

Otomotiv Endüstrisinde Yapay Sinir Ağı Kullanarak Maliyet Tahmin Modeli Geliştirme

Developing Cost Prediction Model in Automotive Industry Using Artificial Neural Networks

Tarık Çakar

Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Türkiye

Öz

Günümüz endüstrisinde rekabetin ana unsuru yüksek ürün kalitesi, imalat esnekliği ve düşük üretim maliyetleridir. Bu nedenle gerçeğe çok yakın bir üretim maliyeti hesabı öncelikli bir hale gelmiş ve ana odak olmuştur. Bu amaçla geleneksel maliyet hesaplama sistemlerinden günümüzdeki teknoloji ağırlıklı üretimlere daha uygun ve gerçekçi olan faaliyet tabanlı maliyet hesaplama sistemlerine geçilmiştir. Faaliyet tabanlı sistemin geleneksel maliyet hesaplama sisteminden daha iyi çalıştığına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır. Fakat bununda ötesinde bir örneklerden öğrenme sistemi olan Yapay Sinir Ağları (YSA), geçmişte gerçekleşmiş olan maliyet verilerini alarak öğrenmekte ve daha sonra farklı hesaplamalarda gerçeğe daha yakın maliyet tahminlerinde bulunmaktadır. Bu çalışmada daha önce gerçekleşen maliyet değerleriyle YSA lar eğitilmiş ve yine gerçek değerlerle test edilerek başarısı ispatlanmıştır. Maliyet tahmini yapmayı öğrenmiş olan dört farklı YSA kullanılarak dört farklı parçanın maliyet tahmini yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maliyet tahmini, Otomotiv endüstrisi, Yapay sinir ağları

Abstract

In today's industry the main elements of the competition are high quality product, flexible manufacturing flexibility and low production costs. Therefore, the calculation of the production cost nearest the real one has become the priority and main focus point. For this purpose, today activity based production cost systems, which are convenient and realistic for the technology-intensive productions have been started to be used instead of the conventional production cost calculation systems. There are many studies done showing that activity based systems are better working than conventional production cost calculation systems. However, beyond this artificial neural networks (ANN), which is a system learning from samples, are learning by getting data from the previously realized production costs and than it predicts production costs nearest the real values for different calculations. In this study, neural networks have been trained by using previously implemented production costs and the neural networks have been tested by using real values to prove the prediction success. Prediction of the production cost of four different parts has been done by using four different neural networks, which learned calculating production cost.

Keywords: Cost prediction, Artificial neural networks, Automotive industry

1. Giriş

Günümüzde mamul maliyeti önemli bir rekabet avantajı olmuştur, buna bağlı olarak mamul maliyetlemesi tekniklerinde bazı yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi Faaliyet Tabanlı Muhasebe veya Maliyet (Activity Based Accounting-Costing) yöntemidir. Faaliyet tabanlı maliyet yönteminin temel özelliği, her bir faaliyetle ilgili maliyet havuzlarının oluşturularak, indirekt maliyetlerin bu

havuzlarda toplanması ve her bir maliyet havuzu ile ilgili maliyet dağıtım anahtarlarının seçilmesidir. Dolayısıyla bu yöntem, diğer iki veya çok aşamalı maliyetleme yöntemlerinin biraz daha geliştirilmiş şeklini oluşturmaktadır. Faaliyet tabanlı maliyetlemeden beklenen, her bir faaliyet ile ilgili maliyetlerin görünübilirliğinin yükseltilmesini sağlamaktır. Geleneksel Maliyet Sistemleri imalat sürecinde işçilik fonksiyonunun önemli bir yer tuttuğu dönemlerde işçilik baz alınarak geliştirilmiştir. Bu sistemlerde, genel imalat giderleri işçilik kadar önemli bir gider kalemi olarak görülmez. O nedenle geleneksel sistemlerin bazı problemleri ortaya çıkmaktadır (Bucak 2007).

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: tcakar@sakarya.edu.tr

Geliş tarihi / Received : 11.04.2016

Kabul tarihi / Accepted : 24.10.2016

1.1. Literatür Tarama

Benzer çalışmalar başka yerlerde de yapılmıştır. Smith vd. (1997) Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Regresyon modellerini karşılaştırıp YSA'nın avantajlarını ortaya koymuşlardır. Rimasauskas ve Bargelis (2010) lazerle ve CNC makine ile metal endüstrisinde kesme işlemi için maliyet tahmininde bulunmuşlardır. Shebab ve Abdalla (2002) maliyet tahmin modellerini sınıflandırmışlardır. Sınıflama şu şekildedir : a-Parametrik maliyet tahmini. b-Yapay zeka ile maliyet tahmini. c-Uzman tecrübesinden faydalanarak tahmin. d-Bilgi tabanlı anlayışla tahmin. e-Sınıflandırma tabanlı tahmin. Wang ve Stocton (2001) tornalama maliyeti için YSA kullanarak maliyet tahmini yaptılar. Zhang ve Fuh (1998) paketleme sektöründe YSA kullanarak maliyet tahmininde bulundular. Barletta vd. (2009) YSA tabanlı hybrid bir sistemle maliyet tahmini yaptılar. Burman ve Huang (1999) imalat maliyeti tahmini için YSA kullandılar. Chang vd. (2012) cep telefonu maliyeti hesaplamak için YSA kullanılır. Stamenkovic ve Popovic (2015) YSA ile maliyet tahmini yapıp bunun üzerinden garanti süresi optimizasyonu yapmışlardır.

2. Gereç ve Yöntem

ISILSAN Makine Sanayi işletmesi Sakarya Modern Sanayi bölgesinde 1984 yılında kurulmuştur. Başlangıçta fason ısıl işlem atölyesi olarak kurulan işletme 1990 yılından itibaren otomotiv yan sanayi firması olarak parça üretmeye başlamıştır. Firma şu anda stabilizatör, torsiyon çubukları, makas bağlantı braketleri, saç parçalar, vites kolları boru kompleleri ve muhtelif parçalar üreterek müşterilerine hizmet vermektedir. Firma, ülkemizin önde gelen ticari araç üreticileri olan OTOKAR, UZEL, ASKAM, BMC firmalarına ve ayrıca Türkiye dışında İtalya ve İngiltere'de bazı firmalara üretim yapmaktadır.

2.1. Firmada Ürün Maliyetlerin Belirlenmesi

Firmada ürün maliyetleri geleneksel maliyet belirleme metodu kullanılarak hesaplanmaktadır. Ürün satışları, maliyet üzerinden %5 karla gerçekleştirildiğinden maliyetlerin belirlenmesi işlemi oldukça büyük önem arz etmektedir. Bilindiği gibi geleneksel maliyet sistemlerinde maliyet saptanırken temel olarak direkt işçilik saatleri kullanılır. Firmada otomasyon düzeyinin düşük işçilik faaliyetlerinin ise oldukça yüksek olduğu göz önüne alındığında bu metodun kullanılmasının firma için uygun olduğu söylenebilir. Ancak yine de ürün maliyetlerinin belirlenmesinde bir takım sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntıların temel nedeni ise çoğu

zaman üretilen ürünlerin geleneksel maliyet hesabında kullanılan standart sürelerle üretilmemesidir. Bunun bir çok nedeni bulunmaktadır. Örneğin operatörün parçayı yanlış işlemiş olması ya da fasona gönderilen parçaların istenilen özellikte gelmemesi gibi. Sayılan bu nedenlerden dolayı ürünün üretim süresi uzamakta fakat doğru bir maliyet hesabı yapabilmek için bu standart süre değişimlerini her seferinde ürüne yansıtmak mümkün olmamaktadır. Bu çalışma; onarma, yeniden işleme, düzeltme gibi nedenlerden dolayı parti bazında sürekli olarak değişen ürün standart sürelerini belirlemek için her seferinde yeniden zaman ölçümü yapmadan buna bağlı olarak değişen ürün birim maliyetlerini gerçek ya da gerçeğe en yakın bir değerle belirlemeyi amaçlamaktadır.

2.2. Uygulamada Kullanılan Metot

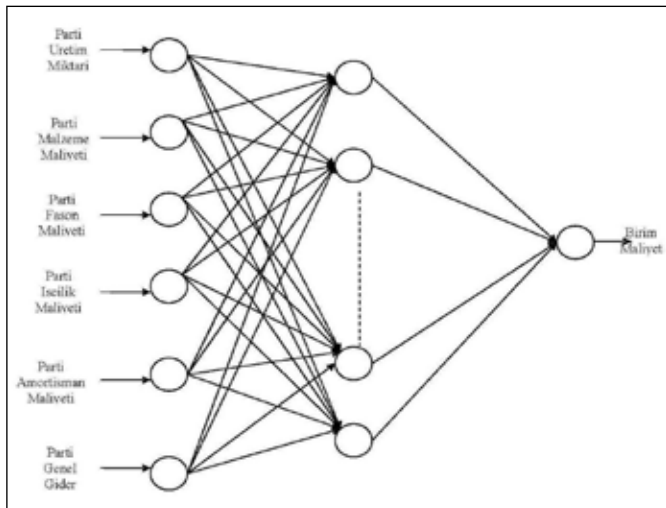
Firmada çok çeşitli parçalar üretilmektedir. Uygulama için firmada üretilen bu parçalardan 4 tanesi seçilmiştir. Bunlar; "Tampon", "Tampon Sportu", "Terazi" ve "Terazi Sportu" adlı parçalardır. Bu parçalar firmada bir ürün gurubunu oluşturmaktadır. Bu ürünler için müşteri siparişleri partiler halinde gelmekte ve dolayısıyla üretimde yine partiler halinde gerçekleştirilmektedir. Yukarıda değinildiği gibi yapılan her bir parti üretiminde parti için öngörülen üretim süresinin üstüne çıkılmakta bu da ürünün gerçek maliyetinin tam olarak belirlenememesine neden olmaktadır. Uygulamada ürünün gerçek maliyetini her seferinde yeniden zaman ölçümü yapmadan belirleyebilmek için şu yol izlenmiştir. İlk olarak her parçanın 50 partilik üretim süreci izlenmiş ve bu partiler için ayrı ayrı zaman ölçümü yapılmıştır. Yani her partinin iki adet standart süresi bulunmaktadır. Bunlardan ilki her parti için aynı kabul edilen ve zaman kayıplarını göz ardı eden "Normal Standart Süre", ikincisi ise her parti için ölçülen parti üretim süresinin parti miktarına bölünmesi ile bulunan ve her parti için değişen "Fiili Standart Süre" dir. İşçilik, amortisman ve genel giderler gibi üretim süresine göre değişen maliyetler ilk olarak normal standart süreye göre hesaplanmış daha sonra fiili standart süreye göre hesaplanmıştır. Sonuç olarak her parti için iki adet birim maliyet bulunmuştur. Bunlar normal standart süreyi baz alan "Standart Birim Maliyet" ve fiili standart süreyi baz alan "Gerçek Birim Maliyet" dir. Uygulamada bu noktadan sonra "Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı" kullanılmıştır. Bilindiği gibi bir yapay sinir ağı oluşturulurken yapılması gereken ilk işlem girdi ve çıktı parametrelerinin tayin edilmesidir. Yapılan çalışmada her parça için ayrı bir yapay sinir ağı oluşturulmuş ve ağ tasarlanırken 6 adet girdi parametresi ile 1 adet çıktı parametresi kullanılmıştır. Girdi parametreleri olarak "Normal Standart Süre" ye göre hesaplanmış "parti

üretim miktarı”, ”parti malzeme maliyeti”, ”parti fason maliyeti”, ”parti işçilik maliyeti”, ”parti amortisman maliyeti” ve ”parti genel gideri”, çıktı parametresi olarak ise ”Fiili Standart Süre” ’ye göre hesaplanmış ”gerçek birim maliyet” kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan yapay sinir ağı modeli Şekil 1’de gösterildiği gibidir.

Çok katmanlı yapay sinir ağları öğretmenli öğrenme modelini kullanır. Buna göre her parça için toplanan 50 partilik üretim veri gurubunun 40 adeti ağı eğitmede eğitim seti olarak 10 adeti ise eğitilmiş ağı test etmede test seti olarak kullanılmıştır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer noktada ağı eğitilirken girdi parametreleri olarak kullanılan maliyetler ”Normal Standart Süre” baz alınarak hesaplanmış tutarlar iken çıktı parametresi olarak kullanılan birim maliyet ”Fiili Standart Süre” baz alınarak hesaplanmış ”Gerçek Birim Maliyet” tutarıdır. Böylelikle yapay sinir ağına normal standart süreye göre hesaplanan maliyet bilgileri verildiğinde ağı kayıp süreleri de göz önüne alarak yaklaşık gerçek maliyeti verecektir.

2.3. Uygulama için Gerekli Verilerin Toplanması

Veriler toplanırken ”standart birim maliyet” ve ”gerçek birim maliyet” hesabını olanaklı kılacak dolayısıyla ağı eğitebilecek parametreler göz önüne alınarak toplanmıştır. Buna göre ilk olarak firmadan her bir parçanın 50 parti için gerçekleşen üretim miktarları, her bir partiye ait genel gider, fiili üretim süreleri, birim malzeme maliyeti, birim fason maliyeti, işçilik maliyeti, ve normal standart süre bilgileri temin edilmiştir. Toplanan veriler Çizelge 1 ve Çizelge 2 ve Çizelge 3 ’de görülmektedir.



Şekil 1. Uygulamada kullanılan YSA modeli

2.4. Geleneksel Maliyet Metoduna Göre Birim Maliyetlerin Bulunması

Uygulama için gerekli veriler toplandıktan sonra birim maliyet hesabına geçilmiştir. Birim maliyet hesabı geleneksel maliyet hesaplama metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Her parçanın her parti nosu için iki adet birim maliyet hesaplanmıştır. Bunlardan ilki ”Normal Standart Süre” yi baz alan ”Standart Birim Maliyeti” diğeri ise ”Fiili Standart Süre” yi baz alan ”Gerçek Birim Maliyeti” dir. Hesaplama tüm parçaların tüm partileri için yapılmıştır. Ancak bu bölümde sadece

”Tampon” parçasının 1 nolu partisi için nasıl yapıldığı anlatılacaktır. Aşağıda ”Tampon” parçasının ”Standart Birim Maliyet” inin nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Standart birim maliyet hesaplandığından kullanılan bütün süreler

Çizelge 3’de gösterilmiş olan ”Normal Standart Süreler” dir.

Parti İşlem Süresi = Normal Standart Süre * Parti Miktarı

Parti İşlem Süresi = 15.1 * 55 = 830.5

Parti Malzeme Maliyeti = Birim Malzeme Maliyeti * Parti Miktarı

Parti Malzeme Maliyeti = 24.22 * 55 = 1332.1

Parti Fason Maliyeti = Birim Fason Maliyeti * Parti Miktarı

Parti Fason Maliyeti = 3.5 * 55 = 192.5

Parti İşçilik Maliyeti = Dakikalık İşçilik Maliyeti * Parti İşlem Süresi

İşçilik Maliyeti = 0.92 * 830.5 = 764.06

Parti Amortisman Maliyeti = Dakikalık Amortisman Maliyeti * Parti İşlem Süresi

Parti Amortisman Maliyeti = 0.14 * 830.5 = 116.27

Parti Genel Gider = (Toplam Genel Gider) * (Parti İşlem Süresi tampon) / (Parti İşlem Süresi toplam)

Parti Genel Gider = (2146.1) * (830.5) / (830.5 + 504.62 + 684.32 + 676.26) = 661.18

Standart Birim Maliyet = (Parti Malzeme Maliyeti + Parti Fason Maliyeti + Parti

İşçilik Maliyeti + Parti Amortisman Maliyeti + Parti Genel Gider) / Parti Miktarı

Standart Birim Maliyet = (1332.1 + 192.5 + 764.06 + 116.27 + 661.18) / 55 = 55.75

Çizelge 1. Her bir parçaya ait gerçekleşen parti üretim miktarları ve genel giderler.

Parti No	Tampon Üretim miktarı	Tampon sportu Üretim miktarı	Terazi Üretim miktarı	Terazi Sportu Üretim miktarı	Genel Giderler (TL)
1	55	46	47	51	2146.1
2	47	53	56	65	2328.8
3	65	62	62	68	2691.8
4	67	68	45	56	2197.9
5	45	54	65	47	2197.9
6	60	47	43	53	2201.7
7	58	61	55	44	2297.3
8	55	55	61	50	2321.9
9	53	49	53	67	2361.9
10	49	58	55	46	2188.5
11	43	64	47	58	2230.9
12	52	56	41	43	2064.7
13	56	42	50	60	2241.4
14	65	47	64	63	2529.6
15	47	53	48	65	2265.6
16	53	49	44	57	2186.8
17	44	56	57	55	2223.1
18	62	57	59	56	2466.5
19	58	61	61	49	2396.7
20	62	48	49	51	2259.9
21	49	46	67	63	2359.3
22	63	57	61	67	2608.3
23	54	58	55	43	2215.3
24	60	65	42	45	2261.8
25	48	51	46	66	2255.0
26	50	49	43	54	2112.9
27	69	46	51	59	2423.3
28	54	59	68	52	2420.0
29	52	67	52	61	2431.2
30	58	64	54	47	2345.8
31	65	53	58	45	2345.4
32	49	45	62	65	2332.2
33	51	66	51	62	2413.7
34	62	52	47	55	2319.3
35	66	50	63	51	2433.7
36	62	62	66	40	2397.4
37	51	54	52	52	2216.8
38	49	66	69	56	2470.3
39	56	48	72	63	2496.8
40	55	45	48	51	2145.6
41	68	52	53	55	2436.3
42	42	48	55	67	2241.7

Çizelge 1. Devam

Parti No	Tampon Üretim miktarı	Tampon sportu Üretim miktarı	Terazi Üretim miktarı	Terazi Sportu Üretim miktarı	Genel Giderler (TL)
43	46	69	51	52	2276.9
44	51	54	62	59	2368.6
45	43	41	61	61	2179.5
46	55	45	50	55	2203.0
47	64	49	53	56	2375.1
48	54	61	49	59	2359.5
49	61	57	47	67	2474.5
50	54	53	60	63	2420.8

Çizelge 2. Her bir parçaya ait fiili üretim süresi bilgileri.

Parti No	Tampon Fiili Üretim Süresi (dak.)	Tampon Sportu Fiili Üretim Süresi (dak.)	Terazi Fiili Üretim Süresi (dak.)	Terazi Sportu Fiili Üretim Süresi
1	985	650	835	835
2	845	720	965	1030
3	1160	850	1080	1075
4	1155	895	785	905
5	810	730	1140	790
6	1110	660	775	865
7	1050	835	980	780
8	990	775	1085	885
9	960	640	945	1060
10	890	770	965	785
11	785	840	835	955
12	915	750	740	735
13	980	615	870	970
14	1190	660	1115	1005
15	855	735	830	1080
16	965	660	770	920
17	790	740	980	905
18	1185	755	1020	910
19	1125	810	1085	915
20	1060	625	865	835
21	895	645	1170	1040
22	1140	760	1050	1085
23	975	765	970	750
24	1095	840	790	770
25	845	695	800	1065
26	880	685	750	885
27	1225	650	885	935
28	960	780	1190	850
29	935	875	915	955
30	1010	845	925	765

Çizelge 2. Devam

Parti No	Tampon Fiili Üretim Süresi (dak.)	Tampon Sportu Fiili Üretim Süresi (dak.)	Terazi Fiili Üretim Süresi (dak.)	Terazi Sportu Fiili Üretim Süresi
31	1100	730	980	760
32	870	640	1070	1075
33	860	845	875	985
34	1045	720	815	880
35	1170	690	1090	840
36	1090	830	1160	690
37	925	735	895	860
38	860	840	1170	865
39	985	650	1300	1065
40	990	640	870	940
41	1210	735	910	985
42	755	685	965	1075
43	835	900	875	890
44	915	735	1060	1050
45	760	635	1065	1040
46	965	625	865	960
47	1095	660	910	990
48	975	835	835	1030
49	1075	760	840	1085
50	955	720	1050	1010

Çizelge 3. Her bir parçaya ait standart maliyet bilgileri

	Tampon	Tampon Sportu	Terazi	Terazi Sportu
Birim Malzeme Maliyeti (TL/Adet)	24.22	6.45	13.43	20.72
Birim Fason Maliyeti (TL/Adet)	3.5	3.8	2.5	3.1
İşçilik Maliyeti (TL/Dak)	0.92	0.92	0.92	0.92
Amortisman Maliyeti (TL/Dak)	0.14	0.15	0.11	0.14
Normal standart süre (Dakika)	15.1	10.97	14.56	13.26

Aşağıda ise “Tampon” parçasının “Gerçek Birim Maliyet”inin nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Gerçek birim maliyet hesaplandığından kullanılan bütün süreler Çizelge 2’de gösterilmiş olan “Parti Fiili Üretim Süresi”nin parti miktarına bölünmesiyle elde edilen “Fiili Standart Süreler”dir.

Fiili Standart Süre = Parti Fiili İşlem Süresi / Parti Miktarı

Fiili Standart Süre = $985 / 55 = 17.9$

Parti Malzeme Maliyeti = Birim Malzeme Maliyeti * Parti Miktarı

Parti Malzeme Maliyeti = $24.22 * 55 = 1332.1$

Parti Fason Maliyeti = Birim Fason Maliyeti * Parti Miktarı

Parti Fason Maliyeti = $3.5 * 55 = 192.5$

Parti İşçilik Maliyeti = Dakikalık İşçilik Maliyeti * Parti Fiili İşlem Süresi

Parti İşçilik Maliyeti = $0.92 * 985 = 906.2$

Parti Amortisman Maliyeti = Dakikalık Amortisman Maliyeti * Parti Fiili İşlem Süresi

Parti Amortisman Maliyeti = $0.14 * 985 = 137.9$

Parti Genel Gider = (Parti Genel Gider) * (Parti Fiili İşlem Süresitampon) / (Parti Fiili İşlem Süresitoplam)

Parti Genel Gider = $(2146.1) * (985) / (985 + 650 + 835 + 835) = 639.61$

Gerçek Birim Maliyet = (Parti Malzeme Maliyeti + Parti Fason Maliyeti + Parti

İşçilik Maliyeti + Parti Amortisman Maliyeti + Parti Genel Gider) / Parti Miktarı

Gerçek Birim Maliyet = $(1332.1 + 192.5 + 906.2 + 137.9 + 639.61) / 55 = 58.3$

Görüldüğü üzere tampon parçasının ilk partisi için yapılan

örnekte standart birim maliyet 55.75 bulunmuşken gerçek birim maliyet 58.3 bulunmuştur. İki maliyet arasındaki bu ciddi fark normal standart sürede göz ardı edilen değişimden kaynaklanmaktadır ki bu değişimin ne kadar önemli olduğu yukarıdaki örnekte gözlenmiştir. Aynı işlemler yapay sinir ağını eğitmek ve test etmek üzere diğer parçalar ve diğer partiler içinde gerçekleştirilmiştir. Tampon parçası için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4 ve Çizelge 5’de görülmektedir. Girilen parametre değerlerine ve örnek setine göre eğitilen her bir ağ daha sonra test edilmiş ve her bir ağ yaklaşık %0.15 hata oranıyla testi tamamlamıştır.

Çizelge 4. Tampon parçası için normal standart sürelerle göre hesaplanmış maliyetler.

Parti No	Parti Malzeme Maliyeti	Parti Fason Maliyeti	Parti İşçilik Maliyeti	Parti Amortisman Maliyeti	Parti Genel Gider	Birim Maliyet
1	1332.10	192.50	764.06	116.27	661.18	55.75
2	1138.34	164.50	652.92	99.36	556.79	55.57
3	1574.30	227.50	902.98	137.41	762.25	55.45
4	1622.74	234.50	930.76	141.64	803.58	55.72
5	1089.90	157.50	625.14	95.13	525.59	55.41
6	1453.20	210.00	833.52	126.84	725.24	55.81
7	1404.76	203.00	805.74	122.61	686.87	55.57
8	1332.10	192.50	764.06	116.27	646.01	55.47
9	1283.66	185.50	736.28	112.04	630.51	55.62
10	1186.78	171.50	680.71	103.59	581.03	55.58
11	1041.46	150.50	597.36	90.90	516.45	55.74
12	1259.44	182.00	722.38	109.93	631.64	55.87
13	1356.52	196.00	777.95	118.38	669.74	55.69
14	1574.30	227.50	902.98	137.41	760.59	55.43
15	1138.34	164.50	652.92	99.36	563.80	55.72
16	1283.66	185.50	736.28	112.04	640.06	55.80
17	1065.68	154.00	611.25	93.02	520.46	55.55
18	1501.64	217.00	861.30	131.07	730.03	55.50
19	1404.76	203.00	805.74	122.61	680.87	55.47
20	1501.64	217.00	861.30	131.07	741.72	55.69
21	1186.78	171.50	680.71	103.59	571.33	55.39
22	1525.86	220.50	875.20	133.18	739.98	55.47
23	1307.88	189.00	750.17	114.16	639.95	55.58
24	1453.20	210.00	833.52	126.84	724.79	55.81
25	1162.56	168.00	666.82	101.47	577.70	55.76
26	1211.00	175.00	694.60	105.70	605.48	55.84
27	1671.18	241.50	958.55	145.87	822.04	55.64
28	1307.88	189.00	750.17	114.16	627.98	55.36
29	1259.44	182.00	722.38	109.93	618.56	55.62
30	1404.76	203.00	805.74	122.61	687.72	55.58

Çizelge 4. Devam

Parti No	Parti Malzeme Maliyeti	Parti Fason Maliyeti	Parti İşçilik Maliyeti	Parti Amortisman Maliyeti	Parti Genel Gider	Birim Maliyet
31	1574.30	228.50	902.98	137.41	766.29	55.52
32	1186.78	171.50	680.71	103.59	575.55	55.47
33	1235.22	178.50	708.49	107.81	607.69	55.64
34	1501.64	217.00	861.30	131.07	743.54	55.72
35	1598.52	231.00	916.87	139.52	772.76	55.43
36	1501.64	214.00	861.30	131.07	722.22	55.37
37	1235.22	178.50	708.49	107.81	607.72	55.64
38	1186.78	171.50	680.71	103.59	569.20	55.34
39	1356.32	196.00	777.95	118.38	648.46	55.31
40	1332.10	192.50	764.06	116.27	660.14	55.73
41	1646.96	238.00	944.66	143.75	807.43	55.60
42	1017.27	147.00	583.46	88.79	498.84	55.60
43	1114.12	161.00	639.03	97.24	548.46	55.65
44	1235.22	178.50	708.49	107.81	598.53	55.46
45	1041.46	150.50	497.36	90.90	506.12	55.50
46	1332.10	192.50	764.06	116.27	657.78	55.69
47	1550.08	224.00	889.09	135.30	760.49	55.61
48	1307.88	189.00	750.17	114.16	645.54	55.68
49	1477.42	213.50	847.41	128.95	730.74	55.71
50	1307.88	189.00	750.17	114.16	635.56	55.50

Çizelge 5. Tampon parçası için fiili standart sürelerle göre hesaplanmış maliyetler.

Parti No	Parti Malzeme Maliyeti	Parti Fason Maliyeti	Parti İşçilik Maliyeti	Parti Amortisman Maliyeti	Parti Genel Gider	Birim Maliyet
1	1332.10	192.50	906.20	137.90	639.61	58.33
2	1138.34	164.50	777.40	118.30	552.76	58.54
3	1574.30	227.50	1067.20	162.40	749.70	58.17
4	1622.74	234.50	1062.60	161.70	774.00	57.55
5	1089.90	157.50	745.20	113.40	513.05	58.20
6	1453.20	210.00	1021.20	155.40	716.68	59.27
7	1404.76	203.00	966.00	147.00	661.77	58.32
8	1332.10	192.50	910.80	138.60	615.44	57.99
9	1283.66	185.50	883.20	134.40	628.97	58.79
10	1186.78	171.50	818.80	124.60	571.19	58.63
11	1041.46	150.50	722.20	109.90	512.81	59.00
12	1259.44	182.00	841.80	128.10	601.66	57.94
13	1356.52	196.00	901.60	137.20	639.47	57.69
14	1574.30	227.50	1094.80	166.60	758.24	58.79
15	1138.34	164.50	786.60	119.70	553.45	58.78
16	1283.66	185.50	887.80	135.10	636.58	59.03

Çizelge 5. Devam

Parti No	Parti Malzeme Maliyeti	Parti Fason Maliyeti	Parti İşçilik Maliyeti	Parti Amortisman Maliyeti	Parti Genel Gider	Birim Maliyet
17	1065.68	154.00	726.80	110.60	514.27	58.44
18	1501.64	217.00	1090.20	165.90	755.25	60.16
19	1404.76	203.00	1035.00	157.50	685.21	60.09
20	1501.64	217.00	975.20	148.40	707.68	57.26
21	1186.78	171.50	823.40	125.30	563.09	58.57
22	1525.86	220.50	1048.80	159.60	736.92	58.60
23	1307.88	189.00	897.00	136.50	624.50	58.42
24	1453.20	210.00	1007.40	153.30	708.63	58.88
25	1162.56	168.00	777.40	118.30	559.61	58.04
26	1211.00	175.00	809.60	123.20	581.05	58.00
27	1671.18	241.50	1127.00	171.50	803.39	58.18
28	1307.88	189.00	883.20	134.40	614.60	57.95
29	1259.44	182.00	860.20	130.90	617.71	58.66
30	1404.76	203.00	929.20	141.40	668.34	57.70
31	1574.30	228.50	1012.00	154.00	722.67	56.78
32	1186.78	171.50	800.40	121.80	555.13	57.87
33	1235.22	178.50	791.20	120.40	582.27	57.01
34	1501.64	217.00	961.40	146.30	700.48	56.88
35	1598.52	231.00	1076.40	163.8	751.30	57.89
36	1501.64	214.00	1002.80	152.60	693.15	57.54
37	1235.22	178.50	851.00	129.50	600.45	58.72
38	1186.78	171.50	791.20	120.40	568.80	57.93
39	1356.32	196.00	906.20	137.90	614.84	57.34
40	1332.10	192.50	910.80	138.60	617.48	58.03
41	1646.96	238.00	1113.20	169.40	767.69	57.87
42	1017.27	147.00	694.60	105.70	486.35	58.35
43	1114.12	161.00	768.20	116.90	543.20	58.77
44	1235.22	178.50	841.80	128.10	576.40	58.04
45	1041.46	150.50	699.20	106.40	473.26	57.46
46	1332.10	192.50	887.80	135.10	622.52	57.64
47	1550.08	224.00	1007.40	153.30	711.56	56.97
48	1307.88	189.00	897.00	136.50	625.99	58.45
49	1477.42	213.50	989.00	150.50	707.47	58.00
50	1307.88	189.00	878.60	133.70	618.97	57.93

Çizelge 6. Oluşturulan ağların parametre değerleri.

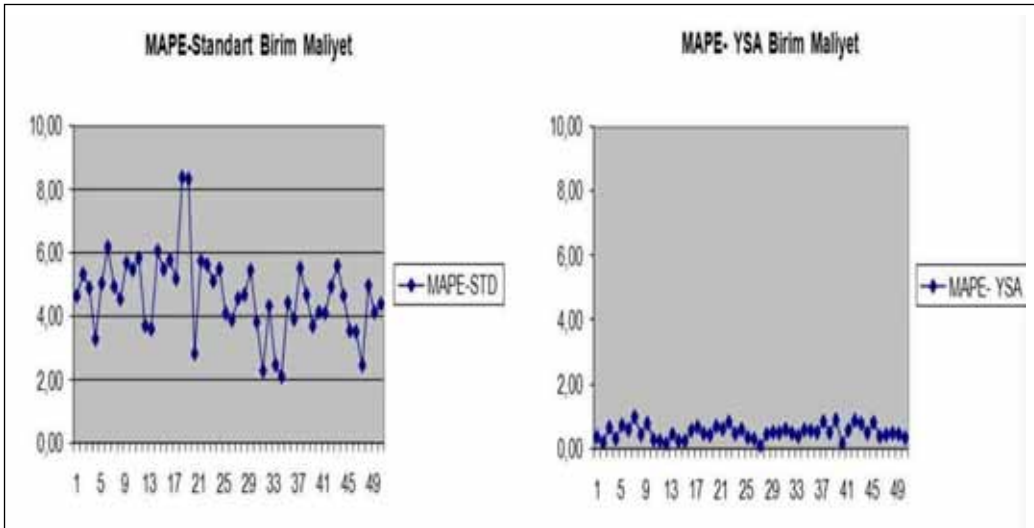
Parça adı	Ağ no	Gizli katman Nöron sayısı	Momentum Faktörü	İstenilen hata oranı	Gerçekleşen İterasyon sayısı
Tampon	1	12	0.65	0.001	3217
Tampon sportu	2	12	0.67	0.001	3305
Terazi	3	13	0.64	0.001	2850
Terazi sportu	4	11	0.63	0.001	2985

3. Sonuçlar

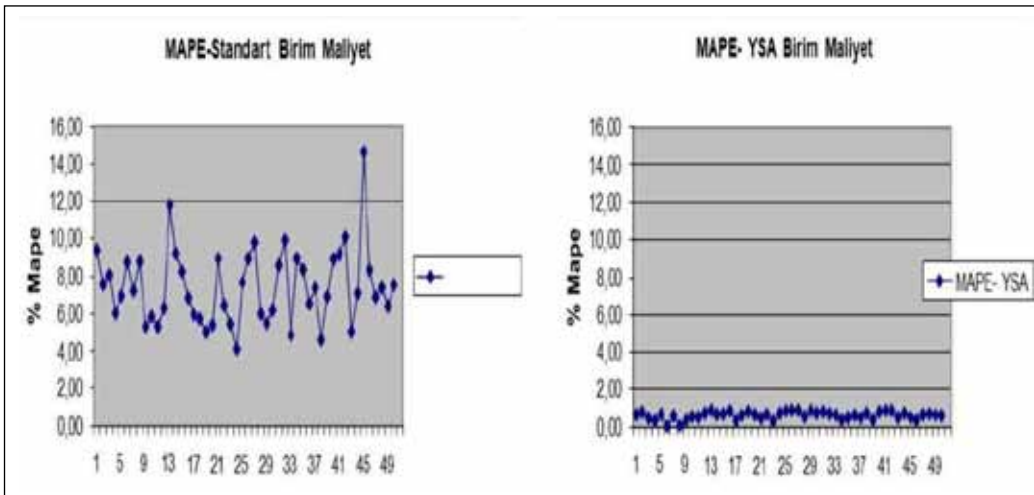
Firmadan elde edilen verilerden ilk olarak “Normal Standart Süre” yi baz alan “Standart Birim Maliyet” daha sonra “Fiili Standart Süre” yi baz alan “Gerçek Birim Maliyet” hesaplanmış ve bu işlem her bir parçanın tüm üretim partileri için gerçekleştirilmiştir. Daha sonra her bir ağı eğitirken “Normal Standart Süre” ye göre hesaplanmış parti maliyetleri girdi değerleri olarak “Fiili Standart Süre” ye göre hesaplanmış “Gerçek Birim Maliyet” ise çıktı değeri olarak ağı verilmiş, böylece girilen standart maliyetlerden hareketle ağıın süre kayıplarını da göz önüne alan gerçek maliyetleri bulması istenmiştir. Her bir ürün için eğitilen ve test edilen YSA’lar artık denenmeye hazır hale gelmiştir. Bu aşamada her bir ürün için ağı eğitmede ve test etmede kullanılan 50 partilik maliyet verileri ağı sunularak ağıın nasıl sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda ağıın sunduğu birim maliyetlerin gerçek değere ne kadar yakın

değerler olduğunu göstermekte ve dolayısıyla her bir ürüne ait YSA’nın performansını ortaya koyar.

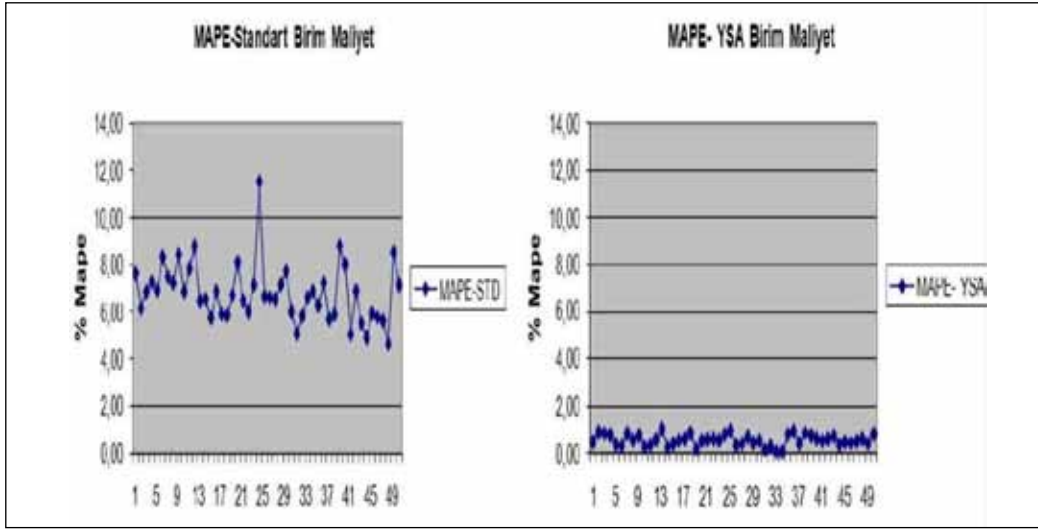
Çizelge 7 de bir ürünün 50 partisi için hesaplanmış “Standart Birim Maliyet” ve “Gerçek Birim Maliyet” ile ağıdan elde edilmiş “YSA Birim Maliyet” gösterilmiştir. Çizelgelerdeki değerlerden de görüleceği gibi YSA kullanılarak hesaplanan birim maliyet, standart birim maliyete kıyasla ürünün gerçek maliyetine daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu da YSA performanslarının oldukça yüksek olduğuna işaret etmektedir. Son olarak her bir parça için bulunan “Standart Birim Maliyet” ile “YSA Birim Maliyet” inin “Gerçek Birim Maliyet” ten ne kadar saptıkları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada “Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error)” ölçüsü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 ile Çizelge 8’de özetlenmiştir.



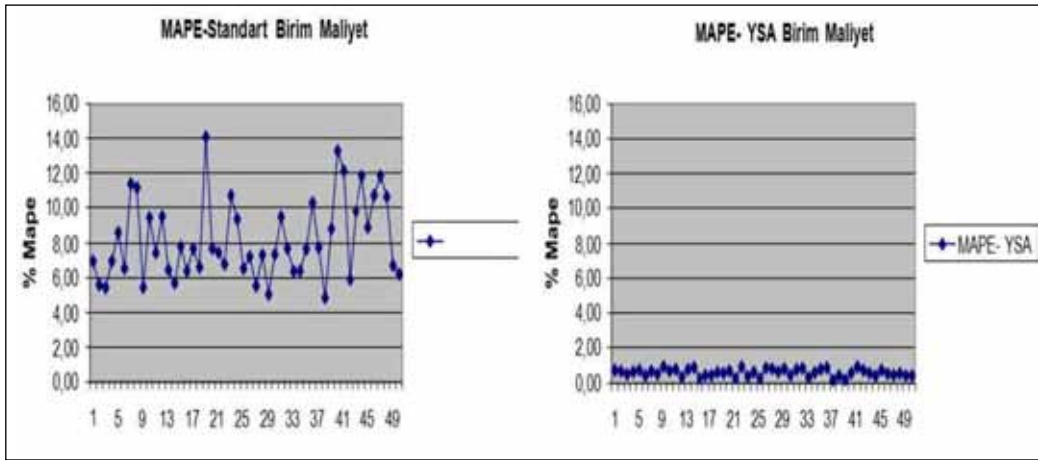
Şekil 2. Tampon parçası için MAPE değerleri.



Şekil 3. Tampon sportu parçası için MAPE değerleri.



Şekil 4. Terazi parçası için MAPE değerleri.



Şekil 5. Terazi sporu parçası için MAPE değerleri.

Çizelge 7. Tampon parçası için birim maliyetler.

Parti No	Standart Birim Maliyet	Gerçek Birim Maliyet	YSA Birim Maliyet
1	55.75	58.33	58.12
2	55.57	58.54	58.65
3	55.45	58.17	57.79
4	55.72	57.55	57.72
5	55.41	58.20	58.63
6	58.81	59.27	58.93
7	55.57	58.32	57.75
8	55.47	57.99	58.24
9	55.62	58.79	58.33
10	55.58	58.63	58.47
11	55.74	59.00	58.86
12	55.87	57.94	57.86
13	55.69	57.69	57.95
14	55.43	58.79	58.93
15	55.72	58.78	58.64

Çizelge 7. Devam

Parti No	Standart Birim Maliyet	Gerçek Birim Maliyet	YSA Birim Maliyet
16	55.80	59.03	59.37
17	55.55	58.44	58.84
18	55.50	60.16	59.88
19	55.47	60.09	60.35
20	55.69	57.26	57.66
21	55.39	58.57	58.93
22	55.47	58.60	58.12
23	55.58	58.42	58.15
24	55.81	58.88	59.23
25	55.76	58.04	58.24
26	55.84	58.00	58.17
27	55.64	58.18	58.23
28	55.36	57.95	58.21
29	55.62	58.66	58.36
30	55.58	57.70	57.42
31	55.52	56.48	57.12
32	55.47	57.87	58.15
33	55.64	57.01	57.23
34	55.72	56.88	56.55
35	55.43	57.89	58.22
36	55.37	57.54	57.83
37	55.64	58.72	58.23
38	55.34	57.93	57.65
39	55.31	57.34	57.86
40	55.73	58.03	58.11
41	55.60	57.87	57.54
42	55.60	58.35	58.87
43	55.65	58.77	59.23
44	55.46	58.04	58.32
45	55.50	57.46	57.93
46	55.69	57.64	57.85
47	55.61	56.97	57.22
48	55.68	58.45	58.17
49	55.71	58.00	58.26
50	55.50	57.93	58.12

Çizelge 8. Tüm parçalar için ortalama MAPE değerleri.

Parça adı	MAPE (Standart Birim Maliyet)	MAPE (YSA Birim Maliyet)
Tampon	4.67	0.50
Tampon Sportu	7.41	0.64
Terazi	6.80	0.57
Terazi Sportu	8.16	0.61

$$MAPE = (1 / n) * \sum |(Gi - Ti) / (Gi) * 100| \quad (1)$$

$Gi=i$. Gerçek değer, $Ti=i$. Tahmini değer, n = Toplam veri sayısı

Momentum katsayısı ve öğrenme oranı ikilisi, ayrıca gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. En iyi sonuç veren değerler kullanılmıştır.

Her bir parça için hesaplanan MAPE değerleri incelenmiş YSA ile yapılan birim maliyet tahmininin oldukça tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Birim maliyet belirleme işlemi genellikle deterministik modellerle gerçekleştirilen bir işlemdir. Nitekim uygulamanın gerçekleştirildiği firmada da geleneksel maliyet belirleme metodu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu metotta tek problem ise istenmeyen fakat önlenemeyen kayıp sürelerdir. Bu kayıp süreler ise genellikle parti miktarı ile doğru orantılı olarak artmakta ve belli bir oranda birim maliyeti artırmaktadır. Yapılan çalışma göstermiştir ki otomasyon düzeyinin düşük işçiliğin yoğun olduğu bir işletmede girdi ve çıktı ilişkisi doğru belirlenmiş bir YSA yardımıyla bu problem aşılabilmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

YSA'lar örneklerden öğrenebilen ve doğrusal olmayan ilişkileri mükemmel modelleyebilen bir yapay zeka aracıdır. Burada eğitilen YSA maliyet tahmininde kullanılmış ve faaliyet bazlı maliyet hesaplama sistemiyle de karşılaştırılarak başarısını ispatlamıştır. Ayrıca daha hassas maliyet tahmini yapabilen bir araç olduğunu da ispatlamıştır. Yapılan çalışmada bulunan sonuçlar literatürdeki sonuçlarla benzer çıkmıştır. Literatürde yapılan maliyet tahmini çalışmalarında YSA diğer tekniklere göre başarısını ispat etmiştir (Smith vd. 1997, Rimasauskas ve Bargelis 2010, Wang ve Stocton 2001, Burman ve Huang 1999, Chang vd. 2012, Stamenkovic vd. 2015). Gelecekteki maliyet hesaplamalarında yapay zeka bazlı tahmin sistemi olarak sadece YSA değil YSA tabanlı hibrid sistemler kullanılabilecektir.

5. Kaynaklar

- Bargelis, A., Rimasauskas, M. 2007.** Cost forecasting model for order-based sheet metalworking. *J Mech Eng Sci*, Part C, 221: 55-65.
- Barletta, M., Gisario, A. 2009.** Hybrid forming process of AA 6108 T4 thin sheets: modeling by neural network solutions. *J Eng Manf. Part B*, 223: 535-545.
- Bucak, S. 2007.** Otomotiv sektöründe yapay sinir ağı kullanarak maliyet tahmini. *Yüksek lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, 111 s.
- Burman, D., Huang K. 1999.** A revolutionary approach to cost prediction using the artificial neural model. Washington DC. *SAVE International Conference*, 33-37.
- Chang, PC., Lin, JJ., Dzan, WY. 2012.** Forecasting of manufacturing cost in mobile phone products by case based reasoning and artificial neural models. *JIM*, 23:517-531.
- Shebab, E., Abdalla, HS. 2002.** Manufacturing cost modelling for concurrent product development. *Rob Com Intg Manf*, 17: 341-353.
- Smith, AE., Mason, AK. 1997.** Cost estimation predictive modeling: regression versus neural network. *Eng Econ*, 42: 137-161.
- Stamenkovic, DD., Popovic, VM. 2015.** Warranty optimization based on the prediction of cost to the manufacturer using neural network and monte carlo simulation. *Int J Syst Sci*, 46(3): 535-545.
- Wang, Q., Stockton, D. 2001.** Cost model development using artificial neural networks. *Aircraft Eng Aerospace Tech*, 73: 536-541.
- Zhang, YF., Fuh, J.Y.H. 1998.** A neural network approach for early cost estimation of packaging products. *Comp Ind Eng*, 34: 433-450.