



Makale
(Article)

Ruppert Hız Mekanizmalarında Optimum Dişli Çark Boyutlandırılması İçin Yapay Sinir Ağları Kullanımı

Murat MAYDA, Hüseyin R. BÖRKLÜ, Faruk MENDİ

G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Makine Resmi ve Konstrüksiyonu Anabilim Dalı
06500 Teknikokullar, ANKARA

rborklu@gazi.edu.tr

Özet

Makina sistemlerinde genelde farklı özellik ve değerlerde dairesel hareket ve güç iletimine gereksinim duyulur. Bu kademeli hız / tork gereksinimini karşılamak için ise, hız / dişli kutuları yaygın kullanılmaktadır. Bu makalede çok kademeli bir hız mekanizması olan Ruppert hız kutuları ve bunlarda kullanılan dişlilere ait optimum boyutları belirleme konusu incelenmektedir. Bu amaçla dört, altı ve sekiz kademeli Ruppert hız mekanizmalarının kinematik analiz optimizasyonunda kullanılacak Visual Basic 6.0 kodunda bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan programla dört kademeli Ruppert hız kutusunda kullanılacak dişlilerin optimum diş sayıları belirlenmiş ve Excel dosya formatında kaydedilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar, Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanan Pythia yazılımı eğitiminde kullanılmış ve bir ağ yapısı belirlenmiştir. Arkasından bu ağ yapısı Excel ortamında test edilmiştir ve yüksek öğrenme / düşük sapma oranı elde edilmiştir. Böylece bu araştırma, YSA'nın Ruppert hız kutusu tasarımında etkin kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca optimum toplam diş sayısı, sadece ilk girdiler (giriş devri, en büyük ve küçük devir değerleri) verilmesi halinde, bulunan YSA formülü ile de, ara işlem gerekmeden hızlı, güvenilir ve hassas olarak belirlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hız kutusu, Yapay Sinir Ağları (YSA), Dişli çark boyutlandırma

The Use Of Artificial Neural Networks For The Determination Of Optimal Gear Dimensions In Ruppert Gearboxes

Abstract

Usually, the transmission of various rotational motions and powers, which may have different magnitudes and properties, are required in machine systems. In order to cover such requirements of motions or torques, gearboxes are widely used. This paper investigates the kinematic analysis of Ruppert gearboxes, which are special gearboxes and mostly used in manufacturing machines, and the determination of optimal gear dimensions used in that mechanisms. For this purpose, a computer program written in Visual Basic 6.0 programming language, which can be used for the optimisation of kinematic analysis of multispeed gearboxes including four, six and eight speeds, has been developed. Then, this program was used for the determination of optimal number of gear teeth for a four speed case and the results were saved in Excel files. Next, these calculated results were used for the ANN training within the software of Pythia, which is an Artificial Neural Networks based system, and a proper network structure was determined. After that, that network was tested and high learning / low deviation ratio was obtained. Therefore, the conducted research shows that the ANN can be efficiently used for the design of Ruppert gearboxes. Moreover, the optimal number of gear teeth can be easily and quickly determined by the use of Formula that was derived during the ANN training.

Key words: Gearboxes, Artificial Neural Networks (ANN), Gear dimensioning

Bu makaleye atıf yapmak için

Mayda M., Borklu R. M., Mendi F., "Ruppert Hız Mekanizmalarında Optimum Dişli Çark Boyutlandırılması İçin Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı Üzerine Bir Alan Araştırması" *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2009, 6(1) 1-18

How to cite this article

Mayda M., Borklu R. M., Mendi F., "The Use Of Artificial Neural Networks For The Determination Of Optimal Gear Dimensions In Ruppert Gearboxes " *Electronic Journal of Machine Technologies*, 2009, 6 (1) 1-18

1. GİRİŞ

Genel makine mühendisliği ve tasarımının ana amacı faydalı, kaliteli, fonksiyonel özellikleri ve iŐ yapma yeteneği yüksek ürünler / mamuller ortaya koymaktır. Bu süreçte imalat sanayi hayati bir rol oynar. Yani; tasarlanan ürünlerin yeterli kalitede yapılabilmesi için, bu sektörde çalıŐan insanların nitelikli olması kadar kullandıkları makine ve teizatların üstün özellikler taŐıması da gerekir. Böylece firmalar, pazara rekabet gücü yüksek mamul sunabileceklerdir.

Makine imalat sanayinde pek çok farklı tür ve zeliklerde makine, tezgh, teizat v.b kullanılır. Bu tür sistemlerde de genelde farklı özellik ve değerlerde hareket ve g iletimi gerekir. Bu nedenden, dişli çarklar, hareket ve g vidaları, zincir dişliler, varyatrler, kamlar ve kayıŐ kasnak mekanizmaları gibi sistemler buralarda yaygın kullanılır. Ayrıca farklı tork / dairesel hareket gerektiren hallerde, kademesiz hız deęiŐtirme (varyatör gibi) ve kademeli hız deęiŐtirme sistemleri (redüktör gibi) kullanılır. Bu tür sistemler, kaynaklarda hız kutuları veya hız mekanizmaları olarak da adlandırılmaktadır ve makale kapsamında bunlar aynı anlamda kullanılacaktır.

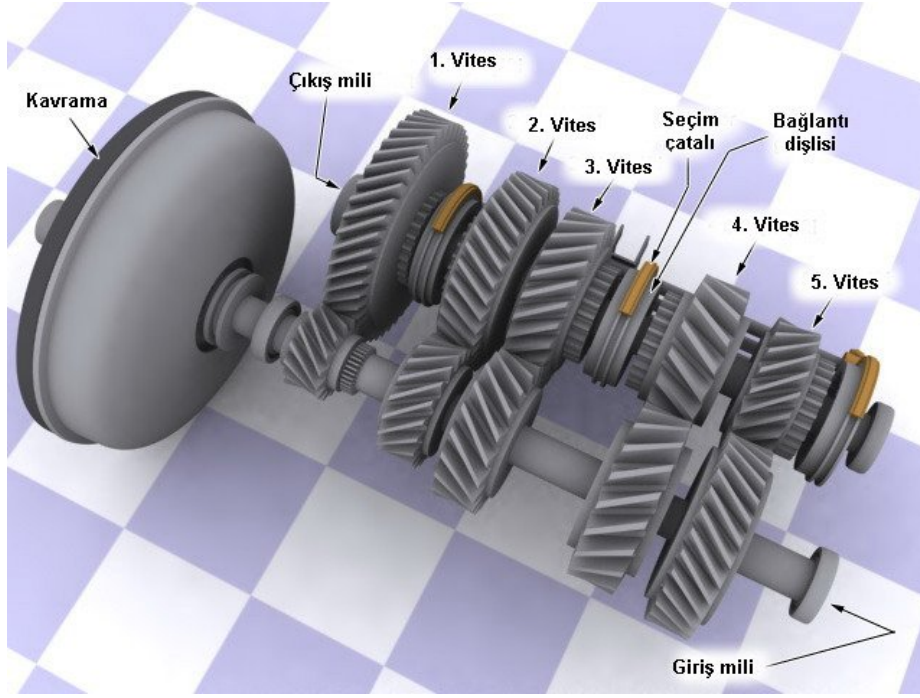
Otomotiv ve imalat sektörleri baŐta olmak üzere pek çok alanda kullanılmakta olan hız / tork deęiŐtirme sistemlerinin tasarım ve imali her geçen gün geliŐmektedir. Bu amaçla yapılan güncel araştırma çalıŐmalarının zeti aŐaęıda sunulmaktadır. Örneğin Abersek [1], dişli kutusu boyutlandırma optimizasyonu için zeki bir sistem geliŐtirmiŐtir. Burada optimum dişli boyutları belirlemede genetik algoritma kullanılmıştır. Ancak bu araştırma teorik düzeyli olup üretim amaçlı çalışmalar hala sürmektedir. Hazırlanan bir doktora tezinde [2], dişli çark malzeme ve kutu hacim ltleri amaç fonksiyon kabul edilmiş ve çözümler aranmıŐtır. Mukavemet analizleri ise sınırlama fonksiyonları olarak kabul edilmiştir. Bir ilk teŐebbüsten baŐlayarak geliŐen tasarım iŐlemine dayalı bu çalışma, birçok sınır Őartını incelemektedir.

Rosic [3], çok kademeli dişli sistem optimizasyonlarında kullanılabilecek bir bilgisayar yazılımı geliŐtirmiŐtir. Bu amaçla Monte Carlo optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. GeliŐtirilen bu yazılım, tasarımcıya, kavramsal tasarım iŐleminde kaliteli destek sağlamaktadır. Coudert ve diğerleri (v.d.) [4], bond graf kullanarak otomatik hız kutularının mekatronik tasarımı için dinamik bir model ortaya koymuŐlardır. Bu model, en yüksek çıkış torkunu azaltmak amaçıyla farklı basınç varyasyonları test etmede kullanılmaktadır. Böylece motor ve dişli sistemleri arası enerji naklinde en yüksek verim sağlanabilmektedir. Ancak geliŐtirilen model, basit düzeyde olduğundan karmaŐık sistem inceleme ve çözümlerinde yetersizdir.

Tüm geliŐmiŐ ve sanayileŐmiŐ ülkelerde ekonominin lokomotifi imalat sektörüdür. İmalat sektörü içindeki en önemli pay veya rol ise, otomotiv endüstrisine aittir. Yani; yaklaŐık tüm güncel bilimsel ve teknolojik araştırma bulgularının ilk uygulandığı alanlardan birisi de, otomotiv endüstrisidir. Bir otomobil veya motorlu taŐıtı göz önüne aldığımızda ise, burada çözülmesi gereken önemli konulardan birisi de çeŐitli koŐullara göre farklı değerlerde dairesel hareket / tork (g nakletme) gereksinimidir. Bu gereksinim, elle kontrol edilen (manüel) veya otomatik hız kutuları ve kademesiz hız deęiŐtirme sistemleri (varyatrler) gibi mekanizmalarla karŐılanır. Örneğin Subaru Impreza otomobillerinde kullanılan beş ileri ve bir geri vitesli dişli kutusunu ele alalım (Şekil 1, Şekil 2). Bu sistemde hız deęiŐtirme mekanik olarak yapılmaktadır. Motor ıkıŐ hızı 3000 dev/dk ise, çeŐitli viteslerdeki uygun iletim oran ve çıkış değerleri, izelge 1’de grlmektedir.

Çizelge 1. Beş kademeli bir dişli kutusu iletim oran ve çıktı değerleri – [5]

Vites (dişli çifti)	İletim oranı	Çıktı – dev / dk
Birinci	3.166:1	947
İkinci	1.882:1	1594
Üçüncü	1.296:1	2314
Dördüncü	0.972:1	3086
Beşinci	0.738:1	4065

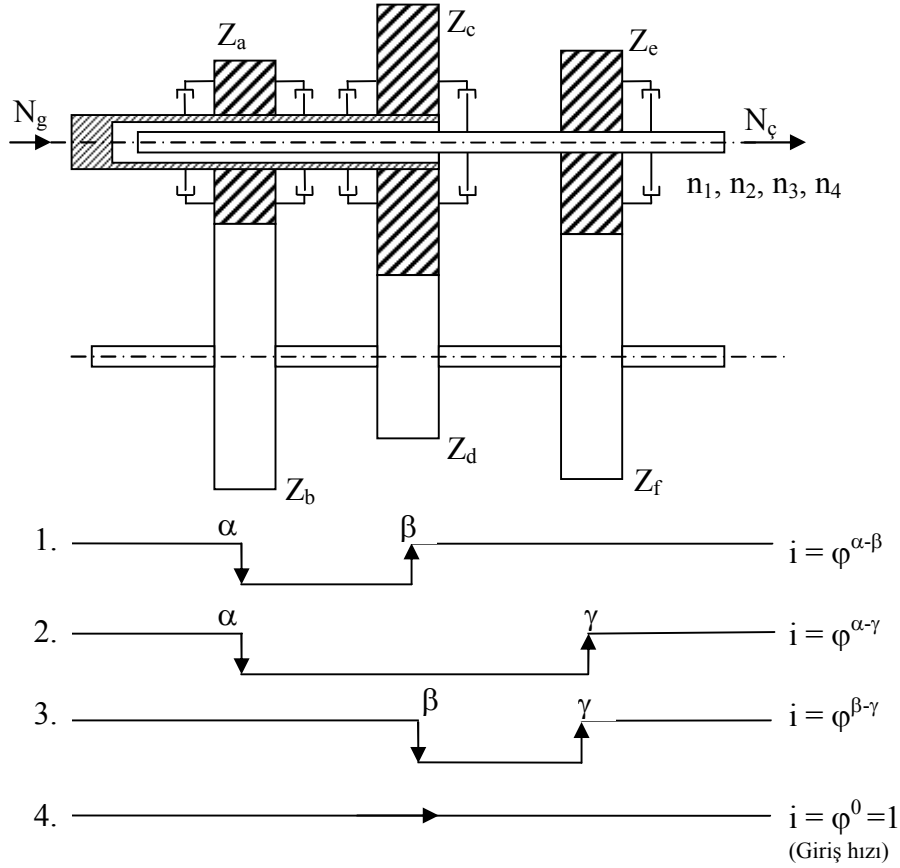
**Şekil 1.** Beş kademeli bir hız kutusu [5]

Bir diğer çalışmada [6] ise Ruppert hız kutusunun kinematik tasarımı incelenmiştir. Bu çalışmada ruppert hız kutusu genel olarak tanıtılmış, sayısal uygulamalar yapılmış ve kinematik analiz aşamalarını gerçekleştiren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bu araştırma kapsamında çok kademeli bir hız kutusu olan Ruppert hız kutuları incelenecektir. Dört, altı ve sekiz kademeli Ruppert hız mekanizmaları için kinematik analiz optimizasyonu amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu yazılımla dört kademeli Ruppert hız kutusunda kullanılacak dişlilerin optimum diş sayıları belirlenmiş ve Excel tablosu şeklinde dosyalanmıştır. Daha sonra bu sonuçlar, YSA eğitiminde kullanılmış ve ağ güvenilirliği test edilmiştir. Böylece yöntem, bu tür hız mekanizmalarında kullanılan dişlilere ait optimum diş sayılarını etkin, güvenilir ve hızlı belirlemede kullanılmıştır.

2. RUPPERT HIZ KUTUSU

Ruppert hız kutusu, imalat makinaları (takım tezgâhları - CNC gibi -) ve otomobillerde kullanılan özel bir dişli sistemidir [6]. Bu mekanizmalar; dört, altı ve sekiz kademeli olabilir. Örneğin dört kademeli bir hız kutusu, Şekil 2’de Őematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Dört kademeli hız kutusu ve hız iletimleri

2.1. Dört Kademeli Hız Kutusunun Kinematik Analizi

Bu hız kutusu, dört devir kademesinden oluşmaktadır. Devir geçişleri mekanik veya elektromanyetik kavramalar ile sağlanabilir. ıkış devirlerinden birisi, motor girdisi ile aynı değerdedir. Diğer  devir ise, aşağdaki formüllere göre belirlenebilir:

$$\varphi = \sqrt[g-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} \quad (1)$$

$$n_1 = n_{\min} \cdot \varphi^0, \quad n_2 = n_{\min} \cdot \varphi^1, \quad n_3 = n_{\min} \cdot \varphi^2, \quad n_4 = n_{\min} \cdot \varphi^3 \quad (2)$$

Burada; φ : geometrik dizi katsayısı, n_{\max} : en büyük devir, n_{\min} : en küçük devir, g : hız kademe sayısını belirtmektedir. Hız kutusu ile elde edilecek devir sayı ve ilerleme miktarlarını basit ve hızlı yapabilmek için, ISO R 229 (Renard R20 serisi) ve DIN 804'da standart değerler kullanılır (Çizelge 2). Hesapla belirlenen devir sayıları, Çizelge 2'deki oranlara göre yuvarlanır. Örneğin bu yöntemle göre bir devir 121 dev/dk hesaplanmışsa, çizelgedeki en yakın R20 sayısı 1,25'e yuvarlanır ve devir sayısı 125 dev/dk kabul edilir.

Çizelge 2. ISO R 229'a göre nominal ve sınır değerleri [6]

Nominal değer R20	Teorik değer	En küçük sınır değeri	En büyük sınır değeri Mekanik organlar için	En büyük sınır değeri Elekt.Mekanik organlar
1	$10^{0,00}$	0,98	1,03	1,06
1,12	$10^{0,01}$	1,10	1,16	1,19
1,25	$10^{0,15}$	1,23	1,30	1,33
1,4	$10^{0,18}$	1,38	1,45	1,50
1,6	$10^{0,20}$	1,55	1,63	1,68
1,8	$10^{0,25}$	1,74	1,83	1,88
2	$10^{0,30}$	1,96	2,06	2,12
2,24	$10^{0,35}$	2,19	2,31	2,37
2,5	$10^{0,40}$	2,46	2,59	2,66
2,8	$10^{0,45}$	2,76	2,90	2,99
3,15	$10^{0,50}$	3,10	3,26	3,35
3,55	$10^{0,55}$	3,48	3,65	3,76
4	$10^{0,60}$	3,90	4,10	4,22
4,5	$10^{0,65}$	4,38	4,60	4,73
5	$10^{0,70}$	4,91	5,16	5,31
5,6	$10^{0,75}$	5,51	5,79	6,96
6,3	$10^{0,80}$	6,18	6,50	6,69
7,1	$10^{0,85}$	6,94	7,29	7,50
8	$10^{0,90}$	7,78	8,18	8,42
9	$10^{0,95}$	8,78	9,18	9,45
10	$10^{1,00}$	9,80	10,3	10,6

Kabul edilen devir sayı artış veya azalış sıralarına göre Çizelge 3'teki en uygun dizi dağılımı belirlenir ve bu dizi grubu içindeki α , β ve γ üstel değerleri seçilir. Örneğin dizi dağılımı olarak 2. seçeneğe karar verilir ise, $\alpha=-1$, $\beta=-3$ ve $\gamma=-4$ alınabilir. Benzer tarzda her dizi grubunda altı olasılık vardır. Bunlardan biri seçildikten sonra diş sayı hesabına geçilir.

Bu hız kutusunda toplam üç dişli çifti kullanılır ve aynı modül dişliler kullanıldığı kabul edilerek tüm dişli çift diş sayıları toplamı eşit olur (Formül 4). Seçilen üstel değerler ve tasarımcı tarafından verilen toplam diş sayısına göre (tahmini), her dişliye ait diş sayıları hesaplanır. Bu işlem, 3 ve 4 numaralı formüller ile yapılır.

$$\frac{Z_b}{Z_a} = \varphi^\alpha, \frac{Z_d}{Z_c} = \varphi^\beta, \frac{Z_f}{Z_e} = \varphi^\gamma \quad (3)$$

$$Z_a + Z_b = Z_c + Z_d = Z_f + Z_e = \sum Z \quad (4)$$

Çizelge 3. Dört kademeli Ruppert mekanizması için kademe dağılım ve üstel değerleri - [6]

Dizi dağılımları	α	β	γ	Dizi dağılımları	α	β	γ
1. Seçenek $\varphi^1, \varphi^0, \varphi^{-1}, \varphi^{-2}$	-1	-2	0	2. Seçenek $\varphi^3, \varphi^2, \varphi^1, \varphi^0$	-1	-3	-4
	0	-1	1		0	-2	-3
	1	0	-2		1	-1	-2
	-1	1	0		0	-1	-3
	0	2	1		1	0	-2
	1	3	2		2	1	-1
3. Seçenek $\varphi^2, \varphi^1, \varphi^0, \varphi^{-1}$	-1	-3	-2	4. Seçenek $\varphi^0, \varphi^{-1}, \varphi^{-2}, \varphi^{-3}$	-2	-1	1
	0	-2	-1		-1	0	2
	1	-1	0		0	1	3
	-1	0	-2		-1	1	2
	0	1	-1		0	2	3
	1	2	0		1	3	4

Son aşamada elde edilen diş sayıları ve motor giriş devir sayısına göre devir sayıları yeniden hesaplanır ve doğruluğu kontrol edilir (Formül 5).

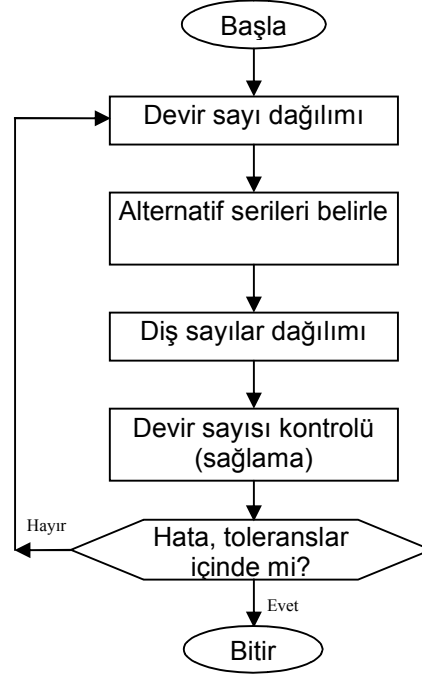
$$n_1 = \frac{N_g}{\frac{Z_b}{Z_a} \cdot \frac{Z_c}{Z_d}}, \quad n_2 = \frac{N_g}{\frac{Z_b}{Z_a} \cdot \frac{Z_e}{Z_f}}, \quad n_3 = \frac{N_g}{\frac{Z_d}{Z_c} \cdot \frac{Z_e}{Z_f}}, \quad n_4 = \frac{N_g}{1} \quad (5)$$

Kontrol aşamasında elde edilen devir sayıları, 1 ve 2 numaralı formüllerden elde edilen devir sayıları ile karşılaştırılır ve bunlar arası farklar belirlenir. Bu farklar, makul düzeyde ise; seçilen dizi grubu, üstel değerler ve tahmini toplam diş sayısı, Ruppert hız kutusu için uygun değerler olarak kabul edilebilir. ISO'nun kabul ettiği hata tolerans değerleri, mekanizma için +0,03 ve -0,02 arasındadır. Elektrik motorları yük değişiminde ise, +0.06 ve - 0.02 arasındadır [6]. Bu çalışmada tolerans değerleri +0.06 ve - 0.02 kabul edilmiştir. Hata değerleri, +0.06 ve - 0.02 arası değilse dizi grubu ve üstel değerler yeniden seçilir veya tahmini toplam diş sayısı değiştirilerek işlem tekrarlanır.

2.2. Hazırlanan Bilgisayar Programı

Dört kademeli Ruppert hız mekanizmalarında optimum diş sayılarını hesaplamak için Visual Basic 6.0 programlama dilinde bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program, yukarıdaki kısımlarda açıklanan yaklaşıma göre motor giriş devri, en küçük ve en büyük çıktı devir değerleri verilmesi halinde tüm çıktı devirleri ile bunları oluşturmada gerekli dişli sayılarını hesaplayıp kullanıcıya sunabilmektedir. Hazırlanan bu bilgisayar programının akış şeması, Şekil 3'te görülmektedir. İşlem, esas itibari ile; devir sayı dağılımı girme (motor giriş devri, en küçük ve en büyük çıktı devirleri tayini), alternatif serileri belirleme (üstel değer seri seçimi), diş sayıları dağılımı (tüm dişli çiftlerindeki ortak diş sayısı girilmesi ve gerekli çıktı devirlerini oluşturacak dişli çiftlerindeki dağılımın hesaplanması)

ve devir sayısı kontrolünü (bu dağılımın gerekli çıktı devirleri oluşturmasını araştırma) içermektedir. Hata makul sınırlar içinde ise işlem biter; değilse, yeni değerlerle tekrarlanır.



Şekil 3. Program akış şeması

Program çalıştırıldıktan sonra, kullanıcı; öncelikle motor giriş devri ile hız kutusuna ait en küçük ve büyük çıktı devir değerlerini girmelidir. Bu girdi işlemlerinin nasıl yapıldığı, Şekil 4'te görülmektedir. Örnek bir tasarım probleminde bu değerler; giriş devri için 500 dev/dk, en büyük devir için 1400 dev/dk, en küçük devir için 510 dev/dk olabilir (Şekil 4). Ekranda görülen dört parametreden (yukarıda verilenlere ilaveten geometrik katsayı değeri) isteğe bağlı üçüne değer atanabilir. Dördüncü ise program tarafından belirlenmektedir. Ayrıca bu giriş menüsünde hız kademe sayısı; dört, altı veya sekiz değerlerinden birisi olarak seçilebilmektedir.

DEĞİŐKENLER

Giriş devri=====> 500 d/dak

Maksimum devir =====> 1400 d/dak sabit

Geometrik dizi katsayısı=> 1.4 doğışken

Minimum devir=====> 510 d/dak değişken

4 devirli 6 devirli 8 devirli

OPTİMİZASYON SONUÇLARI

1)	-2	-1	1	serisi	60dis
2)	-2	-1	1	serisi	72dis
3)	-2	-1	1	serisi	78dis
4)	-2	-1	1	serisi	84dis
5)	-2	-1	1	serisi	96dis
6)	-2	-1	1	serisi	102dis
7)	-2	-1	1	serisi	104dis
8)	-2	-1	1	serisi	108dis
9)	-2	-1	1	serisi	116dis

ALTERNATIF ÇÖZÜM SAYISI=158

[Devir Sayıları Dağılımı](#) [Alternatif Geometrik Seri](#) [Diş Sayılarının Dağılımı](#) [Sağlama](#)

4 Devirli Ruppert Hız Kutusu için Diş Sayıları Dağılımı

Z1	Z2	Z3	Z4
58	34	60	42
Z5	Z6		
42	60		

Z1+Z2=Z3+Z4=Z5+Z6=Z7+Z8=Toplam değeri qiriniz

102

Şekil 4. Program ana çıktı ekran görüntüsü

Daha sonra program, en küçük ve en büyük çıktı devir aralığında (belirlediği uygun geometrik katsayıya göre) tüm hız kutusu çıktı devirlerini hesaplar ve ekranda gösterir (Şekil 5). Örneğin Şekil 4'te görölen girdi değerlerine göre çıktı devir değerleri; 500, 710, 1000, 1400 dev/dk olarak hesaplanmıştır ve Şekil 5'te de görölmektedir.

[Devir Sayıları Dağılımı](#) [Alternatif Geometrik Seri](#) [Diş Sayılarının Dağılımı](#) [Sağlama](#)

4 Devirli Ruppert Hız Kutusu için Devir Sayıları Dağılımı

N1	N2	N3	N4
500	710	1000	1400

Şekil 5. Devir sayıları dağılım hesap sonucu

Arkasından program tarafından ekranda sunulan açılır menüden, kullanıcı, bir üstel değer serisi seçmelidir. Bu seçim işlemi, Şekil 6'da açıkça görölmektedir. Yine örnek hesapla ilgili seçilen bir seri; -1, 0, 2 sayılarından oluşmaktadır ve ekran çıktısında da görölmektedir.

[Devir Sayıları Dağılımı](#) [Alternatif Geometrik Seri](#) [Diş Sayılarının Dağılımı](#) [Sağlama](#)

$\phi^0 \phi^{-1}, \phi^{-2}, \phi^{-3}$ $\alpha \beta \gamma$ $\alpha \beta \gamma$

-1 0 2 SERİSİ SEÇİLMİŞTİR...

Şekil 6. Üstel değer seri seçim ekranı

Bu işlem sonrası, tüm dişli çiftlerinde ortak olacak bir çift dişliye ait toplam diş sayı değeri girilmelidir. Daha sonra ise, girilen ve seçilen değerlere uygun ve daha önce hesaplanan çıktı devir değerlerini verecek her dişliye ait diş sayıları hesaplanacak ve ekranda gösterilecektir. rnek tasarım problemi için bu değer, 80 olarak girilmiştir. Arkasından program tarafından her bir dişli çifti ve bu çiftteki dişlilere ait diş sayılarını anında nasıl hesaplandığı ve ekranda verildiğı de, Şekil 7’de grlmektedir. Örneğin birinci hız kademesine ait Z1 ve Z2 dişlileri, 47 ve 33 diş sayılarına sahip olmalıdır.

Devir Sayıları Dağılımı	Alternatif Geometrik Seri	Diş Sayılarının Dağılımı	Sağlama
4 Devirli Ruppert Hız Kutusu için Diş Sayıları Dağılımı			
Z1	Z2	Z3	Z4
47	33	40	40
Z5	Z6	Z1+Z2=Z3+Z4=Z5+Z6=Z7+Z8=Toplam değeri giriniz	
27	53	80	

Şekil 7. Diş sayıları dağılım hesap görüntüsü

Son olarak yapılan bu hesaplarla belirlenen diş sayıları ile (zellikle dişli çiftleri arası) gerekli çıktı devir değerleri elde etmenin makul ve tolere edilebilir hata sınırları içinde olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu işlem, program tarafından hesaplanan ve ekranda sunulan hata tolerans değerlerinin tasarımcı tarafından kontrolü ile yapılır. Hata makul sınırlar içinde ise, işlem sona erer. Değilse, ya toplam diş sayısı ya da seçilen üstel değer serisi değiştirilir ve işlemler tekrarlanır. rnek tasarım probleminde hata tolerans değerleri N3 devri için -0,02 ve diğer devirler için ise 0’dır. Böylece bu hesap sonucu makul ve kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Devir Sayıları Dağılımı	Alternatif Geometrik Seri	Diş Sayılarının Dağılımı	Sağlama
4 Devirli’de Devir Sayıları için Sağlama			
N1	N2	N3	N4
500	712	981	1398
Tolerans	Tolerans	Tolerans	Tolerans
0	0	-0,02	0
En uygun çözümleri bul			
Baskı nizleme			
YAZDIR			
>>> ÇIKIŞ			

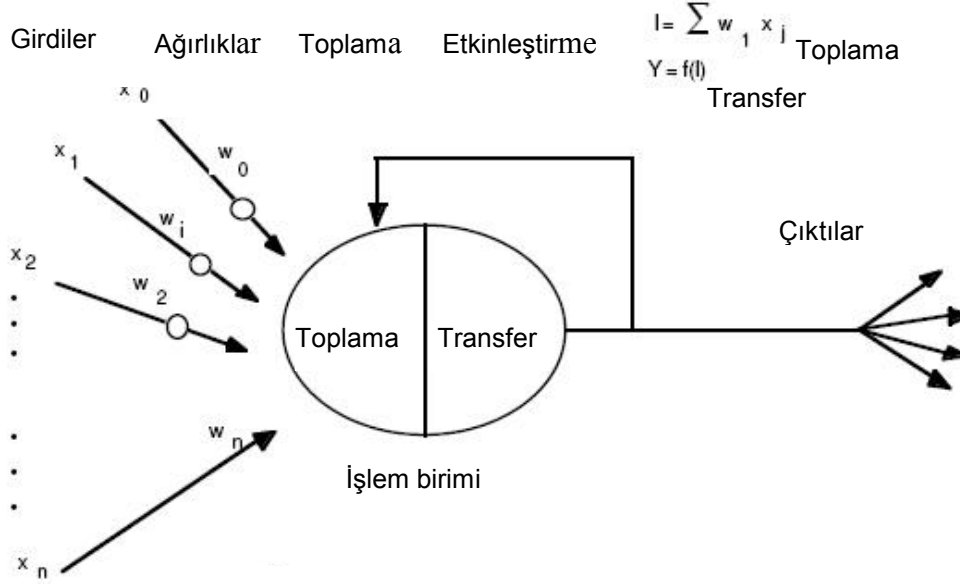
Şekil 8. Hata tolerans kontrol sonuçları

3. YAPAY SINIR AğLARI (YSA)

YSA, insan beyni çalışma sistemini yapay yolla benzetim çabaları sonucu geliştirilmiştir. Yani bu yaklaşım, insan beyni veya merkezi sinir sistemi çalışma prensibini esas alan bir bilgi işleme sistemidir. YSA, insan beyni işleme elemanlarının çalışması taklit edilerek tasarlanmıştır. Örneklerle olaylar arası ilişkileri öğrenme, karar ve sonuç bulmanın yapay modelleme temeline dayalı ve paralel çalışan bir bilgi işleme sistemidir [7,8]. YSA, eğitilme veya öğrenme yeteneğine sahiptir. Ayrıca ezberleme ve bilgiler arası ilişki kurma özelliği de taşır.

Farklı YSA modelleri arası küçük farklılıklar olsa da genelde; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, etkinleştirme fonksiyonu ve ıktılar Şeklinde beş bileşen içerirler (Şekil 9). Burada girdiler, diğer hücreler veya diş ortamdaki rastgele gelen bilgileri kapsar. Bilgiler, bağlantıya ait ağırlıklar vasıtası ile hücelere geçer. Ağırlık değerine bağlı olarak etki artar.

veya azalır. Toplama fonksiyonu, bir hücreye gelen girdiyi hesaplama fonksiyonudur (genelde ilgili ağırlık çarpımlar toplamı). Etkinleştirme fonksiyonu, toplama fonksiyonundan belirlenen girdiyi işleme tabi tutar ve hücre çıktısını saptar [9]. Çıktılar, etkinleştirme fonksiyon çıktılarını bir sonraki işlem elemanına veya dışarıya gönderir [10,11].



Şekil 9. Basit bir yapay sinir hücresi şekli - [12].

Öğrenme kabiliyeti ve değişik algoritmalar kullanabilme, YSA'nın önemli avantajıdır [13, 14]. Buna karşın, çalışma analizi yapılamaması ve öğrenmede başarısızlık riski sakıncalar arasındadır. YSA'nın diğer üstün yanları: kural formatlı bilgi gerektirmeme, yeni problemler çözebilme, hızlı çalışma, matematik model gerektirmeme, hataya tolere tarzlı geliştirilme şeklinde sıralanabilir [14]. Zayıf yanları ise; zor ve zaman alıcı eğitim süreci, yorum yapamama, farklı sistemlerde uygulama güçlüğü şeklinde belirtilebilir.

4. YSA İLE OPTİMUM DİŞLİ ÇARK BOYUTLANDIRMA

Dört kademeli Ruppert hız kutusu için optimum dış sayıları bulmada, YSA kullanılmış ve işlem daha hızlı ve güvenilir bir şekilde dönüştürülmüştür. Böylece normal yazılımlarda karşılaşılan birçok deneme ve tekrar, dolayısıyla zaman kaybı önenebilecektir. Buradaki olumsuz taraf ise, başlangıç aşamasında YSA'nın eğitime sürecinin yavaş ve zahmetli olmasıdır. YSA ile optimum dışlı çark boyutlandırma amaçlı yapılan bu araştırma, şu evreleri kapsamaktadır:

1. YSA eğitim ve testinde kullanılacak çözümler bulma
2. Bu çözümler ile YSA eğitime
3. Belirlenen ağ yapısını test etme ve yorumlama

4.1. YSA Eğitim ve Testinde Kullanılacak Çözümler Bulma

YSA eğitimi için gerekli girdi değerleri ve bunlar kullanılarak hesaplanan optimum dış sayıları (en küçük dış sayıları), bir önceki bölümde tanıtılan bilgisayar programı ile bulunmuştur. Tasarımda kolaylık ve verimliliği sağlamak amacıyla girdi değerleri, belirli bir sınır aralığında program kodlarına müdahale ile değiştirilmiştir. Bu aralıklar, her girdi için en büyük ve en küçük sınır değerleri şeklindedir (Çizelge 4’te görülmekte). Her girdi değişimi ile birlikte bu değerleri karşılayan optimum dış sayısı hesaplanır. Bulunan toplam dış sayısının optimum olması için iki şartı sağlaması gerekmektedir. Bunlardan ilki, tahmin edilen toplam dış sayısı en az (minimum) değer olmalı, ikincisi ise bu dış sayı değeri, istenilen çıkış devir değerlerini uygun tolerans aralığında (+0,06 ve -0,02) sağlamalıdır. Sonuç olarak hesaplanan bu dış sayıları ve ait olduğu girdiler, bir Excel sayfasına dört girdi ve bir çıktı olarak yerleştirilir. Program, bu işlemi 99 kez tekrarlamaktadır. Böylece YSA eğitimi ve test için 99 adet gerçek çözüm elde edilecektir. Bu çözümler Ek’ler bölümünde verilmiştir.

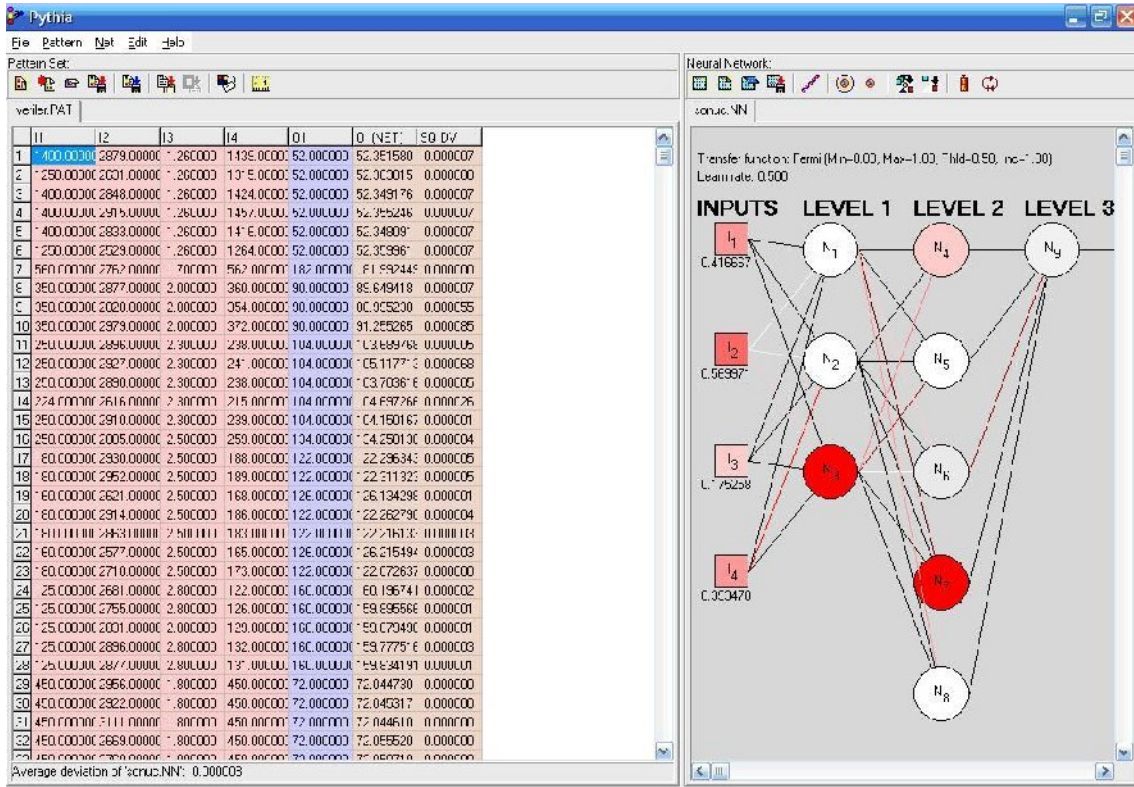
Çizelge 4. Program girdileri için sınır değerleri

GİRDİLER				
	Motor giriş devri	En büyük devir	Geometrik katsayı	En küçük devir
En büyük	1400	3194	3,2	1457
En küçük	80	2508	1,26	77

4.2. Gerçek Çözümler ile YSA Eğitime

Bir önceki aşamada elde edilen gerçek çözümler, YSA eğitiminde kullanılmıştır. Bu amaçla Excel formatındaki 99 adet gerçek çözümden 84’ü Pythia yazılımında YSA eğitimi için kullanılmıştır. Belirlenen diğer 15 çözüm ise, YSA eğitimi sonucu belirlenen ağ yapısını test etmede kullanılmıştır. Test amaçlı çözümler seçilirken mümkün olduğu kadar birbirine yakın değerler olmamasına dikkat edilmiştir. Çünkü bu çözümler, birbirine yakın olur ve her türlü alternatifi içerecek şekilde seçilmezse, YSA eğitiminde belirlenen ağ yapı güvenilirliği tam olarak ölçülemeyebilir.

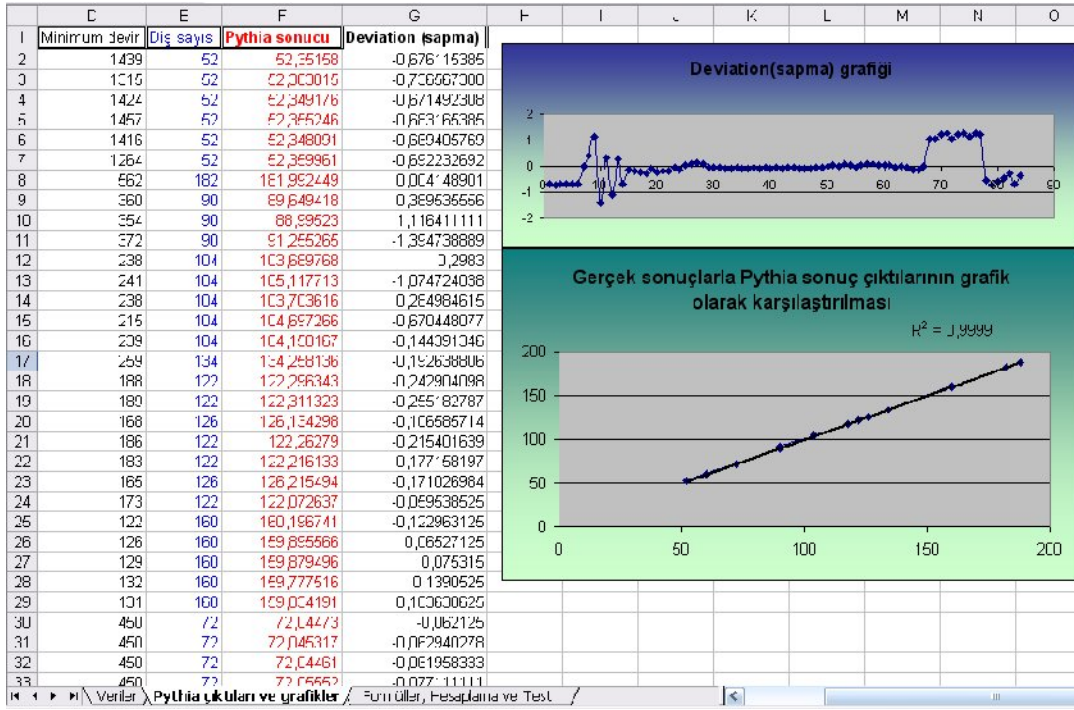
Eğitim ve test amaçlı çözümler belirleme sonrası, 84 adet çözüm Pythia yazılımına aktarılmıştır. Arkasından bu çözümler eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Program içinde, en uygun ağ yapılarını bulma işlemi, otomatik veya elle yapılabilmektedir. Bu çalışmada önce, programa otomatik optimizasyon yaptırılmış ve en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Bu ağ yapısı, programın döngü (iterasyon) sayısı ve öğrenme oranları değiştirilerek en uygun (en küçük) sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucu Şekil 10’da ekran görüntüsü verilen 3 katman ve 9 nöronlu oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. Şekil 10’daki I_1 , I_2 , I_3 ve I_4 sembolleri, girdileri; O_1 sembolü, gerçek çıktıları; O_1 (NET) sembolü, eğitim sonucu çıktıları; SQ DV sembolü ise, ilgili çözümün sapma değerlerini göstermektedir.



Şekil 10. Pythia'da eğitilmiş çözümler ve bulunan en uygun ağ yapısı

YSA eğitimi yapılırken; ilk girdi değerleri (I_1 , I_2 , I_3 ve I_4) program tarafından normalize edilerek işleme girer. Dolayısı ile sonuç değerleri de, ağ yapısından normalize edilmiş şekilde elde edilir. Normalize işlemi, fazla döngü ve büyük sayılarla kullanıldığında işlemin yavaş veya yapılamaz olması önler. Böylece kullanılacak sayıları 0 ve 1 değer aralığına seçilerek işlem hızı artırılır.

Test aşamasına geçmeden önce bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuç değerleri karşılaştırılmalıdır. Burada ortaya çıkan öğrenme oranı, istenilen sınırlar içinde değilse test aşamasına geçilmez ve yeniden daha uygun bir ağ yapısı seçilir. Şekil 11, gerçek ve YSA işlem sonucu optimum diş sayıları arası karşılaştırmada sapma ve öğrenme grafiklerini göstermektedir.



Şekil 11. Gerçek sonuçlarla YSA sonuçları arasındaki karşılaştırma

Şekildeki grafikler incelendiğinde; öğrenme oranının yüzde 99,99 ($R^2 = 0,9999$) olduğu görülür. Ayrıca bulunan sapmada çok belirgin bir hata gözlenmemektedir. Böylece test aşamasına geçilebilir.

4.3. Belirlenen Ağ Yapısını Test Etme ve Yorumlama

Bu ağ yapısını test etmek için öncelikle çıktı nöronunun (N_9) formüle edilmesi gerekmektedir. Formülasyon işlemi ise, YSA eğitiminde kullanılan etkinleştirme (transfer) fonksiyonuna göre yapılmaktadır. Pythia programı, etkinleştirme fonksiyonu olarak Fermi fonksiyonunu (Formül 6) kullanarak eğitim yapmaktadır. Bu durumda ağdaki bütün nöronların ağırlık ve çıktı değerleri, Fermi fonksiyonunda yerlerine konulduğunda aşağıdaki formüller elde edilmiştir.

$$N = \frac{1}{1 + e^{-4(\sum X_i \cdot W_i - 0,5)}} \quad (6)$$

$$N_9 = \frac{1}{1 + e^{-4(-N_4 \cdot 12,5404 + N_5 \cdot 3,525825 + N_6 \cdot 0,682148 + N_7 \cdot 2,236821 - N_8 \cdot 2,678418 - 0,5)}} \quad (7)$$

Formül 7’de $N_9 = Z$ (optimum toplam diş sayısı) olmaktadır. Çıktı nöronunun hesaplanmasında kullanılan yardımcı nöron formülleri ise, şöyledir:

$$N_4 = \frac{1}{1 + e^{-4(-N_1 \cdot 6,626721 - N_2 \cdot 2,267962 + N_3 \cdot 0,246896 - 0,5)}} \quad (8)$$

$$N_5 = \frac{1}{1 + e^{-4(-N_1 \cdot 2,067371 + N_2 \cdot 2,643561 - N_3 \cdot 0,709415 - 0,5)}} \quad (9)$$

$$N_6 = \frac{1}{1 + e^{-4(N_1 \cdot 0,088798 + N_2 \cdot 9,990569 + N_3 \cdot 0,001402 - 0,5)}} \quad (10)$$

$$N_7 = \frac{1}{1 + e^{-4(-N_1 \cdot 0,837679 - N_2 \cdot 6,442755 + N_3 \cdot 3,3612 - 0,5)}} \quad (11)$$

$$N_8 = \frac{1}{1 + e^{-4(N_1 \cdot 0,231028 - N_2 \cdot 1,722666 - N_3 \cdot 1,291594 - 0,5)}} \quad (12)$$

$$N_1 = \frac{1}{1 + e^{-4(-I_1 \cdot 6,489801 - I_2 \cdot 0,002267 + I_3 \cdot 1,297443 + I_4 \cdot 4,83648 - 0,5)}} \quad (13)$$

$$N_2 = \frac{1}{1 + e^{-4(-I_1 \cdot 8,718161 + I_2 \cdot 0,040289 + I_3 \cdot 1,120191 - I_4 \cdot 0,49771 - 0,5)}} \quad (14)$$

$$N_3 = \frac{1}{1 + e^{-4(I_1 \cdot 7,085979 + I_2 \cdot 0,094263 - I_3 \cdot 13,87841 + I_4 \cdot 2,788398 - 0,5)}} \quad (15)$$

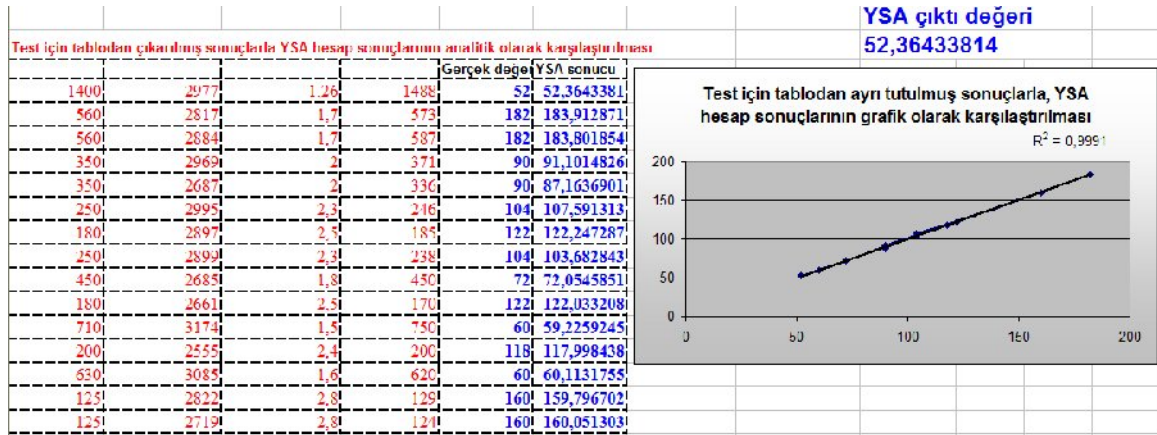
Gerekli formüller oluşturulduktan sonra formüllerin test ve değerlendirmesi yapılabilir. Önce bulunan bu formüller Excel sayfasında, girdi alıp çıktı verecek şekilde düzenlenir.

(şekil 12). şekil 12, ağ yapısı üzerinden alınan bütün nöronların ağırlıklarını ve Fermi fonksiyonuna göre bulunan çıktı değerlerini göstermektedir.

Giriş devri	En büyük devir	Geometrik katsayı	En küçük devir		Giriş devri	En büyük devir	Geometrik katsayı	En küçük devir	Diş sayısı
1400	2977	1,26	1488	Maksimum=>	1400	3194	3,2	1457	188
Yukarıdaki girdilerin normalize edilmiş değerleri				Minimum=>	80	2508	1,26	77	52
1	0.683673469		1.022463768						
1. Seviye Nöronları				2. Seviye Nöronları				Çıktı	
N1 ağırlıkları	N2 ağırlıkları	N3 ağırlıkları	N4 ağırlıkları	N5 ağırlıkları	N6 ağırlıkları	N7 ağırlıkları	N8 ağırlıkları	N9 ağırlıkları	
-6,485801	-8,718161	7,085979	-6,626721	-2,067371	0,038798	0,837679	0,231028	-12,5404	
-0,002267	0,040289	0,094263	-2,267962	2,643561	9,990569	-6,442755	-1,722636	3,525825	
1,297443	1,120191	-13,87841	0,246896	-0,709415	0,031402	3,3672	-1,291594	0,682148	
4,83648	0,49771	2,788393	N4 değeri	N5 değeri	N6 değeri	N7 değeri	N8 değeri	2,235821	
N1 değeri	N2 değeri	N3 değeri	0,265065404	0,007845254	0,119803425	0,999985305	0,000771719	-2,673418	
0,000270754	1,41329E-17		1					N9norm değeri	
								0,007678957	
								YSA çıktı değeri	
								52,36433814	

Şekil 12. Formüllerin Excel ortamında düzenlenmesi

Hazırlanan bu Excel sayfasında en üst kısımda girdiler yer almaktadır. Girdiler kısmına verilen her değere göre bütün nöron çıktı değerleri anında hesaplanmakta ve kullanıcıya sunulmaktadır. Böylece YSA eğitimi sonucu bulunan ağ yapısı, bu formül ve düzenleme ile test edilebilir hale gelmiştir. Bu testin amacı; belirlenen ağ yapısının daha önce öğrenmediği 15 girdiye karşı davranışlarını (sonuçları) ölçme ve değerlendirmedir. Bunlar ile gerçek sonuçlar arası karşılaştırmada öğrenme oranına bakılır ve uygunluğu değerlendirilir. Burada test amaçlı 15 girdi bir önceki aşamada hazırlanmış formüllere girilip, YSA test sonuçları elde edilmiştir. Gerçek sonuçlarla YSA test sonuçları karşılaştırıldığında gerçek öğrenme oranı yüzde 99.91 ($R^2 = 0.9991$) bulunmuştur. Bu işlemlerin son hali, Şekil 13'te verilen ekran çıktısında da açıkça görülmektedir.



Şekil 13. Ağ yapısının test sonuçları ve grafiği

Ağ yapısından çıkan sonuçlar, en yakın çift tam sayıya yuvarlanmalıdır. Örneğin; gerçek sonuç 52 iken, YSA sonucu 52,3643381 çıkmıştır. Bu sonuç 52'ye veya 54'e yuvarlanıp optimum toplam diş sayısı olarak kullanılabilir. Bu ve diğer yapılan test sonuçları, oldukça yüksek bir öğrenme oranı elde edildiği ve böylece dört kademeli Ruppert hız kutusunun tasarım hesaplarında YSA'nın etkin kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca bulunan diş sayısı formülü (N_9) ile çok kısa sürede ve en uygun sonuçlar bulunabilmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında; önce dört, altı ve sekiz kademeli Ruppert hız kutusu kinematik analizinin parametrik optimizasyonda kullanılacak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Daha sonra bu programla dört kademeli Ruppert hız kutusunda kullanılan optimum dış sayıları hesaplanmış ve sonuçlar Excel tablosu şeklinde dosyalara kaydedilmiştir. Son olarak bu hesap sonuçları, YSA tekniğini kullanan Pythia yazılımında eğitilmiş ve belirlenen ağ yapısının güvenilirliği Excel ortamında test edilmiştir. Test sonuçlarındaki yüksek öğrenme oranı ve düşük sapma değerleri, YSA'nın hız kutusu tasarım hesaplarında etkin kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca optimum toplam dış sayısı, sadece ilk girdiler (motor giriş devri, en büyük ve küçük devirler) verilmesi halinde, bulunan YSA formülü ile de, ara işlem gerekmeden hızlı, güvenilir ve hassas olarak belirlenebilmektedir.

Özet olarak yapılan bu araştırma çalışma ile, Ruppert hız kutusu tasarımında; süre, işlem hata ve yoğunlukları en aza indirilmeye çalışılmıştır. Böylece bu tür işlemlerde daha önce kullanılmayan bir optimum dış sayı formülü bulunmuş ve kinematik analiz işlemleri oldukça kolaylaşmıştır.

Bu çalışma kapsamı dışında tutulan altı ve sekiz kademeli Ruppert hız kutularında, verilerin elde edilmesi ve eğitilmesi oldukça uzun zaman alacağı için şimdilik sadece dört kademeli Ruppert hız kutuları üzerinde çalışılmıştır. Bu tür çalışmalar daha sonra ve kapsamlı araştırmalarda ele alınabilir. Ayrıca konu, başka YZ tekniklerinin tel tek veya karma kullanımları ile de incelenebilir.

6. EKLER

Çizelge 5. YSA Öğrenme verileri

Sayı	Giriş devri	En büyük devir	Geometrik katsayı	En küçük devir	Toplam dış sayısı
1	1400	2879	1,26	1439	52
2	1250	2631	1,26	1315	52
3	1400	2848	1,26	1424	52
4	1400	2915	1,26	1457	52
5	1400	2833	1,26	1416	52
6	1250	2529	1,26	1264	52
7	560	2762	1,7	562	182
8	350	2877	2	360	90
9	350	2828	2	354	90
10	350	2979	2	372	90
11	250	2896	2,3	238	104
12	250	2927	2,3	241	104
13	250	2890	2,3	238	104
14	224	2616	2,3	215	104
15	250	2910	2,3	239	104
16	250	2805	2,5	259	134
17	180	2930	2,5	188	122
18	180	2952	2,5	189	122
19	160	2621	2,5	168	126
20	180	2914	2,5	186	122
21	180	2863	2,5	183	122
22	160	2577	2,5	165	126
23	180	2710	2,5	173	122
24	125	2681	2,8	122	160
25	125	2755	2,8	126	160
26	125	2831	2,8	129	160
27	125	2896	2,8	132	160
28	125	2877	2,8	131	160
29	450	2956	1,8	450	72
30	450	2922	1,8	450	72
31	450	3111	1,8	450	72
32	450	2669	1,8	450	72
33	450	2760	1,8	450	72
34	450	3012	1,8	450	72

35	450	2536	1,8	450	72
36	450	2530	1,8	450	72
37	450	3003	1,8	450	72
38	450	2699	1,8	450	72
39	450	3092	1,8	450	72
40	450	2659	1,8	450	72
41	450	2798	1,8	450	72
42	450	2738	1,8	450	72
43	450	3150	1,8	450	72
44	450	3194	1,8	450	72
45	450	2645	1,8	450	72
46	450	2718	1,8	450	72
47	450	2738	1,8	450	72
48	450	3140	1,8	450	72
49	450	3034	1,8	450	72
50	125	2818	2,8	128	160
51	125	2840	2,8	129	160
52	125	2765	2,8	126	160
53	125	2828	2,8	129	160
54	125	2807	2,8	128	160
55	125	2695	2,8	123	160
56	80	2610	3,2	80	188
57	90	2898	3,2	88	188
58	90	2850	3,2	87	188
59	80	2508	3,2	77	188
60	80	2520	3,2	77	188
61	80	2548	3,2	78	188
62	200	2911	2,4	200	118
63	200	2682	2,4	200	118
64	200	2828	2,4	200	118
65	200	3100	2,4	200	118
66	200	3135	2,4	200	118
67	200	2642	2,4	200	118
68	710	2609	1,5	750	60
69	710	2621	1,5	750	60
70	710	3070	1,5	750	60
71	710	3157	1,5	750	60
72	710	2600	1,5	750	60
73	710	2977	1,5	750	60
74	710	3104	1,5	750	60
75	710	2768	1,5	750	60
76	710	3103	1,5	750	60
77	710	3007	1,5	750	60
78	630	2711	1,6	620	60
79	630	2574	1,6	620	60
80	630	2693	1,6	620	60
81	630	2820	1,6	620	60
82	630	3009	1,6	620	60
83	630	2607	1,6	620	60
84	630	2899	1,6	620	60

Çizelge 6. YSA Test verileri

Sayı	Giriş devri	En büyük devir	Geometrik katsayı	En küçük devir	Toplam diş sayısı
1	1400	2977	1,26	1488	52
2	560	2817	1,7	573	182
3	560	2884	1,7	587	182
4	350	2969	2	371	90
5	350	2687	2	336	90
6	250	2995	2,3	246	104
7	180	2897	2,5	185	122
8	250	2899	2,3	238	104
9	450	2685	1,8	450	72
10	180	2661	2,5	170	122
11	710	3174	1,5	750	60
12	200	2555	2,4	200	118
13	630	3085	1,6	620	60
14	125	2822	2,8	129	160
15	125	2719	2,8	124	160

7. KAYNAKLAR

1. Abersek, B., Flaker J., and Balic, J., “Expert system for designing and manufacturing of a gear box”, **Expert Systems with Applications**, Volume 11, Issue 3, Pages 397-405, 1996.
2. Zeyveli, M., Saruhan, H., Göloğlu, C., “Dişli kutularında parametrelerin hacim ve mukavemete etkilerinin araştırılması”, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 24 (1-2), 315-333, 2008.
3. Rosic, B., “Multicriterion optimization of multistage gear train transmission”, **Mechanical Engineering**, FACTA UNIVERSITATIS, Vol.1, No 8, 2001, pp. 1107 – 1115, 2001.
4. Coudert, N., Dauphin-Tanguy G., Rault, A., “Mechatronic design of an automatic gear box using Bond graphs”, **IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference Proceedings**, 1993.
5. “http://www.carbibles.com/transmission_bible.html”, Erişim tarihi: 9 Ocak 2009.
6. Mendi, F., “Takım tezgahlarına uyarlanan Ruppert hız kutusunun bilgisayar yardımıyla kinematik tasarımı”, **Uluslar Arası Makine Tasarımı ve İmalatı Kongresi (UMTİK)**, 2000.
7. Forest, S., “Genetic algorithms: principle of naturel selection applied to computation”, **Science**, 261: 872-878, 1993.
8. Martin T, Howard B, Mark H. “Neural network design”, **Thomson learning**; 2002.
9. Fausett, L., “Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications”, **Prentice-Hall, Inc.**, New Jersey pp. 461, 1994.
10. Joergensen, S.E., Bendoricchio, G., “Fundamentals of Ecological Modelling” (third ed.), **Elsevier**, Oxford, UK p.530, 2001.
11. Negnevitsky, M., “Artificial Intelligence” (second edition), **Addison-Wesley** pp. 185–189, 2005.
12. Anderson D., McNeill G., “Artificial neural networks technology”, **Kaman Sciences Corporation**, Newyork, 89-82, 1992.
13. Spall, J.C. and Cristion, J.A., “A neural network controller for treatment”, **IEEE Trans Syst, Man Cybernet Part B: Cybernet** 27 (3) pp. 369–375, 1997.
14. Sağıroğlu, ř., Beşdok, E. ve Erler, M., “Mühendislikte yapay zekâ uygulamaları I: Yapay sinir ağları”, **Kayseri: Ufuk Kitabevi**, 2003.