir şekilde sunulması gerekmektedir. Bu amaçla;

- Silindirik düz dişli çarkların tasarımı için gerekli ihtiyaç ve sınırlandırmalar belirlenmiş, belli sistematik bir düzen içerisinde eğitim ve test küme verileri oluşturmak için alternatif çözümler elde edilmiştir. Tüm formüller, detaylar, tablolar, malzemeler ve özellikleri Microsoft Excel'de analitik olarak hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan eğriler regresyonla formül haline getirilerek grafiklerin yerine kullanılmıştır.
- Dişlilere ait modül ve diş sayısı değerleri, dişlilerin fonksiyonel ve fiziksel tarifini (kavramsal tasarımını) verir. Standard silindirik düz dişli çarklara ($\alpha = 20^\circ$, $z_1 = 17$, $x_1 = x_2 = 0$) ait alternatif çözümler analitik olarak (Akkurt, 1999, Zet Redüktör 2001, DIN 780, DIN 3966, DIN 3970)'e göre modül ve diş sayısı değerlerini elde etme hedeflenecek şekilde hiyerarşik bir şekilde yapılmıştır. Modül değeri hesaplanırken, diş dibi gerilmesi ve yüzey basıncına (aşınmaya) göre analiz edilmiştir. Eşitliklerle ilgili detaylar burada verilmemiştir.
- Yapılan analizden temel ihtiyaç ve sınırlandırma değişkenleri YSA'da girdi katmanındaki verileri temsil etmektedir. Diğerleri bu ana değişkenlere bağlı ya da yardımcı işlemler olduğu için girdilere katılmamıştır. Çünkü temel girdi değişkenleri ile çıktı ilişkisini YSA yardımcı işlemlere gerek kalmadan kurabilmektedir. Aslında bu işlemler girdilere katılmış olsa dahi YSA çıktısı değişmeyecektir. Fakat bu durum, girdilerin sayısının artarak veri tabanının genişlemesine, dolayısıyla eğitime işleminin süresinin uzamasına neden olacaktır.

- Sonuçta seçilen girdi ve çıktı değerlerinden oluşan Silindirik düz dişli çarkların YSA modeli veritabanı için toplam 44352 alternatif örnekten 40926 eğitim ve 3426 test küme verileri oluşturulmuştur. Girdi katmanında, silindirik düz dişli çarkların ihtiyaç ve sınırlandırma değerleri (pinyon dişli giriş devir sayısı, karşılık dişlisi devir sayısı, motor gücü, pinyon dişli malzemesi, çark dişli malzemesi, ömür faktörü, genişlik faktörü, dinamik faktör, çalışma faktörü, güvenilirlik faktörü, zorlama faktörü), çıktı katmanında ise diş dibi gerilmesi göre (m_1) ve yüzey basıncına göre (m_2) modül değerleri ve çark dişli sayısı (Z_2) kullanılmıştır. Bu adımlar sonucunda, örnekler Silindirik düz dişli çarkların veritabanını oluşturmuştur ve eğitime hazır hale getirilmiştir.
- YSA modellerinde birleşme fonksiyonu olarak Eş. (1)'de verilen ağırlıklı girdileri toplayan "toplam fonksiyonu", transfer fonksiyonu olarak ta Eş. (2)'de verilen Logistic Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. İhtiyaç ve sınırlandırma girdileri ve çıktı katmanındaki veriler (0, 1) aralığında normalize edilmiştir.

$$NET_i = \sum w_{ij} \cdot x_j + w_{bi} \quad (1)$$

$$f(NET_i) = \frac{1}{1 + e^{-NET_i}} \quad (2)$$

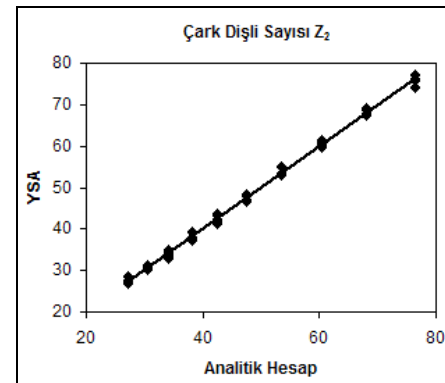
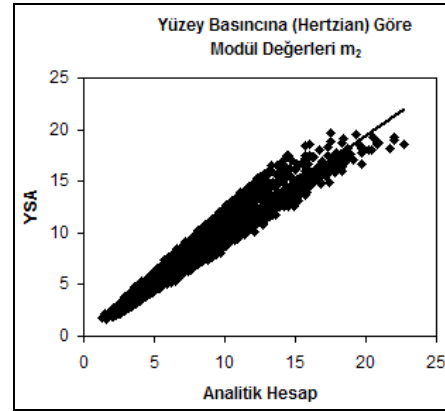
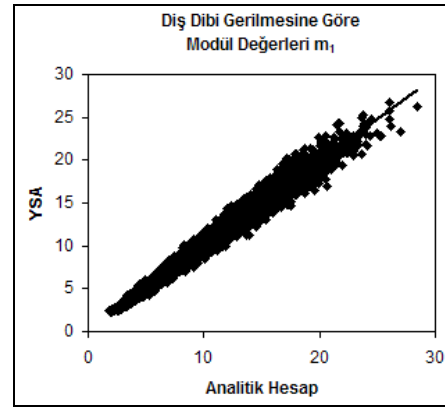
3. 2. YSA'da Eğitim / Öğrenme

Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağırlık belirli bir probleme ait giriş ve çıkış verileri arasında doğru çıktıları üretmesini sağlayacak YSA içindeki tüm bağlantı ağırlıklarının optimum değerlerinin bulunmasıdır. Bu işlem öngörülen çıkış ile istenilen çıkış arasındaki hata belli bir değerin altına düşene ya da eğitim işlemi belli bir tekrar sayısına ulaşana kadar devam eder. Dolayısıyla öğrenilen bilgi, işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde saklanır ve ağırlıklar vasıtasıyla gösterilir. Bu ağırlıklar ilgili problemin belirli özelliklerini hafızada saklayan elemanlar gibi düşünülebilir. Bilgi işleme ise, bir olay gösterildiğinde hafızadan ilgili özellikleri çağırarak ve bunlar ile ilgili girdileri birlikte analiz ederek karar vermek şeklinde yorumlanabilir (Toktaş, 2005).

Girdi ve çıktı katmanlarındaki işlem elemanları bilindiğine göre, YSA'nın en iyi performans gösterdiği, yani ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan optimum veya optimuma yakın gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki işlem elemanı sayıları deneme-yanılma ile belirlenir. Çok az işlem eleman sayısı öğrenme oranını düşürdüğü gibi, çok fazla işlem eleman veya gizli katman sayısı da öğrenmeyi yavaşlatmakta veya bazı durumlarda zorlaştırmaktadır. Öğrenme işlemi için,

genellikle, bir eğitim algoritması kullanılır ve bir öğrenme örneğine göre ağırlıkların nasıl düzenleneceği bu algoritma tarafından belirlenir (Toktaş, 2006).

Silindirik düz dişli çarklar için oluşturulan veri tabanı, değişken sayıda gizli katman ve işlem eleman sayılarında, çok katmanlı tek yönlü hiyerarşik bağlantılı hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasının Scaled Conjugate Gradient (SCG) ve Levenberg-Marquardt (LM) versiyonlarının her biri için "Logistic Sigmoid" transfer fonksiyonu kullanılarak eğitilmiş ve test küme verileri ile kontrol edilmiştir (Toktaş, 2003; Arcaklıoğlu, 2004).



Şekil 2. YSA modeli çıktıların eğitim ve test seti performansları.

MATLAB altında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir (MATLAB 6.5 (Release 13), 2002). Eğitim işleminin ilk adımında, hangi eğitim algoritmasının kullanılacağı belirtilir. Gizli katman sayısının bir veya daha fazla olması için düzenleme yapılarak; girdi, gizli ve çıktı katmanları işlem elemanları sayısı girilir. Katman sayıları girildikten sonra iterasyon sayısı kullanıcı tarafından girilir ve eğitim işlemine başlar. İterasyon bitene kadar veya istenen hata miktarına ulaşıncaya kadar eğitim devam eder (Toktaş, 2005). Eğitim işlemi bitince Şekil 2’de verilen, analitik hesap sonuçlarına karşılık gelen YSA model temsili sonuçları, hem eğitim seti hem de test seti için grafikler halinde sunulmuştur.

3. 3. Test İşlemi.

YSA’nın iyi eğitilip eğitilmediğini anlamak için, YSA’ya eğitim verilerinden başka daha önce hiç görmediği test verileri sunulur ve doğru sonuçlar verip vermediği kontrol edilir. Karşılaştırma amacıyla, istatistiksel hata RMSE (root-mean-squared), mutlak değişim yüzdesi R^2 (absolute fraction of variance) ve Ortalama yüzde hata OYH (mean error percentage) gibi istatistiksel değerler kullanılmıştır (Arcaklıoğlu, 2004). Bu değerler aşağıdaki eşitliklerle verilir;

$$RMSE = \left(\frac{1}{p} \sum_j |t_j - o_j|^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (4)$$

$$OYH = \frac{\sum_j \left(\frac{t_j - o_j}{t_j} \times 100 \right)}{p} \quad (5)$$

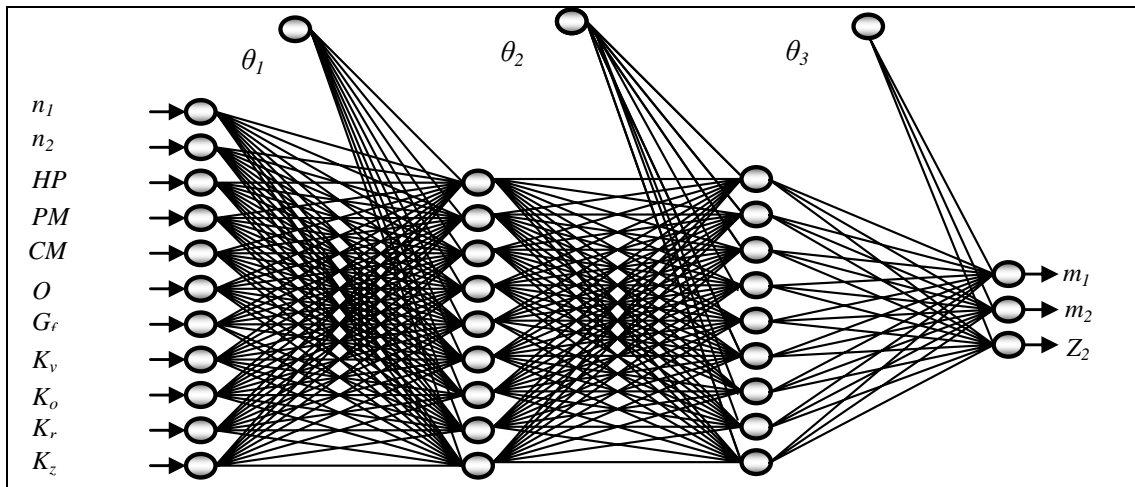
Burada; t hedef değer, o çıkış değeri, p örnek adedidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

YSA modelinin deneme-yanılma yoluyla değişik eğitim algoritmaları, ağ yapısı (tek ve çift gizli katman sayısı ve 5’den 12’ye kadar işlem elemanları) değiştirilerek eğitim ve test işlemleri tekrarlanmıştır. Silindirik düz dişli çarklar için, analitik hesap sonuçları ve YSA modeli sonuçları istatistiksel hata analizleri ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel hata analizlerinde eğitim kümesinin performansı ile test kümesinin performansı birlikte değerlendirilmiştir (Tablo 1).

Burada, ele alınan yapı deneme yanılma ile arama sonucu, SCG algoritması LM’ye göre daha iyi öğrenme gerçekleştirmiş. Fakat LM algoritması eğitim algoritmasındaki örneklerin 40926 olması sebebiyle çok yavaş öğrendiği, gizli katman sayısı arttıkça öğrenme işlemini gerçekleştiremediği görülmüştür. SCG algoritması 9 + 9 iki gizli katmanlı YSA modeli en az hata değerinde yani daha iyi öğrenme gerçekleştirmiş ağ mimarisi olarak seçilmiştir (Şekil 3).

Sonuçta, YSA modeli ağ mimarisi Şekil 3’de görüldüğü gibi silindirik düz dişli çarklar için, girdi katmanında 11 işlem elemanı, iki gizli katmanlı 9 + 9 işlem elemanından ve çıktı katmanında 3 işlem elemanından oluşmaktadır.



Şekil 3. YSA modelinin mimarisi.

Tablo 1. İstatistiksel Hata Değerlerinden Bazı Örnekler.

Algoritma	Gizli katman sayısı	Çıktılar	Eğitim kümesi verileri			Test kümesi verileri		
			RMSE	R ²	OYH	RMSE	R ²	OYH
SCG	5+5	Z ₂	0.011166	0.999525	1.979288	0.01109	0.999529	1.975511
		m ₁	0.033339	0.988973	9.515723	0.03076	0.990595	8.99192
		m ₂	0.04162	0.985337	11.11715	0.041755	0.985297	11.11722
SCG	7+7	Z ₂	0.008491	0.999726	1.530147	0.008491	0.999724	1.526491
		m ₁	0.032693	0.989397	8.890282	0.030203	0.990933	8.470279
		m ₂	0.041199	0.985632	10.86631	0.0413	0.985615	10.89373
SCG	8+8	Z ₂	0.010428	0.999586	1.818961	0.010382	0.999587	1.834447
		m ₁	0.032583	0.989468	9.326862	0.030351	0.990844	8.887598
		m ₂	0.040905	0.985837	10.89257	0.040895	0.985896	10.86739
SCG	9+9	Z ₂	0.007809	0.999768	1.391465	0.007786	0.999768	1.393728
		m ₁	0.023223	0.99465	6.268214	0.021572	0.995375	5.830732
		m ₂	0.036347	0.988817	9.726993	0.036035	0.989049	9.642803
SCG	10+10	Z ₂	0.006909	0.999818	1.098867	0.00685	0.99982	1.092197
		m ₁	0.027192	0.992665	7.466921	0.025837	0.993365	7.218633
		m ₂	0.037302	0.988222	10.20066	0.036778	0.988593	10.03408
SCG	11+11	Z ₂	0.008435	0.999729	1.512463	0.008286	0.999737	1.485867
		m ₁	0.025324	0.993638	7.232927	0.024059	0.994247	6.85904
		m ₂	0.037515	0.988087	10.25318	0.037067	0.988413	10.14969
LM	6+6	Z ₂	0.007044	0.999811	1.137633	0.007075	0.999808	1.146202
		m ₁	0.026585	0.992988	7.245831	0.025351	0.993612	6.951199
		m ₂	0.036946	0.988445	9.952367	0.036504	0.988762	9.820846
LM	7+7	Z ₂	0.007462	0.999788	1.303328	0.007375	0.999792	1.308483
		m ₁	0.024871	0.993863	7.211079	0.023445	0.994537	6.868884
		m ₂	0.037776	0.987921	10.41185	0.037421	0.988191	10.29113
LM	8+8	Z ₂	0.010526	0.999578	1.884965	0.010288	0.999595	1.882672
		m ₁	0.032425	0.98957	9.135049	0.030129	0.990977	8.690226
		m ₂	0.040752	0.985942	10.87154	0.040763	0.985987	10.87357

Bilgi temsili YSA'da ağırlıklarla gerçekleştirilir. Bu çalışmanın bilgi temsili için, bütün katmanlar arasındaki ağırlıklar Tablo 2-4'de verilmiştir.

Tablo 2. Girdi Katmanı ve Birinci Gizli Katman Arasındaki Ağırlıklar.

	W _{1-h1}	W _{2-h1}	W _{3-h1}	W _{4-h1}	W _{5-h1}	W _{6-h1}	W _{7-h1}	W _{8-h1}	W _{9-h1}	W _{10-h1}	W _{11-h1}	θ _{1-h1}
w _{x-1}	-0.3507	0.1418	0.2075	131.838	-11.376	-0.021	-0.0254	-19.926	0.0576	19.047	0.47	-0.2205
w _{x-2}	18.807	-79.726	-0.0049	-0.0148	0.0065	-0.007	0.0065	0.003	-0.0266	0.0263	0.0021	-16.105
w _{x-3}	-0.3672	-0.2723	0.6918	10.303	-0.331	-0.0141	-0.3813	0.062	0.6981	0.3408	-0.8405	0.0825
w _{x-4}	-0.139	-0.0238	0.509	-0.0789	0.0715	0.0138	-78.616	0.3918	0.304	-0.2762	-0.1663	-14.51
w _{x-5}	-11.631	20.112	-21.784	0.4676	-34.125	-0.241	0.8165	-19.554	-11.817	-43.385	-0.4587	13.364
w _{x-6}	-0.087	-0.3534	-91.621	0.0152	-0.0115	-0.0216	-0.3134	0.3112	0.4722	-0.7986	-0.0338	0.263
w _{x-7}	-39.596	40.199	-0.0175	0.0139	-0.0002	-0.0098	-0.0082	0.0117	0.001	0.0073	-0.0093	-11.709
w _{x-8}	-0.4041	-0.069	0.5242	55.105	-14.938	-0.0466	-0.2012	-13.883	0.2471	14.53	12.679	-62.3
w _{x-9}	0.1349	-0.5473	0.4386	-0.9579	0.2689	-0.0112	-0.3036	0.6712	0.5054	-25.264	0.8253	0.6624

Tablo 3. Birinci Gizli Katman ve İkinci Gizli Katman Arasındaki Ağırlıklar

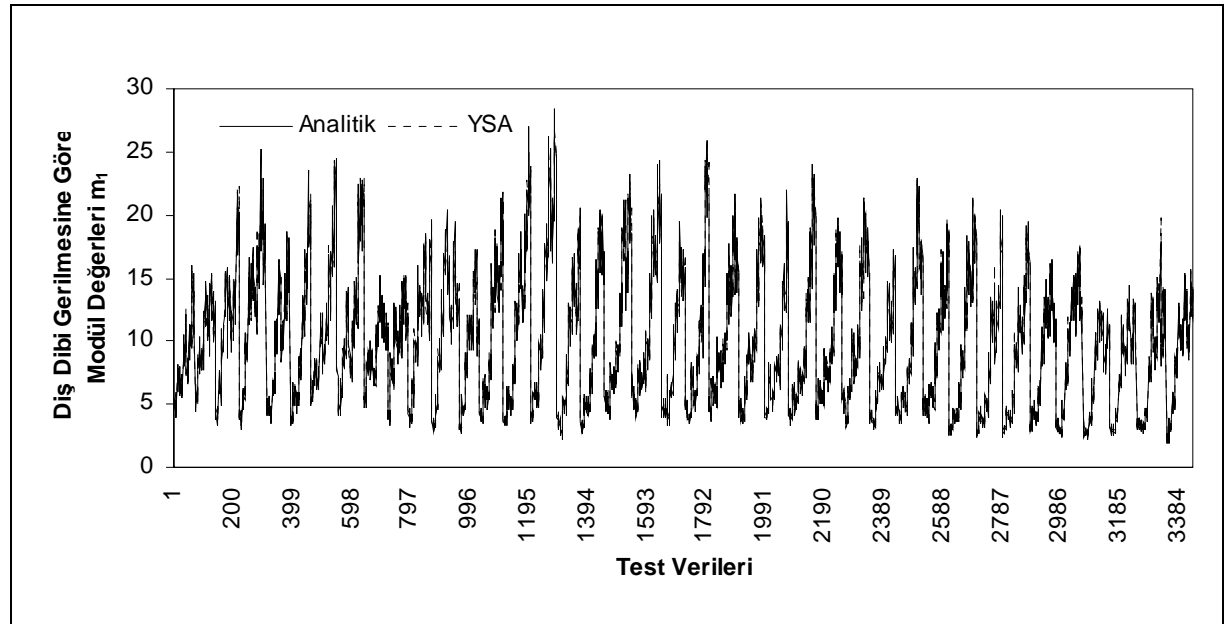
	$W_{h1.1-h2}$	$W_{h1.2-h2}$	$W_{h1.3-h2}$	$W_{h1.4-h2}$	$W_{h1.5-h2}$	$W_{h1.6-h2}$	$W_{h1.7-h2}$	$W_{h1.8-h2}$	$W_{h1.9-h2}$	θ_{2-h2}
W_{h1-1}	0.9695	-23.853	-34.466	-16.364	17.476	27.54	12.61	-34.778	0.9088	60.768
W_{h1-2}	0.3476	28.19	13.287	-31.36	29.203	-16.219	-23.035	-21.398	29.967	-50.306
W_{h1-3}	26.936	0.4391	-0.671	11.481	-31.045	-0.9828	15.062	41.702	44.653	-71.112
W_{h1-4}	-0.0075	101.923	0.1397	-0.0285	-0.2032	0.0226	-67.539	0.1021	0.0764	-18.246
W_{h1-5}	0.8348	0.6369	24.394	-15.742	-33.366	-30.257	11.391	-20.076	-28.154	72.025
W_{h1-6}	0.429	-17.286	-13.249	-39.406	15.099	26.493	10.854	37.121	0.0478	-0.4272
W_{h1-7}	0.1382	-14.025	-20.786	17.372	0.2174	-42.984	-23.461	-24.702	-21.929	38.71
W_{h1-8}	0.1757	0.2531	-54.881	-21.388	-0.9529	138.571	0.4019	0.3489	-51.989	-35.071
W_{h1-9}	-20.425	30.325	55.41	39.503	-0.9338	-31.661	26.904	-14.489	18.867	-52.58

Tablo 4. İkinci Gizli Katman ve Çıktı Katmanı Arasındaki Ağırlıklar

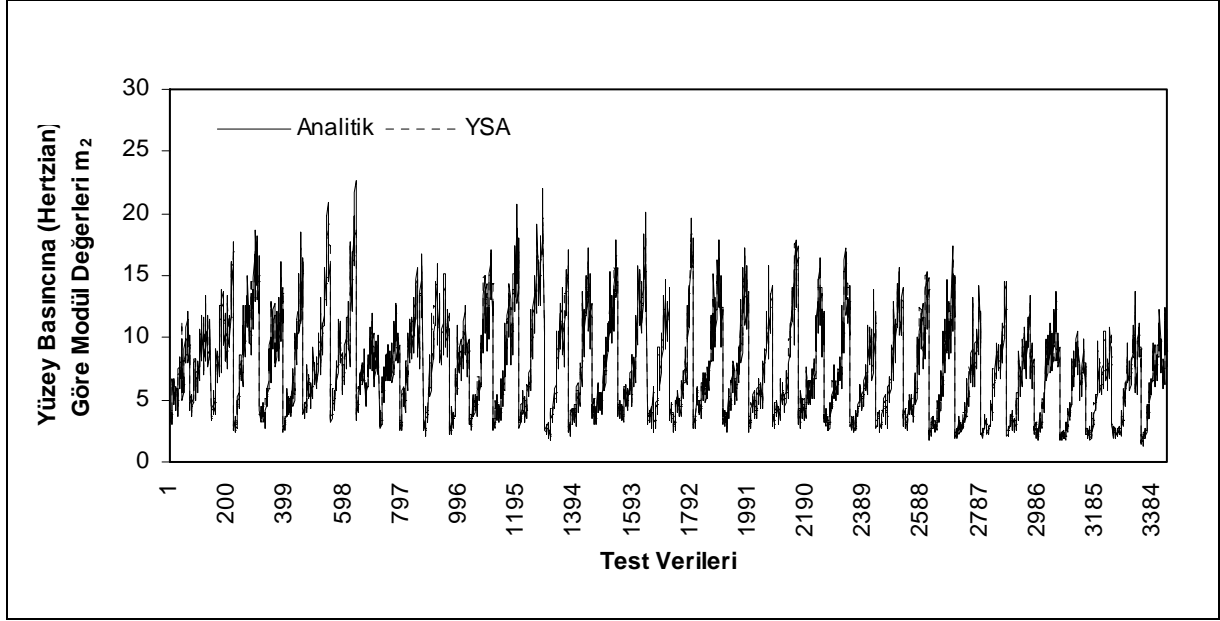
	$W_{h2.1-aj}$	$W_{h2.2-aj}$	$W_{h2.3-aj}$	$W_{h2.4-aj}$	$W_{h2.5-aj}$	$W_{h2.6-aj}$	$W_{h2.7-aj}$	$W_{h2.8-aj}$	$W_{h2.9-aj}$	θ_{3-aj}
W_{h2-1}	50.558	-0.1867	-0.0235	103.736	28.033	0.0322	0.0554	0.0067	0.0515	-92.385
W_{h2-2}	-39.348	-0.1701	-0.0316	-20.219	14.492	-51.269	-25.56	-74.306	41.612	56.719
W_{h2-3}	31.821	-19.525	54.658	-20.799	-19.585	-42.979	-21.254	-69.422	38.294	10.809

İstatiksel hata analizleriyle değerlendirecek olursak; SCG algoritması 9+9 olan iki gizli katmanlı YSA modelinin, R^2 değerleri 1'e çok yakın ve RMSE değerleri çok düşük bulunmuştur. Diş dibi gerilmesine göre modül değeri (m_1) için eğitim seti ortalama hatası % 6,268214, test setinde ise %

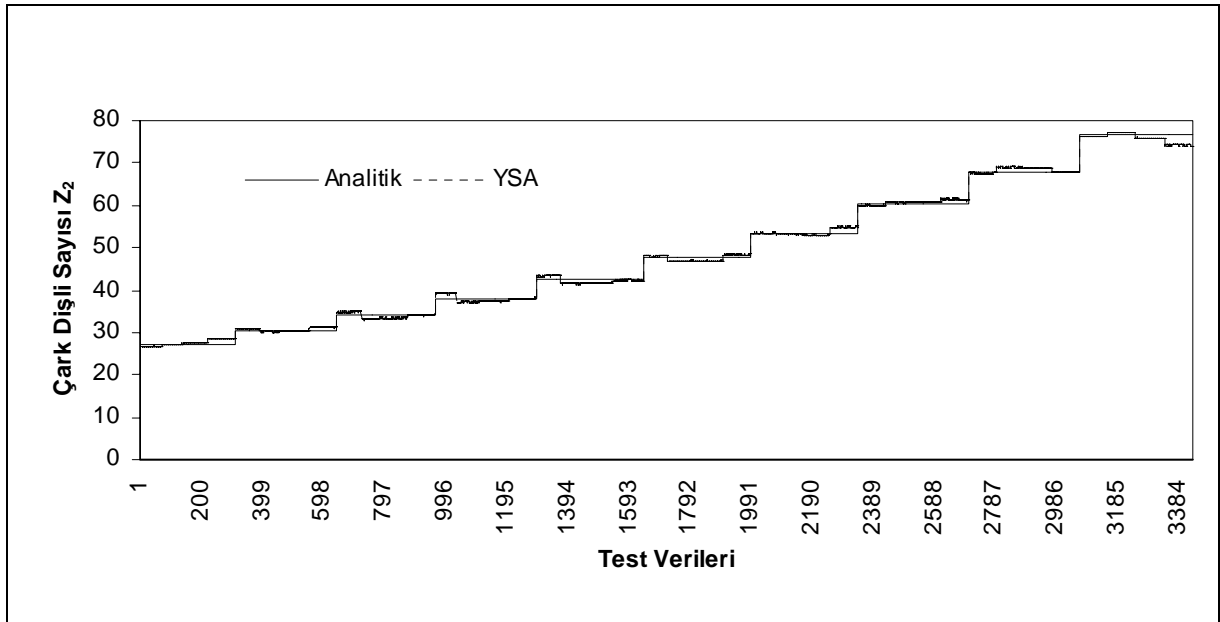
5,830732, yüzey basıncına göre modül değeri (m_2) için eğitim setinde ortalama hatası % 9,726993, test setinde ise % 9,642803, çark dişli sayısı (Z_2) için eğitim setinde ortalama hatası % 1,391465, test setinde ise % 1.393728'dir (Şekil 4-6).



Şekil 4. Diş dibi gerilmesine göre modül değerlerinin (m_1) analitik hesap verileri ile YSA'den tahmin edilen test verilerinin karşılaştırılması



Şekil 5. Yüzey basıncına göre modül değerlerinin (m_2) analitik hesap verileri ile YSA'den tahmin edilen test verilerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Çark dişli sayısı (Z_2) analitik hesap verileri ile YSA'den tahmin edilen test verilerinin karşılaştırılması

YSA tabanlı modelde, silindirik düz dişli çarkların en az sürede, en az hata ile boyutlandırılması sağlanarak parametrik tasarıma benzer sistematik bir çözüm gerçekleştirilmiştir. İhtiyaç ve sınırlandırma veri girdilerine bağlı olarak modül ve diş sayısı çıktı değerleri YSA tabanlı modelde çok hassas sonuçlar vermektedir. YSA modeline göre diş dibi gerilmesi ve yüzey basıncına bağlı olarak karar verilen modül değerleri (m_1 , m_2) son aşamada, m_1 ve m_2 'den büyük olan değere yakın standard modüle atanmaktadır.

Standard modül ve en yakın tamsayı değerine dönüştürülen diş sayılarına bağlı olarak silindirik düz dişli çarkın boyutları hesaplanmaktadır. Ayrıca, girdilerin herhangi birinin değiştirilmesiyle de çıktı sonuçları eş zamanlı güncellenmektedir. Karmaşık ve doğrusal olmayan analitik yöntemle çözümlenmeye göre, YSA tabanlı yaklaşımla harcanan zaman azaltılmıştır.

5. SİMGELER VE KISALTMALAR

YSA	: Yapay sinir ağları.
SCG	: Scaled conjugate gradient learning algoritması.
LM	: Levenberg marquardt learning algoritması.
o	: Çıktı değeri.
p	: Örnek adedi.
R^2	: Mutlak değişim yüzdesi (absolute fraction of variance).
RMSE	: İstatiksel hata (root mean square error)
OYH	: Ortalama yüzde hata (mean error percentage).
t	: Hedef değer.
f	: Transfer fonksiyonu.
n	: Bir önceki katmandaki işlem elemanı sayısı.
i, j	: İşlem elemanı.
NET _i	: i işlem elemanına giren girdilerin ağırlıklar toplamı.
X_j	: j işlem elemanının çıktısı.
w_{ij}	: i ve j işlem elemanları arasındaki bağlantıların ağırlığı.
$\theta_{1,2}$: Katmanlar arasındaki bağlantıların ağırlığı.
n_1	: Pinyon dişli giriş devir sayısı (dev/dk.).
n_2	: Karşılık dişlisi devir sayısı (dev/dk.).
HP	: Motor gücü (BG/KW).
PM	: Pinyon dişli malzemesi.
CM	: Çark dişli malzemesi.
O	: Ömür faktörü (N).
G_f	: Genişlik faktörü (ψ).
K_v	: Dinamik faktör.
K_o	: Çalışma faktörü.
K_r	: Güvenirlilik faktörü.
K_z	: Zorlama faktörü.
m_1	: Diş dibi gerilmesine göre modül değeri.
m_2	: Yüzey basıncına (Hertzian) göre modül değeri.
Z_1	: Pinyon diş sayısı.
Z_2	: Çark diş sayısı.

6. KAYNAKÇA

- Akkurt, M. 1999. "Makine Elemanları", Birsen Yayınları, 2, İstanbul 1-255.
- Arcaklıoğlu, E. 2004. Performance Comparison of CFCs With Their Substitutes Using Artificial Neural Network. International Journal of Energy Research, 28, 1113-1125.
- Chen, Y. H. and Lee, H. M. 1998. "A Neural Network System for Two-Dimensional Feature Recognition", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 11 (2): 111-117.
- Dağlı, C. H., Poshyanonda, P. and Bahrami, A. 1993. "Neuro-Computing and Concurrent Engineering", Concurrent Engineering, Ed. Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., Chapman & Hall, Great Britain, Cambridge, 465-486.
- DIN 780 Pt 1, 1987. Series of Modules for Gears – Modules For Spur Gears.
- DIN 3966 Pt 1, 1987. Information on Gear Teeth in Drawings – Information On Involute Teeth For Cylindrical Gears.
- DIN 3970 Pt 1, 1987. Master Gears For Checking Spur Gears – Gear Blank And Tooth System.
- DIN 3970 Pt 2, 1987. Master Gears For Checking Spur Gears – Receiving Arbors.
- Hagan, M.T. and Demuth, H. B. 1996. "Neural Network Design", PWS Publishing Company, (12) 1-29, Boston.
- Henderson, M. R. 1994. "Manufacturing Feature Identification", Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing, Ed. Dağlı, C.H., Chapman & Hall, Great Britain, Cornwall, 229-264.
- Kwang-Kyu Seo , Ji-Hyung Park , Dong-Sik Jang and David Wallace, 2002. "Prediction Of The Life Cycle Cost Using Statistical and Artificial Neural Network Methods In Conceptual Product Design", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis, Volume 15, Number 6 / October 01, 541 – 554.
- MATLAB 6.5 (Release 13), 2002. The Language of Technical Computing, The MathWorks, Inc., Natick, MA.
- Nezis, K. and Vosniakos, G. 1997. "Recognizing 2½D Shape Features Using a Neural Network and Heuristics", Computer Aided Design, 29 (7): 523-539.
- Prabhakar, S. and Henderson, M. R. 1992. "Automatic Form-Feature Recognition Using Neural-Network-Based Techniques on Boundary Representations of Solid Models", Computer Aided Design, 24 (7): 38 –393.
- Su, D. and Wakelam, M. 1998. "Intelligent Hybrid System For Integration in Design and Manufacture", Journal of Materials Processing Technology, 76: 23-28.

Su, D., Wakelam, M. and Jambunathan, K. 2000. "Integration of a Knowledge-Based System, Artificial Neural Networks and Multimedia for Gear Design", *Journal of Materials Processing Technology*, 107: 53-59.

Sun, J., Kalenchuk, D.K., Xue, D. and Gu, P. 2000. "Design Candidate Identification Using Neural Network-Based Fuzzy Reasoning", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 16: 383-396.

Toktaş, İ. 2006. "Sonsuz Vida Dişli Mekanizmasının Kavramsal Tasarımı İçin Yapay Sinir Ağları Tabanlı

Sistemik Bir Yaklaşım", 12. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, Kuşadası, Türkiye, 05 - 08 Eylül.

Toktaş, İ., Aktürk N. 2005. "Silindirik Helis Dişli Çarkların Kavramsal Tasarımı İçin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım", 1. Uluslararası Mesleki Ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, Marmara Üniversitesi, Sayfa 754-762, İstanbul/Türkiye, Eylül 5-7.

Zet Redüktör, 2001. Genel Katalog 09, 12, İstanbul.
