

FARKLI YANAŞMA AÇILARI İLE VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN FREZELENMESİNDE KESME KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE ANALİTİK MODELENMESİ

Şener KARABULUT*, Abdulkadir GÜLLÜ**

* Kızılcahamam Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi 06890 Kızılcahamam, Ankara

**Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi 06500, Beşevler, Ankara

* senerkarabulut@gazi.edu.tr, ** agullu@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 31.05.2012; Kabul/Accepted: 20.09.2012)

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, vermiküler grafitli dökme demirin TiCN ve Al₂O₃ kaplamalı karbür kesicilerle frezelenmesinde farklı yanaşma açılarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu amaca ulaşmak için, 2,5 mm sabit kesme derinliğinde 45°, 60°, 75° ve 88°'lik yanaşma açılarında, 180, 215, 250 ve 290 m/min kesme hızlarında, 0,16; 0,20 ve 0,24 maksimum talaş kalınlıklarında kuru ve ıslak işleme şartlarında 96 farklı kombinasyonda frezeleme deneyi yapılmıştır. Vermiküler grafitli dökme demirin kuru olarak frezelenmesinde yanaşma açısının değeri 45°, 60°, 75° ve 88°'ye doğru artarken kesme kuvvetleri azalmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı kullanıldığında, 45° ve 60°'lik yanaşma açılarında kesme kuvvetlerinde %1,0 - %15,33 oranında azalma olurken, 75° ve 88°'lik yanaşma açılarında %1,0 ile %16,0 oranında artma olmuştur. Deney sonuçları yapay sinir ağları ve regresyon analizi ile modellenmiştir. Ayrıca regresyon modeli ile YSA modelinin kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışma, vermiküler grafitli dökme demirin frezelenmesi sırasında oluşacak kesme kuvvetlerinin tahmininde yararlı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Vermiküler grafitli dökme demir, yanaşma açısı, yüzey frezeleme, kesme kuvveti, yapay sinir ağları ile modelleme, regresyon analizi ile modelleme

AN INVESTIGATION OF CUTTING FORCES AND ANALYTICAL MODELLING IN MILLING COMPACTED GRAPHITE IRON WITH DIFFERENT LEAD ANGLES

ABSTRACT

The aim of this study is to reveal the influence of the lead angle variation on the cutting forces in the process of face milling of compacted graphite iron with TiCN and Al₂O₃ coated carbide insert. To achieve this goal, 96 different milling experiments were carried out in dry and wet milling conditions with 45°, 60°, 75°, 88° lead angles, 180, 215, 250 ve 290 m/min cutting speeds and 0,16; 0,20; 0,24 mm maximum chip thickness at the 2.5 mm constant dept of cut. The cutting forces decreased while increasing the lead angle value 45°, 60°, 75°, 88° in dry milling of compacted graphite cast iron. When cutting oil was used in the experiments, a decrease between 1,0% - 15,33% at the lead angles of 45° and 60° and an increase between 1,0% and 16,0% at the lead angles of 75° and 88° have been observed. Experimental results have been modeled with artificial neural networks and regression analysis method. A comparison of ANN model with regression model is also carried out. This study is considered to be helpful in predicting the cutting forces in milling of compacted graphite cast iron.

Keywords: Vermicular Graphite Cast Iron, lead angle, face milling, cutting force, modeling with artificial neural network, modeling with regression analysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Vermiküler Grafitli dökme demir (VGDD) günümüzde; motor başlıkları, dizel motor blokları, eksoz manifoldları ve fren diskleri gibi birçok parçada gri dökme demire (GDD) göre daha verimli bir şekilde kullanıldığı için otomotiv imalat malzemesi olarak kabul görmektedir. VGDD'nin çok iyi mekanik özellikleri sayesinde daha yüksek basınca dayanıklı ve daha iyi performans özelliği olan dizel motorların imalatı yapılabilmektedir [1]. VGDD, hem küresel hem de vermiküler grafit içerdiğinden dolayı yüksek dayanıma sahiptir ve titanyum içeriğinden dolayı da işlenebilirliği zor bir malzemedir [2]. VGDD'ler geleceğin yeni nesil yüksek güç gerektiren dizel motorları için kullanılacak olan bir malzemedir. Gri dökme demir ile kıyaslandığında artırılmış dayanımı sayesinde daha yüksek silindir basıncına müsaade eder ve bundan dolayı da daha iyi yakıt ekonomisi ve daha yüksek güç çıkışı elde etmek mümkün olmaktadır [3]. Talaşlı imalat işlemlerinde üretilen iş parçası kalitesinin artırılması ve maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespiti ve analiz edilmesi önemli bir yer tutmaktadır [4,5]. Kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da önemli bir etkidir [6,7]. Tornada VGDD'in işlenmesi sırasında gri dökme demirle kıyaslandığında daha yüksek kesme kuvvetleri oluşmuştur [9]. Kesme kuvvetleri artarken VGDD içerisindeki yumuşama oranının %5-20 aralığında olduğu görülmektedir. Kesme kuvvetleri üzerinde yumuşamanın etkisi yüksek kesme hızlarında (350 m/min) düşük kesme hızlarına göre kısmen daha fazla olmaktadır [10]. Frezeleme işlemlerinde GDD ile VGDD kıyaslandığında VGDD'nin işlenmesi sırasında kesme kuvvetleri daha hızlı artmaktadır. Bu durum bu malzemelerin içerisindeki yüksek perlit oranı ile açıklanabilir [11,12]. Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerini etkileyen birçok faktör vardır. Kesici takım talaş yüzeyindeki takım-talaş temas uzunluğunun kesme kuvvetleri üzerine önemli bir etkisi vardır. Takım-talaş temas uzunluğunun azalması ile kesme kuvvetleri düşerken; takım-talaş temas uzunluğunun artması ile meydana gelen sürtünme, kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olur.

Ayrıca işlenen malzemenin akma dayanımı da önemlidir [13-16]. Vermiküler grafitli demirlerin yapısında bulunan grafitler işleme anında çentik etkisi yapar ve talaşta kırılmayı başlatır. Talaşlar kısa olduğu için talaş yüzeyi üzerinde temas uzunluğu çok kısa, talaşlar ince ve kesme kuvvetleri düşüktür [17]. Kesme kuvvetlerini kestirebilmek için sinir ağı çıktı hata modeli kullanan Haber ve Alique değişik geometrilerdeki iş parçalarında frezeleme ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında, ağ girdileri olarak sadece talaş derinliği ve ilerleme verilerini kullanmışlardır [18]. Geri yayımlı sinir ağı modeli ile takım yan yüzey aşınmasını inceleyen Özel ve Nadgir, ağın eğitildiği aralığın dışında kestirim yapması durumunda hatalı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [19]. Lee ve Lee kullandıkları çok katmanlı perseptron modeli çalışmaları ile kesme kuvvetleri oranını kullanarak takım aşınmasını önceden belirlemişlerdir [20]. Bu çalışmayla, farklı yanaşma açılarında VGDD'nin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri üzerinde yanaşma açılarının ve farklı kesme parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak yapay sinir ağları ve regresyon modeli yöntemiyle kesme kuvvetleri için tahmin modelinin oluşturulması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEMLER (EXPERIMENTAL METHODS)

Deneylerde kullanılan VGDD numuneler motor blok kafa dökümleri ile birlikte dökülmüş ve kimyasal bileşimleri fabrikanın üretim hattında belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 100x100x100 mm ölçülerinde hazırlanmış ve Jhonford VMC550 CNC tezgâhında işlenmiştir. Deneylerde kullanılan VGDD'nin kimyasal bileşimi Tablo 1.'de, mekanik özellikleri ise Tablo 2.'de, verilmiştir. Deneylerde kesici uç olarak Sandvik tarafından üretilen GC3040 kalitesinde TiCN ve Al₂O₃ kaplamalı karbür uçlar kullanılmıştır. Soğutma sıvısı olarak CastrolHysol G %5,0 oranında seyreltilerek kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri KISTLER 9257B dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Deney numunelerinin üzerindeki cürufur temizlendikten sonra Şekil 1.'de görüldüğü gibi numuneler üzerine eksenler arası 75 mm olacak şekilde M8 civata ile dinamometreye doğrudan monte edilmiştir.

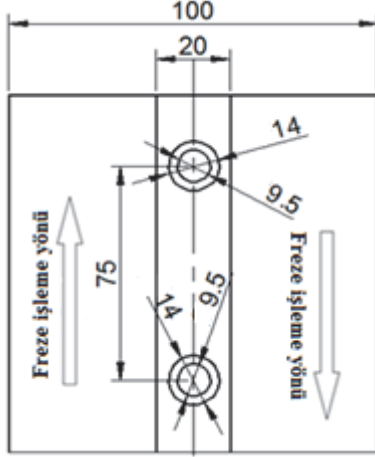
Tablo 1. VGDD'nin kimyasal bileşimleri (Chemical composition of CGI)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Perlitik	3,82	1,804	0,337	0,031	0,015	0,074	0,013	0,002
	Cu	Mg	Sn	Ti	Al	Zn	Bi	Fe
Perlitik	0,879	0,014	0,092	0,0203	0,008	0,082	0,007	Kalan

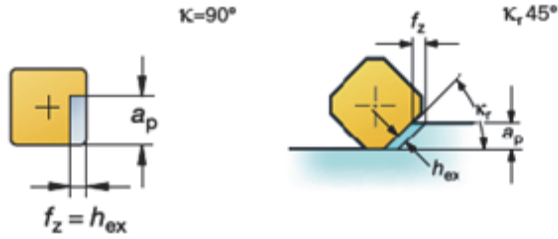
Tablo 2. VGDD'nin mekanik özellikleri (Mechanical properties of CGI)

Maksimum Çekme Dayanımı (Mpa)	% 0,2 Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Vickers Sertliği, HV	Darbe dayanımı (Joule)
502,7	284,3	1,8	280,0	8,6

Doğru seçilmiş h_{ex} değeri ile talaşın inceltilmesi ilerlemenin artmasına, ilerlemeye bağlı olarak da verimliliğin artmasına katkı sağlamaktadır. Yanaşma açısının 90° olması durumunda h_{ex} değeri f_z ilerleme oranına eşit olmaktadır. Yanaşma açısının (κ_r) azaltılması $h_{ex} = f_z \times \sin \kappa_r$ eşitliğine bağlı olarak f_z ilerleme oranını artırmaktadır (Şekil 2.).



Şekil 1. Kesme kuvveti ölçümü için deney numunesi
(The specimen for measurement of cutting force)



Şekil 2. Yanaşma açısının ilerleme hızı ve h_{ex} değeri üzerindeki etkisi
(The effect of lead angle on the feed rate and maximum chip thickness)

Yanaşma açısı ve maksimum talaş kalınlığına bağlı olarak tabla ilerleme hızı 291-995 mm/min aralığında değişmiştir. Deneylerde değişken olarak kullanılan parametreler Tablo 3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan parametreler
(Parameters used in the experiments)

Parametreler	Değerleri
Yanaşma açısı (Derece), κ_r	45°, 60°, 75°, 88°
Kesme hızı (m/min), Vc	180, 215, 250, 290
Maksimum talaş kalınlığı (mm), hex	0,16; 0,20; 0,24
Talaş derinliği (mm), a_p	2,5
Talaş genişliği (mm), a_e	40
Freze çapı (mm), Dc	63
Fener mili hızı (dev/min)	910, 1087, 1264, 1466
Kesici üzerindeki uç sayısı (adet), Zn	2

Aynı kesme şartlarında kuru ve soğutma sıvısı kullanılarak 48'er adet olmak üzere toplam 96 adet kesme kuvveti ölçme deneyi yapılmıştır. Deneyler aynı şartlarda 2 tekrarlı olarak yapılmış, elde edilen veriler kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu birbirinden farklı ölçülen deneyler, deney parametreleri ve kesici

uçtan kaynaklanan titreşim durumu kontrol edilerek tekrar edilmiştir. Her iki deneyde de 32 adet veri YSA ağ eğitiminde, 16 adet veri ise, elde edilen tahmin modelinin doğruluğunu kıyaslamak için kullanılmıştır.

3. KESME KUVVETİNİN MODELLENMESİ (MODELLING OF CUTTING FORCE)

3.1. YSA İle Kesme Kuvveti Tahmini (Estimation Of Cutting Force By ANN)

Bu çalışmada; kullanımının ve uygulamalarının yaygın olması sebebiyle geriye yayımlı, çok katmanlı YSA modeli esas alınmış Levenberg - Marquardt algoritması kullanılmıştır. Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan Levenberg - Marguardt (LM) Öğrenme Algoritması, öğrenmede kullanılan geri yayılım algoritmasının farklı öğrenme tekniklerinden biridir. Çok sayıda komşuluk fikri üzerine dayanan LM algoritması, en küçük kareler yaklaşımı metodudur. LM algoritmasının en önemli avantajlarından biri, hızlı yakınsama özelliğidir. Deneysel çalışmada geliştirilen YSA modelinin tahmin performansı, belirleme katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_i - F_{ANN,i})^2}{\sum (F_{ANN,i})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_{ANN,i} - F_i|^2 \right)} \quad (2)$$

$$MAPE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{F_{ANN} - F}{F_{ANN}} \right| \times 100 \right)} \quad (3)$$

YSA modellemde Pythia yazılımı kullanılmıştır. Pythia yazılımı transfer fonksiyonu olarak Fermi fonksiyonunu kullanarak eğitim yapmaktadır. Fermi transfer fonksiyonu eşitlik (4) ile hesaplanabilmektedir.

$$N(z) = \frac{1}{1 + e^{-4(z-0.5)}} \quad (4)$$

İlerleme yönündeki kesme kuvvetlerinin YSA ile modellenebilmesi için, eğitim ve test amaçlı deneyler belirlendikten sonra, kuru ve soğutma sıvısı ile yapılmış deneylerden her biri için 32 adet deney eğitim, 16 deney ise test amaçlı olarak ayrılmıştır. YSA ile deneysel sonuçlar eğitilerek en uygun ağ yapıları, farklı döngü ve nöron sayılarıyla araştırılmıştır. Öncelikle, programa otomatik optimizasyon yaptırılarak en düşük sapma değerine sahip bir ağ yapısı seçilmiştir. Bu ağ yapısı belirlendikten sonra programın döngü sayısı ve

öğrenme oranları değiştirilerek en küçük sapma değerine kadar eğitilmiştir. Bu işlemler sonucu kuru olarak yapılan deneyler için 3 katman ve 9 nöronlu oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir. Soğutma sıvısı ile yapılan deneyler için ise, 3 katman ve 11 nöronlu oluşan bir ağ yapısı seçilmiştir.

Tablo 4. YSA yazılımı için sınır değerleri (The limit values for ANN software)

Girdiler			
	Yanaşma açısı (κ_r) derece	Kesme hızı (Vc) m/min	Tabla ilerleme hızı (Vf) mm/min
En büyük	88	290	995
En küçük	45	180	291

Tablo 4.'de normalizasyon için deneyde kullanılan kesme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Elde edilen ağ yapısının güvenilirliğini test etmek için bulunan ağ yapısının sonuçları ile gerçek sonuç değerleri karşılaştırılmış ve sapma oranında çok belirgin bir hata olmadığı görülmüştür. Bu aşamadan sonra nöronlardaki ağırlık değerleri Excel ortamına aktarılmış ve bu ağırlık değerleri kullanılarak kesme kuvvetinin modellenmesi için gereken analitik denklem oluşturulmuştur. İleri beslemeli ağ yapılarında hücreler katmanlar şeklinde düzenlenmekte ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Şekil 3.'de kuru işleme deneylerinden elde edilen 9 nöronlu LM algoritmasındaki YSA ağ yapısı Şekil 4.'de ise soğutma sıvısı ile yapılan deneylerden elde edilen YSA ağ yapısı görülmektedir. Bu ağ yapılarını test etmek ve bu tahmin modelini elde etmek için öncelikle çıktı nöronlarının kuru işleme için (N9) ve ıslak işleme için (N11)'in formüle edilmesi

gerekmektedir. Kuru işleme şartlarında elde edilen YSA ağ yapısındaki nöronların ağırlık değerleri kullanılarak 5 nolu eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitlik; yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini kullanarak, vermiküler grafitli dökme demirin frezelenmesinde ilerleme yönünde oluşacak kesme kuvveti tahmininde kullanılabilir.

$$N_9(Fx) = \frac{1}{1+e^{-4(1,506045 \cdot N_6 + 2,464779 \cdot N_7 - 1,270780 \cdot N_8 - 0,5)}} \quad (5)$$

Fermi transfer fonksiyonu,

$$N_{(i)} = \frac{1}{1+e^{-4 \cdot (E_i - 0,5)}} \quad (6)$$

Tablo 5. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.7'de kullanılan sabitler (Constants used in eq.7 from neurons 1-5).

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	-1,065721	0,522264	-0,292896
2	-0,129143	-0,904597	-0,685960
3	-0,290663	-0,732700	1,358160
4	0,321671	0,524056	-1,044147
5	-1,939982	0,843873	0,575755

N1–N5 arasındaki nöronlar için E_i değeri (7) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Tablo 5.'de verilmiştir.

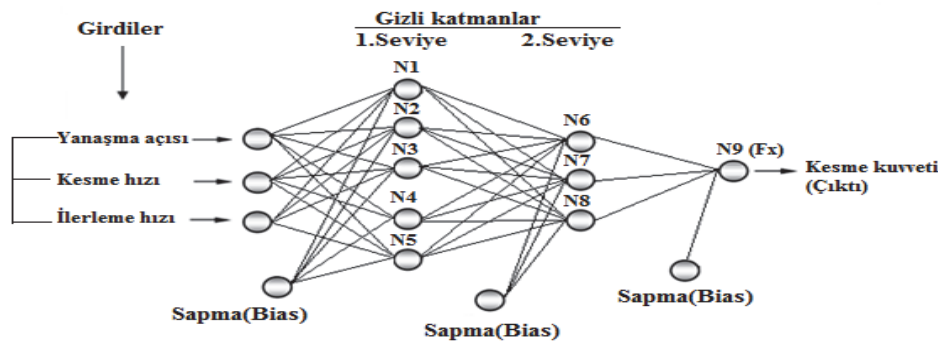
$$E_i = w_{1i} \cdot V_c + w_{2i} \cdot \kappa_r + w_{3i} \cdot V_f \quad (7)$$

N6–N8 arası nöronlar için E_i değeri (8) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Tablo 6.'da verilmiştir.

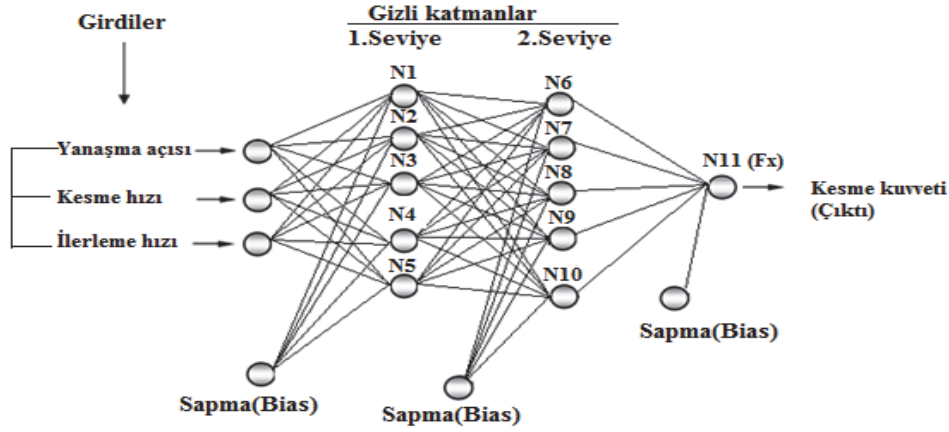
$$E_i = w_{1i} \cdot N_1 + w_{2i} \cdot N_2 + w_{3i} \cdot N_3 + w_{4i} \cdot N_4 + w_{5i} \cdot N_5 \quad (8)$$

Tablo 6. 6-8 arası nöronlardan elde edilen ve Eş.8 kullanılan sabitler (Constants used in eq. (8) from neurons 6-8).

i	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
6	-1,248395	-0,165368	0,210498	-0,015451	0,741036
7	-0,695100	0,046587	0,729198	-0,035056	-0,208222
8	-0,407417	1,353170	-2,067429	0,868209	-1,431401



Şekil 3. Kuru işleme şartlarında elde edilen 9 nöronlu YSA yapısı (ANN structure in LM algorithm with nine neurons in dry machining)



Şekil 4. Soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde elde edilen 11 nöronlu YSA yapısı (ANN structure in LM algorithm with eleven neurons in machining with cutting fluid)

Tablo 7. 1-5 arası nöronlardan elde edilen ve Eş. 10'da kullanılan sabitler (Constants used in eq. (10) from neurons 1-5).

i	Sabitler		
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}
1	0,463869	0,654461	-1,616397
2	0,116601	-0,586008	1,484177
3	-1,022094	0,155305	0,643116
4	0,164544	-0,309141	0,165886
5	-0,109290	2,463877	1,161961

Tablo 8. 6-10 arası nöronlardan elde edilen ve Eş. 11'de kullanılan sabitler (Constants used in eq. (11) from neurons 6-10).

i	Sabitler				
	w_{1i}	w_{2i}	w_{3i}	w_{4i}	w_{5i}
6	-0,366925	0,307939	-0,905471	-0,453842	-0,214899
7	0,432302	-1,115181	-1,155520	0,864666	-0,192715
8	-0,826577	0,292670	0,621602	1,374312	0,376806
9	1,695485	-0,521065	-0,566214	-0,590025	-0,567086
10	-0,022456	1,293823	0,830037	-0,877081	-0,939555

Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen verilerin YSA programında eğitilmesinin ardından Şekil 4.'de görülen ağ yapısı elde edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işleme şartlarında elde edilen YSA ağ yapısındaki nöronların ağırlık değerleri kullanılarak 9 nolu eşitlikteki tahmin modeli elde edilmiştir.

$$N_{11(Fx)} = \frac{1}{1 + e^{-4 \left(\frac{0,359924 \cdot N_6 + 0,763549 \cdot N_7 + 0,639026 \cdot N_8 - 1,008533 \cdot N_9 + 1,068184 \cdot N_{10} - 0,5}{1} \right)}} \quad (9)$$

$N1-N5$ arasındaki nöronlar için E_i değeri (10) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte i nöron numaralarını temsil etmektedir. Elde edilen sabitler Tablo 7.'de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} \cdot V_c + w_{2i} \cdot \kappa_r + w_{3i} \cdot V_f \quad (10)$$

$N6-N10$ arası nöronlar için E_i değeri (11) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sabitler Tablo 8.'de verilmiştir.

$$E_i = w_{1i} \cdot N_1 + w_{2i} \cdot N_2 + w_{3i} \cdot N_3 + w_{4i} \cdot N_4 + w_{5i} \cdot N_5 \quad (11)$$

3.2. Regresyon Analizi İle Kesme Kuvveti Tahmini (Estimation Of Cutting Force By Regression Analysis)

İlerleme yönündeki kesme kuvveti deney sonuçlarından 32 tanesi regresyon analizinde kullanılmıştır. Kesme kuvveti denklemleri, kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak yanaşma açısı (K_r), kesme hızı (V_c) ve maksimum talaş kalınlığı (h_{max}) parametreleri sonucu oluşan ilerleme kuvveti esas alınarak oluşturulmuştur. Kuru işleme şartları altında kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem 12 nolu eşitlikle gösterilmiştir. Bu denklemin belirleme katsayısı, $R^2=0,979$ bulunmuştur.

$$F_x = 2012,46 - 5,18078 \times K_r - 4,22 \times V_c + 1,49 \times V_f \quad (12)$$

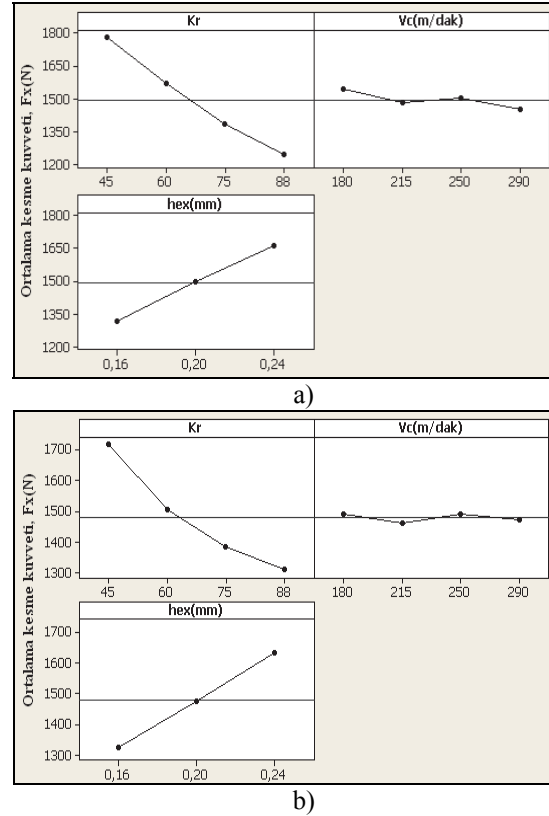
Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneyler sonucu kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden denklem, eşitlik 13'te görülmektedir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2=0,962$ olarak hesaplanmıştır.

$$F_{xs} = 1752,46 - 3,45039 \times K_r - 3,3372 \times V_c + 1,34453 \times V_f \quad (13)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deneylerin tamamı incelendiğinde ilerleme miktarının artması; yüksek ilerleme kuvvetine, düşük kayma açısına ve kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olmaktadır. Yanaşma açısının değerinin azalması ile ilerleme miktarı arttığından, ilerleme yönündeki kesme kuvvetlerinin artmasında da en önemli etken olmuştur. Ayrıca yanaşma açısının değerinin düşmesi ile kesici takım daha geniş yüzey ile iş parçasına temas etmekte ve sürtünme artmaktadır. Bunlara bağlı olarak da kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Kuru olarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında, ilerleme yönünde en düşük kesme kuvveti; 88°'lik yanaşma açısında, $V_c=215$ m/min kesme hızında ve $V_f=435$ mm/min'lik ilerleme hızında 1004,15 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 2019 N olarak 45°'lik yanaşma açısında ölçülmüştür. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinin tamamında ilerleme yönünde en düşük kesme kuvveti; 88°'lik yanaşma açısında, $V_c=290$ m/min kesme hızında ve $V_f=469$ mm/min'lik ilerleme hızında 1103,52 N olarak ölçülürken, en yüksek kesme kuvveti 1984,86 N olarak 45°'lik yanaşma açısında ölçülmüştür. Maksimum talaş kalınlığının artması ve bu değere bağlı olarak ilerleme hızının artması da ortalama kesme kuvvetlerinin artmasında doğrusal bir etki göstermiştir. 45° yanaşma açısında yapılan deneylerde soğutma sıvısı, maksimum kesme kuvvetinin %7,7 azalmasını sağlamıştır. Deneylerin tamamında soğutma sıvısı, kesme kuvvetlerinde %7 ile %13 arasında bir azalmaya sebep olmuştur. 60° yanaşma açısında soğutma sıvısı kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlamıştır. Bu yanaşma açısında, deneylerin biri hariç diğerlerinde kesme kuvvetlerinde %1 ile %15 arasında bir azalma olmuştur. 75° ve 88° yanaşma açılarında soğutma sıvısı ilerleme kuvvetleri üzerinde kararlı bir etki sağlamamıştır. Yanaşma açısının değeri yükseldikçe ilerleme kuvvetlerinde dikkate değer bir azalma olmuştur. Yanaşma açısının değeri küçüldükçe açı değerine bağlı olarak ilerleme hızı yükseldiğinden ve kesici uç kesme sırasında iş parçası malzemesine daha geniş bir yüzeyden temas sağladığından dolayı oluşan sürtünme nedeniyle ilerleme kuvvetleri yüksek oluşmuştur. Kesici takım daha fazla yüzeyden temas sağladığı için kesici takım yan kenarı daha iyi dayanım göstermiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde; ilerleme kuvvetlerinde 45° ve 60°'lik yanaşma açılarında %1-%15,33 oranında düşme meydana gelirken; 75° ve 88°'lik yanaşma açılarında %1 ile %16 arasında kuvvetlerin artmasına sebep olmuştur. Tablo 9.'da kuru işleme şartları için varyans analizi sonuçları, Tablo 10.'da ise soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işleme şartları için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Varyans analizinde kontrol faktörlerinin ana etkileri değerlendirilmiştir. Kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde, kesme kuvvetleri üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla; yanaşma açısı

(K_r) %55,3, ilerleme hızı (V_f) %39,76 ve kesme hızı (V_c) %1,69 şeklinde olmuştur. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde, kesme kuvvetleri üzerinde kontrol faktörlerinin etkisi sırasıyla yanaşma açısı (K_r) %46,88 maksimum talaş kalınlığı (hex) ve bu değere bağlı olarak ilerleme hızı %48,2 ve kesme hızı (V_c) %0,22 şeklinde olmuştur. Varyans analizleri incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye yanaşma açısının, en az etkiye ise kesme hızının sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.).



Şekil 5. Kesme kuvvetleri üzerinde kesme parametrelerinin etki oranı a) kuru işleme b) ıslak işleme (The effects of the cutting parameters on the cutting forces a) in dry machining b) in machining with cutting fluid)

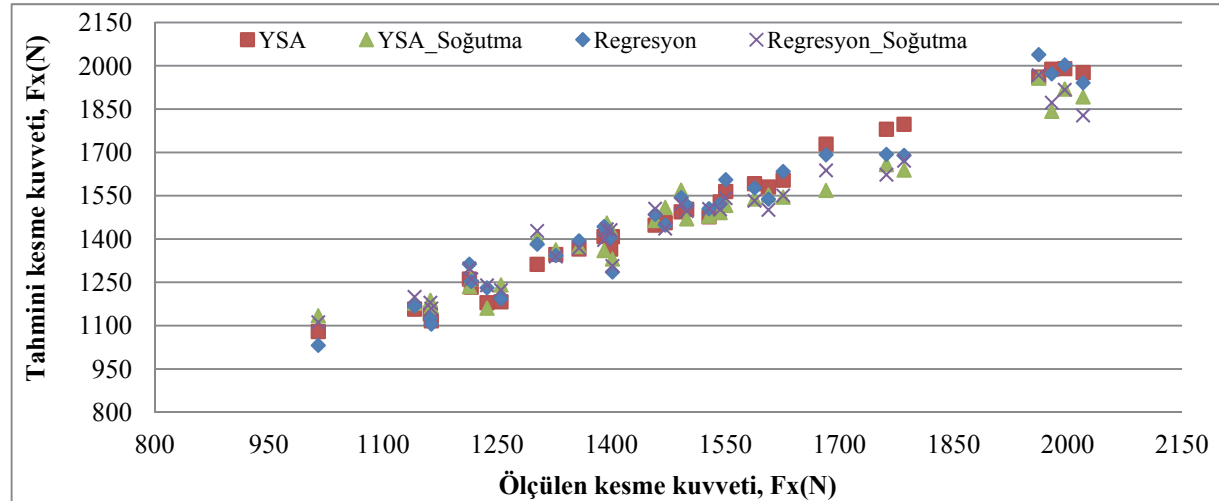
Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işleme şartlarında ise, kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye maksimum talaş kalınlığı (hex) ve bu değere bağlı olarak ilerleme hızının sahip olduğu görülmüştür. Hem kuru işleme hem de ıslak işleme varyans analizleri değerlendirildiğinde maksimum talaş kalınlığı ve bu değere bağlı olarak oluşan ilerleme hızının değerinin deneyde kullanılan değerlerden daha düşük alınması kesme kuvvetlerinin düşmesine katkı sağlayacaktır. %95 güvenilirlik seviyesinde birinci derece denklemle elde edilen tahmini takım ömrü değerleri, YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen tahmini takım ömrü değerleri ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel takım ömrü sonuçlarının kıyaslaması Şekil 6'da görülmektedir.

Tablo 9. Kesme kuvveti için varyans analizi (ANOVA) (Analysis of Variance)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	3	1254030	1233185	411062	134,69	0,000
Vc	2	38429	35995	11998	3,93	0,021
Vf	2	901666	901666	450833	147,72	0,000
Hata	28	73247	73247	3052		
Toplam	35	2267372				

Tablo 10. Kesme kuvveti için varyans analizi (Analysis of Variance)

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Top.	Kareler Ortalaması	F	P
Kr	3	731351	71179	71179	33,960	0,0000000
Vc	2	3446	354844	354844	169,299	0,0000029
Vf	2	751931	751931	751931	358,752	0,0000000
Hata	28	73247	58687	2096		
Toplam	31	1559975				

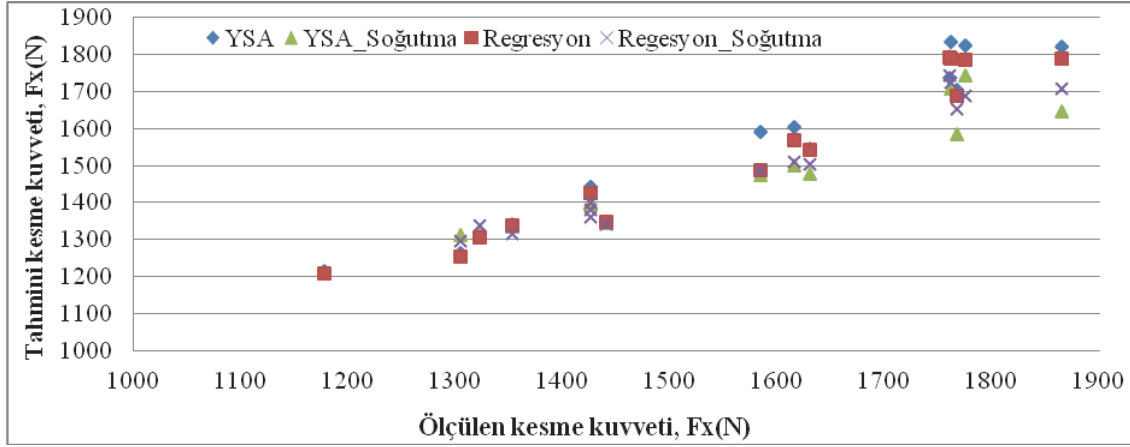
**Şekil 6.** Deneysel sonuçların YSA ve regresyon modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanması (Comparison of training data result with the ANN model and regression model)

Deneysel sonuçları ile elde edilen modeller kıyaslandığında kuru işleme şartlarında YSA sonucu elde edilen modelin R^2 değeri %98,6 ve regresyon analizi sonucu elde edilen modelin R^2 değeri ise %96,1 olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işleme deneylerinde YSA sonucu elde edilen modelin R^2 değeri %98,8 regresyon analizi sonucu elde edilen modelin R^2 değeri ise %96,2 olarak elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu matematiksel modellerin güvenilirlik düzeylerini test etmek için kontrol faktörlerinden yanaşma açısı, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinden deney seviyelerinin arasında yer alan değerler seçilerek 16 adet ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. Kuru işleme şartlarında elde edilen YSA modeli (5 nolu eşitlik) ile %95, regresyon analizi ile elde edilen model (12 nolu eşitlik) ile %94,9 doğruluk oranında tahmin yapılmıştır. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen YSA modelinin

(9 nolu eşitlik) doğrulama deneylerinde %79,3 regresyon modeli sonucu elde edilen matematiksel model (13 eşitlik) ile %90 doğruluk oranında tahmin yapılmıştır.

Kuru işleme şartlarında hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel modellerde %95 düzeyinde başarılı tahminler yapılabilmektedir. Ancak soğutma sıvısı kullanılan deneylerde tahmin modellerinde sapma oranı artmıştır. Tahmin modelinde sapma oranının artmasında soğutma sıvısının kesme kuvvetlerinin kararsız davranmasına sebep olması etkili olmuştur. Ara değer doğrulama deney sonuçları ile YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçların kıyaslanması Şekil 7.'de görülmektedir.

Deneysel çalışma, YSA ve regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel modellerin performansları



Şekil 7. Tahmin modellerinin deney sonuçlarıyla kıyaslanması (Comparison of test data with the prediction model.)

Tablo 11. YSA ve regresyon modelinin kıyaslanması (Comparison of ANN and regression modeling)

Ölçüm Performansı	YSA Kuru	Regresyon Kuru	YSA Soğutma	Regresyon Soğutma
R ²	0,999987	0,999965	0,999991	0,999973
MAPE	0,017450	0,024399	0,014525	0,023382
RMSE	30,645920	49,841440	24,287400	42,824850

çeşitli hata kontrol yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu elde edilen değerler Tablo 11.'de görülmektedir. R² değeri her iki modelde %99 olarak elde edilirken MAPE ve RMSE değerleri YSA ile elde edilen tahmin modellerinde daha düşük gerçekleşmiştir. Tablo 11.'de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar, YSA algoritmasının girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yanaşma açısının değerinin azalması ile ilerleme miktarı arttığından, ilerleme yönündeki kesme kuvvetlerinin artmasında da en önemli etken olmuştur. 45° ve 60°'lik yanaşma açıları, ilerleme kuvvetlerinde %1-%15,33 oranında düşme meydana getirirken; 75° ve 88°'lik yanaşma açıları, ilerleme kuvvetlerinin %1 ile %16 arasında artmasına sebep olmuştur.

Kuru işleme şartlarında ilerleme kuvvetleri üzerinde yanaşma açısı %55,3 oranında etki ederken soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde yanaşma açısının etkisi %46,88 olarak hesaplanmıştır. Kuru işleme şartlarında hem YSA hem de regresyon analizi ile elde edilen matematiksel modellerde %95 düzeyinde başarılı tahminler yapılabilmektedir. Soğutma sıvısı kullanarak yapılan deneyler sonucu elde edilen YSA tahmin modeli ile %79,3 doğruluk oranında; regresyon modeli sonucu elde edilen tahmin modeli ile ise %90 doğruluk oranında tahmin yapılmıştır. Soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme kuvveti ölçme deneylerinde soğutma sıvısı, kesme kuvvetlerinde dalgalanmalara ve kararsız bir davranışa sebep olmuştur. Soğutma sıvısının kesme kuvvetleri

üzerindeki etkisinden dolayı YSA ile elde edilen matematiksel model ile test verileri arasında başarı oranı düşük çıkmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, 109M670 bilimsel araştırma proje kodu ile bu çalışmaya maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a ve malzeme desteğinden dolayı Compenanta DÖKTAŞ'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Guessier, W; Schroeder, T. and Dawson, S. "Production Experience with compacted graphite iron automotive components", **AFS Transactions, Desplaines**, 2001.
2. Abele E, Schramm B. "Wear behavior of PCD in machining", **Proceedings of the 2nd industrial diamond conference**, Rome, 2007
3. M. Heck, H. M. Ortner, S. Flege, U. Reuter, W. Ensinger, "Analytical investigations concerning the wear behaviour of cutting tools used for the machining of compacted graphite iron and grey cast iron", **International Journal of Refractory Metals & Hard Materials** 26 197–206, 2008
4. Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., "Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion", **Materials and Design**, 23: 355-360, 2002.
5. Günay, M., "Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 40-49 2003.

6. Demir, H. ve Güllü, A.,“Tařlama parametrelerinin tařlama kalitesine etkilerinin incelenmesi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Cilt 7, 189-198, 2001.
7. Demir H., Güllü A., Şeker U., “Düzlem Tařlama İşleminde Tařlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı”, **Teknoloji-ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi**, Cilt 9, Sayı 2, 111-118, 2006.
8. Sadık, I. “The Interaction between Cutting Data and Tool Performance for different Cutting Tool Material in Milling of Compacted Graphite Iron” **Sixth International Conference on High Speed Machining**, 2007.
9. Georgiou G.,“CGI high speed machine tool solutions”, **Compacted graphite iron machining workshop Conference**, Warren, USA, Lamb Technician, 2002.
10. Berglund A., et al., “Analysis of compacted graphite iron machining by investigation of tool temperature and cutting force”, **1st International Conference on Process Machine Interactions**, Hannover Germany, 2008.
11. Jönsson H., “Milling of Compacted Graphite Iron”, Royal Institute of Technology, **Production Engineering**, Stockholm, Sweden, 2008.
12. Berglund A. and Nicolescu C. M. “Investigation of the effect of microstructure on CGI machining”, **Swedish Production Symposium**, Gothenburg, Sweden, 2007.
13. Richetti, et al., (2004). Richetti A., “Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, vol. 44, 695-700, 2004.
14. Kurt, A., “Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 115-215, 2006.
15. Mavi A., Korkut, İ., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
16. Çiftçi, İ., “The influence of cutting tool coating and cutting speed on Cutting forces and surface roughness in machining of Austenitic stainless steels”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 20, 205-209, 2005.
17. Sandvik, C., **Metal İşleme Ürünleri Tornalama Takımları Katolođu**, Sandvik Coromant, İstanbul, 1-8 2002.
18. Haber, R. E., Alique, A., “Intelligent process supervision for predicting tool wear in machining processes”, **Mechatronics**, vol. 13, 825-849, 2003.
19. Özel, T. N., “Prediction of flank wear by using back propagation neural network modeling when cutting hardened H-13 steel with chamfered and honed CBN tools”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, vol. 42, 287-29, 2002.
20. Lee, H., “One-step-ahead prediction of Flank wear using cutting force”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, vol. 39, 1747-1760, 1999.

