



**9<sup>th</sup> INTERNATIONAL  
CONGRESS ON  
MACHINING**

**CONGRESS PROCEEDINGS**

8 – 10 November 2018

Royal Seginus / Antalya - Turkey

## **UTIS ORGANIZING COMMITTEE**

Emre Özlü  
Muharrem Sedat Erberdi  
Esmâ Baytok  
Dilara Albayrak

## **UTIS STEERING COMMITTEE**

<b>Ali ORAL</b>	Balıkesir University
<b>Ali ÜNÜVAR</b>	Selçuk University
<b>Engin KILIÇ</b>	Atılım University
<b>Erhan ALTAN</b>	Yıldız Teknik University
<b>Erhan BUDAK</b>	Sabancı University
<b>İ. Etem SAKLAKOĞLU</b>	Ege University
<b>İsmail LAZOĞLU</b>	Koç University
<b>M. Cemal ÇAKIR,</b>	Uludağ University
<b>Mustafa BAKKAL</b>	İstanbul Teknik University
<b>Ulvi ŞEKER</b>	Gazi University
<b>Yiğit KARPAT</b>	Bilkent University
<b>Yusuf KAYNAK</b>	Marmara University

## **UTIS ACADEMICS COMMITTEE**

Erhan Budak  
Ulvi Şeker  
Yusuf Kaynak

**UTIS SCIENTIFIC COMMITTEE**

<b>Yusuf Altıntaş</b>	The University of British Columbia	Canada
<b>Hamza K. Akyıldız</b>	Bozok University	Turkey
<b>Kubilay Aslantaş</b>	Afyon Kocatepe University	Turkey
<b>Bekir Bediz</b>	Sabancı University	Turkey
<b>Orhan Çakır</b>	Yıldız Technical University	Turkey
<b>Ulaş Çaydaş</b>	Fırat University	Turkey
<b>Adem Çiçek</b>	Yıldırım Beyazıt University	Turkey
<b>İbrahim Çiftçi</b>	Çankırı Karatekin University	Turkey
<b>Can Coğun</b>	Çankaya University	Turkey
<b>Zoltan Dombovari</b>	Budapest University	Hungary
<b>Sabahudin Ekinović</b>	University of Zenica	Bosnia and Herzegovina
<b>Şerafettin Engin</b>	Pratt & Whitney Canada Corp.	Canada
<b>Kaan Erkorkmaz</b>	University of Waterloo	USA
<b>Hüseyin Erdim</b>	Boeing	USA
<b>Emmanuel O. Ezugwu</b>	Air Force Institute of Technology	Nigeria
<b>Mustafa Günay</b>	Karabük University	Turkey
<b>Anshu Dhar Jayal</b>	Indian Institute of Technology Ropar	India
<b>Krzysztof Jemielniak</b>	Warsaw University of Technology	Poland
<b>Umut Karagüzel</b>	Işık University	Turkey
<b>Bilgin Kaftanoğlu</b>	Atılım University	Turkey
<b>Murat Kıyak</b>	Yıldız Teknik University	Turkey
<b>Uğur Köklü</b>	Karamanoğlu Mehmetbey University	Turkey
<b>Ali Taner Kuzu</b>	Arçelik A.Ş.	Turkey
<b>Gökhan Küçük Türk</b>	Gazi University	Turkey
<b>Ehsan Layegh</b>	MEF University	Turkey
<b>Haydar Livatyalı</b>	Yıldız Technical University	Turkey
<b>Ali Mamedov</b>	American University of the Middle East	Kuwait
<b>Atsushi Matsubara</b>	Kyoto University	Japan
<b>Masahiko Mori</b>	DMG MORI Co. Ltd	Japan
<b>Jokin Muñoa</b>	IDEKO	Spain
<b>Jose C. Outeiro</b>	ARTS & METIERS LaBoMaP Laboratory	France
<b>Babür Özçelik</b>	Gebze Teknik University	Turkey
<b>Orkun Özşahin</b>	Middle East Technical University	Turkey
<b>Erdem Öztürk</b>	Advanced Manufacturing Research Centre	England
<b>Gerard Poulachon</b>	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers	France
<b>Hacı Sağlam</b>	Selçuk University	Turkey
<b>Johnson Samuel</b>	Rensselaer Polytechnic Institute	USA
<b>Safian Sharif</b>	Universiti Teknologi Malaysia	Malaysia
<b>Lütfi Taner Tunç</b>	Sabancı University	Turkey
<b>Sharif Ullah</b>	Kitami Institute of Technology	Japan
<b>Alper Uysal</b>	Yıldız Teknik University	Turkey
<b>Min Wan</b>	Northwestern Polytechnical University	China
<b>Oğuzhan Yılmaz</b>	Gazi University	Turkey

# YÜKSEK HASSASİYETLİ TAŞLAMA İŞLEMİNDE YAPAY SİNİR AĞI İLE TAHMİN MODELİ OLUŞTURMA VE ÇOK AMAÇLI GENETİK ALGORİTMA İLE İŞLEM OPTİMİZASYONU

Burak Selim Karas<sup>a</sup> , Hakkı Özgür Ünver<sup>b</sup>

*a, Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş, Ankara/TÜRKİYE, [selim.karas@ors.com.tr](mailto:selim.karas@ors.com.tr)*

*b, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE, [hounver@etu.edu.tr](mailto:hounver@etu.edu.tr)*

## Özet

Rulman bileziklerinin (100Cr6) yuvarlanma yolu yüzeyleri yüksek hassasiyetli taşlama işlemi ile elde edilir. Bu çalışmada rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolu yüzey pürüzlüğü(Ra) ve Radyüs değerlerini minimum seviyeye indirecek girdi parametrelerinin değerlerinin bulunması hedeflenmiştir. Tahmin modelini oluşturmak için deney tasarımı olarak Merkezi Kompozit Tasarım tercih edilmiş ve deneyden çıkan veriler ile Yapay Sinir Ağları kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Deney sırasında kullanılan girdi parametreleri iş mili devri, pleyt devri ve aşındırıcı final ilerlemesidir. Ayrıca işlem çıktılarının incelenmesi için yanıt yüzey metodolojisi, girdi parametrelerinin çıktılar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için varyans analizi kullanılmıştır. Çıktı değişkenleri için çok amaçlı optimizasyon işlemi de Matlab<sup>TM</sup> kütüphaneleri kullanılarak genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda yüzey pürüzlüğü ve Radyüs değerleri arasındaki ödünleşmeyi gösteren, Pareto optimal çözüm seti elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Rulman Dış Bileziği Yuvarlanma Yolu Taşlama, Yanıt Yüzey Metodolojisi, Çok Amaçlı Genetik Algoritma.

## ESTIMATION MODEL FOR HIGH PRECISION GRINDING PROCESS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHM

### Abstract

The rolling path surfaces of the bearing rings (100Cr6) are manufactured by high precision grinding. In this study, it is aimed to find the optimal values of the input parameters which will reduce the surface roughness (Ra) and Radius output values of the outer ring to a minimum level. The input parameters used during the experiments are spindle turn, plate turn, and abrasive final feed. Central Composite Design was chosen as experimental design method and results are used to generate prediction models using Artificial Neural Networks. In addition, response surface methodology (RSM) was used to examine the process outputs and variance analysis (ANOVA) was used to determine the effects of the input parameters on the outputs. Furthermore, multi-objective optimization process is realized by using genetic algorithm library of Matlab<sup>TM</sup>. As a result of the optimization process, the Pareto optimal solution set is obtained revealing the trade-off between surface roughness and Radius values.

**Keywords:** Bearing Outer Ring Raceway Grinding, Response Surface Methodology, Multi Objective Genetic Algorithm.

## 1 Giriş

Taşlama işlemi birçok mühendislik bileşenlerinde kullanılan çok önemli bir son talaş kaldırma işlemidir. İşlemden birbirini etkileyen birçok faktör vardır. Khalilpourazari v.d. [1] taşlama prosesinin endüstride kullanılan en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olduğunu belirtmiştir. Doğrusal olmaması ve karmaşıklığı sebebiyle taşlama prosesinin optimize edilmesinin zorlayıcı bir problem olduğu söylenmektedir. Birbirlerini etkileyen bu faktörler imalat sanayinin sürekli karşı karşıya kaldığı bir problemdir. Uygun bir taşlama işleminin oluşması için imalat sırasında kullanılan takımın devirlerinin ve ilerleme hızlarının doğru seçilmesi gerekmektedir. Taşlama koşullarının gerekli kalite, maliyet, istenilen ölçü ve tolerans değerlerini karşılaması gerekmektedir. İstenen özelliklerin sağlanabilmesi için fiziksel ve deneysel olarak birçok araştırma modeli oluşturulmuştur. Deneysel ve fiziksel olarak oluşturulan her model her zaman uygundur denilemez, uygulanmak istenen modeller pratikte güvenilir olmayabilir. Gerekli koşulları sağlamak için işletmeler, pahalı ve zaman alıcı yöntemlere başvururlar.

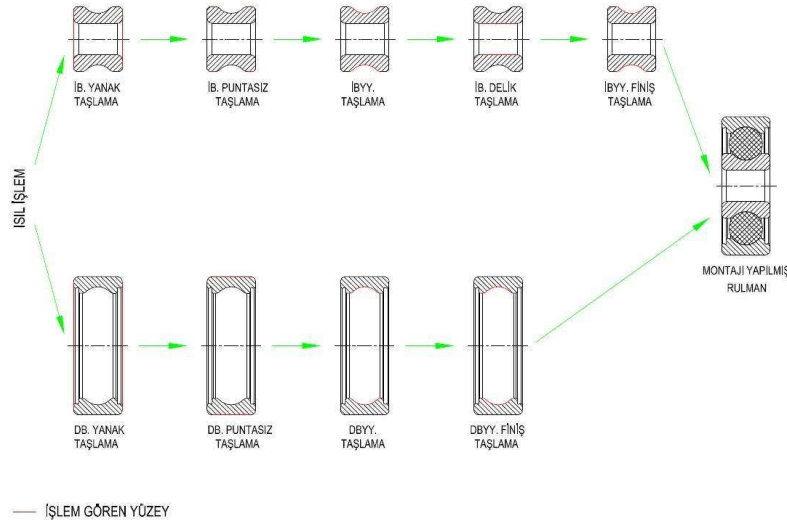
Yapay zekâ bu tür akıl yürütme, öğrenme ve kendini geliştirme gibi normalde insan zekası ile ilgili işlevleri gerçekleştirmek için bir makinenin kapasitesini inceleyen bir bilim dalıdır. İdeal olarak, akıllı bir makine takım kullanımını deneyimleme ve öğrenme sürecinde edindiği bilgileri kullanarak optimize edebilir. Endüstrideki uygulamaların büyük bir çoğunluğu kalifiye operatörlerin deneme yanılma yönteme dayanmaktadır. Bu sebeple hassas taşlama ve diğer aşındırıcı prosesleri için yapay sinir ağları uygulamaları ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak tatmin edici sonuçlar edilmesi sağlanabilir.

Taşlama işlemi birbiri ile etkileşimli çok sayıda değişken içerir. Seçim sistemini tasarlamadan önce hangi değişkenlerin proseste rol oynayacağına karar verilmelidir. Bu nedenle değişkenler arasındaki iletişim ve etkileşimler belirtilir. Taşlama işleminde birçok çeşit vardır. Bu sebeple yapılan çalışma da rulmanın dış bileziğinin yuvarlanma yolu iç taraf taşlama (internal grinding) operasyonu ile sınırlandırılmıştır.

Taşlama üzerinde modelleme ve optimizasyon çalışmaları, imalat alanında yıllardır üzerinde durulan önemli konulardandır. Bu çalışmalardan birinde Prabhu v.d. [2] karbon nanotüp (CNT) karışımı aşındırıcı diskin proses içi elektrolitik elmaslama (ELID) taşlama işleminde AISI D2 takım çeliğinin yüzey karakteristiğini analiz etmiştir. İş parçası üzerinde final taşlamadaki yüzey kalitesinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Karagiannis v.d. [3] yüzey pürüzlülüğünün mamül olmuş komponentlerin kalite performanslarını direkt olarak etkilediğini belirtmiştir. Vosniakos v.d. [4] Örnek parçalardan elde edilen veriler ile yapay sinir ağı modellerinin eğitilebileceğini ve genetik algoritma ile ihtiyaç olan en iyi değerler tespit edilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmayı kalıp takım imalatında yapmış ve uyguladığı modelin farklı disiplinlerde de kullanılabileceğini öngörmüştür. Kumar v.d. [5] üç seviyeli tam faktoriyel deney tasarımında girdi olarak dört adet kesme parametresi olan kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve radyal kesme derinliğini kullanmıştır. Çıktı olarak ise ortalama yüzey pürüzlülüğü seçilmiştir. Optimizasyon için yapay sinir ağları modeli kullanılmıştır. Rabiei v.d. [6] HSS ve 100Cr6 (rulman çeliği) sertleştirilmiş çeliklerin taşlama prosesi sırasında soğutma sıvısı ve durumlarını incelemiştir. Girdi olarak kuru, konvansiyonel soğutucu sıvı ve minimum miktarda yağlama tekniğini seçmiştir. Çıktı parametreleri olarak taşlama kuvvetleri, sürtünme katsayıları, yüzey pürüzlülüğü ve çıkan talaşın formlarını incelemiştir. Ayrıca kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme parametrelerini göz önünde bulundurup model oluşturmuştur. Son olarak genetik algoritma ile minimum yüzey pürüzlülüğünü veren taşlama parametrelerini elde etmiştir. Janardhan [7] taşlama prosesi yüzeyinin ve talaş kaldırma hızının çok amaçlı optimizasyonu için genetik algoritmayı kullanmıştır. Modelleme için ise yanıt yüzey metodunu kullanmıştır. Çalışmada girdi parametreleri olarak taşlama diski devri, tabla hızı ve kesme derinliğini belirlemiştir. Çıktı parametrelerini ise yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma hızı olarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda Ra değerini minimum ve talaş kaldırma hız değerini maksimum yapacak şekilde sınırlar içerisinde parametre optimizasyonu yapmıştır. Bu alanda kontrol

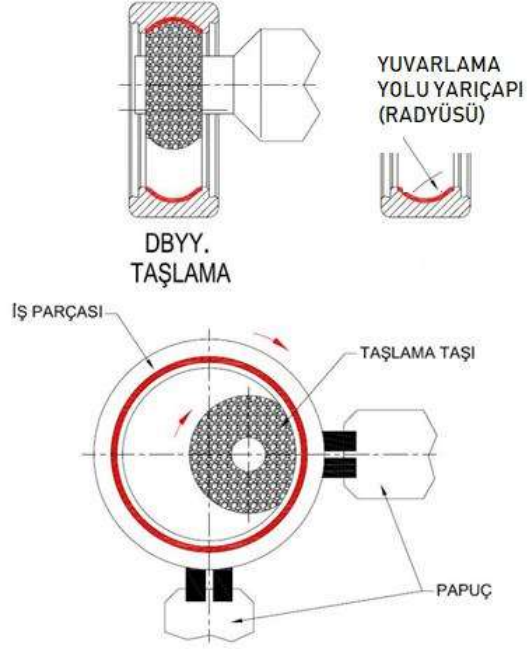
parametrelerinin çıktı ölçütleri üzerindeki etkilerini inceleyen ve optimizasyon yapan daha pek çok çalışma sayılabilir [8,9,10, 11,12,13,14].

Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolu taşlama işlemi dalma taşlama ile yapılmaktadır. Dalma taşlama işleminde, talaş kaldırma işlemi istenilen profil şekli verilmiş taşlar ile yapılır. Taşa profil verme işlemi ise tek taneli elmas (single crystal diamond) ve çok taneli elmas (polycrystalline diamond) gibi taş bileme operasyonları ile yapılır. İş parçası (rulman bileziği) manyetik tutucu ile manyetiklenerek sabitlenir. İş parçası ve taşlama taşı arasındaki merkezleme pabuçlar yardımı ile sağlanır. Manyetik pleyt (tutucu) ile taş (iş mili) aynı yönde farklı hızlarda dönerek talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Literatürde manyetik pleytin devri, iş mili devrinin ortalama 1/42' si kadardır. Devirler iş parçasının ve taşlama taşının çap ve boyut değerlerine göre değişkenlik göstermektedir. Dalma taşlamanın en sık kullanıldığı endüstriyel alanlardan biri de rulman imalatıdır. Rulman bileziklerinin yuvarlanma yollarında yüksek yüzey kalitesi istendiğinden hassas talaş kaldırma işlemi olan dalma taşlama işlemine ihtiyaç duyulur. Müşteri tarafından istenen gerekli Ra, Radyüs, Dairesellik gibi ölçüler dalma taşlama işlemi ile sağlanmaktadır. Şekil 1'de ısıtım işlem sonrası uygulanan taşlama işlemleri sırasıyla gösterilmiştir. Rulman bileziği imalatında birçok talaş kaldırma işlemi uygulanmaktadır. İlk olarak bileziklerin yanak yüzeyler taşlanır ve gerekli olan yanak düzlemsellik ve Ra değerleri sağlanır. Sonraki işlemler taşlanan yanak yüzeyleri referans alınarak işlenir. Rulman bileziklerinin ısıtım işlem sonrası ve montaj öncesi gördüğü taşlama işlemleri Şekil 1'deki gibidir. Bu çalışmada rulman dış bileziği taşlama işlemine odaklanılmıştır.



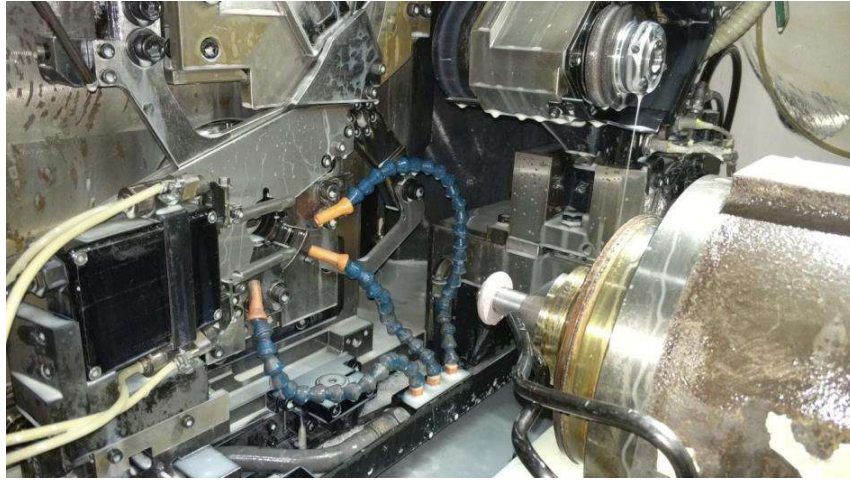
Şekil 1: Rulman bileziklerinin taşlama işlemi

Rulman dış bileziği taşlama işleminde taşlama taşı, bir mil (quill) yardımıyla iş miline bağlanarak 45-60 m/s çevresel hızları arasında döndürülerek taşlama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem için farklı devirlere sahip iş mili motorları bulunur. Taş çapı küçüldükçe iş milinin devri artırılır. Bilezik tipine bağlı olarak 200-300 µm talaş kaldırılır. Talaş kaldırma işlemi seramik bağlayıcılı Alüminyum-Oksit taşlama taşı ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında iş parçası manyetik pleyt ve pabuçlar üzerinde dönmektedir (Şekil 2).



Şekil 2 : Dış bilezik yuvarlanma yolu taşlama işleminin şematik gösterilmesi

Normal operasyonda çevrimiçi ölçüm cihazı (marposs) sayesinde işlenen parça istenilen ölçüye geldiğinde taşlama işlemi tamamlanır. Bu çalışmada taşın yuvarlanma yolundaki etkileri gözlemlendiğinden çevrimiçi ölçüm cihazı devre dışı bırakılmış ve deneylere bağlı olarak aşındırıcı taşın ilerlemesi sabit tutulmuştur. Taşın ve kesme şartlarının durumuna göre uygun aralıklarla 30  $\mu\text{m}$  değerinde elmaslama yapılarak imalat gerçekleştirilir. İyi yönlendirilmiş kesme sıvısı ile yanık riski azaltılır. Kesme sıvısı olarak da %2-3 derişimli bor yağı-su karışımı kullanılmaktadır. Şekil 3'de rulman dış bileziği yuvarlanma yolu taşlama işlemi yapılan bir taşlama tezgahının görünüşü bulunmaktadır.



Şekil 3: Dış bilezik yuvarlanma yolu taşlama tezgâhı

Taşlama işleminde gerekli yüzey kalite değerlerinin sağlanması ve aynı zamanda üretimin performansını artırılması için değiştirilebilecek birçok parametre bulunmaktadır. Taşlama prosesinde öne çıkan değişkenler aşağıdaki Tablo-1'de gösterilmiştir. Bu parametreler sonucunda beklenen özellikler bileziklerin boyutsal toleransların içerisinde olması ve montaja uygun yüzey pürüzlülüğü, dairesellik, form ve mikro yapıya sahip olmasıdır.

İş mili Devri	Dev/Dak
Pleyt Devri	Dev/Dak
Aşındırıcı ilerlemesi	mm/s

Tablo 1: Deneyde kullanılan değişkenler

## 2 Deney Tasarımı

Deney tasarımı daha önceki çalışmalara benzer olarak gerekli öğrenmeyi sağlamak amacıyla merkezi kompozit deney tasarımı ile oluşturulmuştur. Yapay sinir ağları modelleri ile parametrelerin değişimi durumunda çıktı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ve Radyüs değeri tahmin edilir. Talaş kaldırma işlemi istenen yuvarlanma yolu formu verilmiş aşındırıcı taşın taneciklerinin rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunu kesmesi ile meydana gelir. Kesici taneciklerin ilerlemesi taşın yüzeyine, geometrisine ve taş ile dış bilezik arasında oluşan kinematik hareketlere bağlıdır. Çalışmada aşındırıcı olarak Alüminyum-Oksit konvansiyonel taş seçilmiştir. Bu sistemde kontrollü değişkenler olarak aşındırıcı taşın devri, dış bileziği tutan ve merkezleyen manyetik pleyt devri ve finiş ilerleme hızı belirlenmiştir. Sistemde genel olarak değişkenlerin kalite, verimlilik ve maliyet konularını içine alarak tasarım ve üretim gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir. Belirlenen değişkenlerden taş devri ve pleyt devrinin artışı yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesini sağlar. Benzer şekilde finiş ilerlemesinin hızının düşmesi yüzey pürüzlülüğünü iyileştiren faktörlerdendir. Bu üç parametrenin hangi durumlarının en iyi sonucu verdiği ise yapay sinir ağları modeli ile tahmin edilecektir. Çalışmada problemin eğitimi ve testi için kullanılacak veriler, TOYO marka iç yüzey taşlama makinesi ile 100Cr6 malzeme işlenerek hazırlanmıştır. 3 adet girdi ve 2 adet çıktı verisi kullanılacaktır. Merkezi kompozit deney tasarımı ile oluşturulan girdi verileri ve bulunan çıktı değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.



Deney No	İş mili Devri (rpm)	Pleyt Devri (rpm)	İlerleme (mm/s)	Radyüs (mm)	Ra ( $\mu$ m)
1	31663	754	19	1,8410	0,3162
2	33500	798	25	1,8194	0,3165
3	35337	754	31	1,7899	0,3337
4	35337	841	19	1,8296	0,2719
5	33500	798	25	1,8285	0,3084
6	31663	841	31	1,8194	0,3810
7	35337	754	19	1,8180	0,2607
8	31663	841	19	1,8511	0,3239
9	35337	841	31	1,7922	0,3436
10	31663	754	31	1,8006	0,3817
11	33500	798	25	1,8294	0,3085
12	33500	798	25	1,8204	0,3139
13	30500	798	25	1,8448	0,3750
14	33500	869	25	1,8318	0,3017
15	33500	798	35	1,8155	0,3309
16	33500	798	15	1,8301	0,2576
17	33500	726	25	1,8111	0,2973
18	36500	798	25	1,7990	0,2797
19	33500	798	25	1,8209	0,3130
20	33500	798	25	1,8199	0,3201

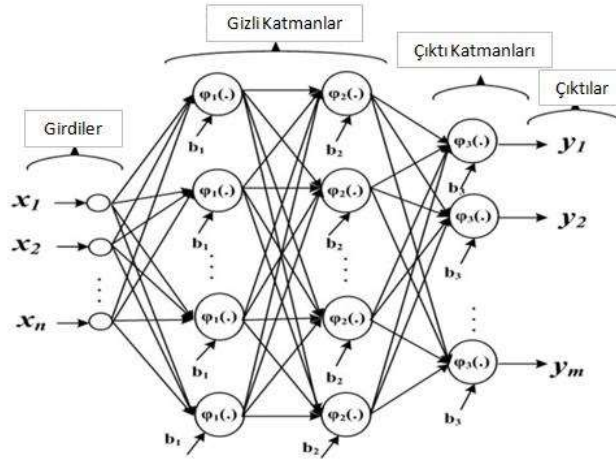
Tablo 2 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve çıktıları

Deney sistemi oluşturulurken merkezi kompozit deney düzeneği kullanılan bu çalışmada bu durumların her biri için taşlama tezgahında 5'er adet dış bilezik işlenmiştir. Alınan 5 adet verinin ortalamaları alınarak ölçüm laboratuvarının kendi içindeki ölçüm farklılıkları elimine edilmeye çalışılmıştır.

### 3 Yapay Sinir Ağı Modeli

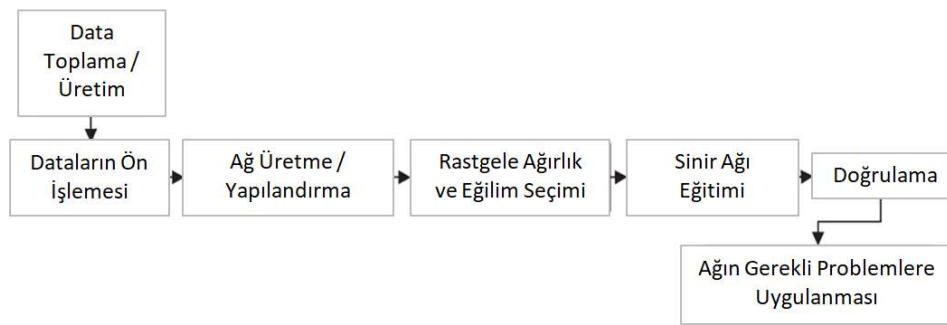
Taşlama koşulları ve strateji geliştirme için yapay sinir ağları modelinin kural tabanlı nedenlemeye göre avantajları bulunmaktadır. Yapay sinir ağlarının (ANN) sınıflandırma, oto-işbirliği, zaman serileri tahmini ve fonksiyon yaklaşımı için uygun olduğunu belirtilir [15]. Ayrıca ANN daha önce tecrübe edilmemiş

problemler üzerinde de önceki eğitim verilerinden faydalanarak çözümler üretilebilecek bir yapıdır. Şekil 4’de taşıma işlemi için kullanılan temel yapay sinir ağı mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 4 : Yapay sinir ağı modeli [16]

Yapay sinir ağının performansı, uygun giriş parametrelerinin seçimi, veri tabanının dağıtımı ve veri tabanının sunulmasını içeren çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin yanı sıra, gizli katmanların sayısı ve gizli katmandaki nöronların sayısı, aktivasyon fonksiyonları ve eğitim algoritmaları gibi diğer kullanıcı tarafından tanımlanmış parametrelerin sayısı da yapay sinir ağının performansını etkiler [17,18]. Yapay sinir ağı kendisinden sağlanan girdileri öğrenebilir ve bunlara adapte olabilir. Bu öğrenme süreci, geleneksel model tabanlı mühendislik veya bilgi tabanlı uzman sistemlerle modellemenin zor olduğu karmaşık mühendislik sistemlerini temsil etmelerini sağlar [19]. Milos vd. [20] gizli katmandaki transfer fonksiyonunun yapay sinir ağının en etkili performans parametresi olarak tanımlamıştır. Bununla birlikte, ilk gizli katmandaki öğrenme oranı ve nöron sayısı, Packianather vd. [21] tarafından etkili faktörler olarak tanımlanmıştır. Yapay sinir ağı uygulamasında izlenecek akış diyagramı Şekil 5’de gösterilmiştir.



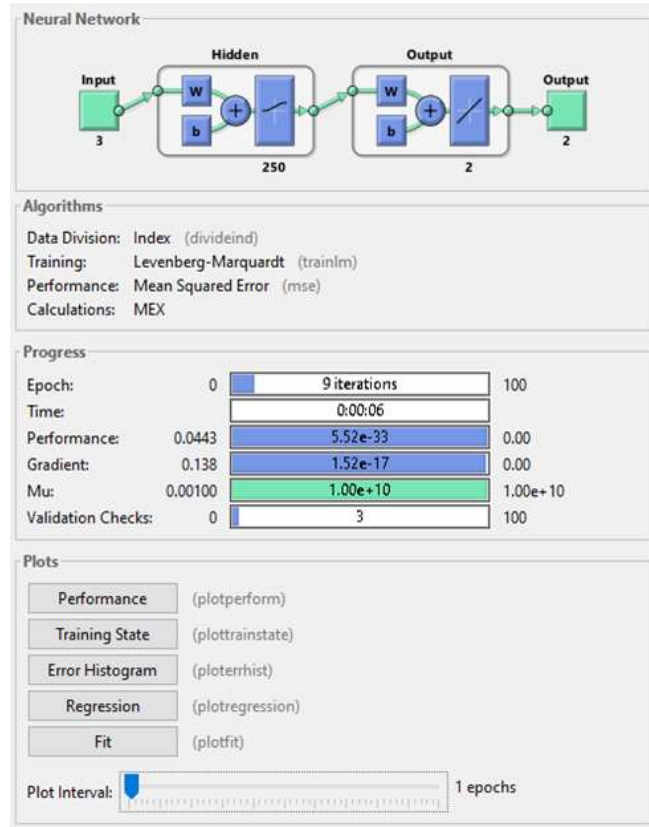
Şekil 5 : Yapay sinir ağı akış diyagramı [5]

Bu çalışma için uygulanan tipler ve fonksiyonlar Tablo 3'de gösterilmiştir.

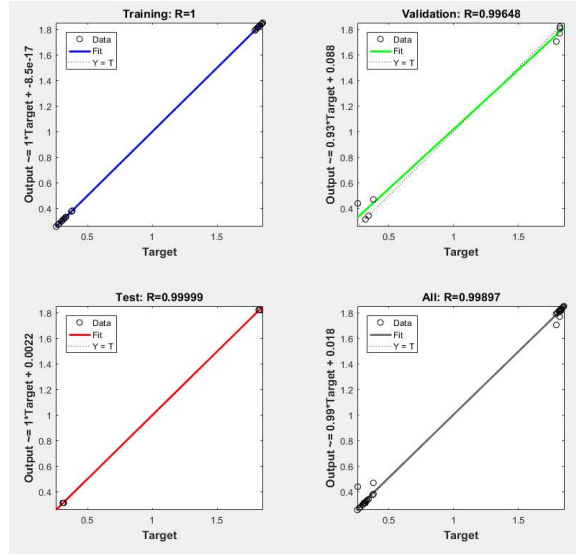
Ağ Tipi	Feed Forward Backpropagation
Eğitim Fonksiyonu	Levenberg-Marquardt algorithm
Adaptasyonlu Öğrenme Fonksiyonu	Learnngd
Transfer Fonksiyonu	Log-sigmoid transfer function

Tablo 3 : Yapay sinir ağı unsurları

Uygun yapay sinir ağları tahmin modeli oluşturmak için yüksek sayıda deney yapılmalıdır. Tablo 2'de gösterilen deney verilerinin ilk on ikisi, modeli eğitmek için kullanılmıştır. Sonraki dört veri validasyonu geçmek için kullanılmıştır ve son dört veri de tahmin modelini test etmek için kullanılmıştır. İleri beslemeli geri yayımlı (feed forward back propagation) model, yapay sinir ağı tipi olarak seçilmiştir. Ek olarak Levenberg-Marquardt algoritması (trainlm) eğitim fonksiyonu olarak kullanılmıştır (Şekil 6). Ayrıca, transfer fonksiyonu olarak log-sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitim ve çapraz doğrulama verilerinin toplam verinin %100'üne yakın olması önemlidir. Şekil 7'de gösterildiği gibi, hem radyüsün hem de Ra'nın tahmin edildiği ortak modelin uygunluk oranlarına bakıldığında, eğitim ve çapraz doğrulama verilerinin uygunluğu  $R=1$ 'e yakındır.

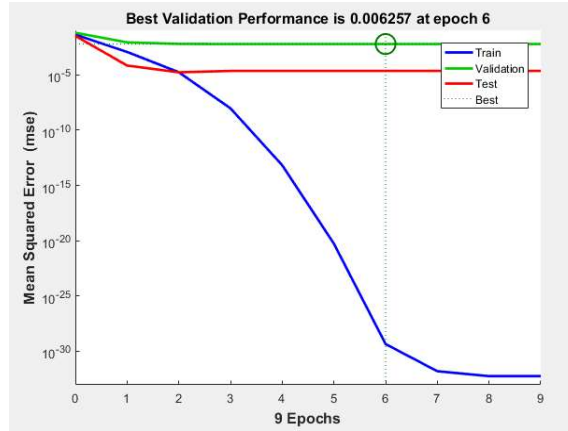


Şekil 6 : Yapay sinir ağı mimarisi



Şekil 7 : YSA modelinin eğitim, validasyon ve test aşamalarının uygunlukları

Bu modelin kabul edilebilirliğinin bir başka göstergesi, YSA modeli için dokuz tekrardan sonra modeli eğitmeyi durdurmasıdır. Ayrıca, Şekil 8'deki grafikler de modelin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Eğer süreç devam ederse, YSA modelinde aşırı öğrenme gözlenir. Aşırı öğrenme, istenmeyen bir durumdur.



Şekil 8 : YSA modelinin performans eğrileri

Tablo 4'te kullanılan verilerden rastgele dörder tanesinden yararlanılarak hata tablosu oluşturulmuştur. Radyüs için Tablo 4'te gösterilen veriler kullanılarak hesaplanan ortalama hata değeri, %0,74 ve Ra için ortalama hata değeri ise %2,12'dir. Hata oranları kabul edilebilir sınırlar içerisinde, dolayısıyla oluşturulan YSA modeli Radyüs ve Ra tahmini için kullanılabilir.

Hedeflenen Radyüs değeri	Model çıktısı	Hata (%)	Hedeflenen Ra değeri	Model çıktısı	Hata (%)
1.8285	1.8421	0.74	0.3817	0.3914	2.54
1.8511	1.8407	0.56	0.3371	0.3406	1.04
1.8111	1.7957	0.85	0.2973	0.2891	2.76
1.7990	1.7846	0.80	0.2607	0.2551	2.15

Tablo 4 : Hedeflenen ve YSA modeli ile elde edilen Radyüs ve Ra değerlerinin karşılaştırılması

#### 4 Yanıt Yüzey Metodolojisi

Proses parametreleri ve cevaplar arasındaki etkileşimin ortaya çıkması için deney sonuçlarının analizi Varyans Analizi (ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir. Analizler veri analizi için uygun istatistiksel yazılım olan MINITAB™ v18 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ANOVA, %95 güven aralığında tanımlandığından, 0.05'in altındaki P değeri, giriş parametresinin çıkış parametresinde etkili olduğunu gösterir. Gerekli radyüs değeri için ANOVA sonucu Tablo 4'de, gerekli Ra değeri için ANOVA sonucu Tablo 5'te gösterilmiştir.

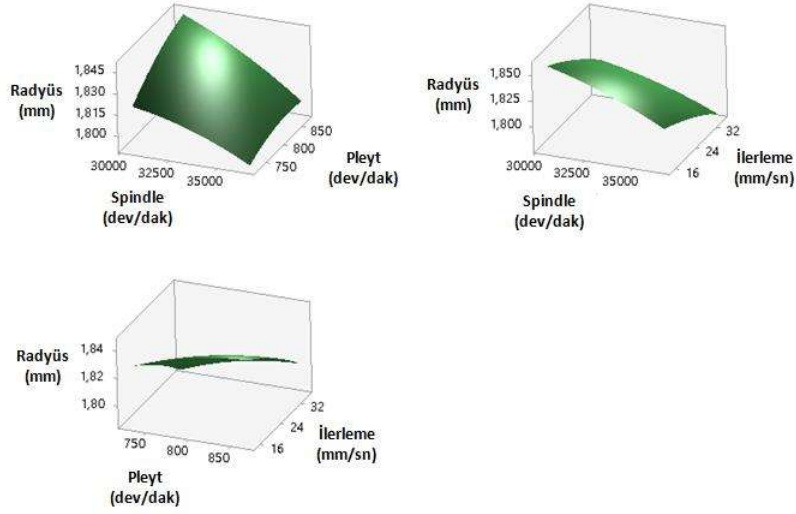
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
İş mili	1	0,001853	0,001853	22,22	0,001
Pleyt	1	0,00044	0,00044	5,28	0,047
İlerleme	1	0,001956	0,001956	23,45	0,001
Hata	9	0,000751	0,000083		
Toplam	19	0,005112			

Tablo 5 : Radyüs için ANOVA tablosu

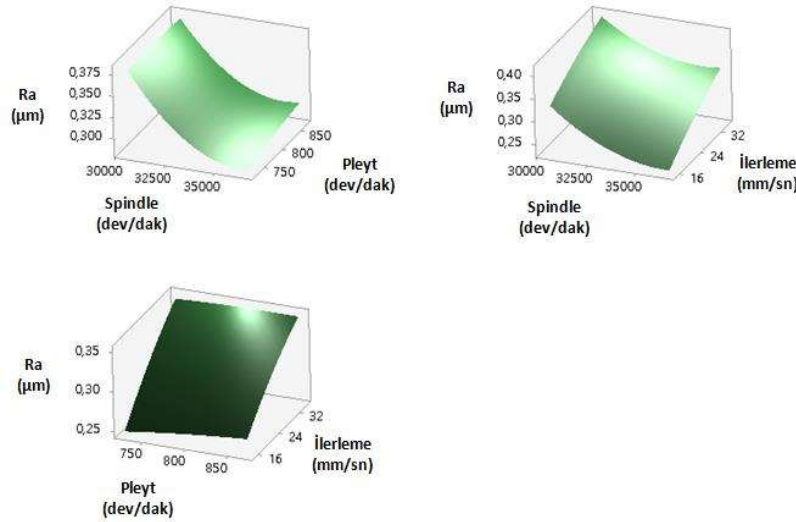
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
İş mili	1	0,00911	0,00911	74,89	0
Pleyt	1	0,000093	0,000093	0,77	0,404
İlerleme	1	0,011233	0,011233	92,33	0
Hata	9	0,001095	0,000122		
Toplam	19	0,0238			

Tablo 6 : Ra için ANOVA tablosu

Giriş parametrelerinin tüm P değerleri 0.05'in altında olduğu için, tüm giriş parametrelerinin çıktılar üzerinde etkili olduğu sonucuna varılabilir. F değerleri dikkate alındığında, radyüs üzerinde ilerlemenin en etkili parametre olduğu görülebilir. İş mili devri de ikinci en etkili parametre olup ilerleme kadar radyüs üzerinde etkilidir. Son olarak diğerlerine göre nispeten daha az etkili olan pleyt devri gelmektedir. Radyüste olduğu gibi Ra üzerinde de en etkili parametre ilerlemedir. Sonrasında ikinci etkin parametrenin iş mili devri olduğu görülmüştür. Pleyt devrinin ise Ra üzerinde çok etkili olmadığı gözlemlenmiştir. Verilerin görselleştirilmesi, her zaman bir süreçteki girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi anlamayı kolaylaştırır. Yanıt yüzey grafikleri kullanılarak, ANOVA sonuçları Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi doğrulanabilir. Grafiklerde gözlenen eğriler, ANOVA sonuçlarını doğrulamaktadır. Her bir parametrenin yüzey eğimi, bu parametrenin etkinliğine bağlı olarak değişir.



Şekil 9 : Radyüs değeri yanıt yüzey grafikleri

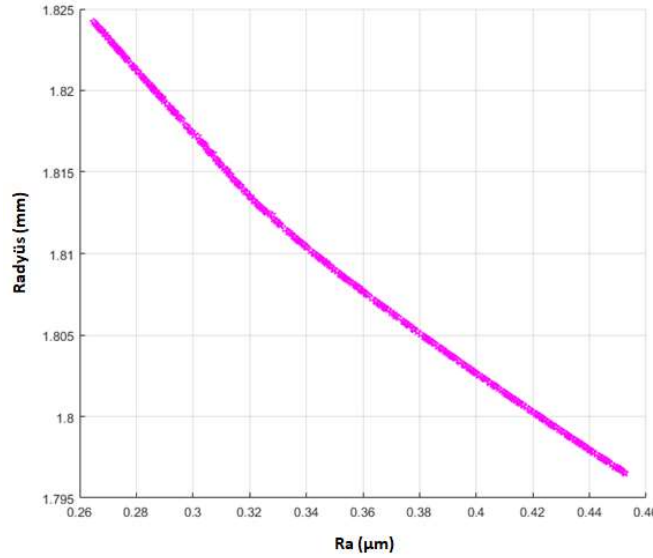


Şekil 10 : Ra değeri yanıt yüzey grafikleri

## 5 Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Optimizasyon

Genetik algoritma, herhangi bir problemin optimizasyonu için kullanılan bir yöntemdir [22]. Deneyler sonucunda elde edilen veriler yanıt fonksiyonu ve yapay sinir ağı yöntemi ile uygunluk fonksiyonu elde edilmiş ve elde edilen sonuçlardan optimum değerini bulmak için genetik algoritma kullanılmıştır.

Denklem 1 ve Denklem 2 'de yer alan radyüs ve Ra'ya ait regresyon modelleri çok amaçlı genetik algoritmanın amaç fonksiyonları olarak kullanılmıştır. Bu şekilde MATLAB ile "gamultiobj" algoritması optimizasyon arayüzü ile kullanılmıştır. Optimizasyon sonucunda Pareto optimal çözüm seti elde edilmiştir. Şekil 11'te yer alan Pareto optimal çözümlerin bulunduğu grafik ile radyüs ve Ra için minimum değerlerin ödünleşmesi görülmektedir.



Şekil 11: Radyüs ve Ra için Pareto optimal çözüm seti

Elde edilen Pareto optimal çözüm setinde yer alan çözümlerden en düşük Ra /yüksek radyüs; ortalama Ra / ortalama radyüs ve en düşük radyüs/yüksek Ra şeklinde üç adet olası çözüm noktaları seçilmiş ve bu değerler, tekrar fiziksel deneyler ile doğrulanarak düşük hata oranları ispatlanmıştır. Deney sonuçları ve hata oranları Tablo 7'de yer almaktadır.

Ölçülen değeri	Radyüs	Model çıktısı	Hata (%)	Ölçülen Ra değeri	Model çıktısı	Hata (%)
1,775		1,797	1,24	0,469	0,451	3,92
1,828		1,808	1,12	0,355	0,361	1,54
1,866		1,844	1,19	0,249	0,265	5,91

Tablo 7 Optimizasyon çalışmasının doğrulaması ve hata oranları

## 6 Sonuçlar

Rulman retiminde montaj öncesi son imalat proseslerinden biri olan rulman bileziği yuvarlanma yolu taşlama işlemi rulmanın kalitesini ve performansını doğrudan etkilemektedir. Yuvarlanma yolu taşlama işlemi sonrasında bu yüzeyler sperfiniş işlemi yapılarak rulman bilyalarının üzerinde döneceği son halini almaktadır. Superfiniş işleminin daha güvenilir olması yuvarlanma yolu radyüsü ve Ra değerlerinin düşük olmasına bağlıdır. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada otomotiv sanayisinde kullanılan bir rulmanın dış bilezik yuvarlanma yolu taşlama işleminin daha doğru yapılması için işlem tahmin modelleri geliştirilmiş ve optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Geliştirilen işlem planlamasında girdi parametreleri olarak iş mili devri, pleyt devri ve ilerleme miktarı ana değişken girdileri seçilmiştir. Bu değişkenler sonucunda sonraki prosesi ve rulmanın ömür, ses, performans gibi kalite değerlerini etkileyen radyüsü ve Ra parametreleri de çıktı olarak belirlenmiştir. İşlem planlaması oluşturulması ile düşük radyüsü ve düşük Ra değerine sahip bileziklerin daha uygun işlenebilmesi için yanıt yüzey metodu ve yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin modelleri oluşturulmuştur. Regresyon modelleri çok amaçlı genetik algoritmanın amaç fonksiyonları olarak kullanılarak en doğru çıktı parametreleri elde edilmiştir. Deneyler sonucu varyans analizinde radyüsü değeri için en etkili parametrenin taş ilerlemesi olduğu görülmüştür. Yine varyans analizi sonucu Ra üzerinde en etkili parametrenin radyste olduğu gibi taş ilerlemesi olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara paralel olarak 3 boyutlu yanıt yüzey grafiklerinde girdiler ile çıktıların ilişkisi gösterilmiştir.

Son olarak yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak radyüsü ve Ra tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu modeller çok amaçlı genetik algoritma için regresyon modelleri amaç fonksiyonu olarak kullanılarak Pareto-optimal çözüm setleri elde edilmiş ve buradaki sonuçların hata paylarının çok düşük olduğu tekrar deneyler ile doğrulanmıştır.

## Teşekkür

Bu alışmalar Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.ř. rulman fabrikasında yapılmıştır. Tüm çalışmalarda makine ve aletlerin kullanımı sağladıkları için firma yetkililerine teşekkürü borç biliriz. Ayrıca Sayın Mğe Kahya'ya deney tasarımında sağladığı katkılar için teşekkürü ederiz.