

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**5-EKSENLİ TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARINDA DÖNER
ÇARKLARIN ENERJİ VERİMLİ TALAŞLI İMALATI VE YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE İŞLEM TAHMİN MODELLERİ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökberk SERİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hakkı Özgür ÜNVER

AĞUSTOS 2017

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141511026 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gökberk SERİN 'in ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**5-EKSENLİ TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARINDA DÖNER ÇARKLARIN ENERJİ VERİMLİ TALAŞLI İMALATI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İŞLEM TAHMİN MODELLERİ GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezi **10.08.2017** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Hakkı Özgür ÜNVER**
TOBB Ekonomive Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd.Doç.Dr. Ahmet Murat ÖZBAYOĞLU**
(Başkan)
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Besim BARANOĞLU
Atılım Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Gökberk SERİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

5-EKSENLİ TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARINDA DÖNER ÇARKLARIN ENERJİ VERİMLİ TALAŞLI İMALATI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İŞLEM TAHMİN MODELLERİ GELİŞTİRİLMESİ

Gökberk SERİN

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakkı Özgür ÜNVER

Tarih: Ağustos 2017

Sanayiide sürdürülebilir üretim uygulamalarının geliştirilmesi ve kullanılması son yıllarda önem kazanmıştır. Sanayiide sürdürülebilir üretim uygulamalarının kullanımı yaygınlaştığı takdirde çevre kirliliğini önlemek, sanayiide çalışanlar için tehlikeli koşulları ortadan kaldırmak, doğal kaynakları korumak ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak kolaylaşır. Bu amaç doğrultusunda bu tez kapsamında savunma, havacılık ve otomotiv sanayiinde yaygın olarak kullanılan serbest form yüzeylerine sahip döner çark parçaları gibi kompleks parçaların üretimi sırasında sürdürülebilir üretim uygulamaları üzerinde durulmuştur. Döner çark parçaları endüstride yüksek teknoloji ile üretilen en kritik parçalardan birisi olup talaşlı imalatı zor ve maliyeti yüksek bir parçadır. Bu parçalar karmaşık geometerili, serbest form yüzeylere sahip ve işlenmesi zor malzeme ve alaşımlardan (paslanmaz çelik, titanyum v.b.) imal edildiği için talaşlı imalatı maliyetli, enerji tüketimi yüksek ve işlenebilirliği zordur. Bütün bu sebeplerden dolayı, tez kapsamında geliştirilen sürdürülebilir üretim uygulamalarının temel amacı özellikle enerji verimliliğini göz önünde bulundurarak döner çark parçalarının talaşlı imalat işlemleri için işlem planlamaları geliştirilmiştir. Ayrıca döner çark parçalarının talaşlı imalatı, geliştirilen işlem planlamalarına bağlı

kalınarak yüksek teknolojiye sahip 5-eksen torna freze takım tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. 5-eksen torna freze-takım tezgahları karmaşık geometriye sahip parçalarda daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek ve daha iyi tolerans değerlerine ulaşabilmek amacıyla sıklıkla kullanılır.

Bu çalışmada öncelikle AISI 304 Paslanmaz Çelik malzeme için Siemens NX 9.0 CAD / CAM paketi kullanılarak döner çark parçasının komple bir işlem planlaması geliştirilmiş ve Mazak i200-ST torna-freze takım tezgahı kullanılarak bir prototip imal edilmiştir. Prototipin talaşlı imalatı sırasında tornalama, kaba talaş frezeleme ve serbest form yüzeylerin ince talaş frezeleme işlemlerinin tükettiği enerjiler hesaplanıp her bir işlem kademesinin toplam enerji tüketimi üzerindeki dağılımı hesaplanmıştır.

Tüm işlem kademelerinin enerji paylaşımları dikkate alındığı zaman, toplam tüketimin azaltılması amacıyla, Deney Tasarımı (DOE) yaklaşımını kullanarak en fazla enerji tüketilen bölgeler (kanatlar arasının kaba talaş işlemi ve kanat yüzeylerinin ince talaş işlemleri) üzerinde deneysel analizler gerçekleştirildi. Deneysel analiz için kullanılan giriş parametreleri yanıl kayma (ae), kesme derinliği (ap), diş başına ilerleme (fz) ve kesme hızı (Vc) olup, gözlemlenen çıktı parametreleri ise Yüzey Pürüzlülüğü (Ra), Özgül Kesme Enerjisi (ÖKE) ve talaş kaldırma debisi (TKD)'dir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkiyi tahmin edebilmek için Yanıt Yüzey Metodu (YYM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) kullanılarak da girdi parametrelerinin çıktı parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, geliştirilmiş YSA modellerinin çıktıları Genetik Algoritma (GA) yönteminde amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Genetik Algoritma (GA) yöntemini kullanarak çıktı değişkenlerinin çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçta Pareto optimal ilişkileri üretilmiştir. Son olarak, YSA kullanılarak tahmin edilen sonuçlar ve GA kullanılarak elde edilen optimum işleme senaryoları, ek olarak gerçekleştirilen talaşlı imalat deneyleri ile doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Torna-freze takım tezgahları, Enerji verimliliği, İşlem planlaması, Yapay sinir ağları, Yanıt yüzey metodu, Genetik algoritma.

ABSTRACT

Master of Science

5-AXIS ENERGY EFFICIENT MACHINING OF ROTARY IMPELLERS ON TURN-MILL MACHINE TOOLS AND DEVELOPMENT OF PROCESS PREDICTION MODELS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Gökberk SERİN

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Science Programme

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakkı Özgür ÜNVER

Date: August 2017

Sustainable manufacturing practices in many industries have been gaining importance in recent years as they are crucial for preventing environmental pollution, reducing energy consumption and eliminating hazardous conditions for workers. This thesis focuses on sustainable manufacturing practices, particularly energy efficiency, during the production of complex parts such as rotary impeller parts with freeform surfaces commonly used in the defense, aerospace and automotive industries. The rotary impeller which is a critical part of high-tech components used in these industries, has complex free-form surfaces on its blades which makes its manufacturing difficult and high energy intense. High-tech 5-axis machining centers or turn-mill machine tools are often used for the machining of such complex surfaces requiring good surface quality and tolerances.

In this study, first of all a complete operation planning of rotary impeller has been performed using Siemens NX 9.0 CAD/CAM package for AISI 304 Stainless Steel material and a prototype was manufactured on Mazak i200-ST turn-mill machine tool. The operation plan encompasses all process steps including rough and finish cut, turning, milling and 5-axis surface profiling operations with ball-end milling tools

After considering the energy shares of all operation steps, in order to reduce overall consumption, experimental analysis have been carried out on highest energy consuming operations which are rough milling of blade cavities and finish cut of blade surfaces utilizing Design of Experiments(DOE) approach. Input parameters used for experimental analysis are stepover (a_e), depth of cut (a_p), feed per tooth (f_z) and cutting speed (V_c), and output variables observed are Surface Roughness(R_a), Specific Cutting Energy (SEC) and Material Removal rate (MRR).

Using the data obtained from machining experiments, relationships between input parameters and output variables have been developed by Response Surface Method (RSM) and Artificial Neural Networks (ANN) for estimation purposes, and ANOVA analysis have been done to understand the influence of input parameters on outputs.

Furthermore, the developed ANN models are used for multi-objective optimization of output variables using Genetic Algorithm(GA) method and as a result, Pareto optimal relations are generated. Finally, the results which have been predicted using ANN and optimal machining scenario obtained using GA have been verified by further cutting experiments.

Keywords: Turn-mill machine tools, Energy efficiency, Process planning, Artificial neural networks, Response surface method, Genetic algorithm.

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım, değerli hocam Yrd. Doç Dr. Hakkı Özgür ÜNVER'e ve çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç Dr. Ahmet Murat ÖZBAYOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Osman EROĞUL'a ve Prof. DR Nuri DURLU'ya teşekkür ederim. Tez jürisi sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Besim BARANOĞLU'na zaman ayırıp tezimi değerlendirdikleri ve jürimde buldukları için teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde bana destek olan ve hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim. Bu tezi sevgili aileme adıyorum.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımnda bana yardımını hiçbir zaman esirgemeyen hocam DR. Ahmet Nuri AKAY'a, ve arkadaşlarım Gizem DEMİREL'e, Fırat MEMU'ya, Müge KAHYA'ya, ve Tuna Çağlar GÜMÜŞ'e teşekkür ederim. Sevgili dostlarım Emre Kaan CAN'a, Eyüp Mert Gayur'a, Ali ÖZMEN'e, Erencan AYDOĞAN'a, Rumeysa CANIDEMİR'e, İlker Burak KURT'a, Barışkan KARAAĞAÇ'a, Mehtmet AĞAR'a ve Hasan AKTAN'a tez yazma sürecimdeki sabrı ve yardımları için teşekkür ederim.

Tez kapsamındaki yapay sinir ağları tahmin modelini oluşturabilmek için veri toplamak amacıyla TOBB ETÜ Su Türbini Tasarım ve Test merkezi (ETÜ Hidro) altyapısı kullanılmıştır. Merkez altyapısının oluşturulmasındaki maddi desteği sebebiyle, Kalkınma Bakanlığı'na teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında sağladığı burs için TOBB ETÜ'ye ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca, Seco firmasından Fatih SARI'ya, Manus firmasından Ender CENGİZ ile Semih ÇİNÇİ'ye, Form Makine'dan Sinan Çalık'a, TOBB ETÜ ileri imalat laboratuvarı teknisyeni Kamil ARSLAN'a teknik desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR	xvi
SEMBOL LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Döner Çarklar ile ilgili Yapılan Çalışmalar	5
2.2 Torna-Freze Tezgahları Üzerinde Yapılan Çalışmalar	16
2.3 Enerji Tüketimi Modellemesi Hakkında Yapılan Çalışmalar	19
2.4 Yanıt Yüzeysel Metodu ile ilgili Yapılan Çalışmalar.....	26
2.5 Yapay Sinir Ağları ile ilgili Yapılan Çalışmalar	30
2.6 Genetik Algoritma Hakkında Yapılan Çalışmalar	33
3. TORNA FREZETEZGAHLARI İÇİN ENERJİ TAHMİN MODELİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÖN ÇALIŞMA	37
3.1 ISO-STEP AP 224 Unsur Bazlı Tasarım	37
3.2 Unsur Bazlı Torna-Freze Takım Tezgahları için Enerji Tahmin Modeli.....	38
3.3 Unsur Bazlı Torna-Freze Takım Tezgahları için Enerji Tahmin Modeli.....	40
4. DÖNER ÇARKLARIN TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARINDA İŞLENMESİ İÇİN İŞLEM PLANLAMASININ HAZIRLANMASI	41
4.1 Takım Tezgahının Özellikleri	41
4.2 Döner Çark Parçaları için İşlem Planlaması.....	41
5. TORNA-FREZE TEZGAHLARININ ENERJİ TAHMİN MODELİNİN OLUŞTURULMASI	51
5.1 Temel Enerji	54
5.2 Yardımcı Enerji	54
5.3 Kesme Enerjisi	56
6. TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARI İÇİN ENERJİ TÜKETİMİ, TALAŞ KALDIRMA DEBİSİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TAHMİN MODELLERİNİN YANIT YÜZEY METODU İLE OLUŞTURULMASI	59
6.1 Kaba Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi ve Talaş Kaldırma Debisi Tahmin Modelinin Oluşturulması	60
6.1.1 Kaba talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi tahmin modelinin oluşturulması	61
6.1.2 Talaş kaldırma debisi tahmin modelinin oluşturulması	63
6.2 İnce Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi, Talaş Kaldırma Debisi ve Yüzeysel Pürüzlülüğü Tahmin Modellerinin Oluşturulması	65

6.2.1 Emme yüzeyinin ince talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğü tahmin modellerinin oluşturulması	66
6.2.2 Basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi, yüzey pürüzlülüğü tahmin modellerinin oluşturulması ..	73
7. YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK ÖZGÜL KESME ENERJİSİ, TALAŞ KALDIRMA DEBİSİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ	81
7.1 Kaba Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi ve Talaş Kaldırma Debisi Yapay Sinir Ağı Modelinin Geliştirilmesi.....	91
7.2 Emme Yüzeyinin İnce Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi, Talaş Kaldırma Debisi ve Yüzey Pürüzlülüğü Yapay Sinir Ağı Modellerinin Geliştirilmesi.....	97
7.3 Basınç Yüzeyinin İnce Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi, Talaş Kaldırma Debisi ve Yüzey Pürüzlülüğü Yapay Sinir Ağı Modellerinin Geliştirilmesi.....	104
8. GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ İLE İŞLEM ÇIKTILARININ ENİYİLENMESİ	109
9. DOĞRULAMA.....	121
10. SONUÇLAR VE YORUMLAR.....	127
10.1 Gelecek için Önerilen Çalışmalar	130
KAYNAKLAR.....	133
EKLER.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	149

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünyadaki birincil enerji tüketim kaynakları [1].	1
Şekil 2.1 : Döner çark parçasının bileşenleri [8].	5
Şekil 2.2 : Döner çark parçası için kesim stratejileri, (a) kaba talaş için kesme yüzeyleri (b) kaba talaş için zikzak yöntemi (c) ince talaş işlemi için kontur yöntemi [9].	7
Şekil 2.3 : Pürüz yüksekliği ve takım yolu aralığı, (a) küresel parmak freze kesici takımın takım yolu aralığı, (b) kenar radyuslu parmak freze kesici takımın takım yolu aralığı [10].	8
Şekil 2.4 : Kaba talaş işlemi için birim işleme bölgeleri [11].	9
Şekil 2.5 : Kesme derinliği ve köşe bölgelerine bağlı olarak belirlenmiş kesme bölgeleri [12].	10
Şekil 2.6 : Kenar frezeleme işlemi [13].	11
Şekil 2.7 : U-v parametreleriyle oluşturulmuş kaba talaş yöntemi [13].	12
Şekil 2.8 : İnce talaş kaldırma işlemi için geliştirilen stratejiler [19].	14
Şekil 2.9 : Torna-freze teknolojisinde uygulanabilir torna-freze işlemleri [24].	16
Şekil 2.10 : a) Dik torna-freze işlemi b) Eş eksenli torna-freze işlemi [25].	17
Şekil 2.11 : a) Malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, b) kesici takım diş sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [34].	19
Şekil 2.12 : Cincinnati Milacron otomatik freze tezgahı güç tüketim profili [35].	20
Şekil 2.13 : Bir otomobil üretim hattının tükettiği enerji [37].	21
Şekil 2.14 : Torna takım tezgahlarının güç profili [42].	23
Şekil 2.15 : (a) 2 faktörlü, (b) 3 faktörlü merkezi kompozit deney tasarımı grafiksel gösterimi [50].	27
Şekil 2.16 : 3 faktörlü yüzey merkezli merkezi kompozit deney tasarımı grafiksel gösterimi [50].	27
Şekil 2.17 : 3 faktörlü Box-Behnken deney tasarımı grafiksel gösterimi [51].	28
Şekil 2.18 : Yapay sinir ağı modeli gösterimi [60].	31
Şekil 2.19 : Farklı mimarilere sahip yapay sinir ağı modelleri [67].	33
Şekil 3.1 : STEP AP 224’de tanımlanan imalat unsurları [79].	37
Şekil 3.2 : Unsur bazlı örnek numune parçası [78].	38
Şekil 4.1 : Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahı.	42
Şekil 4.2 : Tornalama işlem planlaması.	44
Şekil 4.3 : Kaba talaş frezeleme işlemleri.	45
Şekil 4.4 : Serbest form yüzeylerin frezeleme işlemleri.	46
Şekil 4.5 : İç radyusların ve taç yüzeyinin frezeleme işlemleri.	47
Şekil 4.6 : İşlem kademelerinin talaşlı imalat sonrası görüntüleri.	49
Şekil 5.1 : Veri transfer şablonu.	52
Şekil 5.2 : İşlem kademelerinin güç isteri.	53
Şekil 5.3 : Soğutma ünitesinin çektiği güç isteri.	55

Şekil 5.4 : Döner çarkın torna-freze işlem kademelerinin kesme enerjisi tüketim dağılımları.	58
Şekil 6.1 : Kaba talaş işlemlerinin özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafikleri.	63
Şekil 6.2 : Kaba talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi yanıt yüzey grafikleri.	65
Şekil 6.3 : Mitutoyo Surfest SJ-210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.	66
Şekil 6.4 : Emme yüzeyi ince talaş işleminin özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafikleri.	69
Şekil 6.5 : Emme yüzeyi ince talaş işleminin talaş kaldırma debisi yanıt yüzey grafikleri.	71
Şekil 6.6 : Emme yüzeyi ince talaş işleminin yüzey pürüzlülüğü debisi yanıt yüzey grafikleri.	73
Şekil 6.7 : Basınç yüzeyi ince talaş işleminin özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafikleri.	76
Şekil 6.8 : Basınç yüzeyi ince talaş işleminin talaş kaldırma debisi yanıt yüzey grafikleri.	78
Şekil 6.9 : Basınç yüzeyi ince talaş işleminin yüzey pürüzlülüğü debisi yanıt yüzey grafikleri.	80
Şekil 7.1 : Yapay sinir ağlarının akış şeması.	82
Şekil 7.2 : Kaba talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisinin YSA modelinin mimarisi ve eğitim, çapraz doğrulama ve test verilerinin yüzdeleri.	93
Şekil 7.3 : Kaba talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisinin YSA modelinin performans eğrileri.	94
Şekil 7.4 : Kaba talaş işlemlerinin YSA modeli ile tahmin edilen özgül kesme enerjisinin yüzey grafikleri.	95
Şekil 7.5 : Kaba talaş işlemlerinin YSA modeli ile tahmin edilen talaş kaldırma debisinin yüzey grafikleri.	96
Şekil 7.6 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin mimarisi.	98
Şekil 7.7 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri yüzdeleri.	99
Şekil 7.8 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin performans eğrileri.	100
Şekil 7.9 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen özgül kesme enerjisinin yüzey grafikleri.	101
Şekil 7.10 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen talaş kaldırma debisinin yüzey grafikleri.	102
Şekil 7.11 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen yüzey pürüzlülüğünün yüzey grafikleri.	103
Şekil 7.12 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen özgül kesme enerjisinin yüzey grafikleri.	105
Şekil 7.13 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen talaş kaldırma debisinin yüzey grafikleri.	106
Şekil 7.14 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen yüzey pürüzlülüğünün yüzey grafikleri.	107
Şekil 8.1 : Yapay sinir ağı modeli ağırlıkları ve sabitleri.	110
Şekil 8.2 : Genetik algoritmanın akış şeması.	111

- Şekil 8.3 : Genetik algoritma tarafından üretilen kaba talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin a) en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD değerindeki değişim ve b)çözüm uzayı. 113
- Şekil 8.4 : Genetik algoritma tarafından üretilen emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin Pareto optimal çözümü. 114
- Şekil 8.5 : Genetik algoritma tarafından üretilen emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin a) en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD değerindeki değişim ve b)çözüm uzayı. 115
- Şekil 8.6 : Genetik algoritma tarafından üretilen basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin Pareto optimal çözümü..... 117
- Şekil 8.7 : Genetik algoritma tarafından üretilen basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin a)en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD değerindeki değişim b) çözüm uzayı..... 118



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Torna-freze takım tezgahlarında enerji tüketim tahmini... ..	39
Çizelge 3.2 : Torna-freze takım tezgahlarında işlem sırasında ölçülen enerji tüketim değerleri.....	39
Çizelge 3.3 : Seçkili lazer sinterleme işlemi için unsur bazlı enerji tüketim tahmini değerleri.....	40
Çizelge 3.4 : Seçkili lazer sinterleme işlemi için enerji tüketim tahmini.....	40
Çizelge 4.1 : AISI 304 paslanmaz çeliğin özellikleri.....	43
Çizelge 5.1 : Temel ve yardımcı birimlerin harcadığı güç değerleri.. ..	55
Çizelge 5.2 : İşlem kademelerinin kesme enerjisi tüketim değerlerini hesaplamak için kullanılan parametreler.....	57
Çizelge 5.3 : Torna-freze takım tezgahlarında işlem kademelerinde tüketilen enerji ve harcanan süre değerleri.....	58
Çizelge 6.1 : Kaba talaş ve emme yüzeyi ile basınç yüzeyi ince talaş işlemlerinin deney tasarımına ait işlem parametrelerinin seviyeleri.. ..	60
Çizelge 6.2 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve kaba talaş işlemi deney sonuçları	61
Çizelge 6.3 : Kaba talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi varyans analizi.....	62
Çizelge 6.4 : Kaba talaş işlemleri için talaş kaldırma debisi varyans analizi	64
Çizelge 6.5 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve emme yüzeyinin ince talaş işlemi için deney sonuçları.....	67
Çizelge 6.6 : Emme yüzeyi ince talaş işlemi için özgül kesme enerjisi varyans analizi.. ..	68
Çizelge 6.7 : Emme yüzeyi ince talaş işlemi için talaş kaldırma debisi varyans analizi.. ..	70
Çizelge 6.8 : Emme yüzeyi ince talaş işlemi için yüzey pürüzlülüğü varyans analizi	72
Çizelge 6.9 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemi için deney sonuçları.....	74
Çizelge 6.10 : Basınç yüzeyi ince talaş işlemi için özgül kesme enerjisi varyans analizi.. ..	75
Çizelge 6.11 : Basınç yüzeyi ince talaş işlemi için talaş kaldırma debisi varyans analizi.. ..	77
Çizelge 6.12 : Basınç yüzeyi ince talaş işlemi için yüzey pürüzlülüğü varyans analizi.. ..	79
Çizelge 7.1 : Kaba talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları.....	83
Çizelge 7.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları.....	84
Çizelge 7.3 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları.....	85

Çizelge 7.4 : Kaba talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları..	87
Çizelge 7.5 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları..	88
Çizelge 7.6 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları..	89
Çizelge 7.7 : Kaba talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin farklı 7 denemesinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları..	90
Çizelge 7.8 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin farklı 7 denemesinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.....	90
Çizelge 7.9 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin farklı 7 denemesinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.....	91
Çizelge 8.1 : Kaba talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait eniyileme sonuçları... ..	114
Çizelge 8.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları.....	116
Çizelge 8.3 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları..	117
Çizelge 8.4 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları.....	119
Çizelge 8.5 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları..	119
Çizelge 9.1 : Kaba talaş işlemlerinin genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması..	121
Çizelge 9.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin Ra ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.....	122
Çizelge 9.3 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin TKD ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.....	123
Çizelge 9.4 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin Ra ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.....	124
Çizelge 9.5 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin TKD ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.....	125

KISALTMALAR

Al	: Alüminyum
ANOVA	: Varyans Analizi
BİB	: Birim İşleme Bölgesi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing)
CNC	: Bilgisayar Sayımlı Yönetim (Computer Numerical Control)
GA	: Genetik Algoritma
IW	:Başlangıç ağırlığı (Initial Weight)
LW	:Katman Ağırlığı (Layer Weight)
Log_sigmoid	: Logaritmik Sigmoid
ÖKE	: Özgül Kesme Enerjisi
SiC	: Silisyum Karbür
Tan_sigmoid	: Tanjant Sigmoid
Ti-6Al-4V	: Titanyum Alaşımı
TKD	: Talaş Kaldırma Debisi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YYM	: Yanıt Yüzey Metodu

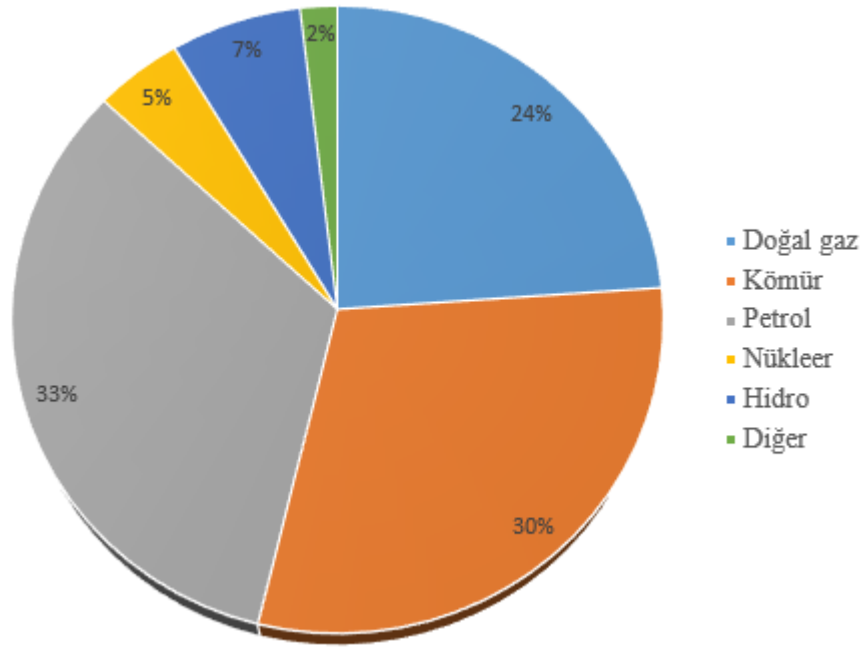
SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

a_e	Yanal Kayma (Radial depth of cut)
a_p	Kesme Derinliği
E_{temel}	Makinanın Boşta Tükettiği Enerji
$E_{toplamlam}$	Tüketilen Toplam Enerji
E_{kesme}	Tüketilen Kesme Enerjisi
$E_{konveyör}$	Konveyörün Tükettiği Enerji
$E_{soğutma ünitesi}$	Soğutma Ünitesinin Tükettiği Enerji
$E_{soğutma sıvısı ünitesi}$	Başlangıç Ağırlığı (Initial Weight)
$E_{yardımcı}$	Yardımcı birimlerin tükettiği enerji
f_r	İlerleme Hızı
f_z	Diş Başına İlerleme
P_{temel}	Makinanın Boşta Çektiği Güç
$P_{toplamlam}$	Toplam Harcanan Güç
P_{kesme}	Kesme İşlemi için Harcanan Güç
$P_{konveyör}$	Konveyörün Çektiği Güç
$P_{soğutma ünitesi}$	Soğutma Ünitesinin Çektiği Güç
$P_{soğutma sıvısı ünitesi}$	Soğutma Sıvısı Ünitesinin Çektiği Güç
$P_{yardımcı}$	Yardımcı Birimlerin Çektiği Güç
R_a	Yüzey Pürüzlülüğü
V_c	Kesme Hızı
Δt_{temel}	Makinanın Boşta Çalıştığı Süre
Δt_{kesme}	Kesme İşlemi için Harcanan Süre
$\Delta t_{konveyör}$	Konveyörün Çalıştığı Süre
$\Delta t_{soğutma ünitesi}$	Soğutma Ünitesinin Çalıştığı Süre
$\Delta t_{soğutma sıvısı ünitesi}$	Soğutma Sıvısı Ünitesinin Çalıştığı Süre

1. GİRİŞ

Endüstrileşme ve insan nüfusunun artmasından dolayı enerji tüketimi dünya üzerinde hızlı bir şekilde artmaktadır. Tahminlere göre, dünyada 2035 yılına gelindiği zaman birincil enerji talebi, günümüzdeki enerji talebinden en az % 42,7 oranında artış göstermesi beklenmektedir [1]. Enerji talebi sürekli olarak arttıkça, enerji üretimi için kullanılan kaynakların çevresel etkileri ve enerji mevcudiyeti konusundaki endişeler de artmaktadır. Atmosferde sera gazı olarak bilinen karbondioksit gazı, su buharı ve metan gibi gazlar, dünyadan yansıyan güneş ışınlarını tutma kabiliyetine sahiptir ve bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır. Enerji üretmek amacıyla kömür, doğalgaz ve petrol gibi doğal enerji kaynakları veya karbon bazlı yakıtlar kullanılmaktadır ve sonuçta ortaya çıkan karbondioksit, dünyanın sıcaklığını yükseltiyor. Dünyadaki birincil enerji tüketim kaynakları ve bunların kullanım yüzdeleri Şekil 1.1 'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Dünyadaki birincil enerji tüketim kaynakları [1].

Avrupa birliğine bağlı ülkelerin toplam birincil enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla enerjide başka ülkelere bağılılık oranı 2005 yılında %52,2 ve 2013 yılında ise bu oran %53,2 olarak artmıştır. Enerji üretebilmek amacıyla doğal kaynaklar açısından başka ülkelere bağılılık doğal gazda %65,3, petrolde %87,4 ve katı yakıtlarda %44,2 olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde Türkiye Cumhuriyeti’de enerji üretebilmek amacıyla başka ülkelere enerji kaynaklarını ithal etmektedir. Özellikle doğal gaz, kömür ve petrol gibi doğal kaynakları başka ülkelere ithal etmektedir. Öyle ki, Türkiye doğal gaz ithalatında dünya beşincisi kömür ithalatında ise dünya sekizincisi olarak yer almaktadır. Petrol ithalatında ise rafinerilerinde petrol arındırmak için sahip olduğu petrol kaynaklarının %90’ını başka ülkelere ithal etmektedir [2,3]. 2011 yılında ithal edilen kaynaklar hakkında yapılan çalışma baz alındığında toplam ithalatın %21,9’unun enerji ithalatı olduğu tespit edilmiştir [4]. Enerji üzerine yapılan çalışmalar dikkate alındığında enerji tüketimini azaltma çabaları, enerji kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanarak gerçekleştirilmelidir. Enerji verimliliği, herhangi bir ürünün ya da hizmetin daha az enerji harcanarak üretilmesi veya elde edilmesi olarak tanımlanabilir.

İmalat sanayii, birincil enerji kullanımının yaklaşık% 33’ünü ve dünya genelinde CO² emisyonlarının% 38’ini oluşturan dünyanın en büyük enerji tüketicileri ve karbon yayıcılarından bazılarını içermektedir.

En fazla enerji tüketiminin olduğu sektörlerin başında imalat sanayii gelmektedir. İmalat sanayii dünya üzerinde birincil enerji kullanımının yaklaşık% 33’ünü ve atmosfere salınan CO² emisyonlarının % 38’ini oluşturmaktadır. Öte yandan yükselen enerji maliyetleri imalat sanayini ekonomik yönden olumsuz etkilemektedir. Enerji maliyetlerini ve enerji tüketimini azaltmak için daha verimli imalat yöntemleri ile enerji verimliliğini artırmak gereklidir. Bu nedenle, imalat sektöründe enerji tasarrufu konularında yapılan çalışmalar dünya çapında önemli bir konu haline gelmiştir. Enerji tasarruflu imalat yöntemleri imalat sanayinde çok umut vericidir ve üretim süreçlerinin çevresel performansını önemli ölçüde artırabilir. Bu yüzden akademisyenler genel enerji talebini belirlemek ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla çalışmalar yapılması konusunda fikir birliği yapmışlardır [5].

İmalat yöntemlerinin en başında talaşlı imalat işlemleri gelmektedir. Talaşlı imalat işlemleri en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu için genellikle akademik çalışmalar talaşlı imalat yöntemlerinin enerji verimliliklerini artırmaya yöneliktir. Talaşlı imalat işlemleri, iş parçasının takım tezgahlarında çeşitli işlemler gördükten sonra tüketicinin istediği son şekle gelme işlemi olarak ifade edilebilir. Talaşlı imalat işlemleri ise torna, frezeleme, vargelleme, planyalama, taşlama, broşlama, ve delik delme işlemlerini içermektedir. Talaşlı imalat işlemleri genellikle takım tezgahları kullanarak gerçekleşir ve takım tezgahları üretim teknolojilerini geliştirdikçe ve geliştirmeye devam ettikçe takım tezgahları hassas bir şekilde kesme kabiliyetine ulaşacaklardır [6,7].

Takım tezgahlarını çalıştırabilmek için elektrik enerjisine ihtiyaç duyulur ve ülkede üretilen elektriğin çoğu, yüksek karbon emisyonu ve düşük enerji dönüşüm etkinliği olan fosil yakıtlardan elde edilir. Ve bu elde edilen yakıtların belirli bir kısmı başka ülkelerden ihraç edilmektedir. Bu yüzden, daha verimli talaşlı imalat yöntemleri geliştirebilmek amacıyla takım tezgahlarının işleme sırasında tükettikleri enerjileri saptamak gereklidir. Çeşitli 3-eksen veya 5-eksen takım tezgahlarının tornalama, frezeleme ya da torna-freze işlemleri sırasında daha önceden elde edilen enerji verileri çeşitli eniyileme ve tahmin modellerini geliştirebilmek için kullanılır.

5-eksenli takım tezgahları, birden fazla ekseni eş zamanlı bir şekilde çalıştırabilme kabiliyetine sahip olduğundan dolayı özellikle serbest form yüzeyine sahip karmaşık geometrilerin talaşlı imalatı sırasında kullanılır. Bu tür parçalar 3-eksenli takım tezgahlarında da işlenebilir fakat takım tezgahının hareket kabiliyetinin kısıtlı olmasından ötürü işlem süresi için harcanan süre 5-eksenli takım tezgahlarına göre çok daha fazladır. Ayrıca 3-eksenli takım tezgahları kullanarak imal edilen karmaşık yapıya sahip parçaların yüzey kalitesi 5-eksenli takım tezgahlarına nazaran daha kötüdür. Bu doğrultuda bu çalışmada serbest form yüzeylerine sahip döner çark parçalarının talaşlı imalatı TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi ileri imalat laboratuvarında bulunan Mazak Integrex i200-ST 5-eksen torna-freze takım tezgahı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Döner çark parçalarının talaşlı imalatı sırasında işlem parametrelerine bağlı olarak tüketilen enerji verileri merkezi kompozit tasarımına göre elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan işlem parametreleri yanal kayma (a_e), kesme derinliği (a_p), diş başına ilerleme (f_z) ve kesme hızı (V_c)'dır. Birbirinden bağımsız bu dört işlem parametresini kullanarak kaba talaş ve ince talaş işlemlerinde bazı çıktılar

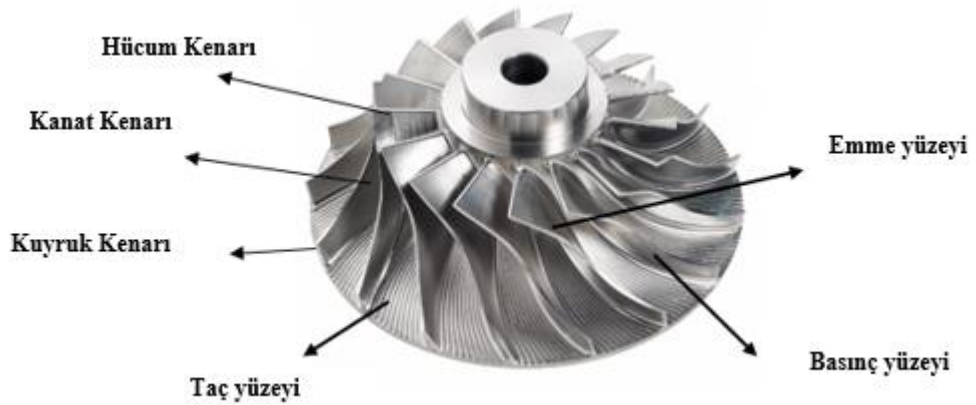
incelenmiştir. Kaba talaş işlemleri için incelenen çıktılar özgül kesme enerjisi (ÖKE) ve talaş kaldırma debisi (TKD)'dır ve ince talaş işlemi için incelenen çıktılar ise ÖKE, TKD ve yüzey pürüzlülüğü (Ra)'dır. Bu çıktılar yapay sinir ağları (YSA) ve yanıt yüzey metodu (YYM) yöntemleri kullanılarak işlem parametrelerine bağlı olarak tahmin modelleri çıkartılmıştır. YSA yöntemi kullanılarak elde edilen tahmin modelleri kullanılarak genetik algoritma (GA) yöntemi sayesinde de işlem parametrelerinin eniyilenmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çıktılar üzerinde işlem parametrelerinin etkilerinin nasıl olduğu varyans analizi (ANOVA) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ve yapay sinir ağları sayesinde çıktılar girdi parametrelerine bağlı olarak tepkileri MATLAB™ ortamında 3 boyutlu yüzey grafikleri çizdirerek saptanmaya çalışılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Döner Çarklar ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Serbest form yüzeyi özelliklerine sahip karmaşık geometriler genellikle havacılık ve otomobil sektöründe kullanılır. Bu yüzden serbest form yüzeyine sahip geometrilerin tasarlanması ve üretilmesi konularında çalışmalar devam etmektedir. Serbest form yüzeyine sahip parçalardan en önemlisi döner çark parçalarıdır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi bir döner çark parçasının tasarımı yapılırken öncelikle taç yüzeyi denilen ana gövde tasarlanır, daha sonra bu ana gövde üzerine emme ve basınç yüzeyleri eklenerek döner çark parçasının kanatları tasarlanmaya başlanır. Emme ve basınç yüzeyleri, döner çark parçasında serbest form yüzeyi olarak tasarlanan yüzeylerdir. Bu yüzeylerin kenar bölgeleri ise hücum kenarı, kanat kenarı ve kuyruk kenarı olarak 3’e ayrılır. Döner çark parçasının imalatı da tasarımı kadar zordur. Döner çark parçaları gibi serbest form yüzeyine sahip parçaların üretilmesi için genellikle 5-eksen kompleks takım tezgahları kullanılır. Çünkü emme yüzeyi ve basınç yüzeyleri 3-eksen tezgahlarda işlendiği zaman kesici takım ile döner çark parçası arasında meydana gelebilecek çarpışmaların üstesinden gelmek zordur. Fakat bu tür yüzeylerin imalatı 5-eksen tezgahlar kullanılarak yapıldığı zaman çarpışmalar daha rahat bir şekilde en aza indirgenir [8].

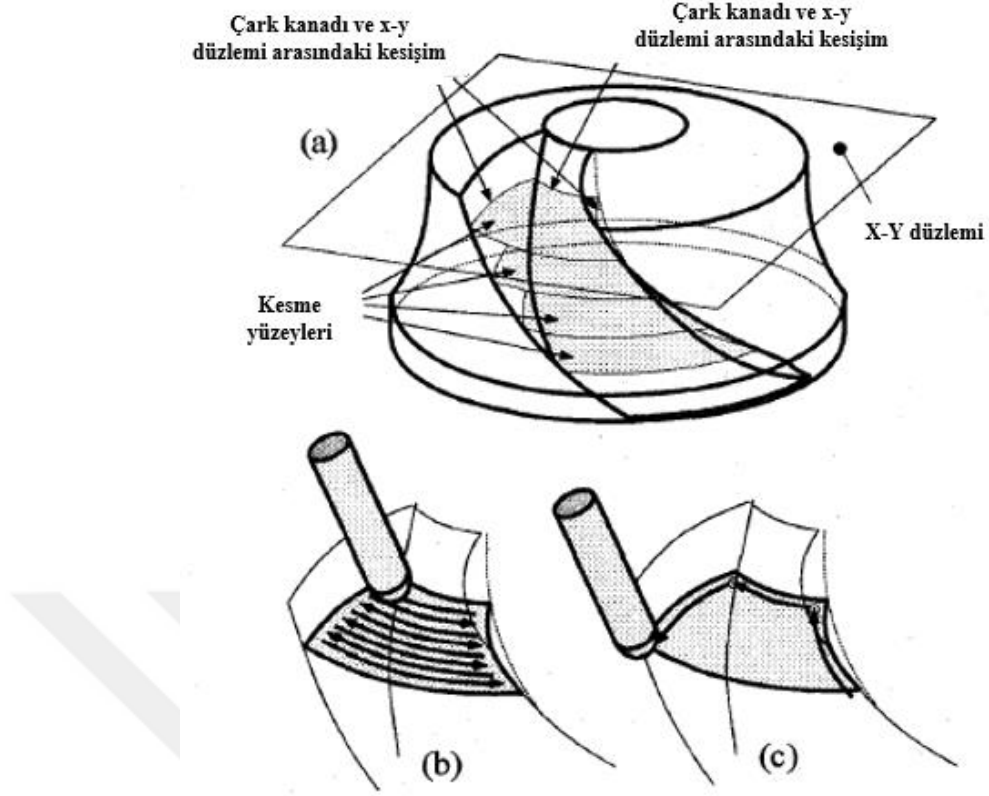


Şekil 2.1 : Döner çark parçasının bileşenleri [8].

Halen günümüzde kaba talaş işlemi için CAM yöntemleri kısıtlıdır. Başka bir deyişle, günümüzde ticari anlamda sık kullanılan çizim programlarında yer alan CAM yöntemleri arasında kaba talaş işlemi için ayrılan yöntemler az sayıdadır. Çizim programlarında kaba talaş yöntemlerine pek fazla yer ayrılmamasına rağmen kaba talaş işlemi, stok malzemesinden en fazla talaş kaldırılan ana işlemdir. Bu sayede kaba talaş sonrasında ince talaş işlemine ne kadar talaş kalacağı belirlenir ve ince talaş işlemi sonrasında yüzey kalitesinin daha iyi gelmesi için kaba talaş sonrasında olabildiğince son ürüne yakın parça elde edilmelidir. Chuang ve Young'ın birlikte yaptığı çalışmada Döner çarkların kaba talaş işlemlerini iyileştirebilmek amacıyla yeni bir CAM yöntemi geliştirilmiştir. C++ yazılım dilinde geliştirdikleri modül sayesinde döner çarklar ve döner çarklara benzer geometriler için kaba talaş işleminde kullanılacak takım yollarını otomatik olarak oluşturmuşlardır. Takım yolunu oluştururken pürüz yüksekliklerini sabit tutarak yanal kaymayı maksimuma çıkartmışlardır. Bu sayede üretim süresini kısaltmayı amaçlamışlardır [8].

Morishige and Takeuchi yaptıkları çalışmada, döner çarkların talaşlı imalatını üç aşamaya ayırmışlardır. Bunlar, kanatlar arasının kaba talaş işlemi, kanatlar ve taç yüzeylerin ince talaş işlemi ve taç yüzeyi ile kanatlar arasında yer alan kenar radyusların ince talaş işlemleridir. Ayrıca yaptıkları çalışmada kaba talaş işlemi sırasında harcanan sürenin toplam işlem süresi üzerinde en fazla süreyi kapladığını görmüşlerdir [9].

Bu yüzden, Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi kaba ve ince talaş işlemleri için farklı stratejiler geliştirilmiştir. Kalıntı gerilmesi ve işleme esnasındaki çatlama kaynaklanan deformasyonun önüne geçmek için Şekil 2.2. (a) 'da gösterildiği gibi, kesme yüzeyleri üstten alta yerleştirilerek parçanın rijitliği korunmaya çalışılmıştır. İşleme süresini azaltmak için, Şekil 2.2. (b) 'de gösterildiği gibi kaba talaş yöntemi olarak kesici takım geri çekilmeden zikzak yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, kaba talaş işleminde iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için, Şekil 2.2 (c) 'de gösterildiği gibi, kaba talaş sonrasında kesme yüzeyi ile taç yüzeyi, emme ve basınç yüzeyleri arasında kalan kenar radyuslara kontur yöntemiyle ince talaş işlemi uygulanmıştır [9].

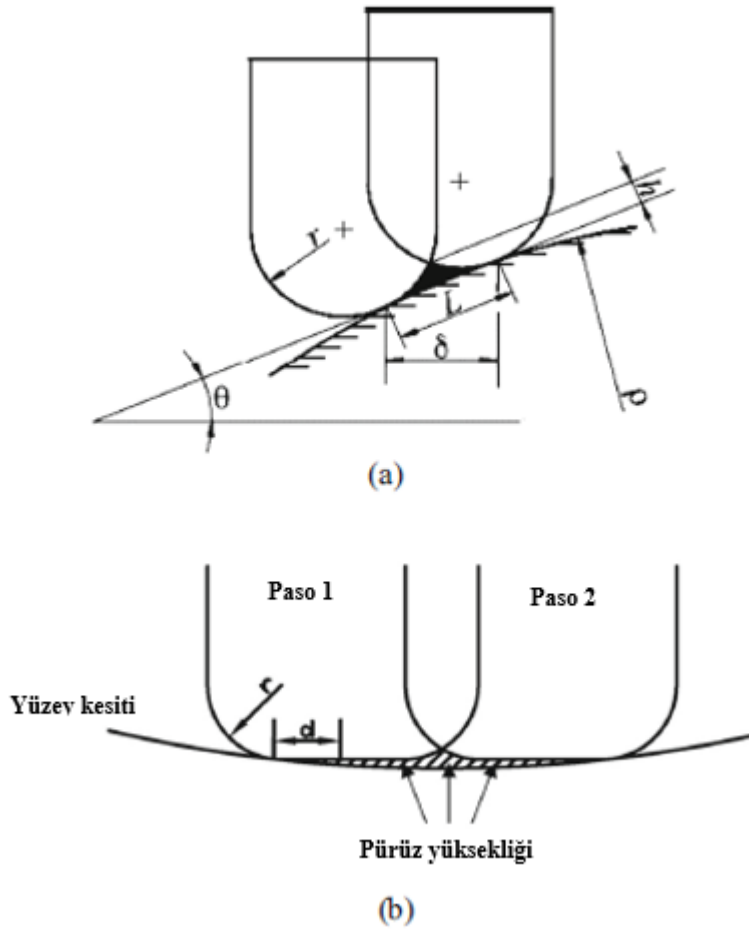


Şekil 2.2 : Döner çark parçası için kesim stratejileri, (a) kaba talaş için kesme yüzeyleri (b) kaba talaş için zikzak yöntemi (c) ince talaş işlemi için kontur yöntemi [9].

Morishiege'nin kaba talaş modeli, işleme süresini azaltmak, kalıntı gerilmelerinin önüne geçmek ve iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için kullanılan yöntemlerin başında gelir [9].

Fan vd. tarafından yapılan çalışmada, döner çarkların beş eksenli talaş kaldırma yöntemiyle bölgesel olarak talaşlı imalatı önerilmiştir. Yaptıkları çalışmada döner çark parçalarını, komşu kanatları arasında küçük ayırık kanatçıklar yer alacak şekilde tasarlamışlardır. Bölgesel tabanlı işleme yöntemi kapsamında ayırık kanatçıklara sahip döner çark parçalarını dört bölgeye ayırmışlardır. Bunlar, emme yüzeyi, basınç yüzeyi, taç yüzeyi ve kanatlardır. Kanatların imalatını ise kanat kenarı, hücum kenarı, kuyruk kenarı ve taç kenarı olarak dörde ayırmışlardır. Kaba talaş için uygulanan kesim yönteminde, kesicinin seçimi, pürüz yüksekliği ve takım yolu aralığının hesaplanması, takım yolunun planlanması ve sabit takım eksen vektörünün hesaplanması gibi parametreler kullanılarak özgün bir algoritma geliştirilmiştir. Bu sayede takım yolu kısaltılmış ve ilerleme hızı artırılmıştır. Şekil 2.3'te pürüz yüksekliği ve takım yolu

aralığı görülmektedir. Aynı çalışmada özgün kaba talaş yöntemleri geliştirilirken ince talaş işlemi için de yeni yöntemler geliştirilmiştir. İnce talaş işlemi sırasında emme yüzeyi, basınç yüzeyi ve taç yüzeyi gibi farklı bölgelerin takım yolları birleştirilerek ortak takım yolu oluşturulmuştur. Farklı bölgeler için oluşturulan ortak takım yolu sayesinde döner çarkların aerodinamik performansları artırılmıştır. Ayrıca bu yöntem aracılığıyla talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelebilecek hatalar en aza indirilmiştir. Fan vd. tarafından kaba ve ince talaş işlemleri için yapılan çalışmaların hepsinde asıl amaç işleme verimliliğini artırmak, işleme süresi ve maliyeti azaltmaktır [10].

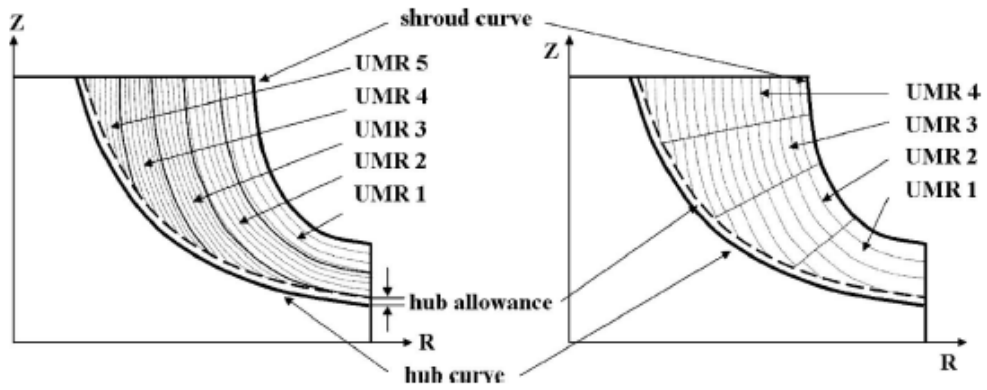


Şekil 2.3 : Pürüz yüksekliği ve takım yolu aralığı, (a) küresel parmak freze kesici takımının takım yolu aralığı, (b) kenar radyuslu parmak freze kesici takımının takım yolu aralığı [10].

Döner çark parçalarının kaba talaş işlemleri için 3-eksenli talaşlı imalat yöntemi kullanmak yerine 5-eksenli talaşlı imalat yöntemi tercih edilirse bu yöntem 3-eksenli

talaşlı imalat işlemlerine kıyasla daha uzun sürer. Bunun en büyük sebebi, 5-eksenli talaşlı imalat sırasında tüm makine eksenlerini eşzamanlı bir şekilde kesici konum noktalarında kontrol etmenin zorluğudur. Ancak 5-eksenli talaş kaldırma yöntemi kullanılarak yapılan kaba talaş işlemleri ince talaş işlemine hem daha az stok kalmasını sağlar hem de ince talaş işlemi sonrasında daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilmesini sağlar. Bu yüzden Heo vd. tarafından yapılan çalışmalarda 3-eksen kullanılarak yapılan kaba talaş işlemlerinin 5-eksenli talaş kaldırma işlemleri kadar başarılı yüzeyler çıkartılması amaçlanmıştır.

Bunun için kaba talaş işlemi uygulanacak alanlar, geleneksel 3-eksenli kontrol yöntemi ile işlenebilecek Şekil 2.4'te görüldüğü gibi birkaç birim işleme bölgesine (BİB) bölünmüştür. Bu sayede daha etkin bir şekilde malzeme kaldırılmıştır [11].

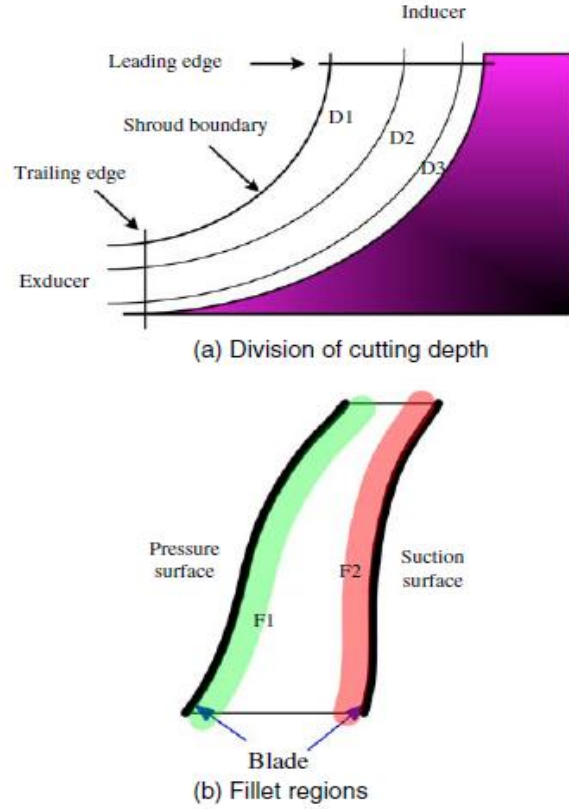


Şekil 2.4 : Kaba talaş işlemi için birim işleme bölgeleri [11].

Lim vd. tarafından yapılan çalışmalar, kaba talaş işlemlerini geliştirmeye yöneliktir. Yapılan çalışmada kaba talaş işlemi geliştirilerek, üretim verimliliğini artırma, ince talaş işlemine üniform talaş bırakma ve kaba talaş süresini azaltma amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk önce kaba talaş işlemi için etkili bir takım yolu oluşturabilmek için kesme bölgesi Şekil 2.5'da görüldüğü gibi beş bölgeye ayrılmıştır. Hücum kenarı, kanat kenarı ve kuyruk kenarı ile kanatların kaba talaş işlemleri D1,D2,D3 bölgeleri olmak üzere kesme derinliklerine göre 3'e ayrılmıştır. D1 bölgesi ana malzemeden ilk talaşın kaldırıldığı ve kesme derinliğinin en fazla olduğu bölgedir, daha sonra D2 bölgesi olarak ayrılan bölgede D1'e nazaran daha az talaş kaldırılmış D3 bölgesinde ise yüzeyde kalan talaş miktarı üniform olacak şekilde talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler sayesinde üniform kesme kuvveti uygulanarak yüzeylerde ince talaş

işlemine kalacak talaş miktarı üniform hale getirilmiş ve ince talaş işlemi sonucunda daha düzgün yüzeyler elde edilmesi amaçlanmıştır [12].

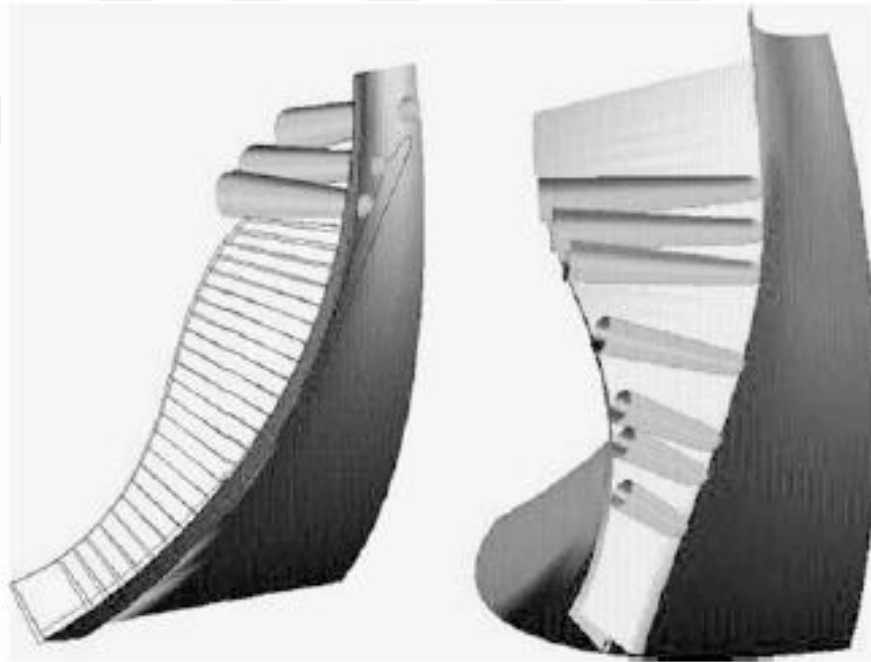
F1 ve F2 bölgeleri ise taç yüzeyi ile kanatlar arasındaki köşe bölgelerinin kaba talaş işlemi sırasında uygulanan kesim bölgelerini temsil etmektedir ve bu bölgelerin kesimi sırasında konik parmak freze uçları kullanılarak köşelerde ince talaş işlemine üniform talaş miktarları bırakılmıştır [12].



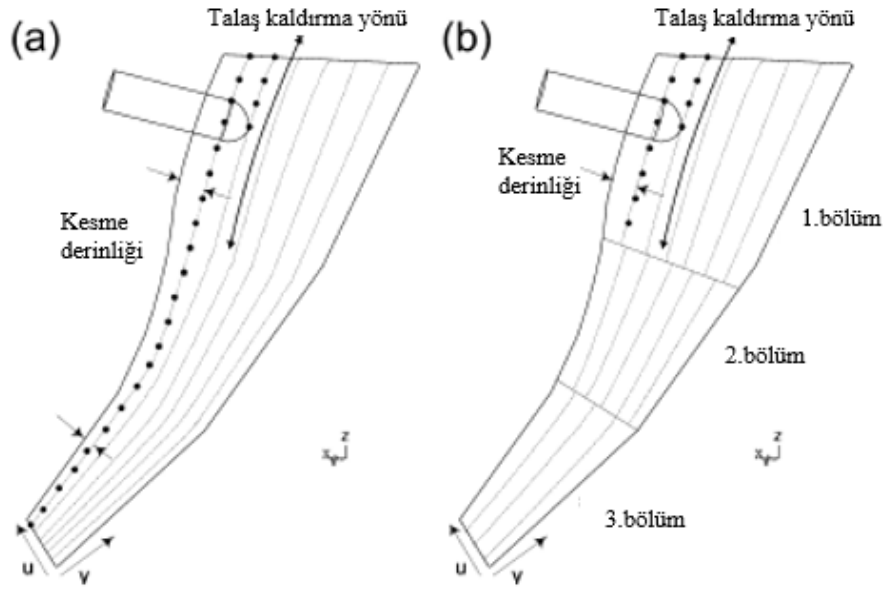
Şekil 2.5 : Kesme derinliği ve köşe bölgelerine bağlı olarak belirlenmiş kesme bölgeleri [12].

Kesme bölgeleri 5'e ayrıldıktan sonra kesme süresini eniyilemek amacıyla istatistiksel bir method ve yanıt yüzey modeli kullanılmıştır. Deneyler merkezi kompozit tasarımı kullanılarak yapılmış ve girdi parametreleri olarak yanal kayma, kesme derinliği ve ilerleme hızı belirlenmiştir. Lim vd. yaptığı çalışmada kaba talaş süresini eniyileyerek ve ince talaş işlemi için üniform talaş kalınlıkları elde ederek üretim verimliliğini iyileştirmeyi amaçlamıştır [12].

Young vd. 5-eksen tezgahlar kullanılarak kenar frezeleme işlemleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kenar frezeleme işlemi Şekil 2.6'da görülmektedir. Kaba talaş yöntemi olarak kenar frezeleme işlemi kullanılmak istenildiğinde dikkat edilmesi gereken hususların başında kesici takım ile işlenecek parça arasında meydana gelebilecek çarpışmalardır. Bu çarpışmaları önleyebilmek amacıyla Young vd. tarafından C++ yazılımı kullanılarak kesici konum tabanlı u-v koordinat sistemlerinden yararlanarak bir yazılım geliştirmişlerdir. Döner çark parçalarında yer alan kanatlar serbest form yüzeylerine sahiptirler. Bu tür yüzeyler çok fazla kavisli olduğu için kaba talaş sırasında kesme derinliği Şekil 2.7 (a)'da görüldüğü gibi değişecektir. Bu yüzden talaş kaldırılacak bölge eşit aralıklarla v koordinatına göre 3'e ayrılmış ve her bir bölgede kesme derinliğine dayalı olarak u koordinatı boyunca çeşitli işleme katmanları tanımlanmıştır. Bu sayede meydana gelebilecek çarpışmaları en aza indirmişlerdir [13].



Şekil 2.6 : Kenar frezeleme işlemi [13].



Şekil 2.7 : U-v parametreleriyle oluşturulmuş kaba talaş yöntemi [13].

Ferry ve Altintas tarafından beş eksenli tezgahlar kullanılarak jet motor çarklarının imalatı sırasında kenar frezeleme yöntemi için kesme kuvveti tahmini ve ilerlemenin eniylenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Değişken aralıklı ve farklı diş sayılarına sahip konik, spiral ve küresel parmak freze takımları kullanılarak gerçekleştirilen kaba talaş işlemlerinde kesme kuvvetini tahmin edebilecek matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Bu model tasarlanırken kesici takım, kendi ilerleme koordinat sistemine sahip aksel olarak çeşitli diferansiyel elemanlara bölünmüştür. Toplam ilerleme hız fonksiyonu, öteleme ve açılmalara bağlı olarak kesici kenar boyunca toplam talaş kalınlığını hesaplayabilecek şekilde yatay ve dikey ilerleme bileşenlerine bölünerek elde edilmiştir. Bu işlem her bir eleman için ayrı ayrı uygulanmıştır. Her bir eleman için kesme kuvveti fonksiyonu, sürtünme açısı, kesme gerilmesi ve kesme açısı değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen fonksiyonlar kullanılarak oluşturulan ilerleme ve kesme kuvveti tahmin modelleri 5-eksenli takım tezgahlarında kenar frezeleme işlemleri için kullanılabilir [14].

Arriaza vd. tarafından yapılan çalışmalarda 5-eksen takım tezgahları kullanarak döner çarkların kaba talaş işlemleri sırasında enerji tüketimini ve işleme süresini minimize etmek amaçlanmıştır. Ayrıca enerji tüketimi ile imalat sırasında harcanan sürenin birlikte denge analizi yapılmıştır. Analizleri yapabilmek için 30 adet deney yapmışlardır ve bu deneyleri iş mili devri, ilerleme hızı, kesme derinliği ve yanıl kayma olmak üzere birbirinden bağımsız dört girdi parametresi kullanarak merkezi kompozit deney tasarımı modelinden yararlanarak yapmışlardır.

Enerji tüketimi ile harcanan süre arasındaki ilişkiyi eniyilemek amacıyla yanıt yüzey modelinden yararlanmışlardır ve bağımsız dört girdi parametresi arasında ilerleme hızı, enerji tüketimi ile harcanan süre arasındaki ilişkiyi dengede tutabilmek için en önemli parametre olduğu gözlenmiştir [15].

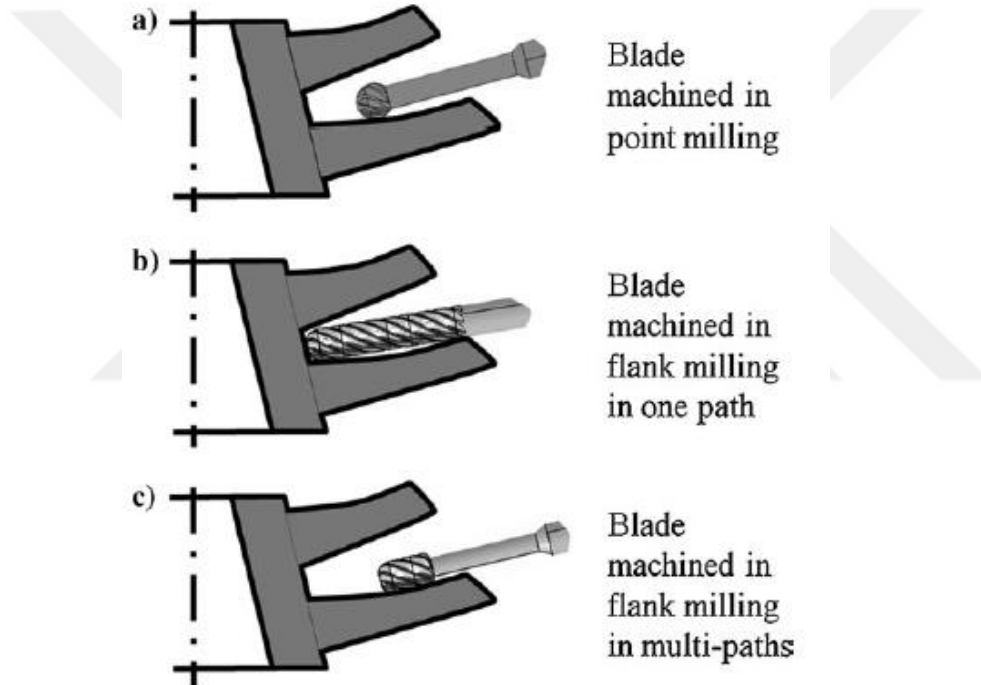
5-eksen talaşlı imalat işlemleri 3-eksen talaşlı imalat işlemlerine nazaran daha uzun süren işlemlerdir. Bunun en büyük sebebi 5-eksenli takım tezgahı kullanarak döner çark parçaları gibi serbest form yüzeyine sahip geometrilerin işlenebilmesi için parçanın CAM prosesi oluşturulurken manuel olarak kesici konum noktası atanmalıdır ve bu işlem de uzun sürmektedir. Ancak 5-eksenli takım tezgahları kullanılarak yapılan kaba talaş işlemlerine nazaran, 3-eksen talaşlı imalat sonucunda ince talaş işlemine kalan talaş miktarı uniform olmamaktadır ve bunun sonucu olarak iyi yüzey kalitesi elde edilememektedir. Bu yüzden Kim vd. tarafından yapılan çalışmalarda 3-eksenli talaşlı imalat yöntemi ile 5-eksenli talaşlı imalat yöntemi kombine bir şekilde kullanılarak hibrit kaba işleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu sayede hem ince talaş işlemi sonrasında daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir hem de kaba talaş sırasında harcanan süre azaltılmıştır [16].

Üç eksen takım tezgahlarında frezeleme işlemleri için çok fazla simülasyon yöntemi bulunmasına nazaran beş eksen tezgahlarında frezeleme işlemlerine yönelik simülasyon yöntemleri pek bulunmamaktadır. Bunun üzerine Zhang vd. tarafından 5-eksen tezgahlarında frezeleme işlemlerinin modellenmesi, simülasyonu ve optimizasyonunu içeren entegre bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen entegre sistem sayesinde frezeleme işlemlerinde talaş kaldırma işlemi simülasyonu gerçekleştirilmiştir, kesme kuvvetinin tahmini için matematiksel modeli oluşturulmuştur ve ilerleme hızının Visual C++ kullanılarak eniylenmesi gerçekleştirilmiştir [17].

Chen tarafından yapılan çalışmada beş eksenli takım tezgahlarında kenar frezeleme işlemi kullanılarak daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek amacıyla en iyi kesici takım oryantasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. En iyi takım oryantasyonunu belirleyebilmek için matematiksel model geliştirilmiştir ve serbest form yüzeylerine sahip döner çark parçalarının takım oryantasyonlarını oluşturabilmek amacıyla 3D CAD yazılımı Unigraphics (UG) kullanılmıştır. Takım oryantasyonu oluştururken takım çarpışmasının oluşmaması için UG programı içerisinde yer alan takım çarpışmalarını

kontrol et uygulaması kullanılmıştır. Chen tarafından yapılan çalışmada en uygun takım oryantasyonunu oluştururken asıl amaç iyi yüzey kalitesi elde etmektir [18].

Döner çark parçalarında ince talaş işlemini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmalardan biri Chaves vd. tarafından yapılan çalışmadır. Özellikle emme yüzeyi ve basınç yüzeylerinin ince talaş işlemleri sırasında optimum bir yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi elde etmeye çalışırken geometrik hatalar ve sapmaların oluşması doğası gereği meydana gelen problemlerin başında gelir. Bu yüzden Chaves vd. tarafından geliştirilen talaşlı imalat stratejilerinde Şekil 2.8’de görüldüğü gibi tek takım yoluna sahip kenar frezeleme, çoklu takım yoluna sahip kenar frezeleme ve nokta frezeleme gibi yöntemler üzerinde çalışılmıştır [19].



Şekil 2.8 : İnce talaş kaldırma işlemi için geliştirilen stratejiler [19].

Üzerinde çalışılan yöntemlerin ekonomik ve geometrik performansını ifade etmek amacıyla yeni çok yönlü-fiziksel fonksiyonel göstergeler kullanılmıştır. Göstergeler, geliştirilen stratejileri ekonomik ve geometrik performans açısından karşılaştırabildiği gibi işleme süresi açısından da karşılaştırabilmektedir. Yapılan çalışmaların sonucunda stratejiler arasında en uygunu üç takım yoluna sahip kenar frezeleme işlemi olarak saptanmıştır [19].

Talaşlı imalat sırasında yüksek derecede esneklik, karmaşık parçaların işlenmesi sırasında önemli unsurlardan bir tanesidir. 3-eksenli talaşlı imalat işlemlerinde en

büyük eksiklik takım oryantasyonunda esnekliğin olmamasıdır. 3-eksenli işleme ile karşılaştırıldığında, 5 eksenli makine aletiyle işleme daha esnektir. Fakat CAM sistemlerinin çoğu esneklik bakımından 5 eksenli işleme sürecini tam olarak desteklemez. Bu nedenle, Bohez vd. takım oryantasyonunda yüksek esneklik elde etmek amacıyla grafik etkileşimli programlama dili üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışma sayesinde CAD / CAM platformu değiştirilmiş ve geliştirilmiştir. Böylece, işleme hassasiyeti ve verimliliği artırılmış ve takım çarpışmasının en az olduğu takım yolu elde edilmiştir [20].

Wang vd. tarafından torna işlemleri sırasında daha yüksek ilerleme hızlarını ve pürüzsüz hareketi elde edebilmek için daha yumuşak hareket edebilmenin eniyileme modeli geliştirildi. Eniyileme modeli tasarlanırken S-curve ACC/DEC algortması kullanılmıştır. Bu algoritma sayesinde en uygun ilerleme hızı değerine ulaşılmıştır. Eniyileme modeli sayesinde elde edilen ilerleme hızı değerinde de daha iyi yüzeyler elde edildiği görülmüştür [21].

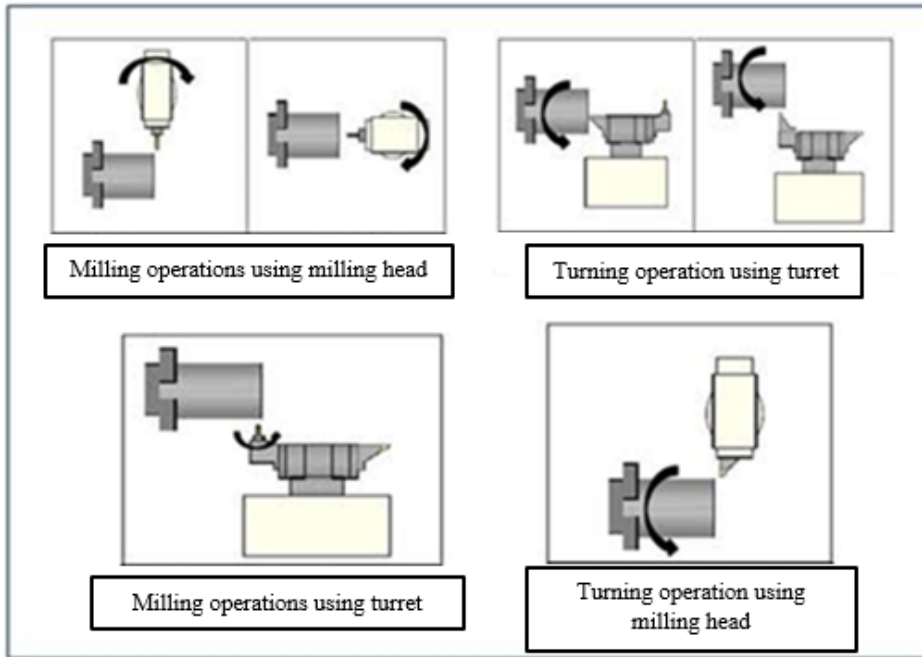
Zhang vd. tarafından yapılan çalışmada amaç, beş eksenli takım tezgahında serbest form yüzeyinin işlenmesi sırasında kuvvet tahmini ve ilerleme hızı planlaması için geometrik ve mekanistik frezeleme modellerinin entegrasyonudur. Her kesici takım hareketinde, geometrik model kesme geometrisini oluşturur ve bu geometrinin talaşlı imalatı sırasında istenen ilerleme hızını belirlemek için maksimum izin verilen kesme kuvveti boyunca bir mekanik model kullanılır. Mekanik ve geometrik modellerin entegre bir şekilde kullanılmasıyla işlem süresinde iyileşme sağlanmıştır [22].

Havacılık, otomotiv ve biyomedikal gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılan serbest form yüzeylerin ileri imalat yöntemleri kullanılarak yapılan kesimlerde işleme kuvvetlerinin doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir. Bu yüzden Lazoğlu vd. tarafından yapılan çalışmalarda, karmaşık serbest formlu yüzeylere sahip parçaların beş eksenli takım tezgahlarında talaşlı imalatı sırasında kesme kuvvetlerinin tahmini için özgün ve genelleştirilmiş bir yaklaşım sunmaktadır. Kesici takım ve parça arasındaki çarpışma simülasyonları, son zamanlarda geliştirilen sınır temsil yöntemi ile takım yolu boyunca gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, beş eksenli frezeleme mekaniği için geliştirilen matematiksel model, karmaşık serbest formlu yüzeylere sahip herhangi bir katı model için uygundur. Teorik simülasyonlar ve deneysel doğrulamalar, geliştirilen tahmin modelinin karmaşık serbest form yüzeylerin beş eksenli takım

tezgahlarında talaşlı imalatı sırasında kesme kuvvetlerini hızlı ve hassas olarak tahmin edebildiğini ortaya koymuştur [23].

2.2 Torna-Freze Tezgahları Üzerinde Yapılan Çalışmalar

CNC takım tezgahları yüksek verimlilik, doğruluk, tekrarlanabilirlik ve esneklik gibi gereklilikleri yerine getirebilmek için kullanılan makinalardır. Torna-freze teknolojisi ise günümüzde CNC takım tezgahlarında uygulanmaya başlayan ileri imalat teknolojilerinden biridir. Bu teknolojinin en büyük avantajı karmaşık parçaları işlerken torna işlemiyle freze işlemini kombine bir şekilde kullanılmasıdır. Ayrıca bu işlem sürecinde parça üretilirken aynaya bağlanan parça çıkarılmadan tek bağlamada talaşlı imalat gerçekleştirilir. Bu teknoloji ile otomotiv, medikal gibi çeşitli endüstrilerde tasarımı yapılmış karmaşık parçaların üretimi ve maliyetlerinin azaltılması mümkün hale gelmiştir [24]. Şekil 2.9.'da torna-freze prosesinin tipik uygulama kombinasyonları gösterilmiştir.

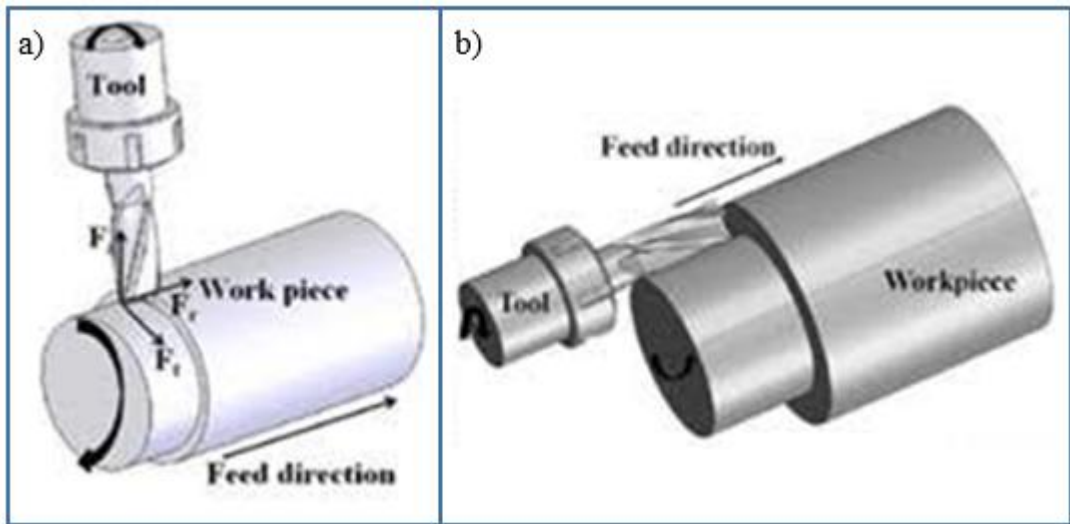


Şekil 2.9 : Torna-freze teknolojisinde uygulanabilir torna-freze işlemleri [24].

Torna-freze işlemlerinde torna mili sabit olup freze kafası dönerek freze işlemi yapılabilir veya torna mili sabitken alt taret dönerek freze işlemi yapılabilir. Torna-freze işlemlerinde, torna operasyonu ise torna mili dönerken sabit olan alt taret tarafından freze işlemi yapılabilceği gibi torna milinin dönmesiyle dönen iş parçası

sabit olan freze kafası tarafından freze işlemi yapılabilir. Tek bir takım tezgahı kullanılarak yapılan torna-freze işlemi üretim süresini kısalttığı gibi verimliliği ve boyutsal hassasiyetin daha iyi olmasını sağlar. Karmaşık parçaların üretiminde Şekil 2.9'da verilen prosesler kombine bir şekilde torna-freze tezgahlarında kullanılabilir. Sadece torna-freze tezgahlarında iş mili kafası ve ayna mili aynı anda dönebilmektedir. Hem ayna mili hem de iş mili hareket ederek yapılan metal kesme işlemlerine torna-freze işlemi denmektedir.

Schuldz ve Spur tarafından yapılan çalışmalarda torna-freze işlemini ikiye ayrılmıştır. Bu proseslerde bir tanesi dik torna-freze işlemini diğeri ise eş eksenli torna-freze işlemidir. Dik torna-freze işleminde kesici takım iş parçasına dik bir şekilde konumlanır [25]. Ayrıca kesim sırasında kesici takımın hem alt yüzeyi hem de takımın kenarı talaş oluşmasına sebep olur. Eş eksenli torna freze işlemlerinde ise kesici takım iş parçasına paralel bir şekilde konumlanır ve talaş kesici takımda bulunan arklar sayesinde oluşur [25]. Dik torna-freze işlemi ile eş eksenli torna-freze işlemi arasındaki fark Şekil 2.10'da görülmektedir. Bu iki tip torna-freze proseslerini işleyecek takım tezgahlarını, ancak Mazak Corp. ve DMG-MoriSeiki AG. gibi önde gelen üreticiler geliştirebilmektedir.



Şekil 2.10 : a) Dik torna-freze işlemi b) Eş eksenli torna-freze işlemi [25].

Torna-freze işlemi ise yüksek talaş kaldırma hızı, ve iyi yüzey kalitesi potansiyeli olan özgün bir işlem olmakla birlikte, endüstride henüz çok fazla kullanılmayan, yeni malzemeler için çalışılması gereken bir işlemdir. 2000'lerde bu konuda bazı temel araştırmalar kısıtlı olarak yapılmış, fakat son yıllarda kaliteli torna-freze tezgahlarının

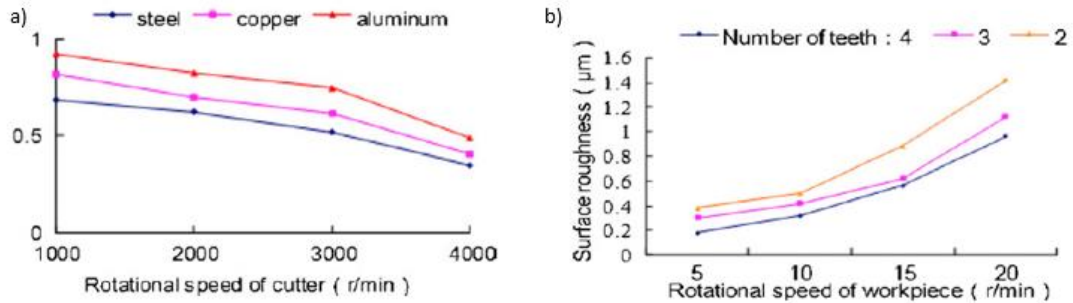
piyasalara yayılmaları ile birlikte, torna-freze işlemi üzerindeki araştırmalar hız kazanmaya başlamıştır.

Bu araştırmaların öncüsü Schulz ve Kiensel tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sert metallere üretilen millerin yüzey kalitesini geliştirmek hedeflenmiştir [26]. Torna-freze işlemi ile ilgili yapılan araştırmalarda torna-freze işlemi diğer konvansiyonel işlemlerle karşılaştırılmıştır. Genellikle bu araştırmaların çoğunda torna-freze parçalarının yüzey kalitesi incelenmiştir. Choudhury ve Mangrulkar tarafından yapılan çalışmada geleneksel torna işlemi ve torna-freze işlemiyle üretilmiş parçaların yüzey pürüzlülükleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda yüzey kalitesinin geleneksel torna işlemi görmüş parçalara göre torna-freze işlemi görmüş parçalarda 10 kat daha iyi olduğu saptanmıştır [27]. Choudhury ve Bajpai torna-freze parçaları ile freze işlemi sonucunda elde edilen parçaların yüzey pürüzlülükleri karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde kesici çapının, kesme derinliğinin ve kesme hızının optimize edilmesi yüzey pürüzlülüğünü azalttığı gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda torna-freze parçalarında yüzey kalitesinin daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır [28]. Bir başka çalışmada ise Savas ve Ozay tarafından yanıt yüzey modeliyle yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir ve taşlama metoduyla elde edilmiş yüzey pürüzlülüğüne göre teğetsel torna-freze işlemi sonucunda elde edilmiş olan yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olduğu görülmüştür [29]. Ayrıca Neagu vd. tarafından dik torna-freze işleminin kinematiği incelenmiştir ve torna-freze işleminin verimliliği geleneksel torna işlemine göre 20 kat daha iyi olduğu saptanmıştır [30]. Karagüzel vd. tarafından yapılan araştırmada dik, teğetsel ve eş eksenli torna-freze işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, talaş kalınlığı ve kinematiği incelenmiştir. Bu araştırma sırasında talaş kaldırma debisi, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak eniyileme işlemleri yapılmıştır [31].

Kopac ve Pogacnik, dik torna-freze işleme operasyonlarında yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için kesici takımın eksantrisitesini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda, kesici takım için eksantrisite değerini $d/2-LN$ olarak hesaplamışlardır. Bu formülden yer alan d , kesici takımın yarıçapı ve LN ise kesici takımın kesme işlemini gerçekteşirdiği yüzeyin kenarını temsil eder [32].

Zhu vd. dik torna-freze işlemleri ile torna işlemlerini yüzey pürüzlülüğü ve yüzey topografyasına göre karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü değerleri dik torna-freze işlemi uygulandığı zaman torna işlemine göre daha düşüktür [33].

Haug ve Chai tarafından yapılan çalışmalarda, kesici takımındaki diş sayısı arttıkça daha iyi yüzeyler elde edileceği ortaya konmuştur, bununla birlikte Şekil 2.11'de malzeme türlerinin, yüzey pürüzlülüğü değerine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca, kesici takım aşınmasının frezeleme işlemleri sırasında yüzey kalitesine olan etkileri incelenmiştir [34].



Şekil 2.11 : a) Malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, b) kesici takım diş sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [34].

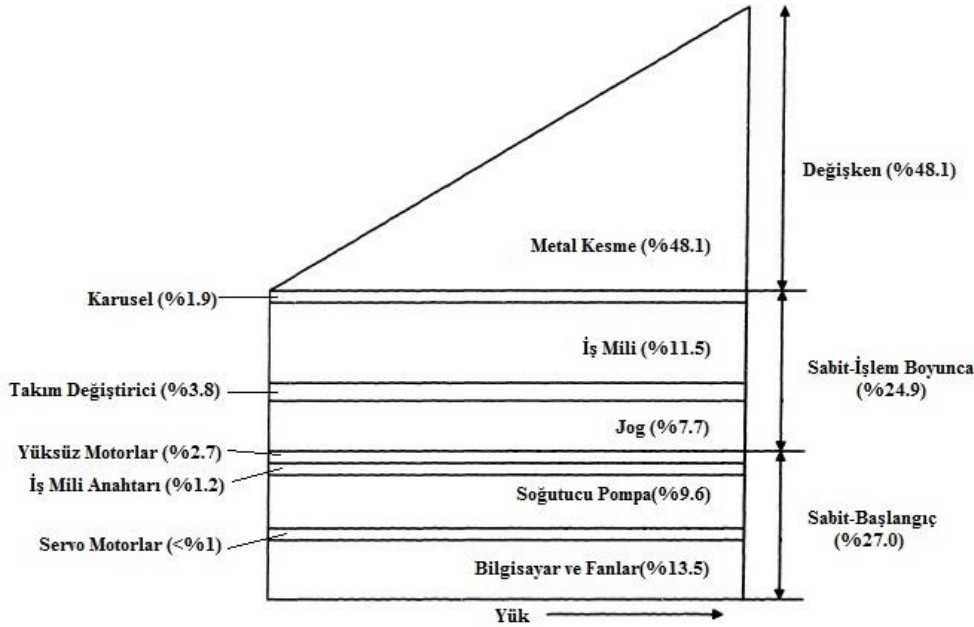
2.3 Enerji Tüketimi Modellemesi Hakkında Yapılan Çalışmalar

İmalat sanayii birincil enerji kaynaklarının kullanımında en ön sıralarda yer almaktadır ve imalat sanayiinin karbondioksit emisyonunda da önemli bir payı vardır. Bu yüzden akademisyenler enerji verimliliği ile ilgili araştırmalar yapmışlardır ve pek çok araştırmacı takım tezgahlarının enerji tüketim karakteristiklerini ve birim enerji tüketimlerinin alt ünitelerine dağılımlarını anlamak için araştırmalarda bulunmuşlardır. Bu konuda ilk çalışmalardan birini yapan Kordonowy, pek çok takım tezgahının destek birimlerinin enerji ihtiyaçlarını belirlemiş ve bir takım tezgahının enerji tüketimini 1) temel, 2) çalışma sırasında sabit ve değişken olarak ikiye ayırmıştır [35]. Şekil 2.12'de Kordonowy'nin üzerinde çalıştığı Cincinnati Milacron takım tezgahındaki, sabit ve değişken enerji tüketim birleşenleri görülmektedir. Destek birim üniteleri tarafından harcanan güç ve metal kesme için harcanan güç oranları frezeleme işlemini gerçekleştirmek için makinanın çektiği toplam güce göre hesaplanmıştır. Kordonowy tarafından yapılan çalışmalarda takım tezgahı açıldığı

zaman belirli bir süre beklenerek destek birimlerinin harcadığı güç sabit ve başlangıç gücü olarak ifade edilmiştir. Aluminium parçanın kesimi sırasında iş mili, takım değiştirici ve eksenlerin hareketini sağlayan jogların harcadığı güç ise sabit ve işlem sırasında harcanan güç olarak tanımlanmıştır. Parçanın kesimi sırasında kesim için harcanan güç ise metal kesme gücü olarak ifade edilmiştir. Dahmus ve Gutowski (2004) bu çalışmaları daha sonra ilerleterek takım tezgahları için ilk genel enerji tüketim modelini önermişlerdir [36].

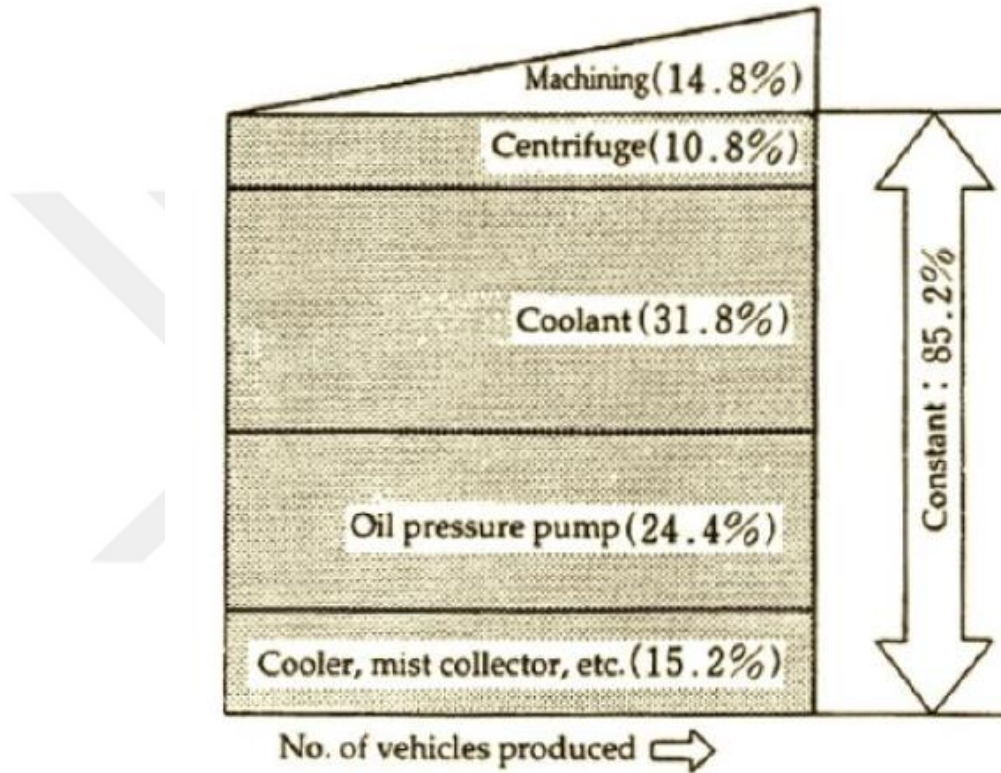
$$E = (P_0 + kQ)t \quad (2.1)$$

Burada, P_0 sabit-çalışma güç yükü ve sabit başlama yükünün toplamı, k özgül kesme enerjisi, Q malzeme kaldırma hızı ve t işlem süresidir. Bu genel denklemin esası bir takım tezgahındaki sabit güç yükleri ile kesme sırasında oluşan talaş kaldırma hızına bağlı değişken güç yüklerini ayrıştırmasıdır. Ayrıca Dahmus ve Gutowski [36] tarafından geliştirilen makinanın çektiği gücü görüntüleyebilmek için kullandıkları sistemden yararlanarak Gutowski vd. tarafından yapılan çalışmalarda metal kesme için harcanan güç oranının sabit-çalışma güç oranı ve sabit başlangıç güç oranını toplamından çok daha az olduğu görülmüştür [37].



Şekil 2.12 : Cincinnati Milacron otomatik freze tezgahı güç tüketim profili [35].

Bu model birçok diğer çalışmanın yolunu açmış olsa da, yardımcı alt birimler tarafından tüketilen enerji için tam teşekküllü bir model sağlayamamıştır. Çünkü bu alt üniteler tarafından tüketilen enerji sabit kalmaz ve çalışma anında değişebilir. Bu modelin tutarlılığını ölçmek için deneysel bir çalışma yapılmamıştır. Şekil 2.13, bir otomobil üretim hattı için üretim oranının bir fonksiyonu olarak kullanılan enerjiyi göstermektedir. Makine boştaki çalışırken tüketilen enerji, talaşlı imalat işlemi sırasında tüketilen kesme enerjisinden çok daha fazla olduğu dikkati çekmektedir [37].



Şekil 2.13 : Bir otomobil üretim hattının tükettiği enerji [37].

Dahmus ve Gutowski'nin geliştirdiği ilk modelin ardından pek çok araştırmacı, teorik tahmin modellerini çeşitli tezgah, işlem özelinde uyarlamaya ve geliştirmeye teşebbüs etmiştir [36]. Rajemi vd. tarafından, Gutowski'nin geliştirdiği enerji tahmin modeline takım ömrünü de eklemiştir. Rajemi'nin geliştirdiği yeni enerji modeli Denklem (2.2)'de görülmektedir [38].

$$E = P_0 t_1 + (P_0 + kQ) t_2 + P_0 t_3 \left(\frac{t_2}{T} \right) + y_E \left(\frac{t_2}{T} \right) \quad (2.2)$$

Burada, P_0 herhangi bir kesim olmadığı zaman takım tezgahı tarafından çekilen güç miktarını, t_1 takım tezgahının herhangi bir kesme işlemi yapmadan başlangıçta çalışma

süresini, t_2 gerçek kesme süresini, t_3 takım değiştirme süresini, T takım ömrünü, γ_E kesici takım kenarı başına enerji ayak izini, k özgül kesme enerjisi ve Q kaldırılan malzeme oranını ifade etmektedir.

Bu konuda en çok referans verilen Diaz'ın geliştirdiği enerji modelinde ise Denklem 2.3'de yer alan eşitlik kullanılmıştır. Bu denklemde de görüldüğü gibi tüketilen toplam enerji, kesme enerjisi ve havada kesim enerjisi olarak ikiye ayrılmıştır. Bu yaklaşımda havada boşta kesim yapılarak makinenin destek birimlerinin yükleri karakterize edilmekte iken kesim gücü her malzeme için deneysel olarak elde edilen özgül kesim enerjisi eğrilerinden tahmin edilmiştir [39].

$$E = (P_{kesme} + P_{hava})\Delta T \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)'de belirtilen ifade de P_{hava} havada kesim sırasında harcanan gücü ve P_{kesme} ise kesme işlemi için harcanan gücü ifade etmektedir.

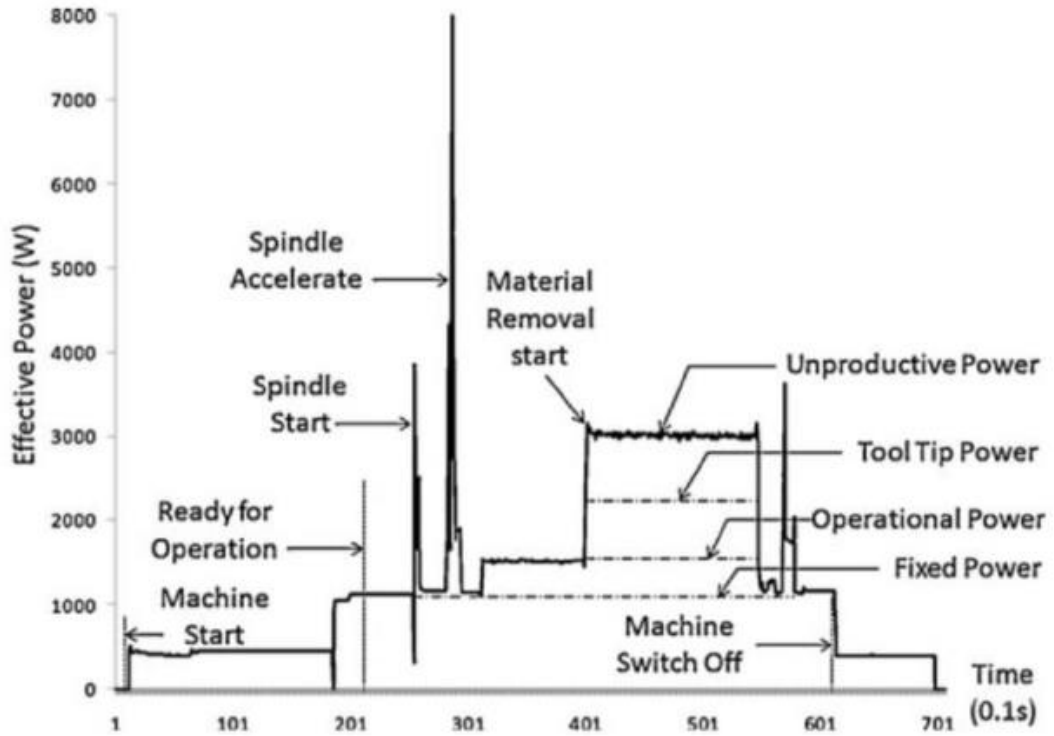
He vd. tarafından yapılan çalışmada sayısal kontrol (NC) komutlarıyla yönetilerek kesilen parçaların işlem sırasında tükettikleri enerji modellenmiştir. Model, enerji tüketen destek ünitelerin belirlenmesine ve devreye girmesiyle birlikte tükettikleri enerji miktarlarının belirlenmesine dayanmaktadır [40]. Destek ünitelerin tükettikleri enerjiler, her bir destek ünitesinin enerji tüketim miktarıyla devrede oldukları süre çarpılarak hesaplanır.

$$E_{toplam} = E_{işmili} + E_{ilerleme} + E_{takım} + E_{soğutucu} + E_{sabit} \quad (2.4)$$

Bu denklemde yer alan, $E_{işmili}$, iş milinin hazır konumda ve kesim sırasında tükettiği enerjisi, $E_{ilerleme}$, ilerleme eksenlerinin enerji tüketimini, $E_{takım}$, takım değişimi sırasında tüketilen enerjisi, $E_{soğutucu}$ soğutma sıvısı ünitesinin tükettiği enerjisi ve E_{sabit} , makinenin hazır konumda, aydınlatma, fanlar, bilgisayarlar gibi birimlerin tükettiği enerjidir.

Kompleks NC takım tezgahlarında destek üniteleri toplam enerji tüketiminin% 30'undan fazlasını oluşturmaktadır, bu nedenle destek üniteleri, takım tezgahlarının enerji tüketimi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır [41]. Buradan yola çıkarak Li vd. tarafından takım tezgahının çektiği güç 4 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar, takım tezgahının açılır açılmaz çektiği sabit güç, eksenlerin hareket edebilmesi için takım tezgahının havada boşta çalışırken çektiği güç, parça işlenirken çekilen güç ve

özellikle malzeme kaldırılırken sürtünmeden dolayı ısıya dönüşen güçtür [42]. Şekil 2.14'te torna takım tezgahlarının güç profili görülmektedir.



Şekil 2.14 : Torna takım tezgahlarının güç profili [42].

Salonitis ve Ball tarafından toplam tüketilen enerji, talaşlı imalar sırasında tüketilen işlem enerjisi ve destek ünitelerinin harcadığı çevre enerjisi olarak ikiye ayrılmıştır. Çevre enerjisini de, kesme işlemi sırasında kesim işlemi ne olursa olsun makinanın destek ünitelerinin çektiği güç ve makinanın kesim işleminden bağımsız kendi çektiği güç olarak ikiye ayrılır [43].

Dragenescu vd. Denklem (2.5) 'te gösterildiği gibi frezeleme işlemleri sırasında kesme parametrelerine dayanan özgül enerji tüketiminin ayrıntılı bir modelini sunmuşlardır. Burada E_{cs} özgül tüketilen enerji (kwh / cm^3), D kesici takım çapı, F_t Kesme kuvvetinin teğetsel bileşeni, S_z diş başına ilerleme, t kesme derinliği, B yanal kayma, z diş sayısı ve μ verimlilik oranıdır [44].

Denklem (2.6)'da görüldüğü gibi, kesilen hacim (Y) ile özgül tüketilen enerji çarpıldığı zaman tüketilen enerji (E_c) elde edilir.

$$E_{cs} = \frac{\pi D F_t}{3.672 \times 10^6 S_z t_d B z \mu} \quad (2.5)$$

$$E_c = Y E_{cs} \quad (2.6)$$

Kara ve Li tarafından yapılan çalışmalarda her bir takım tezgahına özgü C_0 ve C_1 gibi katsayılar deneyler yapılarak belirlenmişlerdir [45].

Bu sayede her bir takım tezgahı için enerji tüketim modelleri geliştirmişlerdir. Denklem (2.7)'de görüldüğü gibi her makinaya özgü özgül kesme enerji değerleri elde edilip, bu değerler ile talaşlı imalat işlemi sırasında kaldırılan hacim çarpılarak Denklem (2.8)'de görüldüğü gibi takım tezgahının tükettiği enerji hesaplanmıştır. Denklem (2.8)'de yer alan alan MRR talaş kaldırma debisidir [45].

$$SEC = (C_0 + \frac{C_1}{MRR}) \quad (2.7)$$

$$E = SEC \times \text{Kesme Hacmi} \quad (2.8)$$

Model doğrulama testleri, dört farklı freze ve torna tezgahında yapılmıştır. Model kullanılarak tahmin edilen enerji değeri ile deneyler sırasında ölçülen değerler karşılaştırıldığında geliştirdikleri modelin tutarlılık düzeyi %90 çıkmıştır. Çalışmada, SEC formülü soğutma sıvısı olan veya olmayan işlemler için ayrı ayrı hesaplanmamıştır. Bunun gibi diğer yardımcı destek birimlerindeki değişimlerin toplam enerji tüketimini nasıl etkileyeceği Kara ve Li tarafından yapılan çalışmada gösterilmemiştir [45].

Uluer vd. tahmin STEP AP224 standartları kullanarak yeni bir tahmin yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemin yeniliği kesme enerjisi tahmininin STEP AP224 standartına uygun şekilde unsurların hacimleri yardımı ile hesaplanabilmesidir [46]. Daha sonra, gene Uluer ve Unver vd.(2016) bu modeli otomatik seri imalat hatları için genişleterek, çok yönlü bir çatıyapı haline getirmişler ve modeli Arçelik A.Ş'nin Eskişehir'deki buzdolabı-kompresor fabrikasının örnek hatlarına uygulayarak, bu hatlarda enerji tüketiminde %10'lara varan indirgeme sonuçları elde etmişlerdir [47].

E-MPC çatıyapısında 3 katman bulunmakta ve katmanlar 1) E-PAT(Energy Profiling and Tracking) enerji takibi ve makina enerji tüketimi profilleri oluşturulması 2) E-DPP(Energy-aware part design and process planning) Enerji farkında tasarım ve işlem

optimizasyonu ve 3) E-DES (Discrete event simulation for Energy Reduction), Enerji verimliliği için kesikli olay benzetiminden oluşmaktadır [47].

Bir diğer çalışmada Altıntaş, Kahya ve Unver unsur tabanlı frezeleme için enerji tahmin ve optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Bu modelde de STEP AP224 unsurlarından oluşan prizmatik bir parçanın toplam enerji isteri Denklem (2.9) ile tahmin edilmektedir [48].

$$E_{parça} = \sum_{i=0}^n E_{unsur,i} \quad (2.9)$$

Burada “parça”, işlenecek tüm parçayı ve “unsur,” parçada bulunan her AP224 unsurunu temsil etmektedir. Her unsurun içerdiği detaylı enerji eşitliği Denklem (2.10) ile hesaplanmaktadır.

$$E_{toplam} = E_{temel} + E_{yardımcı} + E_{kesme} \quad (2.10)$$

Bu denklemde “basic”; bir tezgahın, bilgisayar, fan gibi sabit enerji tüketimleri, “yardımcı”; iş mili, besleme eksenleri, soğutma suyu, konveyör gibi destek birimlerinin enerjisi, “kesme”; ve sadece kesme için gereken malzemenin özgül kesme enerjisi katsayısına özgül kesme enerjisi (ÖKE) denir. Bu modelin DMG-65 Monoblock marka dik işleme merkezinde, alüminyum 6061 kullanılarak %5 doğruluk içinde test edilmiştir [48].

Bu çalışmada ayrıca AISI 304 paslanmaz çelik için bir deneysel optimizasyon çalışması yapılmış, yüzey merkezli merkezi kompozit tasarım ile YYM uygulanarak analiz edilen deneylerin sonucunda yapılan varyans analizleri ile enerji tüketiminde birincil etkenin besleme hızı, ikincil etkenlerin ise fener mili hızı ve kesme derinliği gözlenmiştir [48].

Moradnazard ve Unver'in yaptığı çalışmada, daha önceden frezeleme işlemleri için geliştirdikleri unsur bazlı enerji tahmin modelini torna işlemleri için geliştirmişlerdir. AP 224 unsurlarına sahip iş parçasının işlenmesi sırasında Mazak Integrex I200-ST takım tezgahının genel enerji tahmin modeli oluşturulmuştur. Buna ek olarak, torna-freze işlemleri sırasında karmaşık parçaların yanıt yüzey metodu ile takım tezgahının enerji tüketimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Moradnazard ve Unver tarafından

yapılan çalışmada Denklem (2.10)'da yer alan yardımcı birimlerin tükettiği enerji($E_{yardımcı}$) Denklem (2.11)'de görüldüğü gibi torna-freze takım tezgahının bütün alt birimlerinin tükettiği enerji toplamı üzerinden hesaplanmıştır [49].

$$\begin{aligned} E_{yardımcı} = & E_{ana\ ayna\ mili} + E_{ikinci\ ayna\ mili} + E_{iş\ mili} + E_{iş\ mili\ hareketi} \quad (2.11) \\ & + E_{alt\ taret\ hareketi} + E_{takım\ değiştirme} \\ & + E_{soğutma\ sıvısı\ ünitesi} + E_{soğutma\ ünitesi} + E_{konveyör} \\ & + E_{yağlama} \end{aligned}$$

Tahmin modeli için işlem parametreleri olarak kesme derinliği (mm), besleme (mm / devir) ve kesme hızı (m / dk) seçilmiştir. Ayrıca, ANOVA yöntemi sayesinde AISI 304 paslanmaz çeliğinin torna işlemleri sırasında güç gereksinimine en fazla etkisi olan işlem parametresi kesme derinliği olduğu ortaya çıkmıştır. Öte yandan kesme hızının etkisi yoktur çünkü kesme hızının güç gereksinimine etkisinde %95 güven aralığının (P-değeri 0,05den büyüktür) dışındadır [49].

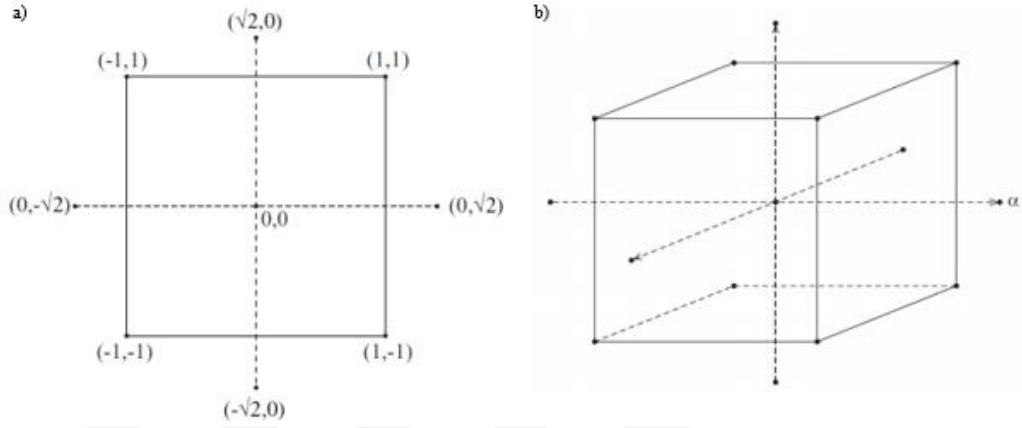
2.4 Yanıt Yüzey Metodu ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Yanıt yüzey metodu, herhangi bir prosesin çıktısı çeşitli işlem parametrelerinden etkilendiği zaman ve çıktı parametresini girdi parametreleri üzerinden optimize edebilmek amacıyla kullanılan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin karışımıdır.

Girdi parametreleri (faktörler), araştırmacı veya uygulayıcı tarafından kontrol altında tutulabilmektedir. Çıktı ile girdi parametreleri arasındaki ilişkinin gerçek yapısı bilinmediğinde, girdi parametrelerinin çıktı parametreleri üzerindeki etkilerini anlayabilmek için deneyler yapılması gerekir. Diğer bir deyişle, çıktı ile girdi parametreleri arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek amacıyla deneysel bir modelin bulunması gerekir. Deneysel tahmin modellerinin oluşturulabilmesi için merkezi kompozit tasarımı, yüzey merkezli merkezi kompozit tasarımı ve box-behnken tasarımı gibi deney tasarımları kullanılarak deneylerin yapılması gerekir [50].

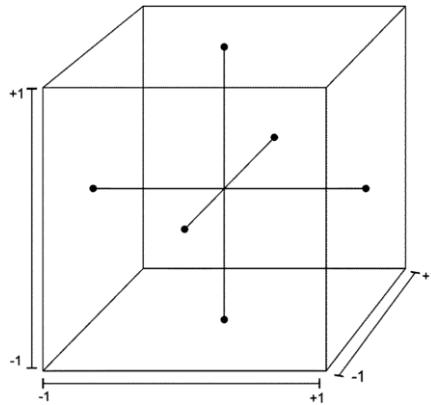
Deney tasarımı olarak merkezi kompozit tasarımı, yüzey merkezli kompozit tasarımı ya da box-behnken tasarımı kullanmayıp tam faktöriyel deney tasarımı da kullanılabilir. Tam faktöriyel deney tasarımında bütün kombinasyonları düşünerek deney sayısı belirlenir, ancak bu durum çok fazla deney yapmayı gerektirir. Onun yerine merkezi kompozit deney tasarımı kullanıldığı zaman daha az deney yapmak

yeterli olacaktır. Merkezi kompozit deney tasarımının da faktörlerin(girdi parametrelerinin) sadece ikili etkileşimlerine bakılır, tam faktöriyel deney tasarımında ise üçlü ve dördü etkileşimlerine de bakıldığı için çok daha fazla deney yapılması gerekir. Şekil 2.15'te 2 ve 3 faktörlü merkezi kompozit deney tasarımının grafiksel tasarımı yer almaktadır [50,51].

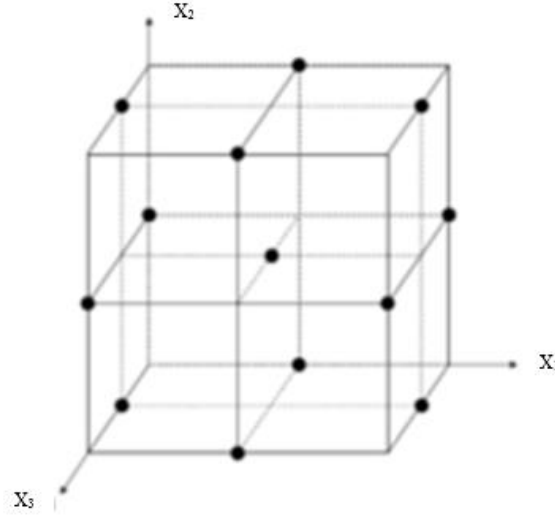


Şekil 2.15 : (a) 2 faktörlü, (b) 3 faktörlü merkezi kompozit deney tasarımı grafiksel gösterimi [50].

Merkezi kompozit deney tasarımlarında $\alpha \neq 1$ 'dir. Fakat, yüzey merkezli merkezi deney tasarımında ise $\alpha=1$ olur. A herhangi bir deney tasarımının döndürülebilirlik göstergesidir. α değeri 1'e eşit olduğu zaman merkezde tekrarlanan deney sayısı 1'dir. Merkezde bulunan deney sayısının birden fazla olması varyans istikrarını sağlamak için önemlidir. Merkezi kompozit deney tasarımı, yüzey merkezli merkezi deney tasarımına göre verdiği sonuçlar açısından daha istikrarlıdır [50]. Şekil 2.16'da yüzey merkezli merkezi deney tasarımının grafiksel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.16 : 3 faktörlü yüzey merkezli merkezi kompozit deney tasarımı grafiksel gösterimi [50].



Şekil 2.17 : 3 faktörlü Box-Behnken deney tasarımı grafiksel gösterimi [51].

Box-behken deney tasarımında ise merkezde tekrarlanan deney sayısı 3'tür. Box-behken deney tasarımı aynı faktör sayılarında merkezi deney tasarımından daha az deney sayısına sahip olmasına rağmen merkezi kompozit deney tasarımı kadar başarılıdır. Yanıt yüzey metodu kullanılmadan önce deney tasarımı belirlenip deneyler yapılmalıdır. Deneysel veriler toplandıktan sonra yanıt yüzey metodu kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir [50,51].

YYM methodu, ilk olarak Box ve Wilson tarafından kullanılmıştır [52] ve daha sonradan Montgomery vd. tarafından popüler hale getirilmiştir [50]. .Abhang ve Hameedullah , ENM-31 Steel'in YYM methodunu kullanarak torna işlemi sırasında güç tüketimini tahmin etmek için bir model geliştirdi [53]. Girdi parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkilerini modelleyebilmek ve analiz yapabilmek amacıyla ANOVA yönteminden yararlanmıştı. Öte yandan YYM modeli kullanılarak tahmin modeli geliştirilmiş ve güç tüketimini en aza indirgeyebilmek amacıyla kesme hızı, besleme hızı, kesme derinliği ve burun yarıçapı için eni yi değerler elde edilmiştir [53]. Campatelli vd. tarafından yapılan çalışmada karbon çeliğinin frezeleme işlemi sırasında güç tüketimini en aza indirmek amacıyla kesme hızı, diş başına ilerleme, yanal kayma ve kesme derinliği gibi girdi parametrelerini YYM methodunu kullanarak optimize etmiştir. Optimize işlemi yapabilmek için veri toplanması gerekir bu yüzden Campatelli vd. veri toplayabilmek için merkezi kompozit tasarımı sayesinde oluşturdukları deney tasarımından yararlanmışlardır [54].

Bhushan'ın yaptığı çalışma, 7075 Al alaşımlı SiC kompozitinin CNC tornalama işleminde kesme hızının, besleme hızının, kesme derinliğinin ve burun yarıçapının etkilerini araştırmak için deneysel çalışmaları özetlemektedir. YYM methodu sayesinde işlem parametreleri eniyilenecek güç tüketimi en aza indirgenmiş ve kesici takımın ömrü ise yükseltilmiştir [55].

Enerji tüketiminin azaltılması, sürdürülebilir üretimde vazgeçilmez bir husustur. Son zamanlarda işlem parametrelerinin eniyilenmesine yönelik yapılan çalışmaların çoğu talaşlı imalat işlemlerinin çevreye olan etkilerini göz önünde bulundurmıştır. Bu amaçla Yan ve Li tarafından yapılan çalışmada frezeleme işlemi sırasında yüzey pürüzlülüğü, kaldırılan talaş oranı ve kesme enerjisi gibi amaç fonksiyonlarını eniyilemek amacıyla gri ilişkisel ve YYM yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Amaç fonksiyonlarının eniyilenmesi için kullanılan girdi parametreleri iş mili devri, ilerleme hızı, kesme derinliği ve yanal kaymadır. Eniyileme çalışmalarını gerçekleştirebilmek amacıyla yapılan deneyler taguchi L27 ortogonal dizisine göre tasarlanmıştır [56].

Aggarawal vd. tarafından yapılan çalışmalarda hem YYM hem de taguchi yöntemleri birlikte kullanılmıştır. AISI P-20 takım çeliğinin farklı kesme ortamlarındaki CNC torna işlemleri sırasında güç tüketimini optimize etmek için karşılaştırmalı bir analiz sunmuşlardır. Deney tasarlamak için ortogonal dizi tasarımı ve yüz merkezli merkezi kompozit tasarımları kullanılmıştır. Her iki yöntemin sonuçları benzer olmasına rağmen, YYM yöntemi kullanıldığı zaman ihtiyaç duyulan deney sayısı, Taguchi yöntemi kullanılarak tasarlanan deney sayısının yaklaşık olarak iki katıdır.

Fakat YYM metodu kullanılarak yapılan etkileşimlerde 3 boyutlu yüzey grafikleri elde edilebilmektedir. Bu 3 boyutlu yüzey grafiklerini taguchi yönteminde çizdirmek mümkün değildir [57].

Jou vd. tarafından enjeksiyon kalıplama işlem parametrelerini optimize etmek için Taguchi ve RSM yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada önemli parametreler elde etmek için Taguchi yöntemi kullanılmış ve bu parametrelerin optimizasyonu yapabilmek amacıyla YYM yöntemi kullanılarak bir model geliştirilmiştir [58].

2.5 Yapay Sinir Ağları ile ilgili Yapılan Çalışmalar

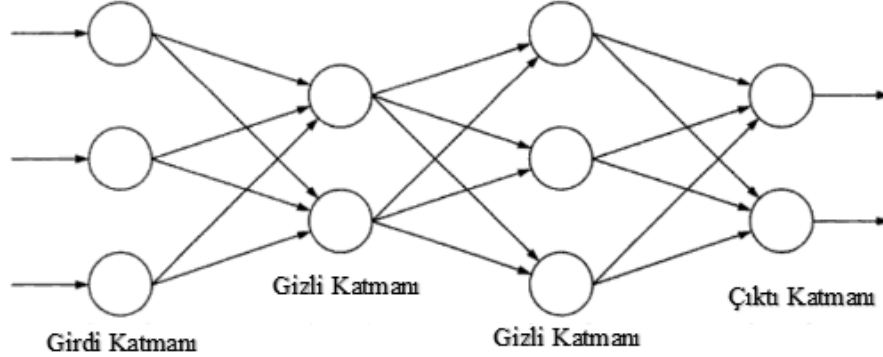
Yapay sinir ağı, insan beynindeki sinirlerin çalışma mantığından ilham alarak tasarlanmış istatistiksel öğrenme yöntemlerinden bir tanesidir. YSA'ların başlıca avantajları, daha az resmi istatistiksel eğitim, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri örtük olarak algılama yeteneği ve aynı zamanda öngörme değişkenleri arasındaki tüm muhtemel etkileşimleri tespit edebilme becerisi gerektirir. Dezavantajı ise doğru tahmin edebilmesi için sinir ağının ağırlık seçiminin çok önemli olması ve aşırı öğrenme meydana gelebilmesidir.

Yöntem, eğitim, çapraz doğrulama ve test gibi üç adımdan oluşur. Hem sınıflandırma hem de regresyon modelleri YSA tarafından oluşturulabilir. YSA yönteminde, deneyler sırasında kullanılan kesme derinliği, ilerleme hızı gibi veriler girdi parametreleri olarak tanıtılır ve enerji tüketimi gibi deney sonuçları ise ulaşılabilecek hedef parametreler(çıkı parametreleri) olarak sisteme tanıtılır. Girdi ve çıkı parametreleri sisteme girildikten sonra ağırlıklar, YSA modelinin eğitimi durduruluncaya kadar eğitim sırasında öğrenme işlevine bağılı olarak değişir. Model eğitimi, tahmin modelinin ağırlıkları değiştiğçe devam eder. YSA modelinde ağırlık değişimi sistemin eğitildiğini gösterir. Geliştirilen modelin kabul edilebilmesi için, çıkı parametreleri ile modelin hedef parametresi arasında hesaplanan hata istenilen değerin altında ve sistemde aşırı öğrenme meydana gelmemesi gerekir [59,60].

YSA yönteminin temel amacı girdi ve çıkı parametreleri arasında bir genelleme yapmaktır. Başka bir deyişle, girdi ve çıkı parametreleri arasında yer alan gizli katmanlar ve bu katmanlar içerisinde yer alan nöronlar sayesinde girdi ve çıkı parametreleri birbirlerine bağlanır. Genelleme, deney verileri arasında uygun eğrinin bulunması anlamına gelmektedir. Farklı girdi parametreleri kullanılarak elde edilen hedef değer ile çıkı değeri arasında hesaplanan hata çok fazla değilse, model tarafından yapılan genelleme kabul edilir. Eğer hata çok fazla ise modelde aşırı öğrenme meydana gelmeye başlamıştır [60].

YSA modelinde üç katman bulunur. Bu katmanlar Şekil 2.18'de görüldüğü gibi girdi katmanı, gizli katman ve çıkı katmanıdır ve her katman nöronlardan oluşur. Girdi parametreleri girdi katmanında yer alan nöronlar vasıtasıyla sisteme tanıtılır [60].

Gizli katman, içerisinde bulunan nöronlar sayesinde girdi katmanında gelen veriyi işleyerek çıktı katmanına aktaran katmandır. Çıktı katmanı çıktıları yansıtan son katmandır [59,60].



Şekil 2.18 : Yapay sinir ağı modeli gösterimi [60].

Yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonları, signum fonksiyonu, Tan-sigmoid, Log-sigmoid ve Gauss dağılım fonksiyonudur. ANN modelinde kullanılabilen temel fonksiyonların matematiksel ifadeleri sırasıyla Denklem (2.12), (2.13) ve (2.14)'te gösterilmiştir[61,62].

$$\text{Signum function} = \frac{x}{|x|} \quad (2.12)$$

$$\text{tan_sigmoid} = \left(\frac{2}{1 + e^{-2n}} \right) - 1 \quad (2.13)$$

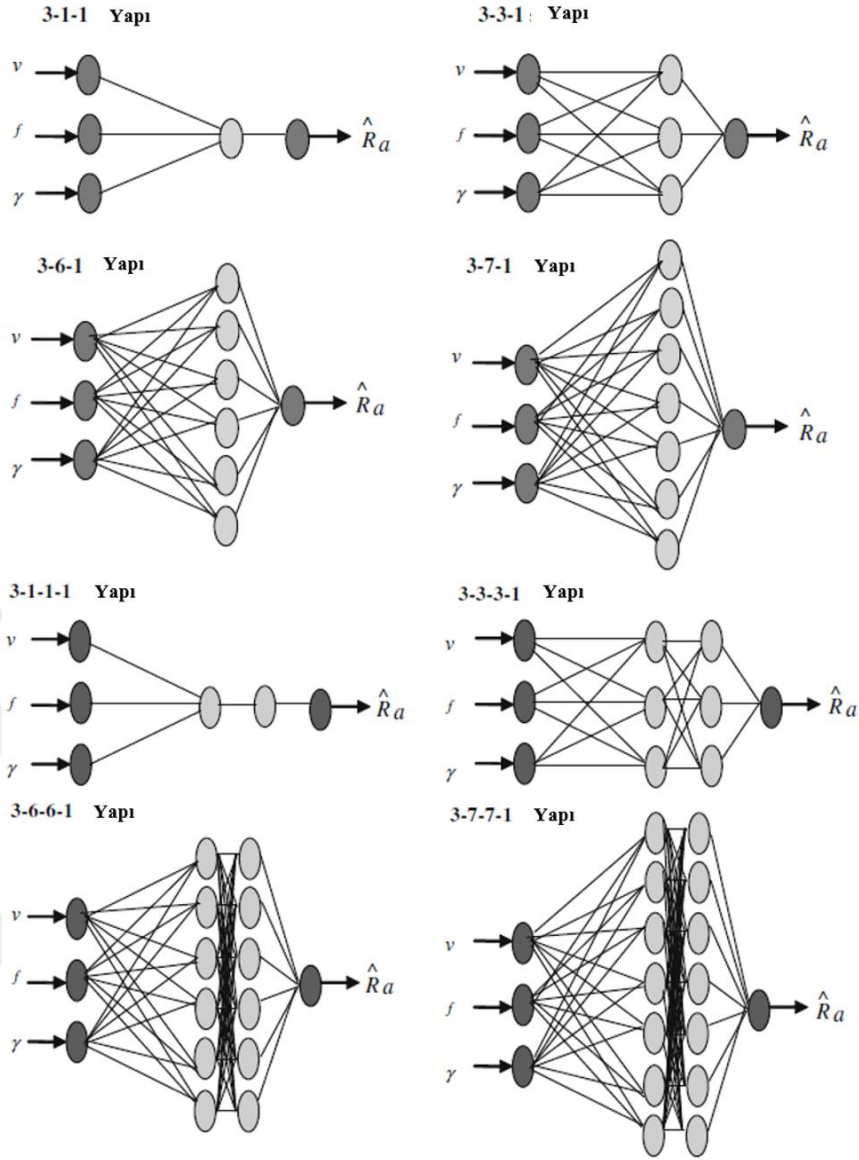
$$\text{Log_sigmoid} = \left(\frac{1}{1 + e^{-x}} \right) \quad (2.14)$$

Borgia vd. enerji tüketimini azaltan bir enerji modeli geliştirmişlerdir. Bu amaçla alın tornalama operasyonlarında enerji tüketimini etkileyecek takım tezgahının, ürünün ve talaşlı imalat operasyonunun parametrelerinden oluşan enerji modeli oluşturulmuştur. İleri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak yirmi girdi parametresi, bir çıktı parametresi ve iki gizli katmandan oluşan enerji modeli sayesinde daha az enerji tüketmek amacıyla daha iyi işlem parametreleri ve makine parametreleri elde edilmiştir [63]. Kant ve Sangwan tarafından yapılan çalışmada tornalama işlemleri sırasında takım tezgahının çektiği gücü ve talaşlı imalat sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için yapay sinir ağları ve destek vektör tahmin modeli kullanmışlardır. Deneyler sırasında girdi parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi girdi parametreleri kullanılmıştır [64]. Bu yöntemlerin tahmin ettiği çıktı

parametrelerini doğrulamak için deneyler yapmışlardır. Bu deneyleri taguchi yöntemiyle tasarlamışlardır.

İşlem parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkisini araştırmak için Quintana vd. tarafından AISI H13 yüksek hız çeliklerinin üç eksen dik işleme takım tezgahlarında gerçekleştirilmiş olan 300 adet deney grubu kullanılmıştır. Deney verileri sayesinde takım tezgahının x, y, z eksenlerine ve iş milinin hareketine bağlı olarak yapay sinir ağları kullanarak enerji tüketim tahmin modeli geliştirmişlerdir [65]. Herhangi bir ürünün kalitesi bazı durumlarda, ürünün imalatı sırasında kullanılan ekipmanlar, ürünün maliyeti ve üretim süresi gibi parametrelerle belirlenebilir. Fakat talaşlı imalat yöntemleriyle üretilen ürünlerin yüzey pürüzlülüklerini önceden saptamak pek kolay değildir. Bu amaçla Benardos ve Voskiakos tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağları sayesinde işlem parametreleri, kesici takım özellikleri ve iş parçasının özellikleri sisteme tanıtılıp tahmin modeli oluşturulur ve bu tahmin modelleri deneysel verilerle eğitilir. Bu şekilde önceden yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yapay sinir ağları tahmin modelleri kullanılarak tahmin edileceği savunulmuştur. Başka bir deyişle yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler kullanılarak yapay sinir ağı tahmin modelleri eğitilirse önceden yüzey pürüzlülüğü değerleri tahmin edilebilir [66]. Zain vd. tarafından yapılan çalışmada frezeleme işlemleri için yapay sinir ağları kullanarak yüzey pürüzlülüğü tahmin modelleri geliştirilmiştir. 3-3-1, 3-1-1, 3-6-1, 3-7-1, 3-1-1-1, 3-3-3-1, 3-7-7-1 gibi farklı yapay sinir ağı mimarilerinin çıktı parametresi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [67]. Farklı yapay sinir ağı mimarilerine sahip yapay sinir ağı modelleri Şekil 2.19'da yer almaktadır.

Cruz vd. tarafından yapılan çalışmada malzemesi Ti-6Al-4V olan iş parçalarının delik delme operasyonları sonucunda elde edilen delik çap boyutları ve yüzey pürüzlülüğü için yapay sinir ağları kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir [68]. Srikant vd. tarafından kesici takım aşınma tahmin modelleri, yapay sinir ağı yöntemini kullanarak geliştirildi. Model, farklı içeriklere sahip soğutma sıvısının kesici takım aşınmasına olan etkisini tahmin etmek için kullanılmıştır [69]. Yazdi vd. tarafından yapılan çalışmada ise delik delme operasyonlarında uygulanan itme kuvvetinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmin modeli geliştirilmiştir [70].



Şekil 2.19 : Farklı mimarilere sahip yapay sinir ağı modelleri [67].

2.6 Genetik Algoritma Hakkında Yapılan Çalışmalar

Genetik algoritma, herhangi bir problemin optimum noktasını bulabilmek için kullanılan bir yöntemdir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler arasından optimum noktayı bulabilmek için yanıt yüzey metodu yada yapay sinir ağı yöntemi sayesinde uygunluk fonksiyonu elde edilir ve elde edilen bu uygunluk fonksiyonu üzerinden en uygun çıktı değerini bulabilmek için de genetik algorithmadan yararlanır. Uygunluk fonksiyonu üzerinden küresel optimum noktayı bulmaya çalışırken yerel optimum noktalara takılmamak çok önemlidir. Yerel optimum noktalara takılmamak için en basit çözüm çoklu başlatma yaklaşımı kullanılabilir. Başka bir deyişle birden fazla başlangıç noktası tanımlanarak her birini kullanarak aynı anda farklı yerlerde küresel

optimum nokta aranır. Genetik algoritma yöntemi de uygunluk fonksiyonu üzerinden problemin küresel optimum noktasını bulabilmek için birden fazla çözüm kümesi üretirler. Böylece arama uzayında aynı anda farklı yerlerde birçok nokta taranır ve bulunan yerel optimum noktalar birbirleriyle kıyaslanarak küresel optimum nokta bulunur [71].

Genetik algoritma uygunluk fonksiyonu üzerinden küresel optimum noktayı bulmaya çalışılan ilk önce başlangıç popülasyonu oluşturur. Daha sonra popülasyon içerisinde bulunan bireylerden uygunluk fonksiyonunu sağlamayan bireyler elenir, elenmeyen bireylerde daha yüksek uygunluk değerine sahip bireyler üretmek için çoğalır. Çoğalma sırasında daha iyi bireyler üretmek amacıyla çaprazlama (cross-over) ve mutasyon yöntemlerine başvururlar. Yeni oluşturulan bireyler arasında uygunluk fonksiyonuna diğerlerine göre daha az uygun olan bireyler elenir. Bu şekilde en optimum çıktılar elde edilir [71].

Hu vd. tarafından enerji tüketimiyle ilgili yapılan eniyileme çalışmalarında genetik algoritmadan yararlanılmıştır. Takım tezgahlarında talaşlı imalat uygulanacak parçalar için unsur bazlı işlem planlaması yapıldığı zaman parçaların talaşlı imalat sırasında daha az enerji tüketeceği savunulmuştur. Bu amaç doğrultusunda genetik algoritma kullanılarak en iyi unsur bazlı işlem planlaması yapılmıştır [72]. Li vd. tarafından toplam enerji tüketimini en aza indirmek amacıyla esnek üretim sistemleri (FMS'ler) için üretim çizelgelemesi üzerinde çalışılmıştır. Petri net modelleri ve genetik algoritmaya dayanan esnek üretim sistemleri için enerji tüketimini en aza indirgeyebilmek amacıyla yeni bir zamanlama algoritması geliştirilmiştir [73]. Cus ve Balic tarafından yapılan çalışmada ürün maliyeti, üretim süresi ve ince talaş işleminden sonra elde edilen son ürünün kalitesini eniyilemek amacıyla genetik algoritmadan yararlanılmıştır. İşlem parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olmak üzere üç parametre kullanılmıştır [74]. Suresh vd. yüzey pürüzlülüğünü azaltmak amacıyla kesme derinliği, burun yarıçapı, kesme hızı ve ilerleme gibi parametreleri genetik algoritma yöntemiyle eniyilemeye çalışmışlardır. Genetik algoritma ile eniyileme işlemi gerçekleştirilebilmek için yanıt yüzey metodu sayesinde elde edilen uygunluk fonksiyonlarını kullanmışlardır [75]. Venkatesan vd. tornalama işlemlerinde harcanan süreyi eniyilemek amacıyla genetik algortima tabanlı yapay sinir ağı tahmin modeli geliştirmişlerdir. Tornalama işleminde harcanan süreyi

önceden daha doğru tahmin edebilmek amacıyla yapay sinir ağı modelinde kullanılan ağırlıkları genetik algoritma yöntemiyle eniyilemişlerdir. Bu şekilde geliştirilen yapay sinir ağı tahmin modeli sayesinde tornalama işlemlerinde önceden süreyi doğru tahmin etmeye çalışmışlardır [76].

Ayrıca talaşlı imalat işlemleri dışında kanserle mücadelede genetik algoritma ve yapay sinir ağlarını birlikte kullanarak Dias vd. hastaların hayat kalitelerini artırmaya çalışmışlardır [77].

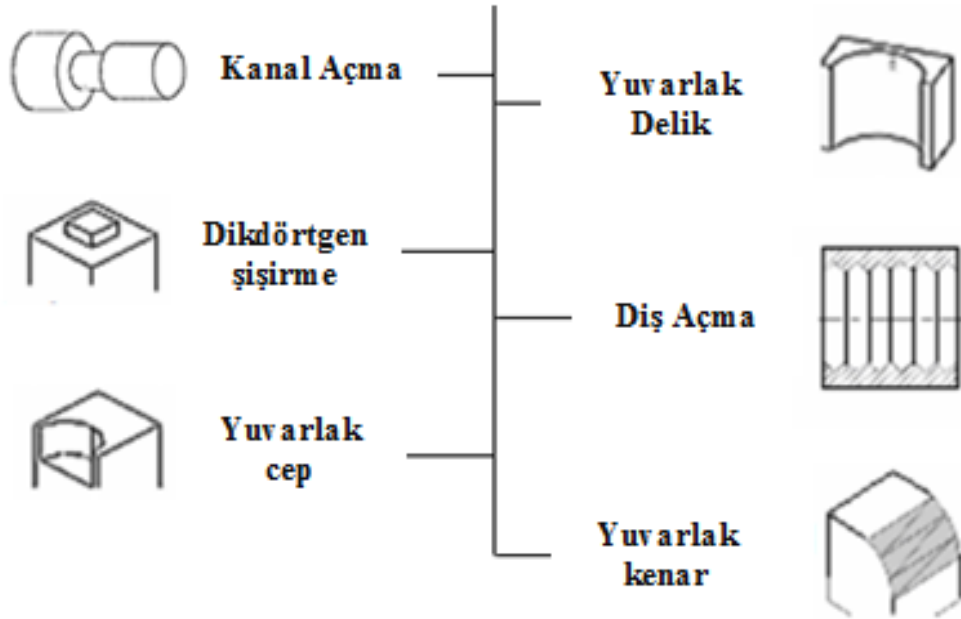




3. TORNA FREZETEZGAHLARI İÇİN ENERJİ TAHMİN MODELİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÖN ÇALIŞMA

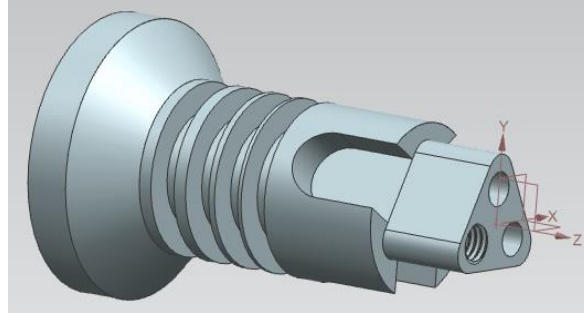
3.1 ISO-STEP AP 224 Unsur Bazlı Tasarım

Bir iş parçasının her bir unsurunun hacmini hesaplamak için, geometriye bağlı tanımları kullanarak bir endüstri standardı olan Şekil 3.1’de gösterilen ISO-STEP AP 224 unsurları kullanılmıştır. Endüstride tasarım aşamasını standartlaştırmak ve tasarım aşamasında meydana gelebilecek teknik problemlerden kaçınmak için STEP standart serileri olarak bilinen Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından bir unsur bazlı işlem planlaması geliştirilmiştir [78].



Şekil 3.1 : STEP AP 224’de tanımlanan imalat unsurları [79].

AP224, işleme unsurlarını kullanarak mekanik parçaların talaşlı imalat işlemlerini kolaylaştıran ISO 10303’e ait uygulama protokollerinden biridir. Malzemesi Ti-6Al-4V alaşımı olan ana iş parçasından talaş kaldırarak elde edilen Şekil 3.2’de gösterilen geometri, AP224 unsurları kullanılarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.2 : Unsur bazlı örnek numune parçası [78].

Unsur tabanlı örnek parça, farklı unsurların enerji tahmin modellerini oluşturabilmek amacıyla tasarlanmıştır. Şekil 3.2’de gösterilen örnek numune parçası dış çap, konik dış çap, kanal açma, yuvarlak cep, dikdörtgen şişirme, yuvarlak delik ve diş açma gibi unsurlara sahiptir. Ayrıca örnek numune parçasını işleyebilmek için Mazak integrex i200-ST torna-freze tezgahından yararlanılmıştır.

3.2 Unsur Bazlı Torna-Freze Takım Tezgahları için Enerji Tahmin Modeli

Torna-freze talaşlı imalat işlemlerinin toplam tüketilen enerji denklemini elde edebilmek için Gutowski v.d (2006) tarafından elde edilen Denklem (3.1)’de ki eşitlik kullanılmıştır. Toplam enerji tüketim (E_{toplam}) değeri, Denklem (3.2)’ye göre makinanın harcadığı enerji (E_{makina}) ve kesim sırasında harcanan enerji (E_{kesme}) toplamı ile hesaplanmıştır.

$$P = P_0 + kQ \quad (3.1)$$

$$E_{\text{toplam}} = E_{\text{makina}} + E_{\text{kesme}} \quad (3.2)$$

Özel kesme enerjisi Rajemi tarafından titanyum alaşımları için $2,9 \text{ j/mm}^3$ olarak belirlenmiştir [80]. Kalpakjian ve Schmid tarafından yapılan çalışmalar sonucunda titanyum alaşımları için özgül kesme enerjisi değerinin 2 ile 5 j/mm^3 aralığında olması gerektiği belirtilmiştir [81]. Dolayısıyla Kahya ve Serin tarafından yapılan çalışmalarda titanyum alaşımları için özgül kesme enerjisi değeri $2,9 \text{ j/mm}^3$ olarak alınmıştır. Bu değer kullanılarak elde edilen toplam tahmini enerji tüketimi Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi 3146 kJ olarak hesaplanmıştır [78].

Ayrıca deneyler yapılarak talaşlı imalat işlemi sırasında ölçülen farklı unsurların kesimi için ihtiyaç duyulan güç ve hesaplanan enerji tüketimi değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. İşlem parametreleri sütununda her bir unsurun parametreleri

listelenmiştir. İşlem sırasında ihtiyaç duyulan güç sütununda her bir unsur için makinanın çektiği ortalama güç değerleri yer almaktadır. Yardımcı ve sabit güç gereksinimleri sütununda ayna mili, iş mili ve soğutma sıvısı ünitesinin çektiği ortalama güçler listelenmiştir. Deneyler sonucunda unsurlar için harcanan toplam enerji 3560 kJ olarak hesaplanmıştır [78].

Çizelge 3.1 : Torna-freze takım tezgahlarında enerji tüketim tahmini [78].

Unsurlar	Hacim (mm ³)	k (j/mm ³)	Kesme Enerjisi (kJ)	Makina Enerjisi (kJ)	Toplam Enerji (kJ)
Dış çap	6125.12	2.90	17.76	582.12	599.88
Kanal Açma	527.79	2.90	1.53	219.78	221.31
Dikdörtgen şişirme	654.88	2.90	1.90	1128.60	1130.50
Yuvarlak cep	87.04	2.90	0.25	712.80	713.05
Yuvarlak delik	147.26	2.90	0.43	463.32	463.75
Dış açma	10.80	2.90	0.03	17.82	17.85
Toplam			21.903	3124.440	3146.343

Çizelge 3.2 : Torna-freze takım tezgahlarında işlem sırasında ölçülen enerji tüketim değerleri [78].

Unsurlar	İşlem Parametreleri				Güç (kw)	Yardımcı ve Sabit Güç Gereksinimleri				Zaman (s)	Enerji (kJ)
	İter. Hızı (m/dk)	Kesme Hızı (m/dk)	İş Mili (rpm)	Ayna Mili (rpm)		İter. Ekseni (W)	İş Mili (W)	Ayna Mili (W)	Soğutma Sıvısı Ünitesi (W)		
Dış Çap	0.36	40		606	6.6	10.38		396	3760	98	651.6
Kanal Açma	0.08	40		1019	7.4	7.62		773	4680	37	273.6
Dikdörtgen şişirme	0.1	50	1326		6.6	7.86	309		1920	190	1252.8
Yuvarlak Cep	0.35	57	3024		7.0	10.29	243		3760	120	835.2
Yuvarlak Delik	0.04	10	1273		6.8	7.2	307		3760	78	529.2
Dış Açma	0.5	5	531		6.3	11.78	265		1920	3	18.0
Toplam											3560.4

3.3 Unsur Bazlı Torna-Freze Takım Tezgahları için Enerji Tahmin Modeli

Belirtilen örnek parçanın hacmi $3,0936 \text{ cm}^3$ 'tür. Ti-6Al-4V yoğunluğu 4.43 g / cm^3 'tür. Bu iki değer kullanılarak elde edilen örnek numunenin kütlesi 13.705 g 'dır. Örnek parçanın lazer sinterleme işlemi ile imalatı sırasında tüketilen enerjiden yararlanılarak spesifik lazer enerjisi değeri hesaplanmıştır. Bu değer, imalat sırasında lazerin tükettiği enerji değerini örnek numune kütlesine bölerek 126 kwh / kg olarak elde edilmiştir. Elde edilen özgül lazer enerjisi değeri kullanılarak unsurların her birinin imalatı sırasında tüketilen tahmini enerji değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir [78].

Çizelge 3.3 : Seçili lazer sinterleme işlemi için unsur bazlı enerji tüketim tahmini değerleri [78].

Unsur	Hacim (mm ³)	Kütle (g)	Özgül Lazer Enerjisi (kwh/kg)	Sinterleme için Enerji Tüketimi (kj)
Dış Çap	1430.4	6.337	126.045	2876.4
Kanal Açma	797.57	3.533	126.045	1602
Dikdörtgen Şişirme	47.07	0.209	126.045	93.6
Yuvarlak Cep	818.64	3.627	126.045	1645.2
Toplam:				6217.2

Lazer sinterleme işlemi sırasında tahmin edilen makinanın tükettiği enerji E_{makina} , lazerin tükettiği enerji $E_{\text{sinterleme}}$ ve toplam tüketilen enerji E_{toplam} olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.4'te yer almaktadır. Ayrıca yapılan deneyler sırasında lazer sinterleme işlemi için ölçülen toplam enerji tüketim değeri ise $38714,4 \text{ kj}$ 'dür [78].

Çizelge 3.4 : Seçili lazer sinterleme işlemi için enerji tüketim tahmini [78].

E_{makina} (kj)	$E_{\text{sinterleme}}$ (kj)	E_{toplam} (kj)
39247.2	6217.2	45464.4

4. DÖNER ÇARKLARIN TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARINDA İŞLENMESİ İÇİN İŞLEM PLANLAMASININ HAZIRLANMASI

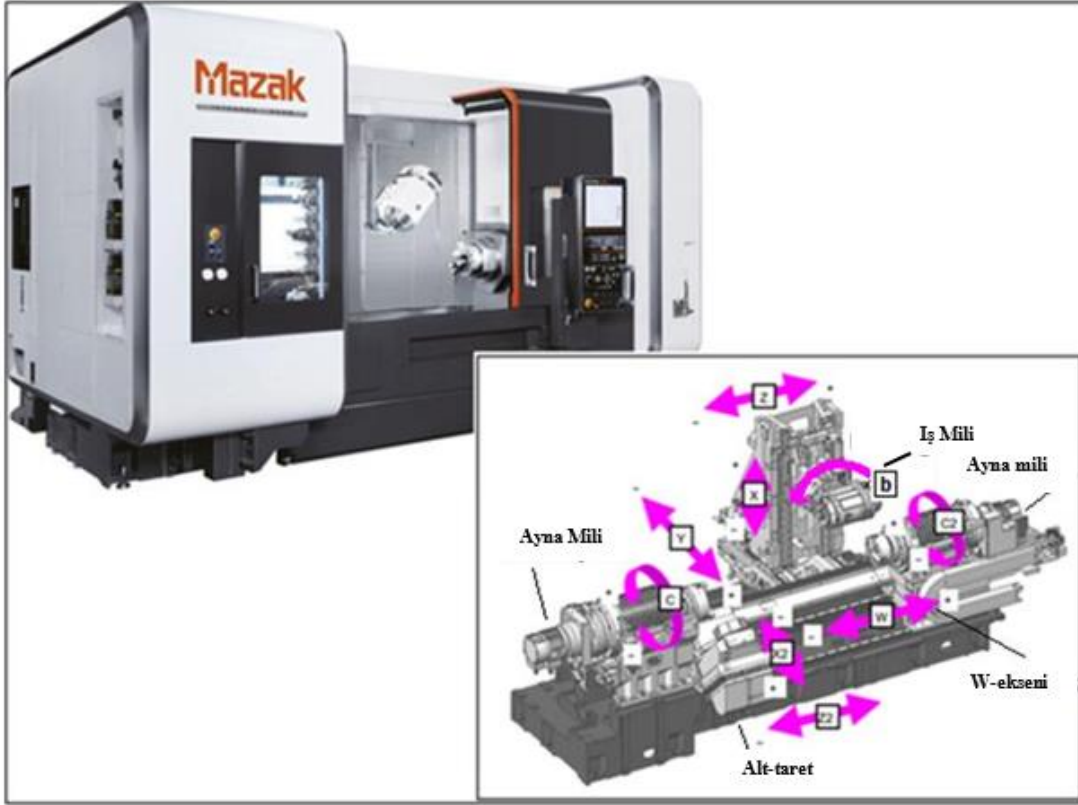
4.1 Takım Tezgahının Özellikleri

Torna-freze teknolojisi günümüzde CNC tezgahlarında uygulanmaya başlayan ileri imalat teknolojilerinden biridir. CNC tezgahları yüksek verimlilik, doğruluk, tekrarlanabilirlik ve esneklik gibi gereklilikleri yerine getirebilmek için kullanılan makinalardır. Torna-freze işlemleri sırasında Şekil 4.1’te görülen Mazak-i200st kullanılmaktadır. Toplamda 13 eksenli bir makinadır ve 5 eksen simultane hareket edebilmektedir. Ayna millerinin maksimum hızı 5000 rpm olup maksimum ayna açıklığı 8 in’dir ve C ekseninde 360° hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Aynı zamanda iş milinin maksimum hızı 12000 rpm olup B ekseninde 240° hareket edebilmektedir. Öte yandan 36 farklı kesici takım bulundurabilecek magazine sahiptir. Torna-freze işlemlerinde ayna mili sabit olup iş mili kafası dönerek freze işlemi yapılabilir veya ayna mili sabitken alt taret dönerek freze işlemi yapılabilir. Öte yandan, torna-freze işlemlerinde torna işlemi ise ayna mili dönerken sabit olan alt taret tarafından veya ayna milinin dönmesiyle dönen iş parçası üzerinde sabit olan iş mili kafası tarafından tornalama işlemi yapılabilir. Bütün bu sebeplerden ötürü, karmaşık parçaların imalatı sırasında bu tür takım tezgahları kullanıldığı zaman maksimum çok yönlülük ve üretim verimliliği sağlar.

4.2 Döner Çark Parçaları için İşlem Planlaması

Bu çalışmada, Kahya ve Serin’in(2016) geliştirmiş olduğu torna-freze tezgahlarında unsur bazlı enerji tahmin modelini daha da geliştirerek serbest form yüzeylere sahip döner çark parçalarının, torna-freze takım tezgahlarında 5 eksen simultane talaşlı imalat işlemleri sırasında tüketilen kesme enerjisi ve ince talaş işlemi sonucunda elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bu tahmin modellerini oluşturabilmek amacıyla ilk önce döner çark parçalarının işlem planlaması

çıkartılmıştır. İşlem planlaması tornalama işlemi, frezeleme işleminde kaba talaş ve frezeleme işleminde ince talaş işlemi olarak 3'e ayrılmıştır.



Şekil 4.1 : Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahı.

Döner çarkların imalatı TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi İleri İmalat Laboratuvarında bulunan Şekil 4.1'de de görülen Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahı kullanılarak yapıldığı için hem tornalama işlemleri hem de frezeleme işlemleri tek bağlamda yapılmıştır. Şekil 4.2'de görülen işlem planlaması döner çarkların tornalama işlemi sırasında kullanılmıştır

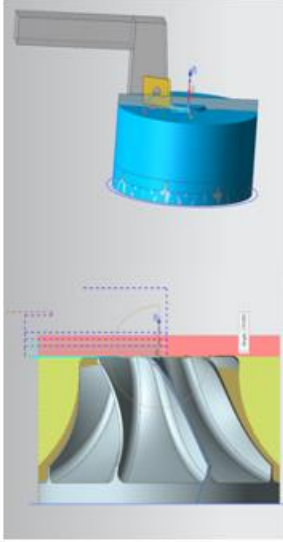
Döner çarkların tornalama işlemi için 2 farklı kesici takım kullanılmıştır. Kaba talaş için SECO-CNGG120408-MF1,CP500, ince talaş işlemi için SECO-VBMT160308-F1,CP500 kesici takımları kullanılmıştır. Her iki kesici takım için seçilen kaplama türü ise CP500'dür. CP500 kaplama türünün en büyük özelliği M türü olan paslanmaz çelikler, S türü olan titanyum bazlı çelikler ile süper alaşımlar ve P türü olan düşük alaşımlı ferritik çelikler, HSS çelikleri ile ferritik ve martensitik çelikler için uygun olmasıdır. Şekil 4.2'de gösterilen işlem planlamasında yazan kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği değerleri Seco kataloğundan bakılarak belirlenmiştir. Ayrıca Seco

katalogunda, Çizelge 4.1’de gösterilen AISI 304 paslanmaz çeliğin içerdiği bileşen miktarlarına göre türü M2 olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : AISI 304 paslanmaz çeliğin özellikleri.

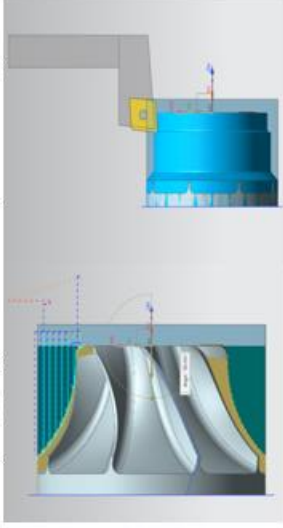
Fiziki Özellikleri	
Özkütlesi	8gr/cm ³
Mekanik Özellikleri	
Sertlik, Brinell	123
Sertlik, Rockwell B	70
Akma Dayanımı	215 MPa
Elestik Modül	193-200 GPa
Poisson Oranı	0.29
Kesme Modülü	86 GPa
Bileşenleri	C(max. 0.08), Cr (18-20), Fe(66.345-74), Mn(max. 2), Ni(8-10.5), P(max. 0.045), S(max. 0.03), Si(max. 1)

a)Ahn Tornalama (Kaba Talaş)



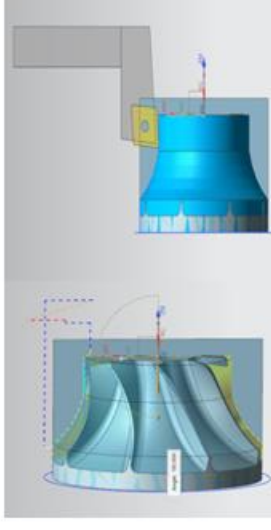
Operasyon Tipi	Tornalama
Alt Operasyon Tipi	Ahn Tornalama
Kesme Stratejisi	Doğrusal zik tarama (linear zig)
Kesme Hızı(m/dk)	240.21
İlerleme(mm/devir)	0.1333
Kesme Derinliği(mm)	0.4
Kaplama	CP500
Burun Yarıçapı	1,2
Stok miktarı (mm)	0
Kesici takım numarası	SECO-CNKG120408-MF1,CP500

b)Dış Çap Tornalama(Kaba Talaş)



Operasyon Tipi	Tornalama
Alt Operasyon Tipi	Dış çap kaba tornalama
Kesme Stratejisi	Doğrusal zik tarama (linear zig)
Kesme Hızı(m/dk)	188.4
İlerleme(mm/devir)	0.2
Kesme Derinliği(mm)	0.4
Kaplama	CP500
Burun Yarıçapı	1,2
Stok miktarı (mm)	1
Kesici takım numarası	SECO-CNKG120408-MF1,CP500

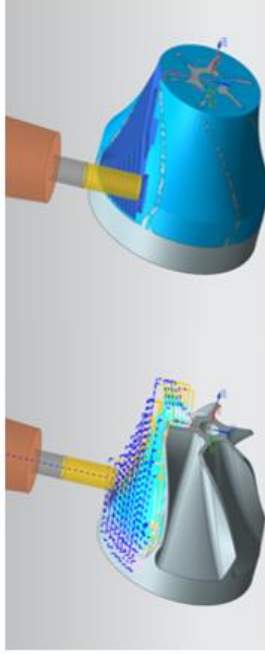
c)Dış Çap Tornalama (İnce Talaş)



Operasyon Tipi	Tornalama
Alt Operasyon Tipi	Dış çap ince talaş kaldırma
Kesme Stratejisi	Doğrusal zik tarama (linear zig)
Kesme Hızı(m/dk)	376.8
İlerleme(mm/devir)	0.0666
Kesme Derinliği(mm)	0.25
Kaplama	CP500
Burun Yarıçapı	0,8
Stok miktarı (mm)	0
Kesici takım numarası	SECO-VBMT160408-F1, CP500

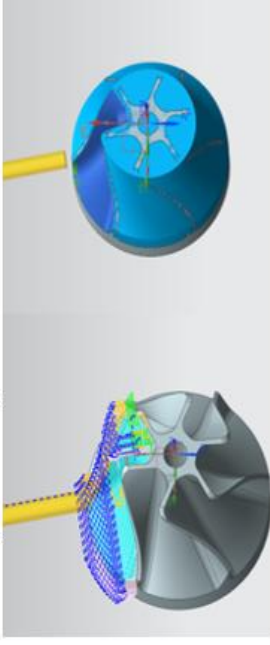
Şekil 4.2 : Tornalama işlem planlaması.

a) Frezeleme İşlemi-8'lik parmak freze
(Kaba Talaş)



Operasyon Tipi	Freze Konturlama (mill counter)
Alt Operasyon Tipi	Kaba Operasyon (cavity mill)
Kesme Metotları	Profil
Kesme Yönu	Tırmanma kesimi (climb cut)
Kesme Hızı (m/dk)	75
Dış Başına İlerleme (mm/devir)	0.04
Dış sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	2
Kesme Derinliği (mm)	1,25
Devir	2984.155rpm
Stok miktarı	0,4
Kaplama	SIRON-A
Kullanılan Eksenler	3-eksen
Kullanılan Takım	8'lik parmak freze
Kesici Takım Numarası	JS553080Z3.0-SIRON-A

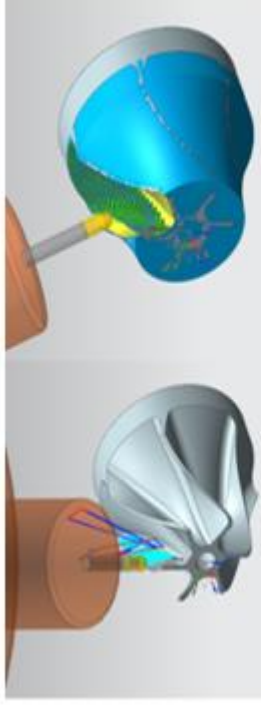
b) Frezeleme İşlemi-6'lik parmak freze
(Kaba Talaş)



Operasyon Tipi	Freze Konturlama (mill counter)
Alt Operasyon Tipi	Kaba Operasyon (cavity mill)
Kesme Metotları	Profil
Kesme Yönu	Tırmanma kesimi (climb cut)
Kesme Hızı (m/dk)	98
Dış Başına İlerleme (mm/devir)	0.064
Dış sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	1
Kesme Derinliği (mm)	1
Devir	5200rpm
Stok miktarı	0,3
Kaplama	SIRON-A
Kullanılan Eksenler	3-eksen
Kullanılan Takım	6'lik parmak freze
Kesici Takım Numarası	JS553060Z3.0-SIRON-A

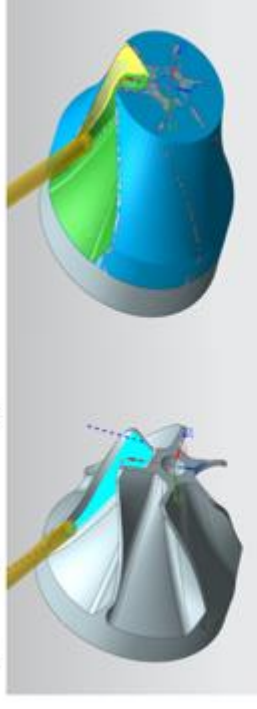
Şekil 4.3 : Kaba talaş frezeleme işlemleri.

a)Serbest Form Yüzeylerinde Frezeleme İşlemi (Ara-kaba)



Operasyon Tipi	Multi-eksen frezeleme
Alt Operasyon Tipi	Değişken konturlama (Variable Counter)
Kesme Stratejisi	Akış Çizgisi(streamline)
Kesme Yönü	Tırmanma kesimi (Climb Cut)
Kesme Hızı (m/dk)	80
Diş Başına İlerleme(mm/devir)	0.04
Diş Sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	0.2
Devir	5093 rpm
Stok miktarı	0.25
Kaplama	TRIBON
Kullanılan Eksenler	5-eksen
Kullanılan Takım	5'lik küresel parmak freze
Kesici Takım Numarası	JH720050-TRIBON

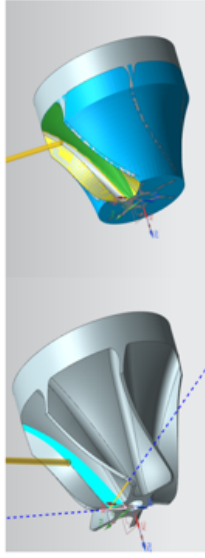
b)Serbest Form Yüzeylerinde Frezeleme İşlemi (İnce talaş)



Operasyon Tipi	Multi-eksen frezeleme
Alt Operasyon Tipi	Değişken konturlama (Variable Counter)
Kesme Stratejisi	Akış Çizgisi(streamline)
Kesme Yönü	Tırmanma kesimi (Climb Cut)
Kesme Hızı (m/dk)	65
Diş Başına İlerleme(mm/devir)	0.035
Diş Sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	0.25
Kesme Derinliği (mm)	0.25
Devir	4138 rpm
Stok miktarı	0
Kaplama	TRIBON
Kullanılan Eksenler	5-eksen
Kullanılan Takım	5'lik küresel parmak freze
Kesici Takım Numarası	JH720050-TRIBON

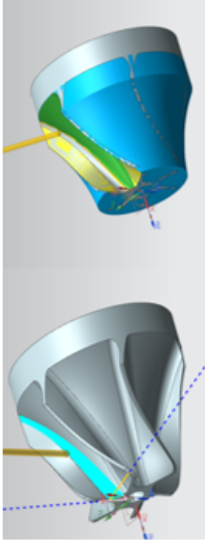
Şekil 4.4 : Serbest form yüzeylerin frezeleme işlemleri.

a) İç Radyusların Frezeleme İşlemi
(Ara-kaba)



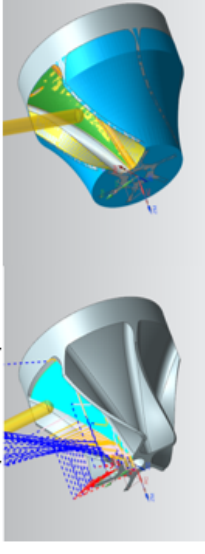
Operasyon Tipi	Multi-eksen frezeleme
Alt Operasyon Tipi	Değişken konturlama (Variable Counter)
Kesme Stratejisi	Akış Çizgisi (streamline)
Kesme Yönü	Tırmalama kesimi (Climb Cut)
Kesme Hızı (m/dk)	80
Dış Başma İlerleme(mm/devir)	0.04
Dış Sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	0.5
Devir	5093 rpm
Stok miktarı	0.3
Kaplama	TRIBON
Kullanılan Eksenler	5-eksen
Kullanılan Takım	5'lik küresel parmak freze
Kesici Takım Numarası	JH720050-TRIBON

b) İç Radyusların Frezeleme İşlemi
(İnce talaş)



Operasyon Tipi	Multi-eksen frezeleme
Alt Operasyon Tipi	Değişken konturlama (Variable Counter)
Kesme Stratejisi	Akış Çizgisi (streamline)
Kesme Yönü	Tırmalama kesimi (Climb Cut)
Kesme Hızı (m/dk)	70.7
Dış Başma İlerleme(mm/devir)	0.035
Dış Sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	0.3
Kesme Derinliği (mm)	0.3
Devir	4500 rpm
Stok miktarı	0
Kaplama	TRIBON
Kullanılan Eksenler	5-eksen
Kullanılan Takım	5'lik küresel parmak freze
Kesici Takım Numarası	JH720050-TRIBON

c) Taç Yüzeyinin Frezeleme İşlemi
(İnce talaş)



Operasyon Tipi	Freze konturlama (mill counter)
Alt Operasyon Tipi	Alan konturlama (Counter Area)
Kesme Stratejisi	Alan Frezeleme (Area milling)
Kesme Yönü	Tırmalama kesimi (Climb Cut)
Kesme Hızı (m/dk)	62.8
Dış Başma İlerleme(mm/devir)	0.05
Dış Sayısı	3
Yanal Kayma (mm)	0.5
Kesme Derinliği (mm)	0.5
Devir	4000 rpm
Stok miktarı	0
Kaplama	TRIBON
Kullanılan Eksenler	3-eksen
Kullanılan Takım	5'lik küresel parmak freze
Kesici Takım Numarası	JH720050-TRIBON

Şekil 4.5 : İç radyusların ve taç yüzeyinin frezeleme işlemleri.

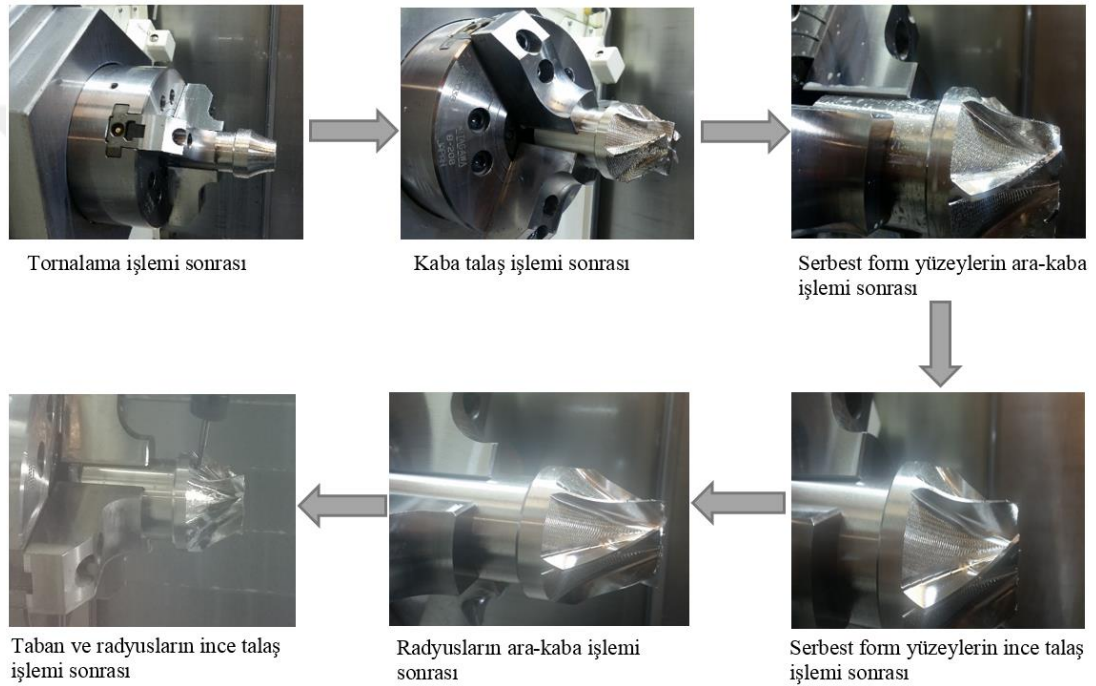
İş parçasının tornalama işlemi tamamlandıktan sonra parçayı ayna milinden sökmeden tek bağlamada Şekil 4.3'te belirtilen işlem planlamasına göre iş parçasının kaba talaş frezeleme işlemi yapılmıştır. Döner çarkların kaba talaş frezeleme işlemleri 2'ye ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Kaba talaş işleminin ikiye ayrılarak yapılmasının en önemli gerekçesi ince talaş işlemine üniform talaş kalıntıları bırakarak ince talaş işleminin süresini azaltmak ve daha iyi yüzey kalitesine sahip parçalar elde etmektir. Tasarlanan kaba talaş frezeleme işlemlerinde SECO-JS553080Z3.0-SIRON-A takım numarasına sahip 8'lik parmak freze ve SECO-JS553060Z3.0-SIRON-A 6'lık parmak freze kesici takımları sırasıyla kullanılmıştır. Her iki kesici takım için de seçilen SIRON-A kaplama türü AISI 304 paslanmaz çelikler için uygundur. Şekil 4.3'te gösterilen işlem planlamasında yazan kesme hızı, dış başına ilerleme, kesme derinliği ve yanal kayma değerleri Seco kataloğundan bakılarak belirlenmiştir.

Kaba talaş frezeleme işlemlerinden sonra ara-kaba kesim işlemleri ve ince talaş işlemleri sırasıyla gerçekleştirilerek döner çarkların imalatı tamamlanmıştır. Ara-kaba ve ince talaş işlemlerini daha rahat yapabilmek ve daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için serbest form yüzeyleri, iç radyuslar ve taç yüzeyinin imalatı şeklinde döner çarkların talaşlı imalatı 3'e ayrılmıştır. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 'e bakıldığı zaman serbest form yüzeylerin frezeleme işlemleri bittikten sonra taç yüzeyi ve iç radyusların frezeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te yer alan talaşlı imalat yöntemlerinin her birinde 5'lik küresel parmak freze ve bu kesici takımlar için Tribon kaplama türü kullanılmıştır. Tribon kaplama türü AISI 304 paslanmaz çeliklerin ara-kaba ve ince talaş işlemleri için uygundur.

Serbest form yüzeyleri ve iç radyusların hem ara-kaba kesim işlemleri hem de ince talaş işlemleri sırasında torna-freze takım tezgahı 5-eksen simultane bir şekilde kullanıldığı için kesme stratejisi olarak değişken akış çizgisi (streamline) kullanılmıştır. Özellikle serbest form yüzeylerde ince talaş işlemi uygulandıktan sonra iyi yüzey kalitesine sahip kanatlar elde edebilmek için talaşlı imalat sırasında kesici takımın kanat üzerinde hareket noktalarını belirleyebilmek amacıyla interpolasyon vektörü (interpolate vector) komutundan yararlanılmıştır. Bu komut sadece akış çizgisi kesme stratejisinde bulunan bir komuttur. Öte yandan taç yüzeyinin frezeleme işlemi sırasında sadece 3-eksen kullanılmıştır. Bu yüzeyin imalatı sırasında serbest form yüzeyleri ve iç radyuslar gibi simultane 5-eksen talaş kaldırma işlemine ihtiyaç

duyulmamıştır. Bu yüzden kesme stratejisi olarak akış çizgisi yerine alan frezeleme (area milling) kullanılmıştır. İşlem planlamasında yazan kesme hızı, diş başına ilerleme, kesme derinliği ve yanal kayma değerleri tornalama ve kaba talaş frezeleme işlemlerinde olduğu gibi Seco kataloğundan bakılarak belirlenmiştir.

Döner çark parsının işlem planlaması yapıldıktan sonra Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahında her bir işlem kademesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6’da her bir işlem kademesinin torna-freze takım tezgahında talaşlı imalatı sonrasında elde edilen görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.6 : İşlem kademelerinin talaşlı imalat sonrası görüntüleri.



5. TORNA-FREZE TEZGAHLARININ ENERJİ TAHMİN MODELİNİN OLUŞTURULMASI

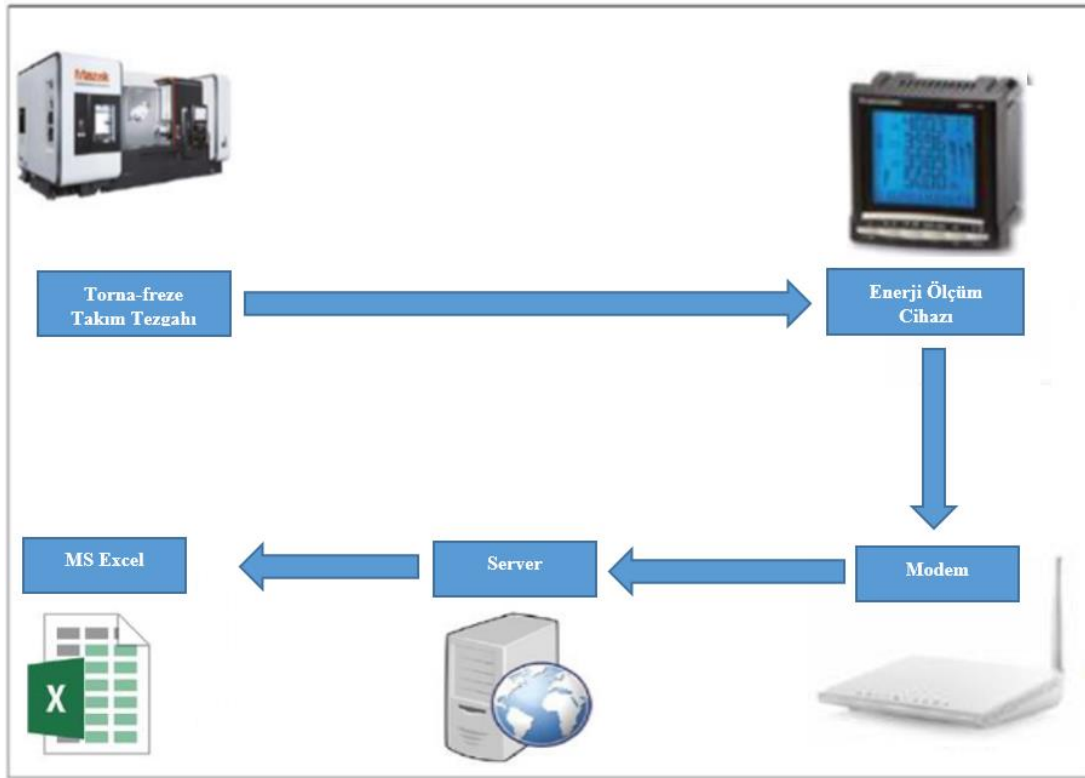
Döner çarkların torna-freze takım tezgahlarında enerji verimliliğini göz önünde bulundurarak işlenmesi için entegre işlem planlaması hazırlandıktan sonra bu bölümde, boşa enerji, yardımcı enerji ve kesme enerjisini Denklem (5.1)'de gösterildiği gibi torna-freze takım tezgahları için genel bir enerji tüketim modeli sunulmuştur.

$$E_{toplam} = E_{temel} + E_{yardımcı} + E_{kesme} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'de yer alan E_{toplam} toplam tüketilen enerjiyi, E_{temel} makinanın hazır konumda, aydınlatma, fanlar, bilgisayarlar gibi sabit birimlerin tükettiği enerjiyi, $E_{yardımcı}$ yardımcı birimlerin tükettiği enerjiyi ve E_{kesme} metal kesme işlemi sırasında tüketilen enerjiyi temsil etmektedir. Bu denklemden yararlanarak kesme işlemi için tüketilen enerji değerini elde etmeden önce toplam enerji değerini ve temel enerji ile yardımcı enerji değerlerini bulmak gerekir. Bütün bu enerji değerlerini bulabilmek amacıyla Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahının talaşlı imalat sırasında çektiği güç Socomec DIRIS A40 markalı çok fonksiyonlu enerji ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu enerji ölçüm cihazı, anlık güç, akım, voltaj ve benzeri bilgileri kullanıcıya takılı LCD ekran aracılığıyla sağlar, örnekleme süresi 1 saniyedir, alınan veriler saniyede bir ekrana yansıtılır.

Modemden alınan IP adresi enerji sayacına manuel olarak girilir, böylece sunucuya veri aktarımı Ethernet bağlantısı ile sağlanabilir. Enerji ölçüm cihazı üzerinden verilen IP adresi sayesinde herhangi bir bilgisayar üzerinden enerji ölçüm cihazına bağlantı kurulabilir. Böylece, uzaktan veri izleme çevrimiçi olarak sağlanabilmektedir. Wamp Server sunucusu sayesinde sunucunun kurulu olduğu bilgisayarda veriler kaydedilir. Sunucu arabirimlerinde saklanan veriler, dosya formatı için 'Dışa Aktar' ve ardından 'MS Excel için CSV' komutu sayesinde bir excel dosyasına kaydedilebilir. Bu sayede takım tezgahlarının anlık güç değerleri bir excel dosyasına aktarılır.

Şekil 5.1'de, takım tezgahlarından Socomec DIRIS A40 enerji ölçüm cihazı aracılığıyla alınan verilerin excel dosya biçimine aktarılma aşamaları görülmektedir.



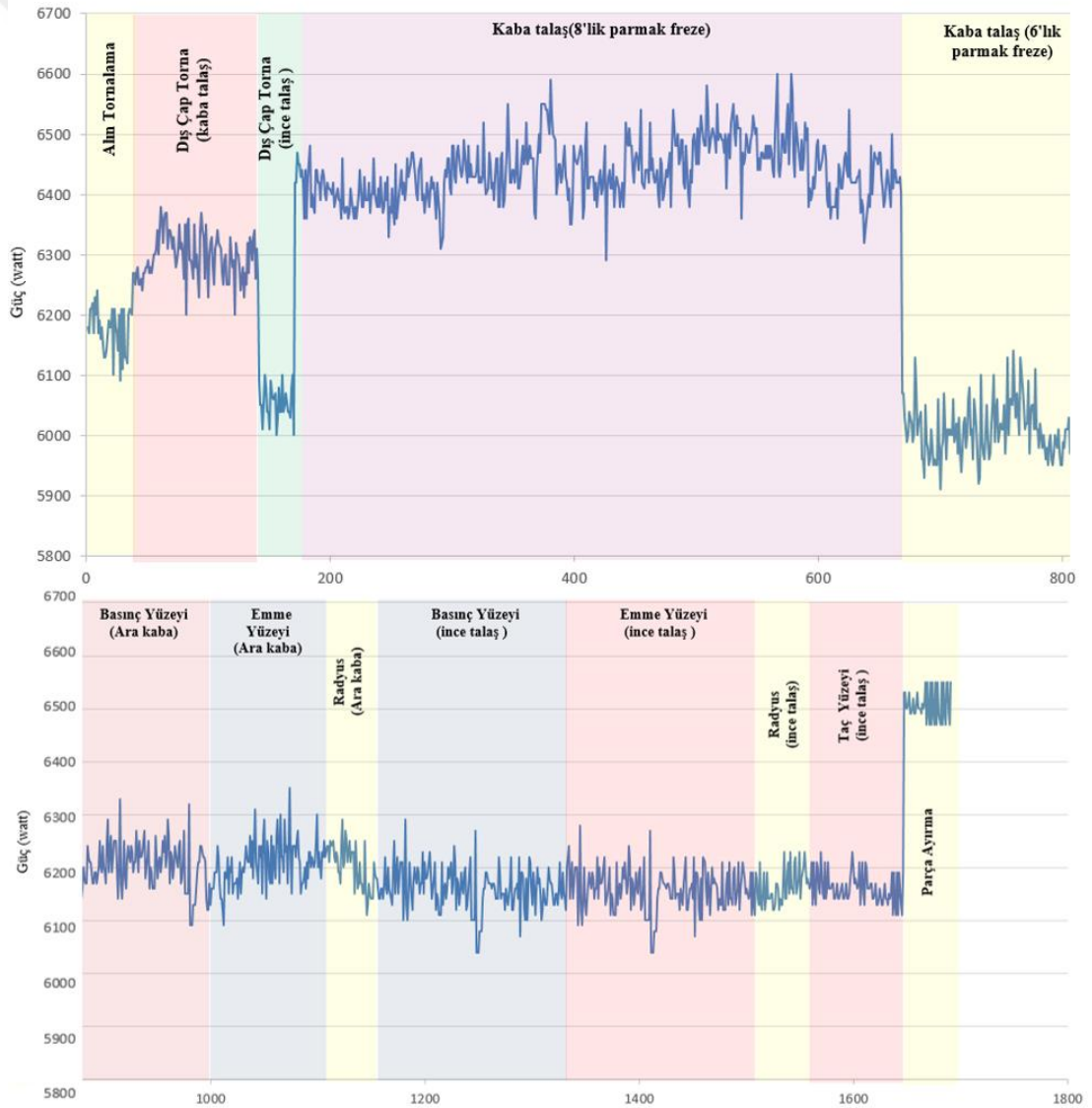
Şekil 5.1 : Veri transfer şablonu.

Socomec DIRIS A40 ölçüm cihazının kaydettiği torna-freze takım tezgahının çektiği anlık güç verilerinden yararlanarak oluşturulan her bir işlem kademesinin harcadığı güç değerleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.2'de gösterilen torna-freze takım tezgahının çektiği toplam güç değerleri, döner çark parçasının tornalama işlemi, iki kanadının ve bir taç yüzeyinin frezeleme işlemi, radyusların frezeleme işlemi ve parça ayırma işlemleri olarak sırasıyla elde edilmiştir.

Ayrıca Şekil 5.2'ye bakıldığı zaman, tornalama işlemleri için harcanan süreler diğer işlem kademelerinin sürelerine nazaran daha azdır. İşlem kademeleri arasında 8'lik parmak freze kullanılarak yapılan kaba talaş işleminin süresi, diğer bütün işlem kademeleri sürelerinden daha fazladır ve bu işlem sırasında harcanan ortalama güç 6439,38 watt olarak hesaplanmıştır. 8'lik parmak freze kullanılarak yapılan kaba talaş işlemine göre 6'lık parmak freze kullanılarak yapılan kaba talaş işleminin hem süresi hem de işlem sırasında harcanan ortalama güç daha azdır. Öte yandan basınç ve emme yüzeylerinin arakaba işlemleri ve ince talaş işlemleri sırasında harcanan güç değerleri

birbirine yakın olmasına rağmen, bu yüzeylerin ince talaş işlemleri sırasında harcanan süreler arakaba işlemleri sırasında harcanan sürelerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Parça ayırma işlemi sırasında harcanan ortalama güç değeri 6508 watt'dır. Bu değer diğer işlem kademelerinde harcanan ortalama güç değerlerinden fazladır. Fakat bu işlem için harcanan süre ise çok azdır.

Enerji ölçüm cihazı kullanılarak elde edilen torna-freze takım tezgahının çektiği toplam güç değerlerinden takım tezgahının talaşlı imalat sırasında çektiği temel ve yardımcı güç değerlerini çıkartarak sadece parça kesimi için harcanan güç değerleri elde edilir. Bunun için takım tezgahının çektiği temel güç ve yardımcı elemanların çektiği güç değerleri hesaplanmalıdır.



Şekil 5.2 : İşlem kademelerinin güç isteri.

5.1 Temel Enerji

Denklem (5.2)'de yer alan E_{temel} talaşlı imalat operasyonunu gerçekleştirebilmek için takım tezgahının hazır durumda olduğu anda tükettiği enerjidir. Takım tezgahında herhangi bir işlem yokken tezgahın güç tüketimi sabittir, bu nedenle boшта çalıştığı anda tükettiği enerji değeri, takım tezgahı boшта çalışırken harcadığı sabit güç değeri ile takım tezgahının boшта çalıştığı süre çarpılarak elde edilir. Takım tezgahı boшта çalışırken tükettiği enerji, Denklem (5.2)'deki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$E_{temel} = P_{temel} \cdot \Delta t_{temel} \quad (5.2)$$

Bu denklemde yer alan P_{temel} takım tezgahı boшта çalışırken çektiği güç değerini ve Δt_{temel} ise boшта çalıştığı süreyi ifade eder. Mazak i-200st torna-freze takım tezgahına ait P_{temel} değerini elde edebilmek için takım tezgahı belli bir süre boшта çalıştırılmıştır ve bu değer 3873 watt olarak elde edilmiştir. Her bir işlem kademesine ait temel enerji değerini bulabilmek için her bir işlem kademesine ait deneysel süre değeri ile 3873 watt olarak bulunan P_{temel} değeri çarpılmıştır.

5.2 Yardımcı Enerji

Soğutma sıvısı ünitesi, soğutma ünitesi ve konveyör sistemi torna-freze takım tezgahının yardımcı alt birimlerini oluşturmaktadır. Tüm yardımcı alt birimler için geçerli enerji tüketim modeli bu bölümde ayrı ayrı belirtilmiştir. Soğutma sıvısı ünitesinin ve konveyörün güç tüketimi herhangi bir parametreye bağımlı olmadıklarından sabittir, bu nedenle soğutma sıvısı ünitesi ve konveyörün enerji tüketimi, Denklem (5.3) ve (5.4) 'de gösterilen bu birimlerin aktif olma zamanı ile sabit güç tüketim değerlerinin çarpımı ile elde edilmiştir.

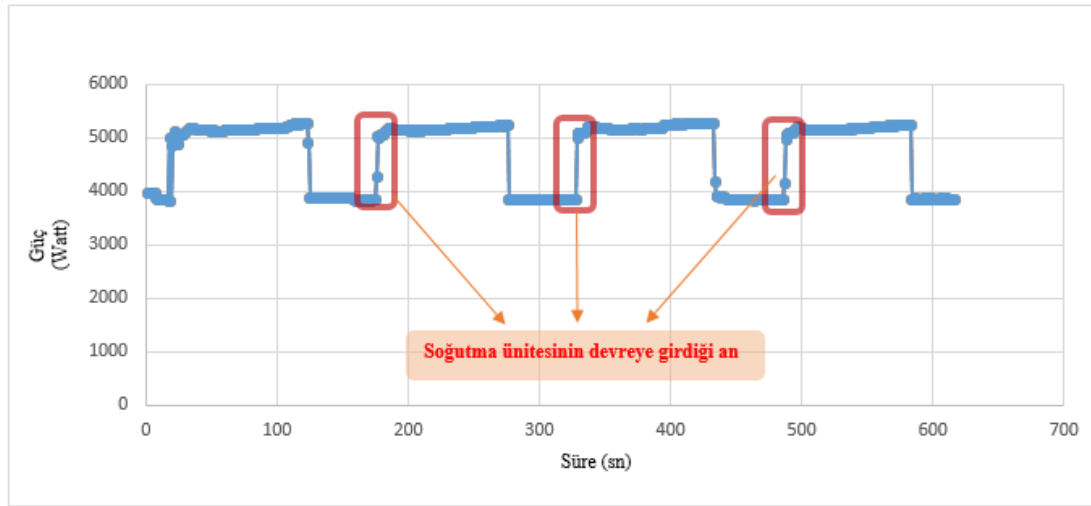
$$E_{soğutma\ sıvısı\ ünitesi} = P_{soğutma\ sıvısı\ ünitesi} \cdot \Delta t_{soğutma\ sıvısı\ ünitesi} \quad (5.3)$$

$$E_{konveyör} = P_{konveyör} \cdot \Delta t_{konveyör} \quad (5.4)$$

Soğutma ünitesinin tükettiği enerji değerini bulabilmek için Denklem (5.5)'de gösterildiği gibi bu birimin tükettiği enerji değeri ile bu birimin aktif olarak çalıştığı süre çarpılmıştır.

$$E_{soğutma\ ünitesi} = P_{soğutma\ ünitesi} \cdot \Delta t_{soğutma\ ünitesi} \quad (5.5)$$

Soğutma ünitesi, torna-freze tezgahında talaşlı imalat işlemi sırasında Şekil 5.3’de de görüldüğü gibi takım tezgahının sıcaklığına bağlı olarak otomatik olarak devreye girmektedir. Bu ünitenin harcadığı güç miktarını ölçmek amacıyla takım tezgahı boştta çalıştırılmıştır ve bu esnada enerji ölçüm cihazının kaydettiği değerler kullanılarak çizilen zaman-anlık güç grafiğine bakıldığı zaman iki farklı güç değeri çizgisi olduğu görülmektedir. Şekil 5.3’de de görüldüğü gibi bu değerler arasındaki fark soğutma ünitesinin harcadığı güç değerini vermektedir. Bu değer yaklaşık olarak 1300 watt olarak kabul edilmiştir. Ayrıca soğutma sıvısı ünitesi ve konveyör sistemlerinin harcadığı güç değerlerini tespit edebilmek için yalnızca bu üniteler belirli bir süre çalıştırılmıştır. Soğutma sıvısı ünitesi 1835 watt ve konveyör sistemi ise 217 watt güç çekmektedir.



Şekil 5.3 : Soğutma ünitesinin çektiği güç isteri.

Sonuç olarak bu çalışmada Socomec DIRIS A40 enerji ölçüm cihazı aracılığıyla ölçülen temel ve yardımcı birimlerin güç değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Soğutma sıvısı ünitesi, soğutma ünitesi ve konveyör sistemleri yardımcı birimleri oluşturmaktadır.

Çizelge 5.1 : Temel ve yardımcı birimlerin harcadığı güç değerleri.

P_{temel}	$P_{\text{yardımcı}}$		
	$P_{\text{soğutma sıvısı ünitesi}}$	$P_{\text{soğutma ünitesi}}$	$P_{\text{konveyör}}$
3873 W	1835 W	1300 W	217 W

5.3 Kesme Enerjisi

Bu çalışmada asıl incelenmek istenen enerji türü, her bir işlem kademesinin talaşlı imalat sırasında kesim işlemi için tükettiği kesme enerjisidir. Socomec DIRIS A40 enerji ölçüm cihazı aracılığıyla takım tezgahının çektiği toplam güç ölçüldükten sonra sonra Çizelge 5.1 'deki P_{temel} ve $P_{yardımcı}$ değerleri P_{toplam} değerinden çıkartılarak P_{kesme} değeri elde edilmiştir. Denklem (5.6)'da gösterildiği gibi toplam harcanan güç, temel ve yardımcı birimlerin harcadığı güç ile metal kesme işlemi sırasında harcanan güçlerin toplamına eşittir. Denklem (5.6) kullanılarak metal kesme işlemi sırasında harcanan güç değeri (P_{kesme}) hesaplandıktan sonra Denklem (5.7)'de yer alan eşitlik kullanılarak P_{kesme} değeri ile kesme işlemi için harcanan süre (Δt_{kesme}) çarpılarak metal kesme işlemi için tüketilen enerji (E_{kesme}) hesaplanmıştır. Kesme enerjisini hesaplayabilmek için Denklem (5.6) ve (5.7) 'yi kullanmadan Denklem (5.2), (5.3), (5.4) ve (5.5)'i kullanarak temel enerji (E_{temel})ve yardımcı enerji ($E_{yardımcı}$) değerleri hesaplanır ve Denklem (5.8)' de yer alan eşitlik kullanılarak torna-freze takım tezgahının tükettiği toplam enerji (E_{toplam}) değerinden E_{temel} ve $E_{yardımcı}$ değerleri çıkartılarak kesme enerjisi (E_{kesme}) hesaplanır. Bu iki yöntem de aynı sonuca çıkmaktadır.

Bu çalışmada her bir işlem kademesi için Çizelge 5.2'de verilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilen kesme işlemi sırasında tüketilen enerjiler hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler kullanılarak her bir işlem kademesinde tüketilen kesme enerjisinin, torna-freze takım tezgahında tüketilen toplam kesme enerjisi üzerindeki dağılımı Şekil 5.4'te verilmiştir.

$$P_{toplam} = P_{temel} + P_{yardımcı} + P_{kesme} \quad (5.6)$$

$$E_{kesme} = P_{kesme} \cdot \Delta t_{kesme} \quad (5.7)$$

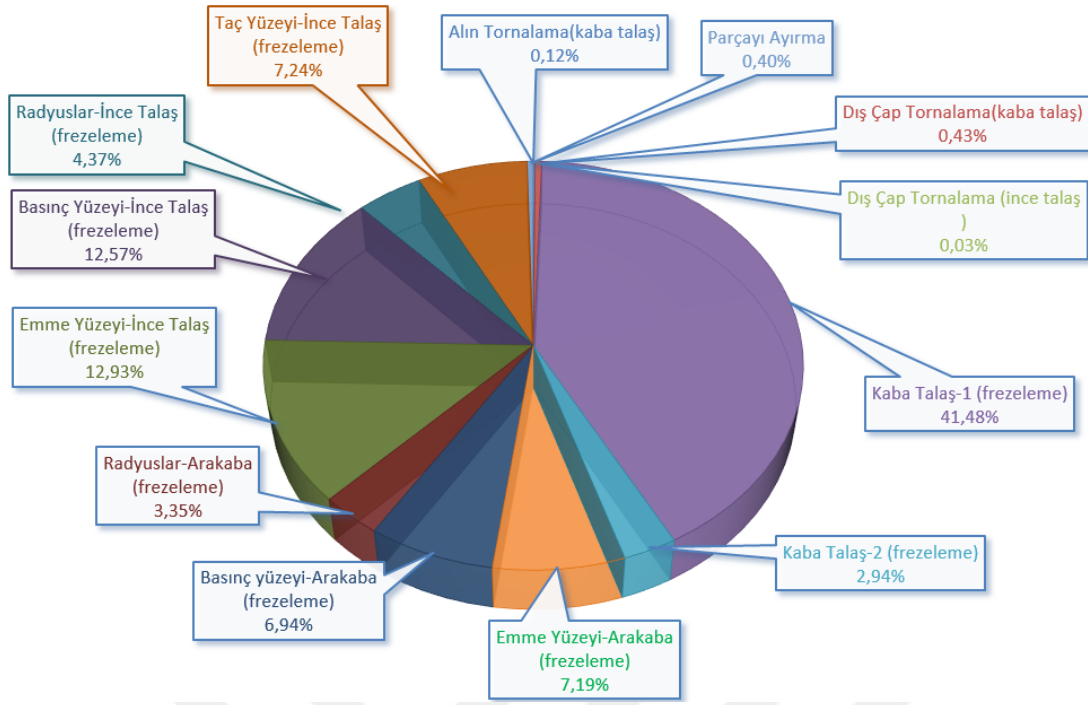
$$E_{toplam} = E_{temel} + E_{yardımcı} + E_{kesme} \quad (5.8)$$

Çizelge 5.2 : İşlem kademelerinin kesme enerjisi tüketim değerlerini hesaplamak için kullanılan parametreler.

İşlem Kademeleri:	İşlem parametreleri			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_r (mm/dk)	V_c (m/dk)
Alın Tornalama(kaba talaş)	1		200	240,21
Dış Çap Tornalama(kaba talaş)	2		300	188,4
Dış Çap Tornalama (ince talaş)	1		200	376,8
Kaba Talaş-1 (frezeleme)	1,25	2	358	75
Kaba Talaş-2 (frezeleme)	1	1	1000	98
Emme Yüzeyi-Arakaba Kesim (frezeleme)	0,5	0,5	600	62,8
Basınç yüzeyi-Arakaba Kesim (frezeleme)	0,5	0,5	600	62,8
Radyuslar-Arakaba Kesim (frezeleme)	0,5	0,5	600	62,8
Emme Yüzeyi-İnce Talaş (frezeleme)	0,25	0,25	473	70,7
Basınç Yüzeyi-İnce Talaş (frezeleme)	0,25	0,25	473	70,7
Radyuslar-İnce Talaş (frezeleme)	0,3	0,3	473	70,7
Taç Yüzeyi-İnce Talaş (frezeleme)	0,5	0,5	600	62,8
Parçayı Ayırma	1,25		29,38	75

Şekil 5.4'e bakıldığı zaman toplam enerji tüketiminde en fazla paya sahip olan işlem kademesi %41,48'lik pay ile 8'lik parmak freze kullanılarak gerçekleştirilen kaba frezeleme işlemi (Kaba Talaş-1)' dir. Bu işlemi takip eden işlem kademeleri ise %12,93'lük pay ile emme yüzeyi ve %12,57'lik pay ile basınç yüzeyi üzerinde ince talaş işlemleridir. Bu üç işlem kademesinin toplamının, toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisi % 66.98'dir. Bu yüzden bu çalışmada 8'lik parmak freze ile gerçekleştirilen kaba talaş, emme yüzeyinin ince talaş işlemi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin tüketilen enerjileri incelenmiştir.

Öte yandan bu üç işlem kademesinin enerji tüketim değerlerinin, toplam enerji tüketimi değeri üzerindeki etkisinin fazla olmasının en büyük sebebi işlem sürelerinin diğer işlem kademelerine göre daha uzun olmasıdır. Bir döner çark parçasının tamamının imalatı boyunca her bir işlem kademesinde tüketilen kesme enerjisi değerleri ve harcanan süreler Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Döner çarkın torna-freze işlem kademelerinin kesme enerjisi tüketim dağılımları.

Çizelge 5.3 : Torna-freze takım tezgahlarında işlem kademelerinde tüketilen enerji ve harcanan süre değerleri.

İŞLEM KADEMELERİ:	Süre (sn)	E _{kesme} (j)
Alın Tornalama(kaba talaş)	31	7675,1
Dış Çap Tornalama(kaba talaş)	75	27743,8
Dış Çap Tornalama (ince talaş)	15	1922,0
Kaba Talaş-1 (frezeleme)	865	2666196,4
Kaba Talaş-2 (frezeleme)	360	193758,5
Emme Yüzeyi-Arakaba Kesim (frezeleme)	284	468894,8
Basınç yüzeyi-Arakaba Kesim (frezeleme)	270	452668,5
Radyuslar-Arakaba Kesim (frezeleme)	123	215267,2
Emme Yüzeyi-İnce Talaş (frezeleme)	583	831187,8
Basınç Yüzeyi-İnce Talaş (frezeleme)	572	807834,5
Radyuslar-İnce Talaş (frezeleme)	210	287530,7
Taç Yüzeyi-İnce Talaş (frezeleme)	330	472131,0
Parçayı Ayırma	45	25845,3

6. TORNA-FREZE TAKIM TEZGAHLARI İÇİN ENERJİ TÜKETİMİ, TALAŞ KALDIRMA DEBİSİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TAHMİN MODELLERİNİN YANIT YÜZEY METODU İLE OLUŞTURULMASI

Yanıt yüzey methodu, bir gurup işlem (girdi) parametresi ile bir ya da daha fazla çıktı parametresi arasındaki ilişkileri deneysel olarak inceleyen matematiksel ve istatistiksel tekniklerin karışımıdır. Bu çalışmada yanıt yüzey methodunu kullanabilmek için belirlenen girdi parametreleri kesme derinliği (mm), yanal kayma (mm), dış başına ilerleme (mm/diş) ve kesme hızı (m/dk)'dır. Çıktı parametreleri ise kaba frezeleme işlemi için talaş kaldırma debisi (mm^3/sn) ve özgül kesme enerjisi (j/mm^3)'dir. Öte yandan emme ve basınç yüzeylerinin ince talaş işlemleri için çıktı parametreleri ise talaş kaldırma debisi (mm^3/sn), özgül kesme enerjisi (j/mm^3) ve yüzey pürüzlülüğü (μm)'dür.

Çıktı ile girdi parametreleri arasındaki ilişkinin gerçek yapısı hakkında bir yöntem geliştirebilmek ve yapıyı anlayabilmek için çeşitli deneyler yapılması gerekir. Diğer bir deyişle, çıktı parametrelerini girdi parametreleri cinsinden ifade edebilmek için her bir çıktı parametresinin tahmin modeli oluşturulmalıdır. Yanıt yüzey yöntemi kullanılarak çıktı parametrelerinin tahmin modellerini oluşturabilmek amacıyla kaba frezeleme, emme yüzeyi ince talaş ve basınç yüzeyi ince talaş işlemine özgü merkezi kompozit deney tasarımları oluşturulmuştur. Deneyde kullanılacak girdi parametresi sayısı 4'tür. Başka bir deyişle deney tasarımını oluştururken kullanılacak faktör sayısı 4 ve her bir faktör için belirlenen seviye sayısı 5'dir. Bu doğrultuda Çizelge 6.1'te kaba talaş ve serbest form yüzeylerin ince talaş işlemleri için oluşturulmuş merkezi kompozit deney tasarımı yer almaktadır. Bu çalışmada merkezi kompozit tasarımı yerine tam faktöriyel deney tasarımı kullanılacak olsaydı çok fazla sayıda deney yapılması gerektirir. Merkezi kompozit deney tasarımı kullanılarak oluşturulan deney sayısı 30 iken tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak yapılacak deney sayısı 5^4 'den 625 adet olacaktı. Merkezi kompozit deney tasarımının da 4 faktöründe birbirleriyle ikili etkileşimleri incelenir. Tam faktöriyel deney tasarımındaki gibi girdi parametrelerinin üçlü ve dörtlü etkileşimleri incelenmez. Girdi parametrelerinin çıktı

parametreleri üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için merkezi kompozit deney tasarımını kullanmak yeterlidir.

Çizelge 6.1 : Kaba talaş ve emme yüzeyi ile basınç yüzeyi ince talaş işlemlerinin deney tasarımına ait işlem parametrelerinin seviyeleri.

Kaba talaş işlemi	Yanal kayma		Kesme Derinliği		Diş Başına İlerleme		Kesme Hızı	
	Seviye	a_e (mm)	Seviye	a_p (mm)	Seviye	f_z (mm/diş)	Seviye	V_c (m/dk)
	-2	1	-2	0,5	-2	0,03	-2	63
	-1	1,5	-1	0,875	-1	0,035	-1	69
	0	2	0	1,25	0	0,04	0	75
	1	2,5	1	1,625	1	0,045	1	81
	2	3	2	2	2	0,05	2	87
Emme ve basınç yüzeyi ince talaş işlemi	Yanal kayma		Kesme Derinliği		Diş Başına İlerleme		Kesme Hızı	
	Seviye	a_e (mm)	Seviye	a_p (mm)	Seviye	f_z (mm/diş)	Seviye	V_c (m/dk)
	-2	0,1	-2	0,1	-2	0,02	-2	60
	-1	0,175	-1	0,175	-1	0,0275	-1	62,5
	0	0,25	0	0,25	0	0,035	0	65
	1	0,325	1	0,325	1	0,0425	1	67,5
	2	0,4	2	0,4	2	0,05	2	70

Çizelge 6.1’de yer alan girdi parametrelerini kullanarak yapılan deneyler sonucunda her bir işlem kademesinin Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahında talaşlı imalatı sırasında harcanan güç değerleri enerji ölçüm cihazı tarafından ölçülmüştür. Watt olarak ölçülen güç değeri, talaş kaldırma debisi değerine bölünerek her bir işlem kademesine ait özgül kesme enerjisi değerleri elde edilmiştir.

6.1 Kaba Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi ve Talaş Kaldırma Debisi

Tahmin Modelinin Oluşturulması

Döner çark parçasının kaba talaş işlemi için deney tasarımı belirlendikten sonra deneyler için Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahı kullanılmıştır. Deney sonuçları kullanılarak girdi parametreleri ile çıktı parametreleri arasında tahmin modelleri geliştirilmiştir, aynı zamanda deney sonuçlarının analizi için Varyans Analizinden (ANOVA) yararlanılmıştır. Kaba talaş işlemleri Mazak i-200ST torna freze takım tezgahlarında gerçekleştirilmiştir ve bu işlemler sırasında SECO JS553080Z3.0-SIRON-A kesici takımı kullanılmıştır.

6.1.1 Kaba talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi tahmin modelinin oluşturulması

Mazak i-200ST torna freze takım tezgahında döner çark parçalarının kaba talaş işlemlerine ait hesaplanan özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi değerleri Çizelge 6.2’ de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve kaba talaş işlemi deney sonuçları

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)
1	1,5	1,625	0,035	69	50,12	11,72
2	2	1,25	0,04	75	40,06	14,93
3	2,5	0,875	0,045	69	44,07	13,52
4	2,5	1,625	0,035	81	26,99	22,92
5	2,5	0,875	0,035	69	53,81	10,52
6	1,5	0,875	0,045	81	61,95	9,52
7	1,5	0,875	0,045	69	71,35	8,11
8	2,5	1,625	0,045	81	21,98	29,47
9	1,5	0,875	0,035	69	86,72	6,31
10	2	1,25	0,04	75	40,08	14,93
11	2,5	1,625	0,045	69	25,31	25,11
12	1,5	0,875	0,035	81	75,48	7,41
13	1,5	1,625	0,045	81	35,59	17,68
14	1,5	1,625	0,035	81	43,55	13,75
15	2	1,25	0,04	75	40,01	14,93
16	2,5	0,875	0,045	81	38,27	15,87
17	1,5	1,625	0,045	69	40,95	15,06
18	2,5	1,625	0,035	69	31,07	19,53
19	2	1,25	0,04	75	40,01	14,93
20	2,5	0,875	0,035	81	46,74	12,34
21	2	2	0,04	75	26,69	23,89
22	1	1,25	0,04	75	77,43	7,46
23	2	1,25	0,04	63	45,41	12,54
24	2	1,25	0,04	75	39,92	14,93
25	2	1,25	0,04	75	40,07	14,93
26	2	0,5	0,04	75	93,35	5,97
27	2	1,25	0,04	87	36,36	17,32
28	3	1,25	0,04	75	27,50	22,39
29	2	1,25	0,03	75	50,70	11,20
30	2	1,25	0,05	75	33,33	18,66

Çizelge 6.2’deki değerler kullanılarak girdi parametrelerinin çıktı parametreleri üzerindeki etkisi ANOVA’dan yararlanarak incelenmiştir. ANOVA sonuçlarında A,B,C,D sırasıyla yanal kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızını

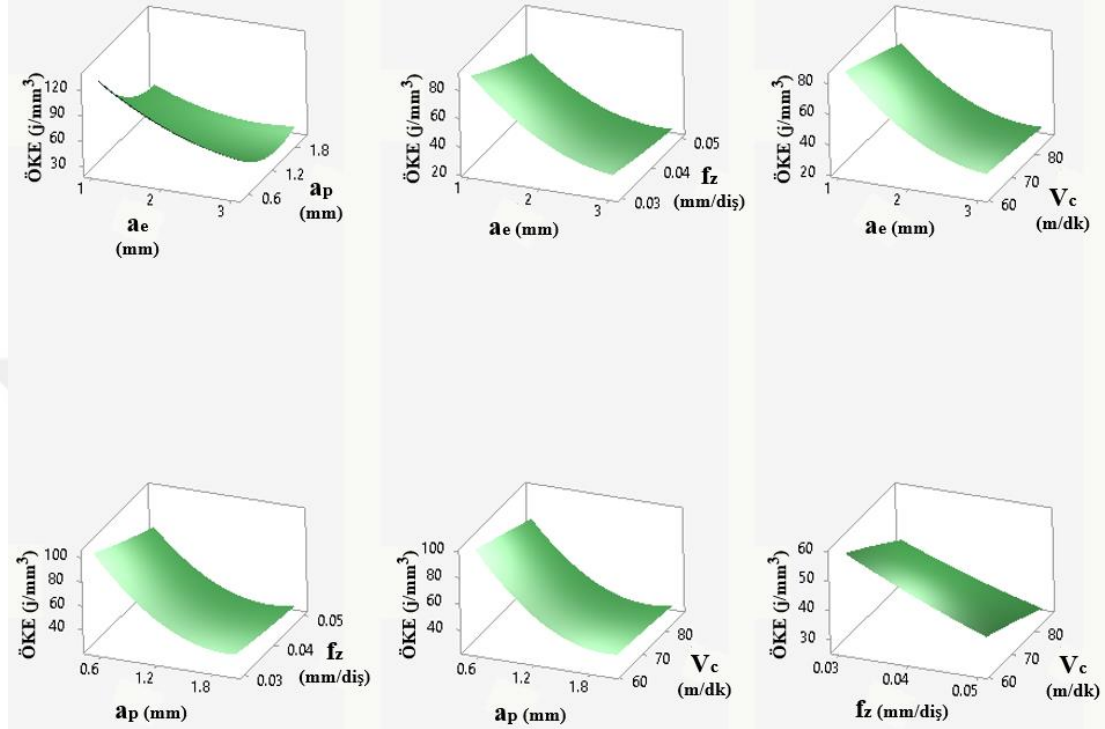
temsil etmektedir. ANOVA %95’lik güven aralığında tanımlandığı için P değerinin 0,05’in altında olması o girdi parametresinin, çıktı parametresi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, Çizelge 6.3’e bakıldığı zaman dört girdi parametresinin de özgül kesme enerjisi üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. F-değerine bakıldığı zaman özgül kesme enerjisi üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği olduğu görülmektedir. Kesme derinliği parametresinden sonra sırasıyla yanal kayma, diş başına ilerleme ve kesme hızı parametreleri özgül kesme enerjisi üzerinde etkili parametrelerdir.

Çizelge 6.3 : Kaba talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi varyans analizi

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-değeri	P-Değeri
Model	15	9622,07	641,47	84,03	0
Blok	1	12,54	12,54	1,64	0,221
Doğrusal	4	8623,86	2155,96	282,42	0
A	1	3204,8	3204,8	419,82	0
B	1	4707,56	4707,56	616,68	0
C	1	501,85	501,85	65,74	0
D	1	209,63	209,63	27,46	0
Karesel	4	778,34	194,59	25,49	0
A*A	1	218,44	218,44	28,61	0
B*B	1	608,75	608,75	79,74	0
C*C	1	1,22	1,22	0,16	0,696
D*D	1	0,15	0,15	0,02	0,892
İkili Etkileşim	6	207,33	34,56	4,53	0,009
A*B	1	142,55	142,55	18,67	0,001
A*C	1	18,17	18,17	2,38	0,145
A*D	1	9,45	9,45	1,24	0,285
B*C	1	23,06	23,06	3,02	0,104
B*D	1	12,5	12,5	1,64	0,221
C*D	1	1,61	1,61	0,21	0,653
Hata	14	106,87	7,63		
Uyum Eksikliği	10	106,86	10,69	2637,39	0
Yalın Hata	4	0,02	0		
Toplam	29	9728,95			

Ayrıca, Şekil 6.1’de görülen yanıt yüzey grafikleri sayesinde girdi parametrelerindeki değişim ile çıktı parametrelerinin nasıl etkilendiği görülmektedir. Anova değerlerine bakıldığı zaman özgül kesme enerjisine en fazla etki eden parametreler yanal kayma ve kesme derinliği parametreleridir. Bu durum yanıt yüzey metoduyla elde edilen 3-boyutlu yüzey grafiklerine de yansımıştır. Şekil 6.1’de ki grafiklere bakıldığı zaman

kesme derinliği ve yanal kayma değerlerinde meydana gelen ufak bir artış özgül kesme enerjisi değerinde ciddi anlamda azalmaya sebep olmuştur. Bunun aksine kesme hızı ve diş başına ilerlemedeki artış özgül kesme enerjisinde çok fazla bir değişim yaratmamıştır.



Şekil 6.1 : Kaba talaş işlemlerinin özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafikleri.

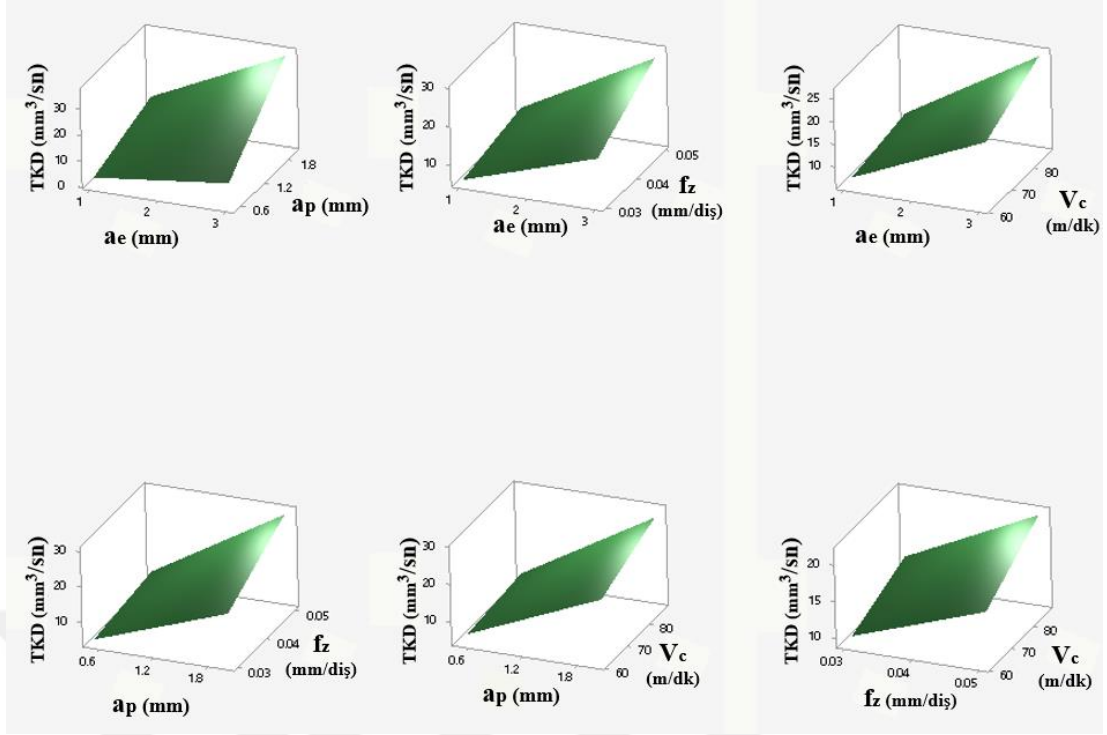
6.1.2 Talaş kaldırma debisi tahmin modelinin oluşturulması

Kesme derinliği, yanal kayma, diş başına ilerleme ve kesme hızı gibi girdi parametrelerinin talaş kaldırma debisine etkisini inceleyebilmek için ANOVA'dan yararlanılmıştır. Çizelge 6.2'de yer alan değerler kullanılarak elde edilen varyans analizi sonuçları Çizelge 6.4'te görölmektedir. ANOVA sonuçlarında A,B,C,D sırasıyla yanal kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızını temsil etmektedir.

Çizelge 6.4 : Kaba talaş işlemleri için talaş kaldırma debisi varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-değeri	P-Değeri
Model	15	965,842	64,389	1809,65	0
Blok	1	0	0	0	1
Doğrusal	4	933,452	233,363	6558,6	0
A	1	334,283	334,283	9394,92	0
B	1	481,368	481,368	13528,69	0
C	1	83,571	83,571	2348,73	0
D	1	34,231	34,231	962,04	0
Karesel	4	0	0	0	1
A*A	1	0	0	0	1
B*B	1	0	0	0	1
C*C	1	0	0	0	1
D*D	1	0	0	0	1
İkili Etkileşim	6	32,39	5,398	151,72	0
A*B	1	20,057	20,057	563,7	0
A*C	1	3,482	3,482	97,86	0
A*D	1	1,426	1,426	40,09	0
B*C	1	5,014	5,014	140,92	0
B*D	1	2,054	2,054	57,72	0
C*D	1	0,357	0,357	10,02	0,007
Hata	14	0,498	0,036		
Uyum Eksikliği	10	0,498	0,05	*	*
Yalın Hata	4	0	0		
Toplam	29	966,341			

Çizelge 6.4'teki ANOVA çıktısına bakıldığı zaman, P-değerinde 0,05'in altında hiçbir girdi parametresinin olmaması dört girdi parametresinin de çıktı parametresini etkilediğini gösterir. F-değerine bakıldığı zaman girdi parametrelerinden kesme derinliğinin talaş kaldırma debisine en fazla etki eden parametre olduğu görülmektedir. Kesme derinliği parametresinden sonra sırasıyla yanal kayma, diş başına ilerleme ve kesme hızı parametreleri çıktı parametresi üzerinde etkili parametrelerdir.



Şekil 6.2 : Kaba talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi yanıt yüzey grafikleri.

Şekil 6.2’deki durum, Çizelge 6.4’de belirtilen talaş kaldırma debisine etki eden girdi parametrelerinin çıktı parametresi üzerindeki davranışlarını yansıtmaktadır. Şekil 6.2’yi yorumlamak gerekirse girdi parametrelerinden kesme derinliğindeki değişimin, talaş kaldırma debisine etkisi en fazla olduğu görülmektedir. Girdi parametrelerinde herhangi bir artış meydana geldiği zaman özgül kesme enerjisindeki değişimin aksine, talaş kaldırma debisindeki değişim doğru orantılıdır. Başka bir deyişle, girdi parametrelerinde herhangi bir değişim meydana geldiği zaman talaş kaldırma debisindeki değişime (Şekil 6.2) ve özgül kesme enerjisindeki değişime (Şekil 6.1) bakıldığında birbirlerine zıt bir davranış söz konusudur.

6.2 İnce Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi, Talaş Kaldırma Debisi ve Yüzey Pürüzlülüğü Tahmin Modellerinin Oluşturulması

Bu Döner çarklarının torna-freze operasyonlarında işlem kademelerinin toplam kesme enerjisine olan etkilerine bakıldığı zaman, kaba talaş işleminden sonra en çok toplam kesme enerjisi tüketimine etkisi olan işlem kademeleri sırasıyla emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden bu bölümde de emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri sırasında tükettikleri özgül

kesme enerjileri, talaş kaldırma debisi ve metal kesme işleminden sonra elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Kaba talaş işleminde olduğu gibi ince talaş işlemlerinde kesme derinliği, yanal kayma, diş başına ilerleme ve kesme hızı gibi girdi parametrelerinin çıktı parametrelerine olan etkileri ANOVA ile incelenmiştir. İnce talaş kaldırma işlemleri sırasında Mazak i-200ST torna-freze takım tezgahı kullanılmış ve kesici uç olarak SECO JH720050-TRIBON kullanılmıştır.

Kaba talaş işlemlerinden farklı olarak bu işlem kademesinde yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri de ölçülmüştür. Emme ve basınç yüzeyi gibi serbest form yüzeylerinin yüzey pürüzlülüklerini ölçmek için Şekil 6.3’de görülen Mitutoyo Surftest SJ-210 ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.3 : Mitutoyo Surftest SJ-210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

6.2.1 Emme yüzeyinin ince talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğü tahmin modellerinin oluşturulması

Özgül kesme enerjisini Socomec DIRIS A-40 enerji ölçüm cihazı kullanılarak torna-freze takım tezgahının talaşlı imalat sırasında harcadığı toplam güç değerleri ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak sadece metal kesme işlemi için harcanan güç değerleri elde edilmiş ve hesaplanan güç değeri talaş kaldırma debisine bölünerek bu işlem kademesine ait özgül kesme enerjisi değerleri elde edilmiştir. Özgül kesme enerjisi dışında hesaplanan talaş kaldırma debisi ve ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri de Çizelge 6.5’te yer almaktadır.

Çizelge 6.5 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve emme yüzeyinin ince talaş işlemi için deney sonuçları.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	Ra (µm)
1	0,175	0,325	0,0275	62,5	441,28	0,31	0,5677
2	0,25	0,25	0,035	65	325,47	0,45	0,7843
3	0,325	0,175	0,0425	62,5	302,16	0,48	1,3323
4	0,325	0,325	0,0275	67,5	268,06	0,62	0,9633
5	0,325	0,175	0,0275	62,5	370,62	0,31	0,9300
6	0,175	0,175	0,0425	67,5	501,73	0,28	0,7333
7	0,175	0,175	0,0425	62,5	495,54	0,26	0,7160
8	0,325	0,325	0,0425	67,5	204,54	0,97	1,3497
9	0,175	0,175	0,0275	62,5	580,91	0,17	0,5527
10	0,25	0,25	0,035	65	327,68	0,45	0,7860
11	0,325	0,325	0,0425	62,5	207,47	0,89	1,3523
12	0,175	0,175	0,0275	67,5	604,16	0,18	0,5777
13	0,175	0,325	0,0425	67,5	345,21	0,52	0,7963
14	0,175	0,325	0,0275	67,5	444,39	0,34	0,6133
15	0,25	0,25	0,035	65	325,20	0,45	0,7817
16	0,325	0,175	0,0425	67,5	302,88	0,52	1,3553
17	0,175	0,325	0,0425	62,5	347,89	0,48	0,7933
18	0,325	0,325	0,0275	62,5	268,75	0,58	0,9510
19	0,25	0,25	0,035	65	325,11	0,45	0,7840
20	0,325	0,175	0,0275	67,5	378,85	0,34	0,9457
21	0,25	0,4	0,035	65	258,63	0,72	0,9443
22	0,1	0,25	0,035	65	708,77	0,18	0,4347
23	0,25	0,25	0,035	60	285,60	0,42	0,7050
24	0,25	0,25	0,035	65	322,32	0,45	0,7850
25	0,25	0,25	0,035	65	327,35	0,45	0,7837
26	0,25	0,1	0,035	65	592,83	0,18	0,6240
27	0,25	0,25	0,035	70	347,33	0,49	0,8773
28	0,4	0,25	0,035	65	228,26	0,72	1,1143
29	0,25	0,25	0,02	65	453,63	0,26	0,4843
30	0,25	0,25	0,05	65	275,75	0,65	1,0837

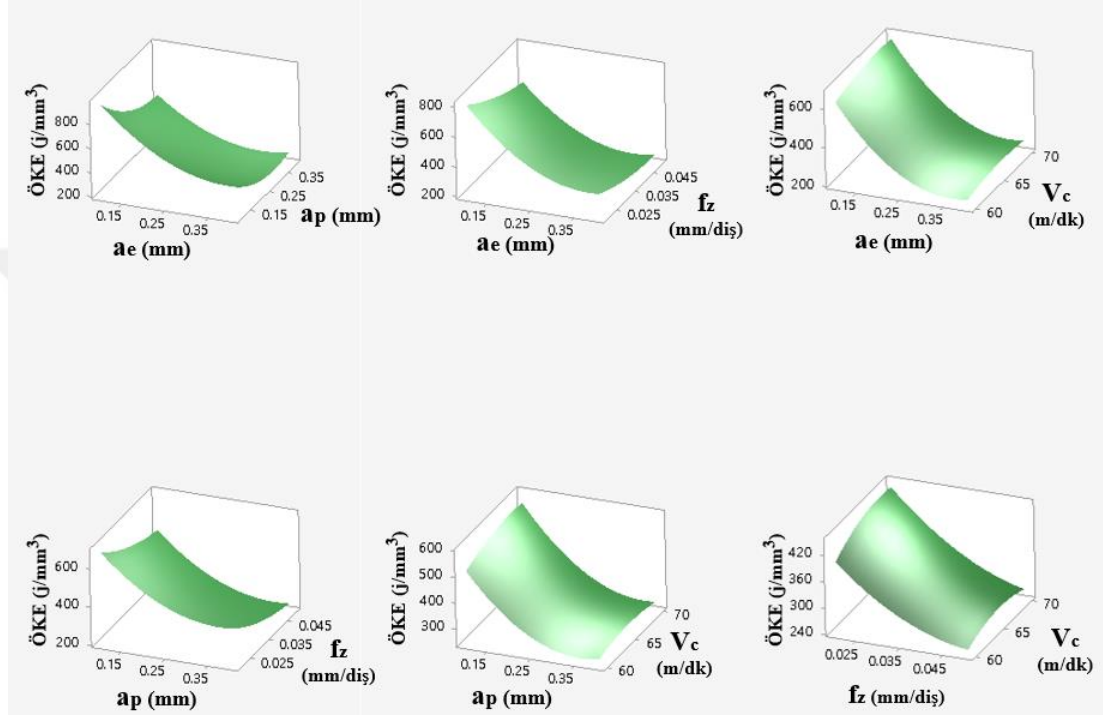
Çizelge 6.5'te gösterilen deney sonuçlarının analizini gerçekleştirebilmek için ANOVA'dan yararlanılmıştır. Çizelge 6.6'da gösterilen ANOVA sonuçlarında A,B,C,D sırasıyla yanal kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızını temsil etmektedir.

Çizelge 6.6 : Emme yüzeyi ince talaş işlemi için özgül kesme enerjisi varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-Değeri	P-Değeri
Model	15	451824	30122	52,01	0
Blok	1	905	905	1,56	0,232
Doğrusal	4	404217	101054	174,48	0
A	1	243778	243778	420,9	0
B	1	117275	117275	202,48	0
C	1	42115	42115	72,71	0
D	1	1049	1049	1,81	0,2
Karesel	4	43257	10814	18,67	0
A*A	1	30376	30376	52,45	0
B*B	1	13987	13987	24,15	0
C*C	1	1470	1470	2,54	0,133
D*D	1	615	615	1,06	0,32
İkili Etkileşim	6	3445	574	0,99	0,468
A*B	1	2447	2447	4,22	0,059
A*C	1	772	772	1,33	0,268
A*D	1	38	38	0,06	0,803
B*C	1	14	14	0,02	0,879
B*D	1	108	108	0,19	0,672
C*D	1	67	67	0,11	0,74
Hata	14	8109	579		
Uyum Eksikliği	10	8091	809	189,09	0
Yalın Hata	4	17	4		
Toplam	29	459932			

Kaba talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisi üzerinde en etkili parametre kesme derinliği olmasına rağmen, Çizelge 6.6' ya bakıldığı zaman emme yüzeyinin ince talaş

işleminde girdi parametrelerinden yanal kaymanın özgül kesme enerjisi üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Kesme hızı dışında diğer parametrelerinde P değerleri 0,05'in altında olduğu için bütün girdi parametreleri çıktı parametresi üzerinde etkilidir. Fakat Çizelge 6.6'ya bakıldığında zaman kesme hızının P-değerinin 0,05'den büyük olduğu görülmektedir. Kesme hızının P-değeri 0,05'den büyük olduğu için bu işlem kademesinde kesme hızı özgül kesme enerjisini etkilememektedir.



Şekil 6.4 : Emme yüzeyi ince talaş işleminin özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafikleri.

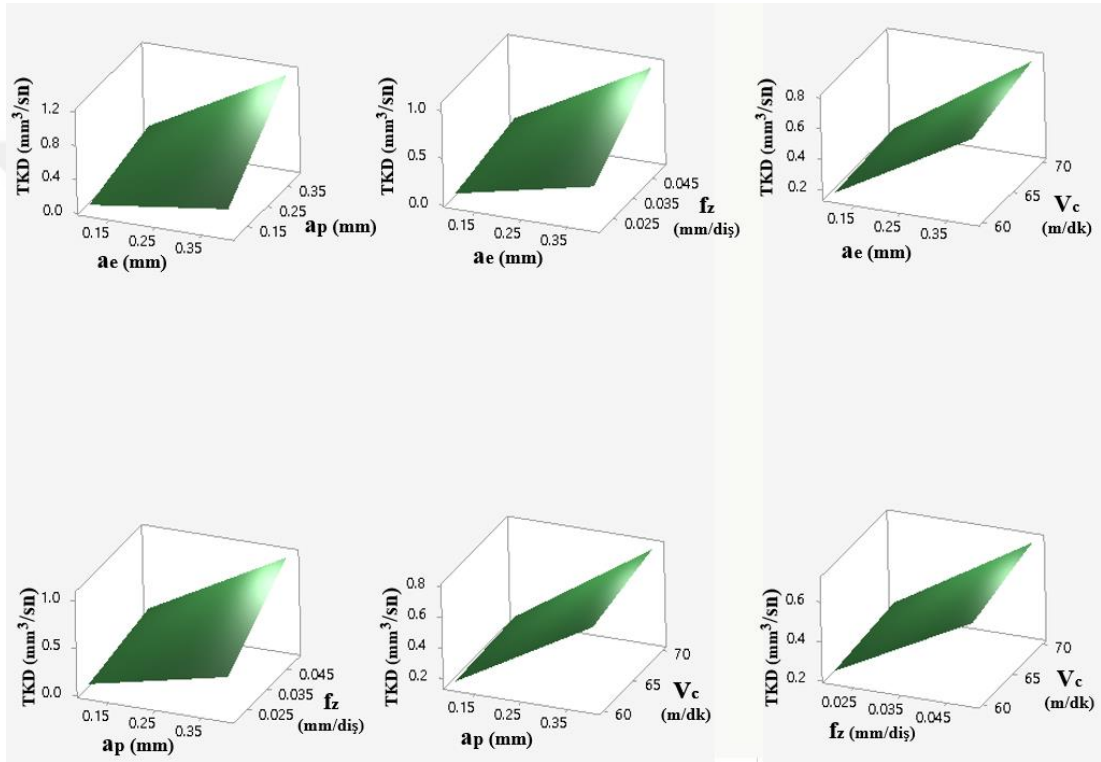
Yanıt yüzey metodu kullanılarak elde edilen Şekil 6.4'te yer alan 3 boyutlu yüzey grafiklerine bakıldığında, yanal kaymada herhangi bir değişim meydana geldiği zaman, diğer parametrelere göre özgül kesme enerjisinde bu değişim daha fazla hissedilmektedir. Dört ayrı girdi parametresinde herhangi bir artış meydana geldiği zaman özgül kesme enerjisinde bir azalma söz konusudur. Girdi parametreleri ile özgül kesme enerjisi ters orantılı olduğu Şekil 6.4'te de görülmektedir. Ancak bu azalma kesme hızında pek hissedilmemektedir. Başka bir ifadeyle, kesme derinliğindeki değişim diğer üç girdi parametresindeki değişime göre özgül kesme enerjisi etkilememektedir. Çünkü kesme hızının özgül kesme enerjisi üzerinde Çizelge 6.6'da da görüldüğü gibi pek bir etkisi yoktur.

Çizelge 6.7’de, Çizelge 6.5’de yer alan deney sonuçları kullanılarak emme yüzeyinin ince talaş işlemi sırasında talaş kaldırma debisini etkileyen girdi parametreleri tespit edilmiştir. Çizelge 6.7’ye bakıldığı zaman kesme derinliği ve yanal kayma parametrelerinin talaş kaldırma debisine etkileri maksimum ve aynıdır. Bu iki parametreden sonra diş başına ilerleme girdi parametresi çıktı parametresi üzerinde en etkili parametredir. En az etkili parametre ise kesme hızıdır.

Çizelge 6.7 : Emme yüzeyi ince talaş işlemi için talaş kaldırma debisi varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-Değeri	P-Değeri
Model	15	1,17387	0,078258	841,81	0
Blok	1	0	0	0	1
Doğrusal	4	1,11908	0,27977	3009,44	0
A	1	0,44291	0,442912	4764,33	0
B	1	0,44291	0,442912	4764,33	0
C	1	0,22598	0,225975	2430,78	0
D	1	0,00728	0,00728	78,31	0
Karesel	4	0	0	0	1
A*A	1	0	0	0	1
B*B	1	0	0	0	1
C*C	1	0	0	0	1
D*D	1	0	0	0	1
İkili Etkileşim	6	0,05479	0,009131	98,22	0
A*B	1	0,02657	0,026575	285,86	0
A*C	1	0,01356	0,013559	145,85	0
A*D	1	0,00044	0,000437	4,7	0,048
B*C	1	0,01356	0,013559	145,85	0
B*D	1	0,00044	0,000437	4,7	0,048
C*D	1	0,00022	0,000223	2,4	0,144
Hata	14	0,0013	0,000093		
Uyum Eksikliği	10	0,0013	0,00013	*	*
Yalın Hata	4	0	0		
Toplam	29	1,17517			

Çizelge 6.7’de girdi parametrelerinin çıktı parametresini nasıl etkilediği görülmüştür. Şekil 6.5’te ise çıktı parametresini etkileyen parametrelerin çıktı parametresi üzerindeki davranışları görülmektedir. Şekil 6.5’e bakıldığı zaman bütün girdi parametrelerinin çıktı parametresine etkilerinin doğru orantılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.5’e bakıldığı zaman emme yüzeyinin ince talaş işlemi sırasında girdi parametrelerinin çıktı parametresi üzerindeki davranışları kaba talaş işlemi sırasında girdi parametrelerinin çıktı parametresi üzerindeki davranışına çok benzediği görülmektedir.



Şekil 6.5 : Emme yüzeyi ince talaş işleminin talaş kaldırma debisi yanıt yüzey grafikleri.

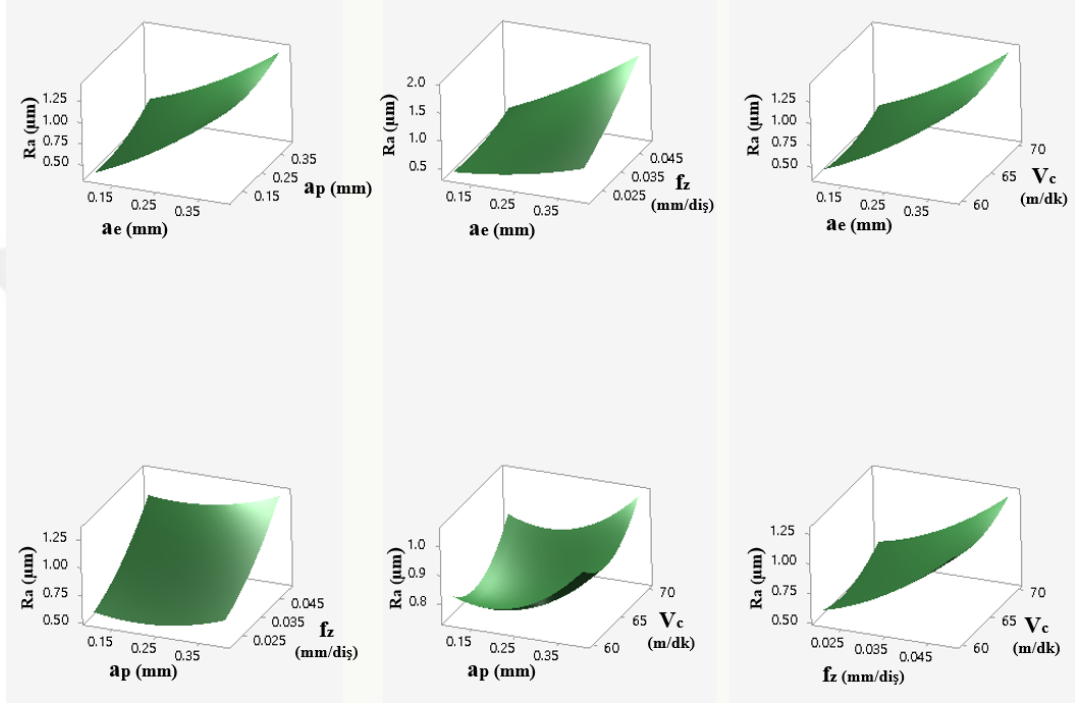
Çizelge 6.5’de yer alan verilerden girdi parametrelerini ve çıktı parametresi olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerini alarak oluşturulmuş ANOVA çıktısı Çizelge 6.8’de görülmektedir. Bu ANOVA çıktısında A, yanıl kaymayı, B, kesme derinliğini, C, diş başına ilerlemeyi ve D, kesme hızını göstermektedir. Bu çizelgede girdi parametrelerinin P-değerlerine bakıldığı zaman yanıl kayma ve diş başına ilerleme girdi parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü çıktı parametresine en fazla etki eden parametreler olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin P-değeri 0,05’in altında olduğu için yüzey pürüzlülüğüne etkisi vardır ancak bu değer, yanıl kayma ve diş

başına ilerlemenin P-değerinden daha yüksek olduğu için kesme derinliği, yanal kayma ve dış başına ilerleme kadar yüzey pürüzlülüğü değerini etkilememektedir. Çizelge 6.8'e bakıldığında kesme hızının P-değerinin 0,05'in epey üzerinde bir değer olduğu görülmektedir, bu yüzden kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.8 : Emme yüzeyi ince talaş işlemi için yüzey pürüzlülüğü varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-Değeri	P-Değeri
Model	15	1,83064	0,12204	23,59	0
Blok	1	0,06622	0,06622	12,8	0,003
Doğrusal	4	1,68216	0,42054	81,3	0
A	1	1,12176	1,12176	216,86	0
B	1	0,03261	0,03261	6,3	0,025
C	1	0,51803	0,51803	100,15	0
D	1	0,00976	0,00976	1,89	0,191
Karesel	4	0,03292	0,00823	1,59	0,231
A*A	1	0,00926	0,00926	1,79	0,202
B*B	1	0,01186	0,01186	2,29	0,152
C*C	1	0,01181	0,01181	2,28	0,153
D*D	1	0,01394	0,01394	2,69	0,123
İkili Etkileşim	6	0,04934	0,00822	1,59	0,222
A*B	1	0,00119	0,00119	0,23	0,639
A*C	1	0,04752	0,04752	9,19	0,009
A*D	1	0,00011	0,00011	0,02	0,884
B*C	1	0,00027	0,00027	0,05	0,824
B*D	1	0,00003	0,00003	0,01	0,938
C*D	1	0,00021	0,00021	0,04	0,843
Hata	14	0,07242	0,00517		
Uyum Eksikliği	10	0,07241	0,00724	2773,07	0
Yalnız Hata	4	0,00001	0		
Toplam	29	1,90306			

Şekil 6.6'ya bakıldığı zaman Çizelge 6.8'deki durumun benzeri görülmektedir. Yanal kayma ve diş başına ilerleme parametrelerindeki artışların yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olduğu net bir şekilde Şekil 6.6'da görülmektedir. Bunun aksine kesme hızındaki herhangi bir değişim yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir değişime sebep olmamıştır. Kesme derinliğindeki artışın kısmen de olsa yüzey pürüzlülüğünde bir artışa sebep olduğu Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6 : Emme yüzeyi ince talaş işleminin yüzey pürüzlülüğü debisi yanıt yüzey grafikleri.

6.2.2 Basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi, yüzey pürüzlülüğü tahmin modellerinin oluşturulması

Emme yüzeyinin ince talaş işleminde olduğu gibi talaşlı imalat sırasında Mazak i-200ST torna freze takım tezgahının işlem sırasında çektiği toplam güç değerleri Socomec DIRIS A-40 enerji ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen toplam güç değerinden temel ve yardımcı güç değerlerini çıkartarak metal kesme işlemi için harcanan güç değeri (P_{kesme}) elde edilmiştir. Daha sonra basınç yüzeyinin ince talaş işlemine özgü talaş kaldırma debisi hesaplanmıştır. Bu işlem kademesinin özgül kesme enerjisini hesaplayabilmek için P_{kesme} değeri, bu işlem için hesaplanan talaş kaldırma debisine bölünmüştür. Ayrıca emme yüzeyinde olduğu gibi ince talaş işlemi sonrasında basınç yüzeyinin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek amacıyla Mitutoyo SurfTest

SJ-210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen bütün çıktı parametreleri ile deneyler sırasında kullanılan girdi parametreleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9 : Merkezi kompozit deney tasarımı ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemi için deney sonuçları.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	Ra (µm)
1	0,175	0,325	0,0275	62,5	402,74	0,31	0,6477
2	0,25	0,25	0,035	65	298,97	0,45	0,8643
3	0,325	0,175	0,0425	62,5	277,22	0,48	1,4123
4	0,325	0,325	0,0275	67,5	248,84	0,62	1,0433
5	0,325	0,175	0,0275	62,5	332,07	0,31	1,0100
6	0,175	0,175	0,0425	67,5	458,84	0,28	0,8133
7	0,175	0,175	0,0425	62,5	449,22	0,26	0,7960
8	0,325	0,325	0,0425	67,5	192,10	0,97	1,4297
9	0,175	0,175	0,0275	62,5	509,33	0,17	0,6327
10	0,25	0,25	0,035	65	301,17	0,45	0,8660
11	0,325	0,325	0,0425	62,5	194,04	0,89	1,4323
12	0,175	0,175	0,0275	67,5	537,88	0,18	0,6577
13	0,175	0,325	0,0425	67,5	322,12	0,52	0,8763
14	0,175	0,325	0,0275	67,5	408,70	0,34	0,6933
15	0,25	0,25	0,035	65	298,70	0,45	0,8617
16	0,325	0,175	0,0425	67,5	279,78	0,52	1,4353
17	0,175	0,325	0,0425	62,5	322,95	0,48	0,8733
18	0,325	0,325	0,0275	62,5	247,99	0,58	1,0310
19	0,25	0,25	0,035	65	298,61	0,45	0,8640
20	0,325	0,175	0,0275	67,5	343,16	0,34	1,0257
21	0,25	0,4	0,035	65	242,06	0,72	1,0243
22	0,1	0,25	0,035	65	642,52	0,18	0,5147
23	0,25	0,25	0,035	60	256,89	0,42	0,7850
24	0,25	0,25	0,035	65	295,82	0,45	0,8650
25	0,25	0,25	0,035	65	300,85	0,45	0,8637
26	0,25	0,1	0,035	65	526,58	0,18	0,7040
27	0,25	0,25	0,035	70	322,73	0,49	0,9573
28	0,4	0,25	0,035	65	211,70	0,72	1,1943
29	0,25	0,25	0,02	65	407,25	0,26	0,5643
30	0,25	0,25	0,05	65	257,20	0,65	1,1637

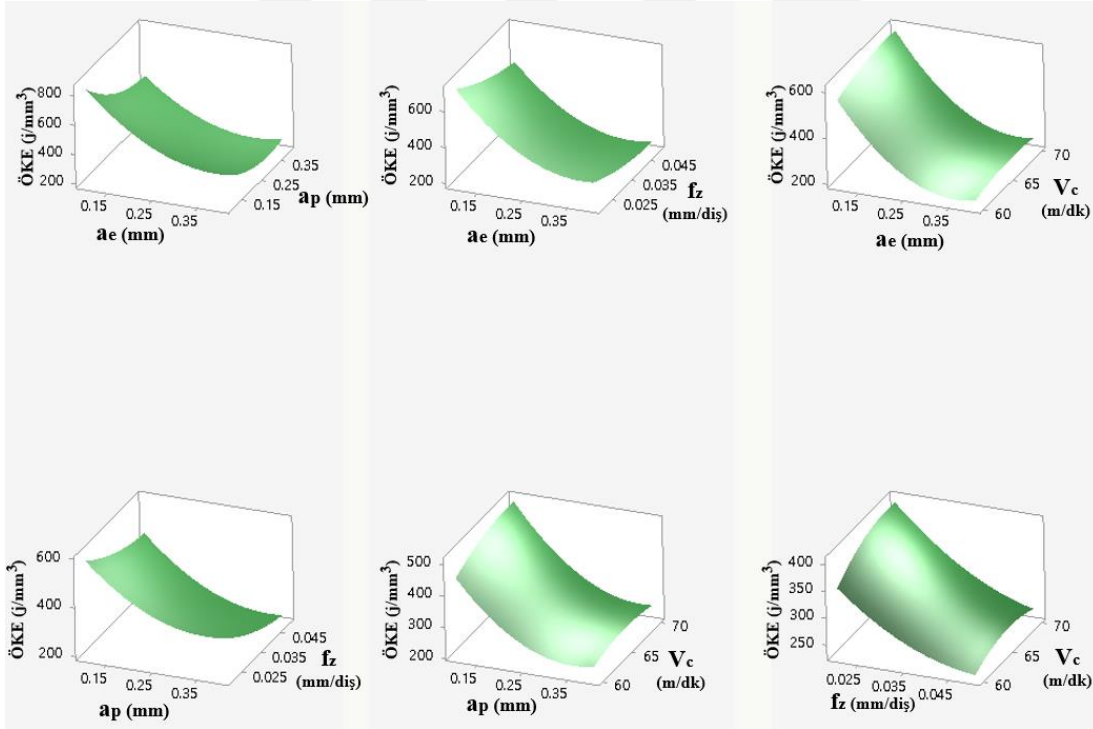
Emme yüzeyinde olduğu gibi girdi parametrelerinin çıktı parametrelerine olan etkilerini inceleyebilmek için deney sonuçlarının yer aldığı Çizelge 6.9'daki sonuçları kullanarak varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçlarında A,B,C,D sırasıyla yanal kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızını temsil etmektedir. Ayrıca Çizelge 6.9'daki verilerden yararlanarak bu işlem kademesine özgü özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğü tahmin modelleri yanıt yüzey metodu kullanılarak geliştirilmiştir.

Çizelge 6.10 : Basınç yüzeyi ince talaş işlemi için özgül kesme enerjisi varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-Değeri	P-Değeri
Model	15	344908	22994	46,72	0
Blok	1	685	685	1,39	0,258
Doğrusal	4	308231	77058	156,57	0
A	1	194077	194077	394,34	0
B	1	83670	83670	170,01	0
C	1	29019	29019	58,96	0
D	1	1465	1465	2,98	0,106
Karesel	4	33916	8479	17,23	0
A*A	1	24468	24468	49,72	0
B*B	1	10080	10080	20,48	0
C*C	1	1036	1036	2,11	0,169
D*D	1	545	545	1,11	0,31
İkili Etkileşim	6	2075	346	0,7	0,652
A*B	1	1397	1397	2,84	0,114
A*C	1	367	367	0,75	0,403
A*D	1	59	59	0,12	0,734
B*C	1	24	24	0,05	0,828
B*D	1	143	143	0,29	0,599
C*D	1	86	86	0,17	0,683
Hata	14	6890	492		
Uyum Eksikliği	10	6873	687	160,62	0
Yalın Hata	4	17	4		
Toplam	29	351798			

ANOVA çizelgesinin güven aralığı %95'dir. Bu yüzden herhangi bir girdi parametresinin çıktı parametresi üzerinde etkisinin olduğunu söyleyebilmek için P-değerinin 0,05'in altında olması gereklidir. Çizelge 6.10'a bakıldığı zaman yanal kayma, kesme derinliği ve diş başına ilerleme parametrelerinin P-değerleri 0,05'in altında olduğu için özgül kesme enerjisini etkilemektedir. Fakat emme yüzeyinin ince talaş işleminde olduğu gibi basınç yüzeyinin ince talaş işleminde de kesme hızının özgül kesme enerjisi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Çünkü kesme hızının P-değeri 0,05'in üzerinde bir değerdir.

Çizelge 6.10'da girdi parametrelerinin özgül kesme enerjisini etkileyip etkilemediği görülmüştür. Şekil 6.7'de ise girdi parametrelerinin çıktı parametresi üzerinde nasıl bir değişim yarattığı görülmektedir. Şekil 6.7'ye bakıldığı zaman kesme hızı dışında bütün girdi parametrelerindeki artış sonucunda özgül kesme enerjisinde azalma meydana geldiği görülmektedir.



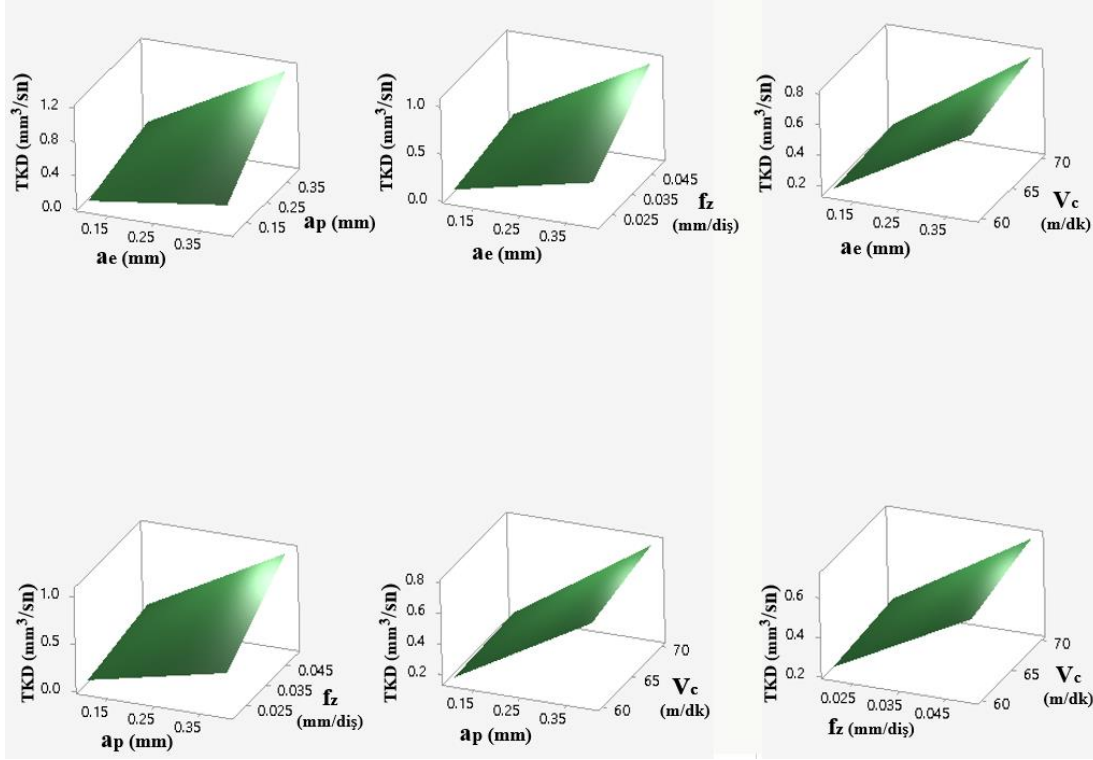
Şekil 6.7 : Basınç yüzeyi ince talaş işleminin özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafikleri.

Çizelge 6.11 : Basınç yüzeyi ince talaş işlemi için talaş kaldırma debisi varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-Değeri	P-Değeri
Model	15	1,17387	0,078258	841,81	0
Blok	1	0	0	0	1
Doğrusal	4	1,11908	0,27977	3009,44	0
A	1	0,44291	0,442912	4764,33	0
B	1	0,44291	0,442912	4764,33	0
C	1	0,22598	0,225975	2430,78	0
D	1	0,00728	0,00728	78,31	0
Karesel	4	0	0	0	1
A*A	1	0	0	0	1
B*B	1	0	0	0	1
C*C	1	0	0	0	1
D*D	1	0	0	0	1
İkili Etkileşim	6	0,05479	0,009131	98,22	0
A*B	1	0,02657	0,026575	285,86	0
A*C	1	0,01356	0,013559	145,85	0
A*D	1	0,00044	0,000437	4,7	0,048
B*C	1	0,01356	0,013559	145,85	0
B*D	1	0,00044	0,000437	4,7	0,048
C*D	1	0,00022	0,000223	2,4	0,144
Hata	14	0,0013	0,000093		
Uyum Eksikliği	10	0,0013	0,00013	*	*
Yalın Hata	4	0	0		
Toplam	29	1,17517			

Çizelge 6.11’de ki ANOVA çıktısı, Çizelge 6.7’deki çizelgenin benzeri elde edilmiştir. Çünkü hem emme yüzeyi hem de basınç yüzeyinde talaş kaldırma debisini hesaplayabilmek için kullanılan parametreler aynıdır. Çizelge 6.11’e bakıldığı zaman kesme derinliği ve yanal kaymadaki herhangi bir değişimin talaş kaldırma debisi üzerindeki etkisinin aynı olduğu F-değerlerine bakılarak rahatlıkla söylenebilir. Bu iki parametre dışında sırasıyla diş başına ilerleme ve kesme hızı girdi parametreleri, talaş kaldırma debisinde etkili parametrelerdir.

Şekil 6.8’de yer alan yanıt yüzey grafiğine bakıldığı zaman girdi parametrelerindeki herhangi bir değişim ile çıktı parametresinin nasıl bir değişime uğrayacağı 3 boyutlu yüzey grafikleriyle gösterilmektedir. Özgül kesme enerjisindeki durumun aksine, girdi parametreleri ile talaş kaldırma debisi arasındaki ilişkinin doğru orantılı olduğu Şekil 6.8’de görülmektedir.



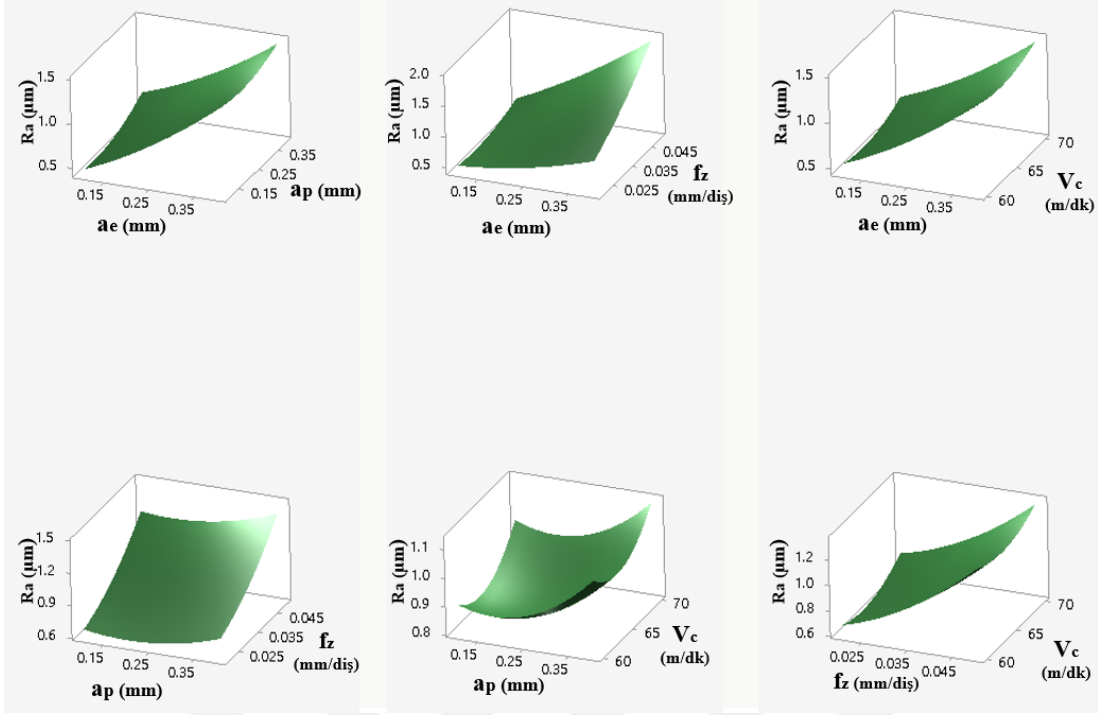
Şekil 6.8 : Basınç yüzeyi ince talaş işleminin talaş kaldırma debisi yanıt yüzey grafikleri.

Çizelge 6.9’deki verileri kullanarak basınç yüzeyinin ince talaş işlemi sonrasında elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerlerini hangi parametrelerin nasıl etkilediğini öğrenmek amacıyla ANOVA çıktısı oluşturulmuştur. Çizelge 6.12’de yanal kaymanın yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre olduğu görülmektedir. Diş başına ilerlemenin de yanal kayma kadar yüzey pürüzlülüğü değerine etki ettiği görülmektedir. Kesme derinliği ise yanal kayma ve diş başına ilerleme kadar yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmasa da Çizelge 6.12’deki kesme derinliğinin P-değerine bakıldığı zaman yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Fakat kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı P-değerine bakarak söylenebilir.

Çizelge 6.12 : Basınç yüzeyi ince talaş işlemi için yüzey pürüzlülüğü varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamaların Toplamı	F-değeri	P-Değeri
Model	15	1,83064	0,12204	23,59	0
Blok	1	0,06622	0,06622	12,8	0,003
Doğrusal	4	1,68216	0,42054	81,3	0
A	1	1,12176	1,12176	216,86	0
B	1	0,03261	0,03261	6,3	0,025
C	1	0,51803	0,51803	100,15	0
D	1	0,00976	0,00976	1,89	0,191
Karesel	4	0,03292	0,00823	1,59	0,231
A*A	1	0,00926	0,00926	1,79	0,202
B*B	1	0,01186	0,01186	2,29	0,152
C*C	1	0,01181	0,01181	2,28	0,153
D*D	1	0,01394	0,01394	2,69	0,123
İkili Etkileşim	6	0,04934	0,00822	1,59	0,222
A*B	1	0,00119	0,00119	0,23	0,639
A*C	1	0,04752	0,04752	9,19	0,009
A*D	1	0,00011	0,00011	0,02	0,884
B*C	1	0,00027	0,00027	0,05	0,824
B*D	1	0,00003	0,00003	0,01	0,938
C*D	1	0,00021	0,00021	0,04	0,843
Hata	14	0,07242	0,00517		
Uyum Eksikliği	10	0,07241	0,00724	2773,07	0
Yalın Hata	4	0,00001	0		
Toplam	29	1,90306			

Şekil 6.9'a bakıldığı zaman yanal kayma, dış başına ilerleme ve kesme derinliği gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerinin olduğu görülmektedir. Bu üç parametredeki artış yüzey pürüzlülüğünde artışa sebep olmaktadır. Ancak kesme hızındaki herhangi bir artış, yüzey pürüzlülüğünde pek bir değişim meydana getirmemiştir.



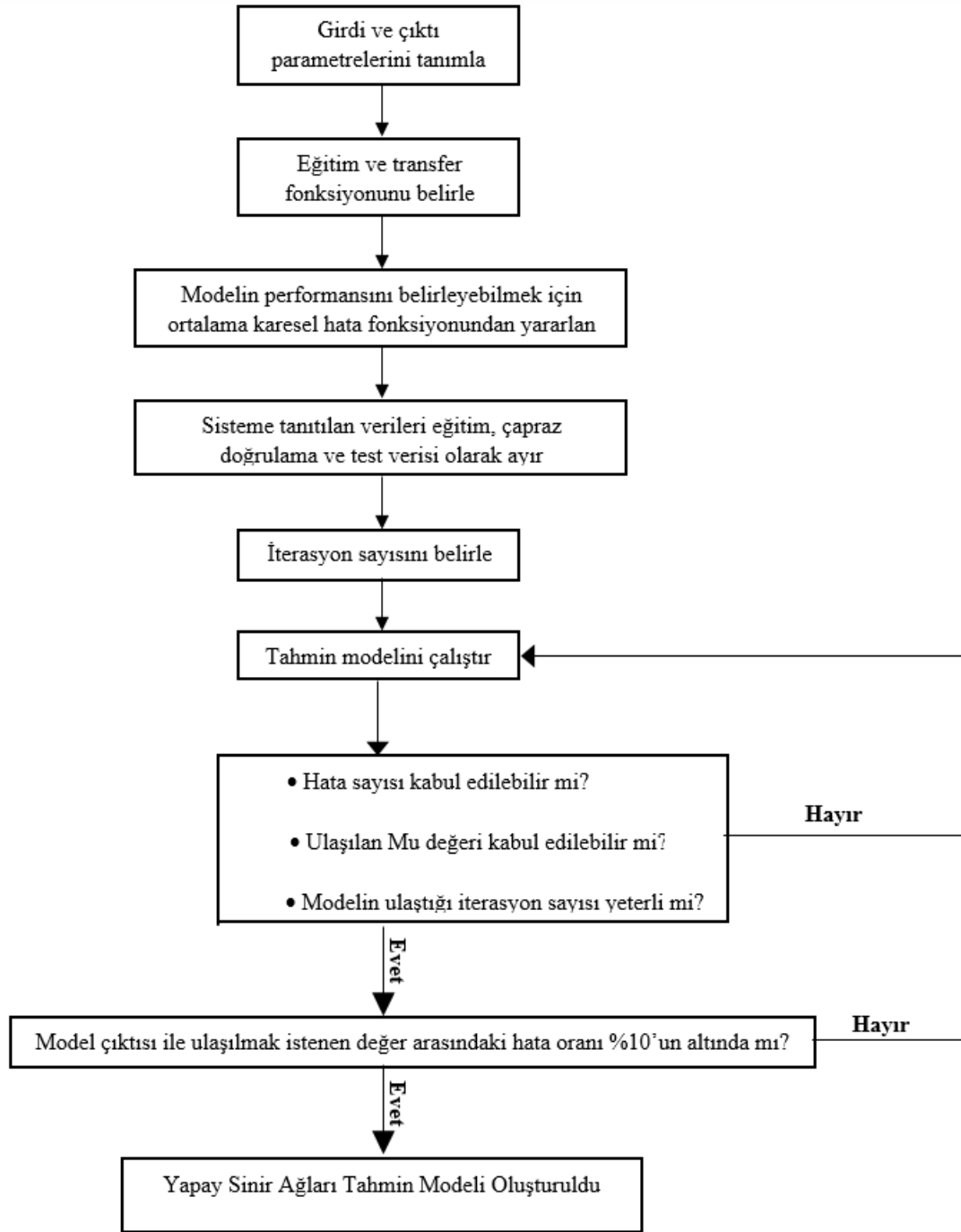
Şekil 6.9 : Basınç yüzeyi ince talaş işleminin yüzey pürüzlülüğü debisi yanıt yüzey grafikleri.

7. YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK ÖZGÜL KESME ENERJİSİ, TALAŞ KALDIRMA DEBİSİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Yapay sinir ağlarında girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında nöronlardan oluşan gizli katmanlar bulunur ve gizli katman içerisindeki nöronların her biri sayesinde girdi katmanı ile çıktı katmanı arasında bir genelleme yapılır. Bu genellemeyi yapabilmek için kullanılan transfer fonksiyonları doğrusal, log-sigmoid, tan-sigmoid ve signum fonksiyonlardır. Bu çalışmada Denklem (7.1)'de belirtilen log-sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

$$Log_sigmoid = \left(\frac{1}{1 + e^{-x}} \right) \quad (7.1)$$

Ayrıca eğitim fonksiyonu olarak levenberg-marquardt algoritması (trainlm) kullanılmıştır. Bu algoritmadan başka dereceli azalma (basic gradient descent-traingd) algoritmasında kullanılabilir. Fakat levenberg-marquardt algoritması büyük veriler için hem daha hızlı sonuçlar vermektedir hem daha doğru yaklaşımlar yapmaktadır. Bu yüzden levenberg-marquardt algoritması ile veriler eğitilmiştir. Yanıt yüzey metodunda olduğu gibi yapay sinir ağlarını kullanarak oluşturulmak istenen özgül kesme enerjisi (j/mm^3), talaş kaldırma debisi (mm^3/sn) ve yüzey pürüzlülüğü (μm) tahmin modelleri için kullanılacak girdi parametreleri yanal kayma (mm), kesme derinliği (mm), diş başına ilerleme (mm/diş) ve kesme hızı (mm/dk) 'dir.



Şekil 7.1 : Yapay sinir ağlarının akış şeması.

Şekil 7.1’de yapay sinir ağlarının akış diyagramı görülmektedir. Girdi ve çıktı parametreleri sisteme girildikten sonra YSA model eğitimini durduracak kısıtlar belirlenmelidir. Bu çalışmada YSA modeli geliştirilirken belirlenen kısıtların en başında Mu sayısı gelmektedir. Mu sayısı YSA modeli eğitilirken modelin aşırı öğrenmeye girmesini engelleyen bir parametredir. Diğer bir kısıt ise maksimum hata sayısıdır. Model eğitim sırasında sistemde yer alan girdi ve çıktı parametrelerini

olabildiğince doğru tahmin etmeye çalışır. Bu sırada bazı veriler yanlış tahmin edilmektedir. YSA modelinin kendi içerisinde yaptığı tahminleri kontrol mekanizması bulunmaktadır ve eğitim sırasında modelin yanlış tahmin edebileceği maksimum hata sayısı sisteme girilmelidir. Ayrıca modelin iterasyon sayısı da YSA eğitiminin ne zaman duracağını belirleyen bir kısıttır. Bunlardan başka en önemli kısıt ise model çıktısı ile deney verisi arasında hesaplanan hata oranı %10'un altında olmalıdır.

Çizelge 7.1 : Kaba talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)
1	2	2	0,04	75	26,69	23,89
2	1	1,25	0,04	75	77,43	7,46
3	2	1,25	0,04	63	45,41	12,54
4	2	0,5	0,04	75	93,35	5,97
5	2	1,25	0,04	87	36,36	17,32
6	3	1,25	0,04	75	27,50	22,39
7	2	1,25	0,03	75	50,70	11,20
8	2	1,25	0,05	75	33,33	18,66
9	2	1,25	0,04	75	40,08	14,93
10	2	1,25	0,04	75	40,01	14,93
11	1,5	1,625	0,035	69	50,12	11,72
12	2,5	0,875	0,045	69	44,07	13,52
13	1,5	1,625	0,045	81	35,59	17,68
14	1,5	1,625	0,035	81	43,55	13,75
15	2,5	0,875	0,045	81	38,27	15,87
16	1,5	1,625	0,045	69	40,95	15,06
17	2,5	1,625	0,035	69	31,07	19,53
18	2,5	0,875	0,035	81	46,74	12,34
19	2	1,25	0,04	75	40,01	14,93
20	2	1,25	0,04	75	40,01	14,93
21	2,5	1,625	0,035	81	26,99	22,92
22	2,5	0,875	0,035	69	53,81	10,52
23	2,5	1,625	0,045	81	21,98	29,47

Çizelge 7.1 : Kaba talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları devamı.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)
24	1,5	0,875	0,035	69	86,72	6,31
25	2,5	1,625	0,045	69	25,31	25,11
26	1,5	0,875	0,035	81	75,48	7,41
27	2	1,25	0,04	75	40,06	14,93
28	2	1,25	0,04	75	40,08	14,93
29	1,5	0,875	0,045	81	61,95	9,52
30	1,5	0,875	0,045	69	71,35	8,11

Çizelge 7.1’de kaba talaş işlemine ait yapay sinir ağlarının eğitimi için kullanılan deney grupları yer almaktadır. Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3’deki veriler ise sırasıyla emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerine ait yapay sinir ağlarının eğitimi için kullanılan deney gruplarıdır.

Çizelge 7.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	Ra (µm)
1	0,25	0,4	0,035	65	258,63	0,72	0,9443
2	0,1	0,25	0,035	65	708,77	0,18	0,4347
3	0,25	0,25	0,035	60	285,60	0,42	0,7050
4	0,25	0,1	0,035	65	592,83	0,18	0,6240
5	0,25	0,25	0,035	70	347,33	0,49	0,8773
6	0,4	0,25	0,035	65	228,26	0,72	1,1143
7	0,25	0,25	0,02	65	453,63	0,26	0,4843
8	0,25	0,25	0,05	65	275,75	0,65	1,0837
9	0,25	0,25	0,035	65	325,47	0,45	0,7843
10	0,25	0,25	0,035	65	327,68	0,45	0,7860
11	0,325	0,325	0,0425	67,5	204,54	0,97	1,3497
12	0,175	0,175	0,0275	62,5	580,91	0,17	0,5527
13	0,325	0,325	0,0425	62,5	207,47	0,89	1,3523
14	0,175	0,175	0,0275	67,5	604,16	0,18	0,5777
15	0,175	0,325	0,0425	67,5	345,21	0,52	0,7963
16	0,175	0,325	0,0275	67,5	444,39	0,34	0,6133

Çizelge 7.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları devamı.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm^3)	TKD (mm^3/sn)	Ra (μm)
17	0,325	0,175	0,0425	67,5	302,88	0,52	1,3553
18	0,175	0,325	0,0425	62,5	347,89	0,48	0,7933
19	0,25	0,25	0,035	65	325,20	0,45	0,7817
20	0,25	0,25	0,035	65	325,11	0,45	0,7840
21	0,325	0,325	0,0275	62,5	268,75	0,58	0,9510
22	0,325	0,175	0,0275	67,5	378,85	0,34	0,9457
23	0,325	0,325	0,0275	67,5	268,06	0,62	0,9633
24	0,325	0,175	0,0275	62,5	370,62	0,31	0,9300
25	0,175	0,175	0,0425	67,5	501,73	0,28	0,7333
26	0,175	0,175	0,0425	62,5	495,54	0,26	0,7160
27	0,25	0,25	0,035	65	322,32	0,45	0,7850
28	0,25	0,25	0,035	65	327,35	0,45	0,7837
29	0,175	0,325	0,0275	62,5	441,28	0,31	0,5677
30	0,325	0,175	0,0425	62,5	302,16	0,48	1,3323

Emme yüzeyi ve basınç yüzeyleri için aynı deneyler kullanılmamıştır. Her iki yüzeyde serbest form yüzeyi olmasına rağmen, birbirlerinden farklı yapıları vardır. Döner çark parçasının talaşlı imalatı sırasında emme yüzeyini işleme süresi basınç yüzeyinden daha fazla çıkmıştır. Çünkü emme yüzeyi için oluşturulan takım yolu basınç yüzeyi için oluşturulan takım yolundan daha uzundur. Takım yollarının farklı olmasından dolayı özgül kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğü değerleri birbirlerinden farklıdır. Çizelge 7.2 ve 7.3 'e bakıldığı zaman bu farklılık görülmektedir.

Çizelge 7.3 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları.

Deney Numarası	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	ÖKE (J/mm^3)	TKD (mm^3/sn)	Ra (μm)
1	0,25	0,4	0,035	65	242,06	0,72	1,0243
2	0,1	0,25	0,035	65	642,52	0,18	0,5147
3	0,25	0,25	0,035	60	256,89	0,42	0,7850
4	0,25	0,1	0,035	65	526,58	0,18	0,7040
5	0,25	0,25	0,035	70	322,73	0,49	0,9573

Çizelge 7.3 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemine ait yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılan deney sonuçları devamı.

Deney Numarası	a _e (mm)	a _p (mm)	f _z (mm/diş)	V _c (m/dk)	ÖKE (J/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	Ra (µm)
6	0,4	0,25	0,035	65	211,70	0,72	1,1943
7	0,25	0,25	0,02	65	407,25	0,26	0,5643
8	0,25	0,25	0,05	65	257,20	0,65	1,1637
9	0,25	0,25	0,035	65	298,70	0,45	0,8617
10	0,25	0,25	0,035	65	295,82	0,45	0,8650
11	0,325	0,325	0,0275	67,5	248,84	0,62	1,0433
12	0,325	0,175	0,0275	62,5	332,07	0,31	1,0100
13	0,175	0,175	0,0425	67,5	458,84	0,28	0,8133
14	0,175	0,175	0,0425	62,5	449,22	0,26	0,7960
15	0,325	0,325	0,0425	67,5	192,10	0,97	1,4297
16	0,175	0,175	0,0275	62,5	509,33	0,17	0,6327
17	0,325	0,325	0,0425	62,5	194,04	0,89	1,4323
18	0,175	0,175	0,0275	67,5	537,88	0,18	0,6577
19	0,25	0,25	0,035	65	298,61	0,45	0,8640
20	0,25	0,25	0,035	65	300,85	0,45	0,8637
21	0,325	0,325	0,0275	62,5	247,99	0,58	1,0310
22	0,325	0,175	0,0275	67,5	343,16	0,34	1,0257
23	0,175	0,325	0,0425	67,5	322,12	0,52	0,8763
24	0,175	0,325	0,0275	67,5	408,70	0,34	0,6933
25	0,325	0,175	0,0425	67,5	279,78	0,52	1,4353
26	0,175	0,325	0,0425	62,5	322,95	0,48	0,8733
27	0,25	0,25	0,035	65	298,97	0,45	0,8643
28	0,25	0,25	0,035	65	301,17	0,45	0,8660
29	0,175	0,325	0,0275	62,5	402,74	0,31	0,6477
30	0,325	0,175	0,0425	62,5	277,22	0,48	1,4123

Yapay sinir ağlarını eğitebilmek için yanıt yüzey metodundaki gibi merkezi kompozit deney tasarımı kullanılarak her bir işlem kademesi için 30 adet deney yapılmıştır. Bu 30 adet deneyden her bir faktör(girdi parametresi) için üst ve alt seviyelerin bulunduğu 8 adet deney çıktısı, eğitim verisi olarak sisteme tanıtılmıştır. Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3'deki deney tasarımlarında bulunan ilk 8 deney, eğitim verisi olarak sisteme girilmiştir. Belirlenen 8 adet eğitim verisine ek olarak 10 adet deney verisi daha

eklenerek toplam 18 adet eğitim verisi kullanılmıştır. Geriye kalan deney verilerinden 8 adeti çapraz doğrulama verisi olarak sisteme tanıtılmıştır ve son 4 deney verisi ise test verisi olarak sisteme girilmiştir.

Sisteme tanıtılan 4 adet test verisi birbirlerinden farklı olacak şekilde deney tasarımında bulunan deneyler arasından seçilmiştir. Bu şekilde tasarlanan 8 farklı test verisi kullanılarak modelin tutarlılığı incelenmiştir. Kaba talaş işlemi için t-test sonucu ve yüzde hata oranları Çizelge 7.4’de verilmiştir. Çizelge 7.4’e bakıldığı zaman hem t-test sonuçları hem de yüzde hata oranları kabul edilebilir değerler çıkmıştır. Dolayısıyla kaba talaş için geliştirilen YSA modeli özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisini tahmin etmek için kullanılabilir.

Çizelge 7.4 : Kaba talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.

Kaba talaş	Veri1 t-test ÖKE	Veri2 t-test ÖKE	Veri3 t-test ÖKE	Veri4 t-test ÖKE	Veri5 t-test ÖKE	Veri6 t-test ÖKE	Veri7 t-test ÖKE	Veri8 t-test ÖKE
	5,177	5,992	4,195	9,155	3,827	3,382	5,036	5,649
	Veri 1 ort. hata ÖKE (%)	Veri 2 ort. hata ÖKE (%)	Veri 3 ort. hata ÖKE (%)	Veri 4 ort. hata ÖKE (%)	Veri 5 ort. hata ÖKE (%)	Veri 6 ort. hata ÖKE (%)	Veri 7 ort. hata ÖKE (%)	Veri 8 ort. hata ÖKE (%)
	3,89	2,53	6,80	4,69	2,92	6,13	6,99	4,40
	Veri1 t-test TKD	Veri2 t-test TKD	Veri3 t-test TKD	Veri4 t-test TKD	Veri5 t-test TKD	Veri6 t-test TKD	Veri7 t-test TKD	Veri8 t-test TKD
	3,194	3,950	10,161	6,918	11,123	8,577	9,972	25,087
	Veri 1 ort. hata TKD (%)	Veri 2 ort. hata TKD (%)	Veri 3 ort. hata TKD (%)	Veri 4 ort. hata TKD (%)	Veri 5 ort. hata TKD (%)	Veri 6 ort. hata TKD (%)	Veri 7 ort. hata TKD (%)	Veri 8 ort. hata TKD (%)
	7,59	4,84	2,77	8,14	3,68	0,65	3,04	3,74

Çizelge 7.4’de yapılan çalışmanın aynısını hem emme yüzeyi hem de basınç yüzeyinin ince talaş işleminin YSA sonuçları için de uygulanmıştır. Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6’deki sonuçlar sırasıyla emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri için tasarlanan YSA modelinin t-test ve yüzde hata sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 7.5 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.

Emme yüzeyinin ince talaş işlemi	Veri1 t-test ÖKE	Veri2 t-test ÖKE	Veri3 t-test ÖKE	Veri4 t-test ÖKE	Veri5 t-test ÖKE	Veri6 t-test ÖKE	Veri7 t-test ÖKE	Veri8 t-test ÖKE
	3,351	5,812	8,574	4,179	9,037	35,202	15,142	6,658
	Veri 1 ort. hata ÖKE (%)	Veri 2 ort. hata ÖKE (%)	Veri 3 ort. hata ÖKE (%)	Veri 4 ort. hata ÖKE (%)	Veri 5 ort. hata ÖKE (%)	Veri 6 ort. hata ÖKE (%)	Veri 7 ort. hata ÖKE (%)	Veri 8 ort. hata ÖKE (%)
	1,29	3,28	4,77	4,47	3,77	4,57	4,37	3,63
	Veri1 t-test TKD	Veri2 t-test TKD	Veri3 t-test TKD	Veri4 t-test TKD	Veri5 t-test TKD	Veri6 t-test TKD	Veri7 t-test TKD	Veri8 t-test TKD
	5,602	3,654	6,128	3,362	3,564	4,860	3,169	4,431
	Veri 1 ort. hata TKD (%)	Veri 2 ort. hata TKD (%)	Veri 3 ort. hata TKD (%)	Veri 4 ort. hata TKD (%)	Veri 5 ort. hata TKD (%)	Veri 6 ort. hata TKD (%)	Veri 7 ort. hata TKD (%)	Veri 8 ort. hata TKD (%)
	3,29	1,41	1,23	1,86	3,56	3,88	2,97	4,99
	Veri1 t-test Ra	Veri2 t-test Ra	Veri3 t-test Ra	Veri4 t-test Ra	Veri5 t-test Ra	Veri6 t-test Ra	Veri7 t-test Ra	Veri8 t-test Ra
	3,210	9,546	17,748	4,499	4,069	8,755	3,530	6,937
	Veri 1 ort. hata Ra (%)	Veri 2 ort. hata Ra (%)	Veri 3 ort. hata Ra (%)	Veri 4 ort. hata Ra (%)	Veri 5 ort. hata Ra (%)	Veri 6 ort. hata Ra (%)	Veri 7 ort. hata Ra (%)	Veri 8 ort. hata Ra (%)
	3,45	3,63	4,88	3,83	4,80	4,83	4,90	4,51

Çizelge 7.5 ve 7.6'daki t-test ve yüzde hata oranları istenilen değerler gelmiştir. Bu yüzden emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek amacıyla geliştirilen YSA modelleri kullanılabilir. Deney tasarımında yer alan ilk 8 veri haricinde seçilen herhangi dört test verisinin model çıktısı ile bu verilerin deney sonuçları t-test yöntemiyle karşılaştırıldığında Çizelge 7.4, 7.5 ve 7.6'da da görüldüğü gibi YSA modelleri tutarlı çıkmıştır. Fakat bu yeterli olmayabilir, Çizelge 7.4, 7.5 ve 7.6'daki karşılaştırmalara ek olarak, geliştirilen YSA modelinin başka bir zamanda verdiği sonuçlar da karşılaştırılmalıdır. Farklı zamanlarda yapılan eğitimlerin sonuçları gerçek veri ile karşılaştırıldığında da tutarlılık söz konusu ise geliştirilen modeller çıktı parametrelerini önceden tahmin etmek için rahatlıkla kullanılabilir.

Çizelge 7.6 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.

Basınç yüzeyinin ince talaş işlemi	Veri1 t-test ÖKE	Veri2 t-test ÖKE	Veri3 t-test ÖKE	Veri4 t-test ÖKE	Veri5 t-test ÖKE	Veri6 t-test ÖKE	Veri7 t-test ÖKE	Veri8 t-test ÖKE
	3,680	4,082	8,916	6,945	3,732	4,094	3,389	8,901
	Veri 1 ort. hata ÖKE (%)	Veri 2 ort. hata ÖKE (%)	Veri 3 ort. hata ÖKE (%)	Veri 4 ort. hata ÖKE (%)	Veri 5 ort. hata ÖKE (%)	Veri 6 ort. hata ÖKE (%)	Veri 7 ort. hata ÖKE (%)	Veri 8 ort. hata ÖKE (%)
	1,53	2,12	4,83	2,28	1,65	2,08	2,25	5,05
	Veri1 t-test TKD	Veri2 t-test TKD	Veri3 t-test TKD	Veri4 t-test TKD	Veri5 t-test TKD	Veri6 t-test TKD	Veri7 t-test TKD	Veri8 t-test TKD
	15,687	3,689	3,366	7,213	5,129	8,140	5,079	3,459
	Veri 1 ort. hata TKD (%)	Veri 2 ort. hata TKD (%)	Veri 3 ort. hata TKD (%)	Veri 4 ort. hata TKD (%)	Veri 5 ort. hata TKD (%)	Veri 6 ort. hata TKD (%)	Veri 7 ort. hata TKD (%)	Veri 8 ort. hata TKD (%)
	4,23	1,26	7,29	2,81	1,03	2,90	0,80	1,86
	Veri1 t-test Ra	Veri2 t-test Ra	Veri3 t-test Ra	Veri4 t-test Ra	Veri5 t-test Ra	Veri6 t-test Ra	Veri7 t-test Ra	Veri8 t-test Ra
	3,885	6,007	26,587	5,180	10,572	7,256	5,310	3,968
	Veri 1 ort. hata Ra (%)	Veri 2 ort. hata Ra (%)	Veri 3 ort. hata Ra (%)	Veri 4 ort. hata Ra (%)	Veri 5 ort. hata Ra (%)	Veri 6 ort. hata Ra (%)	Veri 7 ort. hata Ra (%)	Veri 8 ort. hata Ra (%)
	2,44	4,03	4,78	4,21	3,66	3,78	3,47	2,91

Çizelge 7.7, 7.8 ve 7.9’da farklı zamanlarda eğitilmiş 7 ayrı YSA modelinin çıktıları gerçek veri ile karşılaştırılmıştır. Bu oluşturulan 7 farklı YSA modelinde eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri olarak aynı veriler kullanılmıştır sadece farklı zamanlarda farklı iterasyonlar kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. Kaba talaş işlemi için farklı zamanlarda eğitilmiş YSA modellerinin test verisi çıktıları ile deney sonucu elde edilmiş gerçek veriler t-test yöntemiyle karşılaştırılmış ve t-test sonuçları Çizelge 7.7’de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 7.7’de gerçek veri ile model çıktıları arasında hesaplanan ortalama yüzde hataları da yer almaktadır.

Çizelge 7.7 : Kaba talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin farklı 7 denemesinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.

Kaba talaş	Veri1 t-test ÖKE	Veri2 t-test ÖKE	Veri3 t-test ÖKE	Veri4 t-test ÖKE	Veri5 t-test ÖKE	Veri6 t-test ÖKE	Veri7 t-test ÖKE
	5,177	2,575	1,788	7,258	1,526	9,186	1,673
	Veri1 ort. hata ÖKE(%)	Veri2 ort. hata ÖKE(%)	Veri3 ort. hata ÖKE(%)	Veri4 ort. hata ÖKE(%)	Veri5 ort. hata ÖKE(%)	Veri6 ort. hata ÖKE(%)	Veri7 ort. hata ÖKE(%)
	3,89	3,18	5,10	9,40	8,80	5,19	2,78
	Veri1 t-test TKD	Veri2 t-test TKD	Veri3 t-test TKD	Veri4 t-test TKD	Veri5 t-test TKD	Veri6 t-test TKD	Veri7 t-test TKD
	3,323	3,350	3,005	3,395	3,212	3,932	8,130
	Veri1 ort. hata TKD(%)	Veri2 ort. hata TKD(%)	Veri3 ort. hata TKD(%)	Veri4 ort. hata TKD(%)	Veri5 ort. hata TKD(%)	Veri6 ort. hata TKD(%)	Veri7 ort. hata TKD(%)
	6,59	6,75	5,80	6,09	9,86	5,95	4,02

Emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemine ait eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri sisteme tanıtılmıştır. Bu veriler değişmeden farklı zamanlarda YSA modelleri eğitilmiştir. Daha sonra eğitilen YSA modellerinin çıktıları ile deney sonucunda elde edilen gerçek veriler karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.8 ve 7.9'da gerçek veriler ile model çıktılarının t-test yöntemiyle karşılaştırma sonuçları ve yüzde hata sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 7.8 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin farklı 7 denemesinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.

Emme yüzeyinin ince talaş işlemi	Veri1 t-test ÖKE	Veri2 t-test ÖKE	Veri3 t-test ÖKE	Veri4 t-test ÖKE	Veri5 t-test ÖKE	Veri6 t-test ÖKE	Veri7 t-test ÖKE
	2,167	3,351	4,336	3,648	3,075	2,607	3,663
	Veri1 ort. hata ÖKE (%)	Veri2 ort. hata ÖKE (%)	Veri3 ort. hata ÖKE (%)	Veri4 ort. hata ÖKE (%)	Veri5 ort. hata ÖKE (%)	Veri6 ort. hata ÖKE (%)	Veri7 ort. hata ÖKE (%)
	0,78	1,29	1,79	1,36	1,49	0,70	1,92
	Veri1 t-test TKD	Veri2 t-test TKD	Veri3 t-test TKD	Veri4 t-test TKD	Veri5 t-test TKD	Veri6 t-test TKD	Veri7 t-test TKD
	5,602	5,860	1,408	2,682	9,161	4,428	2,641
	Veri1 ort. hata TKD (%)	Veri2 ort. hata TKD (%)	Veri3 ort. hata TKD (%)	Veri4 ort. hata TKD (%)	Veri5 ort. hata TKD (%)	Veri6 ort. hata TKD (%)	Veri7 ort. hata TKD (%)
	3,29	3,59	2,67	4,53	7,18	6,60	6,45
	Veri1 t-test Ra	Veri2 t-test Ra	Veri3 t-test Ra	Veri4 t-test Ra	Veri5 t-test Ra	Veri6 t-test Ra	Veri7 t-test Ra
	3,210	5,842	4,490	2,548	4,895	1,352	8,055
	Veri1 ort. hata Ra (%)	Veri2 ort. hata Ra (%)	Veri3 ort. hata Ra (%)	Veri4 ort. hata Ra (%)	Veri5 ort. hata Ra (%)	Veri6 ort. hata Ra (%)	Veri7 ort. hata Ra (%)
	3,45	5,10	4,55	3,20	6,22	4,37	4,31

Çizelge 7.9 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemi için geliştirilen yapay sinir ağı modelinin farklı 7 denemesinin t-test ve ortalama yüzde hata sonuçları.

Basınç yüzeyinin ince talaş işlemi	Veri1 t-test ÖKE	Veri2 t-test ÖKE	Veri3 t-test ÖKE	Veri4 t-test ÖKE	Veri5 t-test ÖKE	Veri6 t-test ÖKE	Veri7 t-test ÖKE
	3,069	3,680	4,451	2,908	2,911	2,111	2,538
	Veri1 ort. hata ÖKE (%)	Veri2 ort. hata ÖKE (%)	Veri3 ort. hata ÖKE (%)	Veri4 ort. hata ÖKE (%)	Veri5 ort. hata ÖKE (%)	Veri6 ort. hata ÖKE (%)	Veri7 ort. hata ÖKE (%)
	2,81	1,53	1,85	1,21	1,54	1,71	2,68
	Veri1 t-test TKD	Veri2 t-test TKD	Veri3 t-test TKD	Veri4 t-test TKD	Veri5 t-test TKD	Veri6 t-test TKD	Veri7 t-test TKD
	3,985	15,687	4,254	1,948	2,745	2,371	5,798
	Veri1 ort. hata TKD (%)	Veri2 ort. hata TKD (%)	Veri3 ort. hata TKD (%)	Veri4 ort. hata TKD (%)	Veri5 ort. hata TKD (%)	Veri6 ort. hata TKD (%)	Veri7 ort. hata TKD (%)
	7,13	4,23	7,54	5,54	2,40	2,25	6,44
	Veri1 t-test Ra	Veri2 t-test Ra	Veri3 t-test Ra	Veri4 t-test Ra	Veri5 t-test Ra	Veri6 t-test Ra	Veri7 t-test Ra
	7,141	3,885	3,347	2,059	4,921	9,870	2,597
	Veri1 ort. hata Ra (%)	Veri2 ort. hata Ra (%)	Veri3 ort. hata Ra (%)	Veri4 ort. hata Ra (%)	Veri5 ort. hata Ra (%)	Veri6 ort. hata Ra (%)	Veri7 ort. hata Ra (%)
	3,15	2,44	3,98	2,56	4,41	2,55	4,06

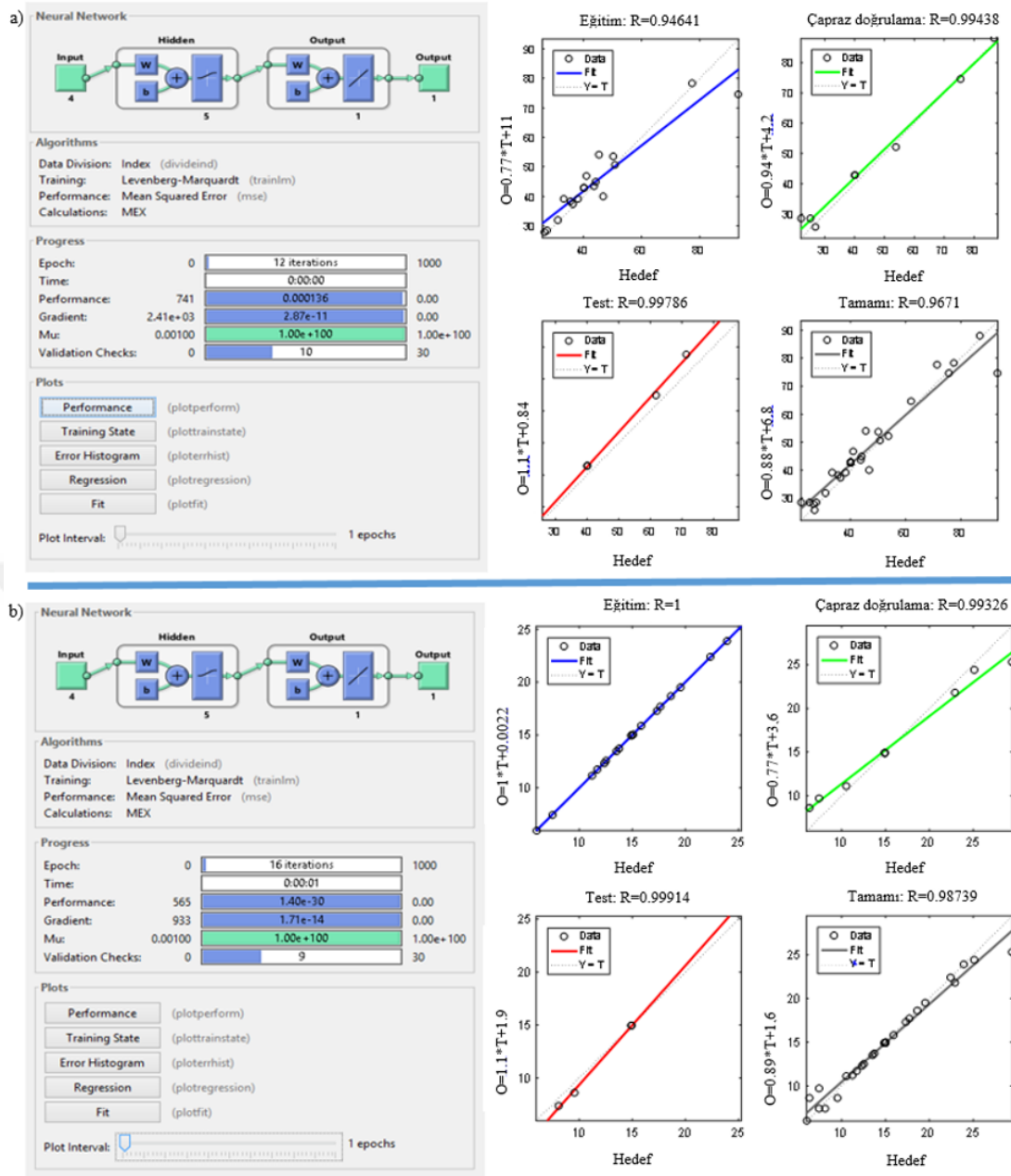
Kaba talaş, emme ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri için geliştirilen YSA modellerinin istatistiki olarak doğruluğunun kabul edilmesi için yapılan t-test ve yüzde hata oranı sonuçları istenilen sonuçlar gelmiştir. Başka bir deyişle YSA modeline istenilen veriler test sonucu olarak tanıtıldığında bu test verilerinin model sonuçları gerçek veriden çok farklı gelmemektedir ve geliştirilen YSA modelini farklı zamanlarda eğitip sonuç almak istenildiği zaman da model çıktısı gerçek veri değerlerinden çok farklı gelmemektedir. Geliştirilen modelin istatistiki olarak kabul edilebilir olduğuna kanaat getirildikten sonra YSA modeli kullanılarak kaba talaş, emme ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerine özgü girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkiyi yansıtan 3 boyutlu yüzey grafikleri elde edilmiştir

7.1 Kaba Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi ve Talaş Kaldırma Debisi Yapay Sinir Ağı Modelinin Geliştirilmesi

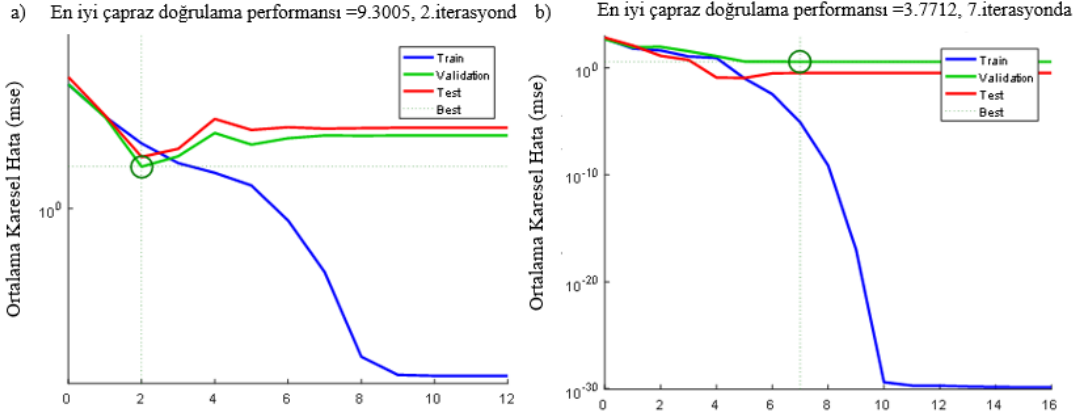
Yanıt yüzey metodunda olduğu gibi yapay sinir ağlarında da aynı girdi parametreleri kullanılmıştır. Kaba talaş işlemleri için çıktı parametreleri ise talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisidir. Yapay sinir ağlarında girdi ve çıktı parametresi arasında bir genelleme yapmak için nöronlardan oluşan gizli katmanlar kullanılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen YSA modelinde tek gizli katman ve gizli katman içerisinde 5

adet nöron bulunmaktadır. Şekil 7.2’de kaba talaş kaldırma işlemlerinin özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi için geliştirilmiş YSA modelinin mimarisi ve eğitim, çapraz doğrulama ve test verilerinin yüzdeleri yer almaktadır.

Şekil 7.2’de yer alan eğitim, çapraz doğrulama ve test verilerinin eğrisi hedef noktalarının üzerinden geçmektedir ve bu verilerin yüzdeleri 1’e yakın çıkmıştır. Ayrıca Şekil 7.3’te çapraz doğrulama eğrisinin gidişatına bakıldığı zaman doğrulama eğrisinin test verisi ile uyumlu bir şekilde hareket ettiği görülmektedir. Modellerin ikisinde de en iyi çapraz doğrulama performansları aşırı öğrenmeye yakalanmadan elde edilmiştir. Modellerin istatistiki açıdan tutarlı olduğuna ve aşırı öğrenmeye yakalanmadığına kanaat getirildikten sonra kaba talaş işlemlerinin hem özgül kesme enerjisi hem de talaş kaldırma debisine özgü YSA tahmin modelleri kullanılarak 3 boyutlu yüzey grafikleri MATLAB™ programı sayesinde elde edilmiştir.



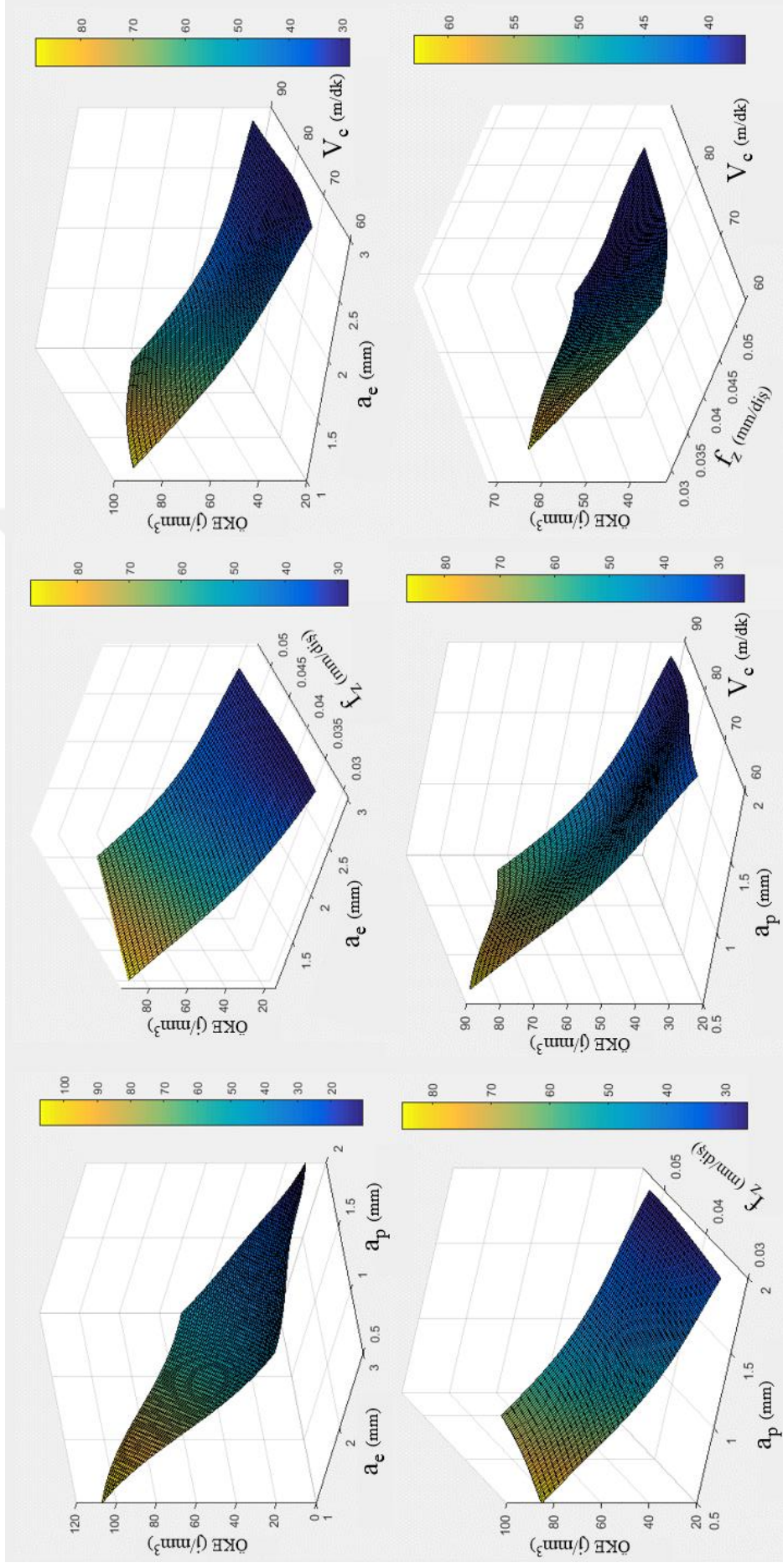
Şekil 7.2 : Kaba talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisinin YSA modelinin mimarisi ve eğitim, çapraz doğrulama ve test verilerinin yüzdeleri.



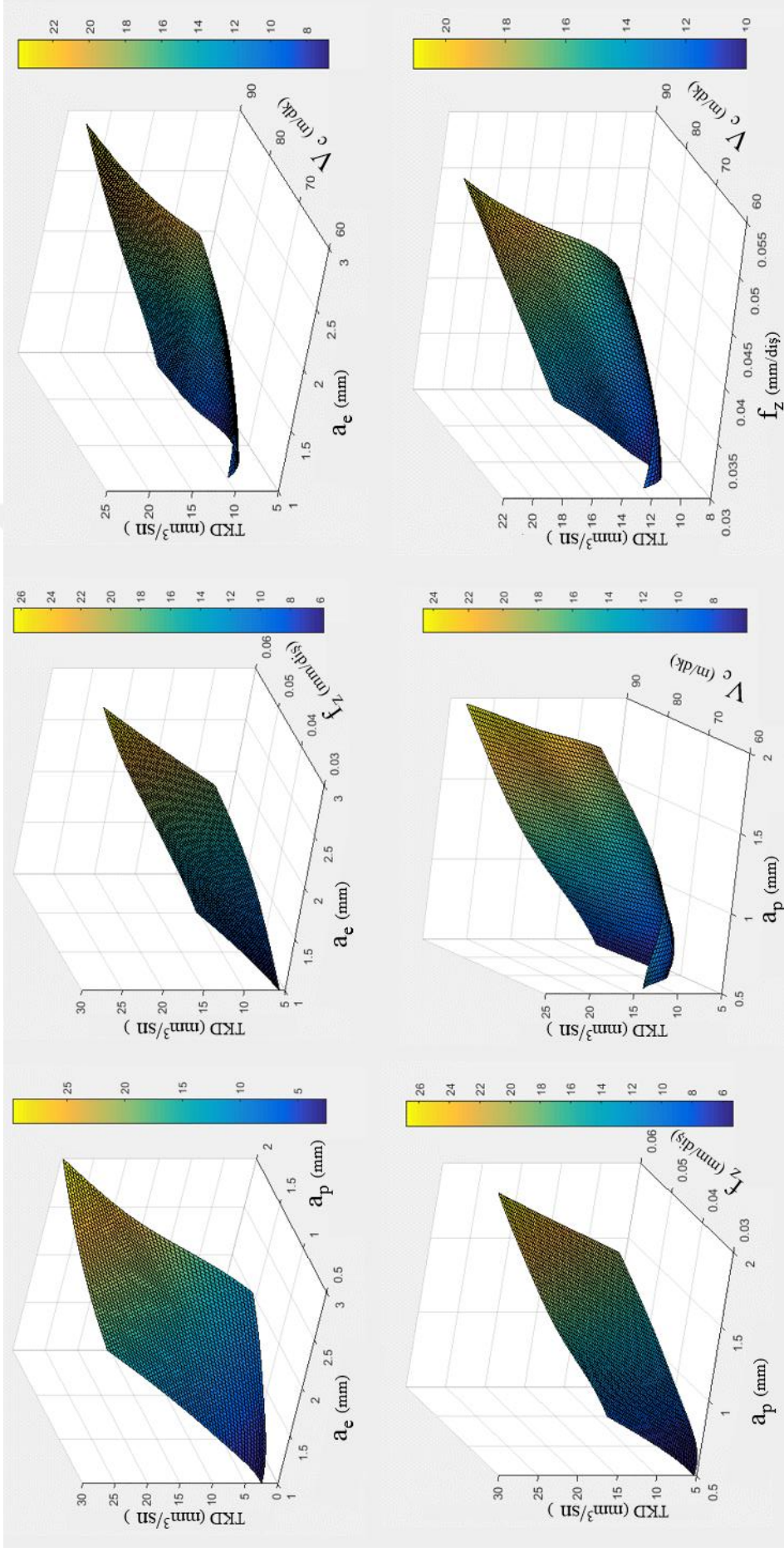
Şekil 7.3 : Kaba talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisinin YSA modelinin performans eğrileri.

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te gösterilen yüzey grafikleri YSA tarafından elde edilen tahmin modeli kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'deki grafikler kaba talaş işleminin özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisine özgü YSA tahmin modelinin 3 boyutlu yüzey grafikleridir. Bu grafikler kesme derinliği, yanıl kayma, diş başına ilerleme ve kesme hızı gibi girdi parametrelerinin özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi gibi çıktı parametreleri üzerindeki davranışlarını göstermektedir.

Şekil 7.4'de yer alan grafiklerdeki değişim yanıt yüzey metoduyla elde edilmiş grafiklerdeki değişime benzerlik göstermektedir. Bir başka ifadeyle hem yanıt yüzey metoduyla elde edilmiş grafiklerde hem de YSA metoduyla elde edilmiş grafiklerde herhangi bir girdi parametresinde artış meydana geldiği zaman ÖKE değerinde aynı şekilde azalma meydana gelmektedir. Girdi parametreleri ile ÖKE arasındaki ilişki ters orantılıdır.



Şekil 7.4 : Kaba talaş işlemlerinin YSA modeli ile tahmin edilen özgül kesme enerjisinin yüzey grafikleri.



Şekil 7.5 : Kaba talaş işlemlerinin YSA modeli ile tahmin edilen talaş kaldırma debisinin yüzey grafikleri.

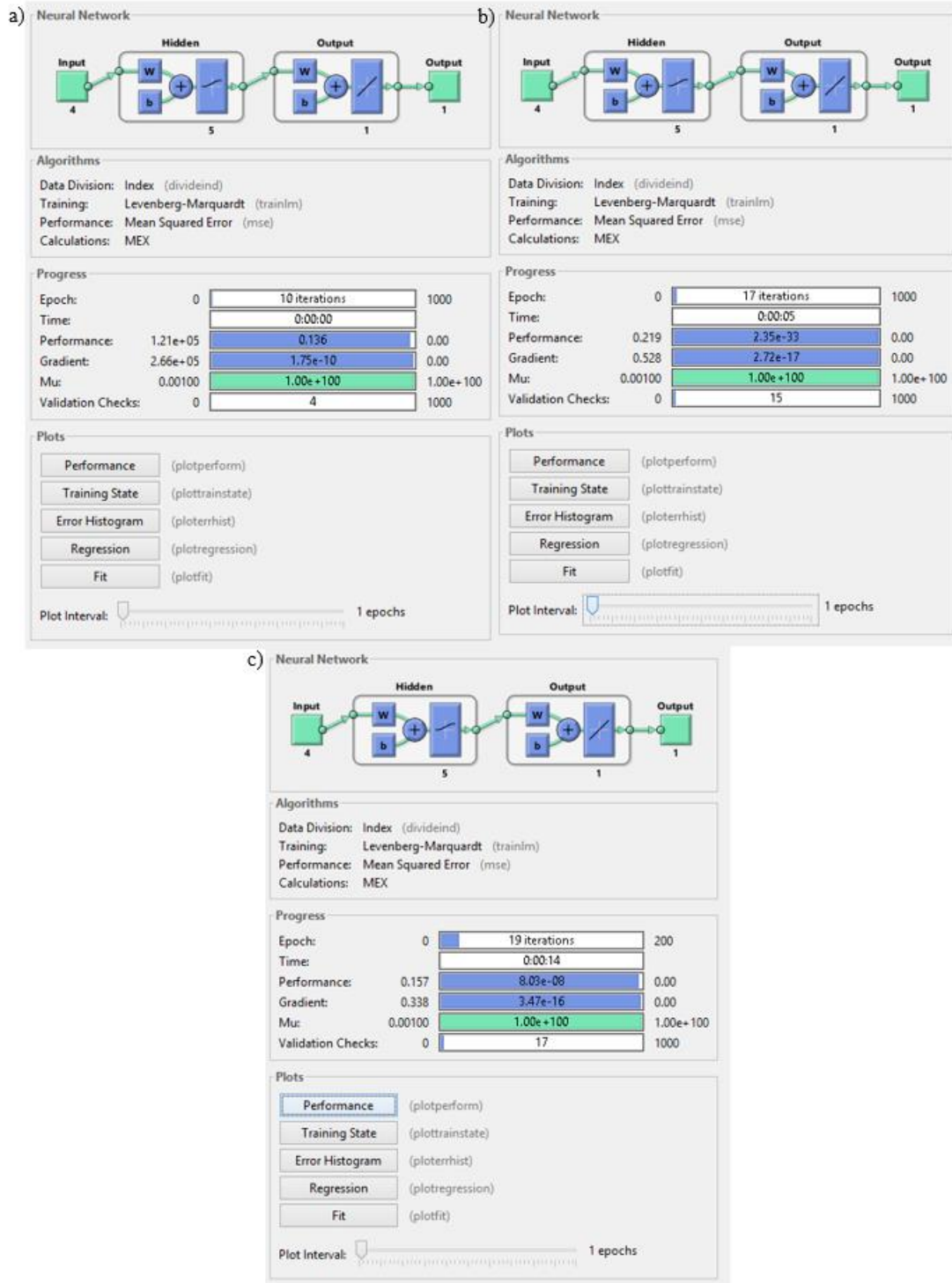
Şekil 7.5'te girdi parametreleri ile talaş kaldırma debisi arasındaki ilişki, özgül kesme enerjisi ile olan ilişkinin aksine doğru orantılıdır. Girdi parametresinde herhangi bir artış meydana geldiği zaman talaş kaldırma debisinde de artış meydana gelmektedir. Girdi parametrelerinden özellikle kesme derinliği ve yanal kaymada meydana gelen değişimin TKD üzerindeki etkisi fazladır. Bunun aksine dış başına ilerleme de veya kesme hızının da herhangi bir değişim meydana geldiği zaman talaş kaldırma debisi değerinde pek fazla bir değişim yaratmaz.

7.2 Emme Yüzeyinin İnce Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi, Talaş Kaldırma Debisi ve Yüzey Pürüzlülüğü Yapay Sinir Ağı Modellerinin Geliştirilmesi

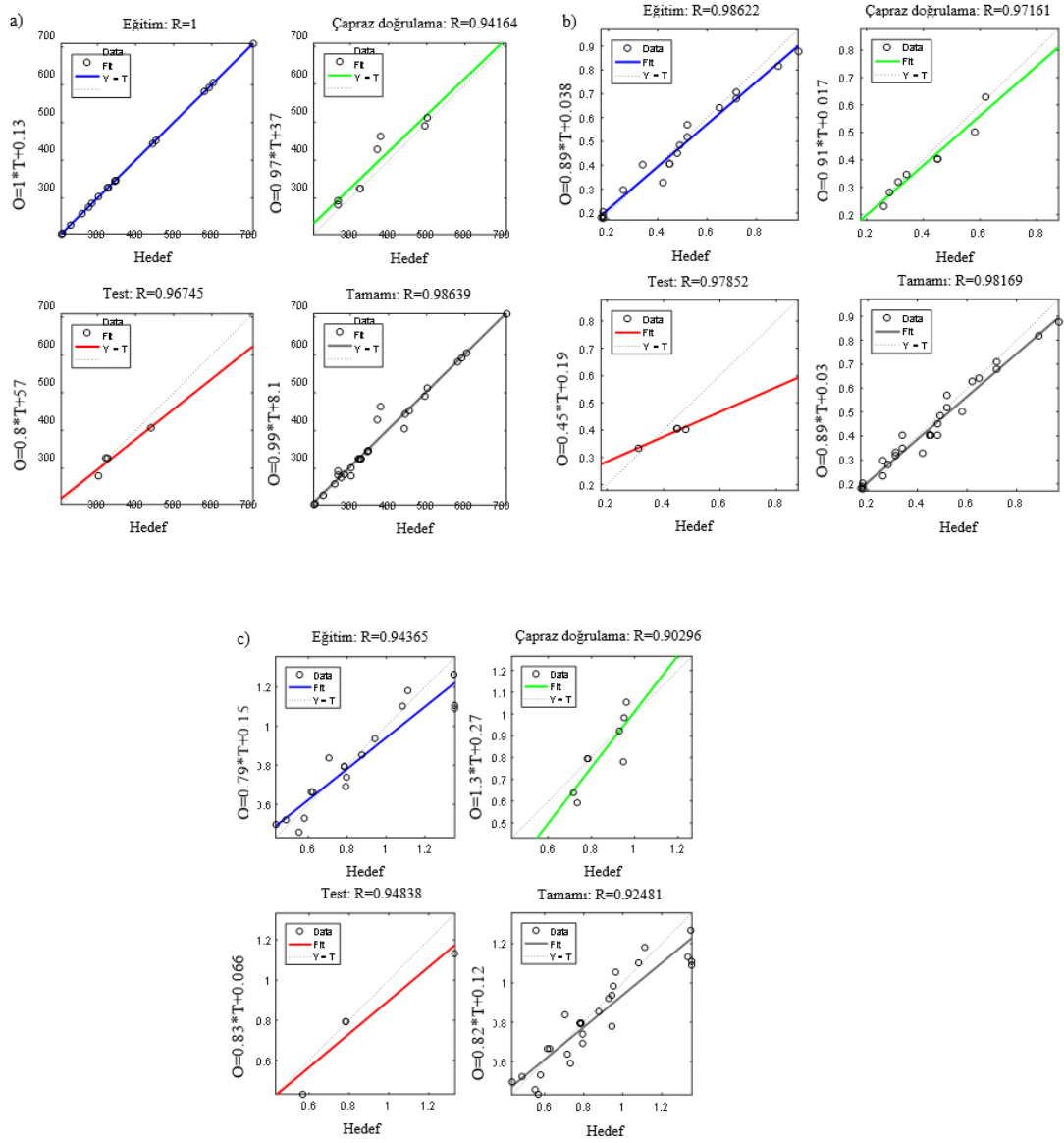
Kaba talaş işlemlerinde çıktı parametreleri olarak sadece özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi kullanılmıştır. Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde ise çıktı parametresi olarak özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisine ek olarak metal kesme işlemi sonrasında elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değeri incelenmiştir. Girdi parametreleri olarak kaba talaş işlemlerinde de olduğu gibi yanal kayma, kesme derinliği, dış başına ilerleme ve kesme hızı olmak üzere dört parametre kullanılmıştır.

Şekil 7.6'da emme yüzeyinin ince talaş işlemleri için sırasıyla özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğü için geliştirilmiş YSA modelinin mimarisi yer almaktadır. Ayrıca YSA tahmin modeli eğitiminin kaçınıcı iterasyonda sonlandırıldığı ve modeli durduran kısıt Şekil 7.6'da görülmektedir. Genel olarak modellerin eğitimini durduran kısıt "Mu" değeridir. "Mu" değeri tahmin modellerinin aşırı öğrenmeye girmesini engelleyen bir faktördür.

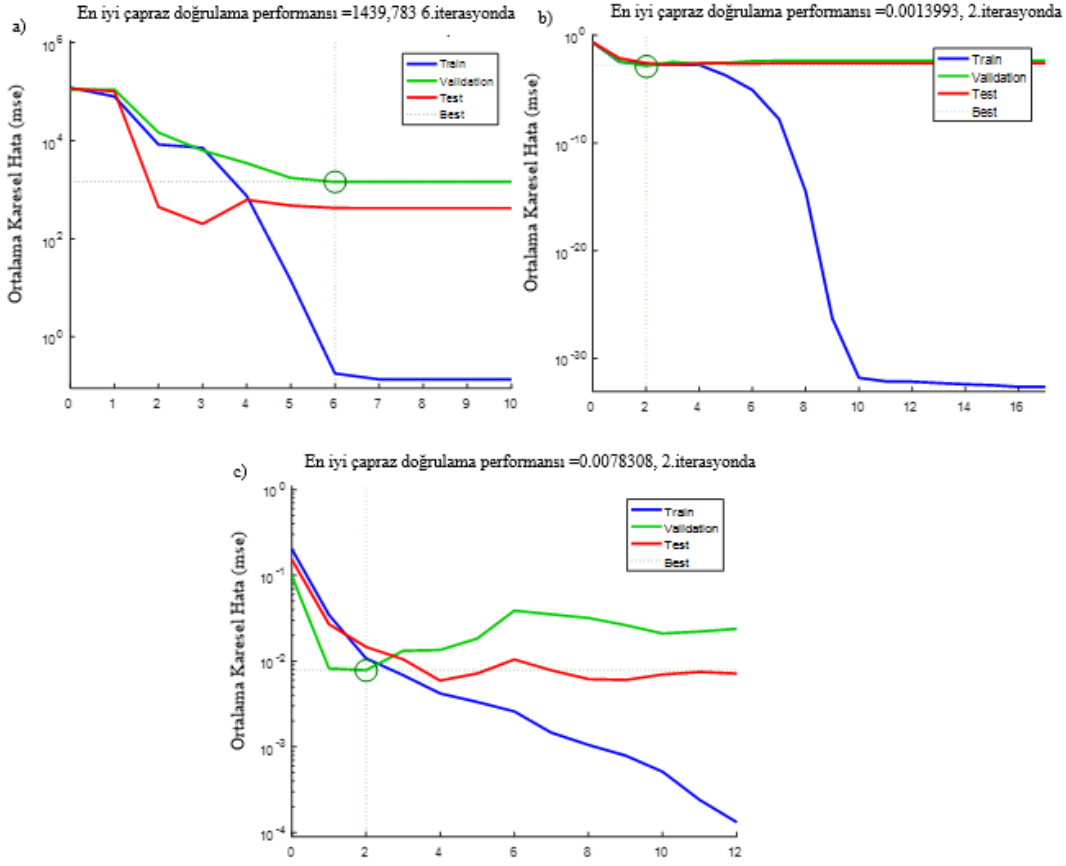
Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'de görülen grafiklerde geliştirilen YSA modellerinin eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri yüzdeleri ile model performansları görülmektedir. Eğitim, çapraz doğrulama ve test verilerinin yüzdeleri 1'e yakın gelmiştir. Ayrıca Şekil 7.8'da yer alan grafiklerde geliştirilen YSA modellerinde aşırı öğrenme meydana gelmediği görülmektedir. Eğitim sırasında aşırı öğrenme meydana gelmediği, Şekil 7.8'e bakıldığı zaman çapraz doğrulama eğrisinin test ve eğitim eğrisi ile benzer davranış göstermesiyle tespit edilebilir.



Şekil 7.6 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin mimarisi.

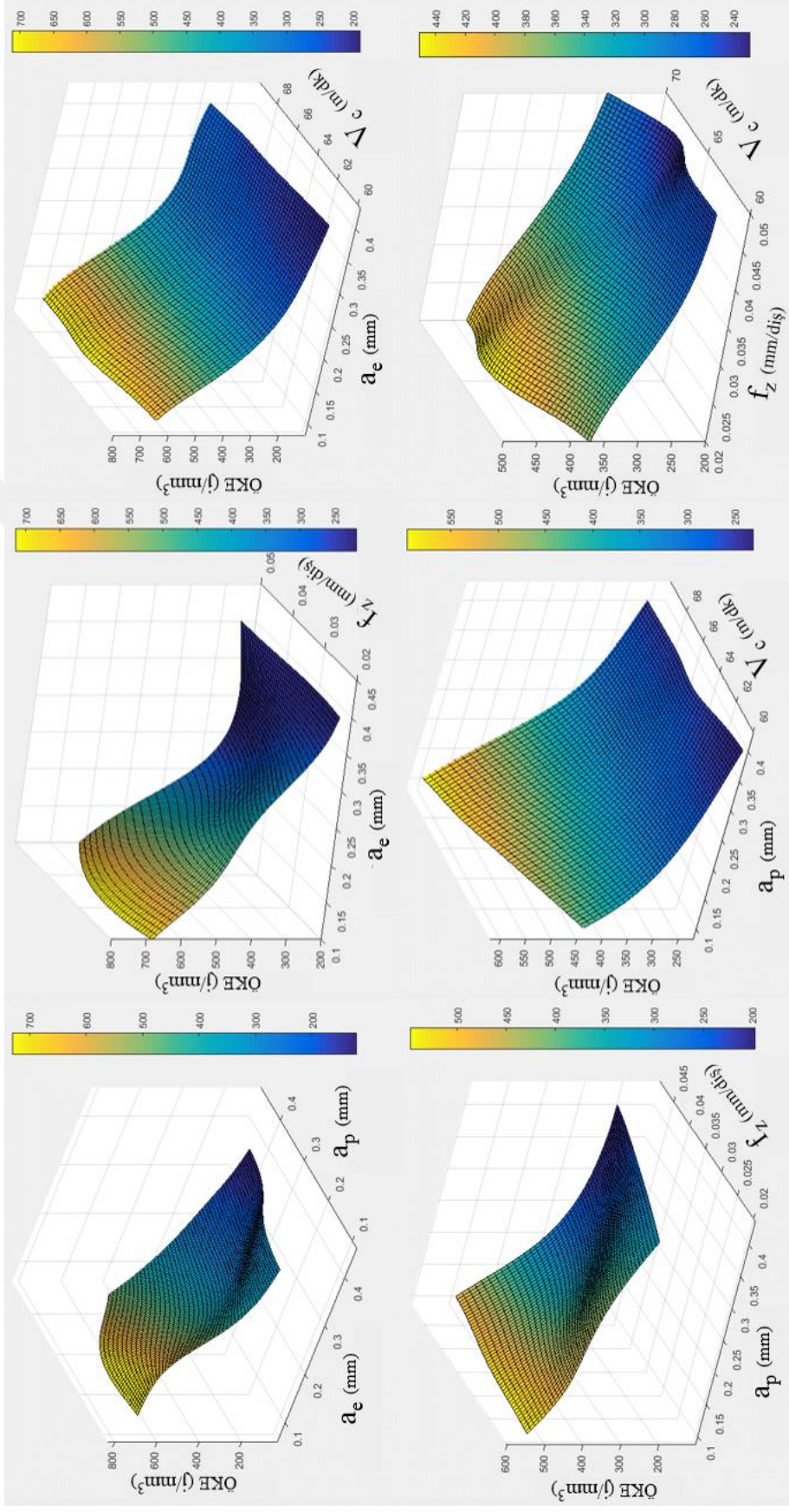


Şekil 7.7 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri yüzdeleleri.

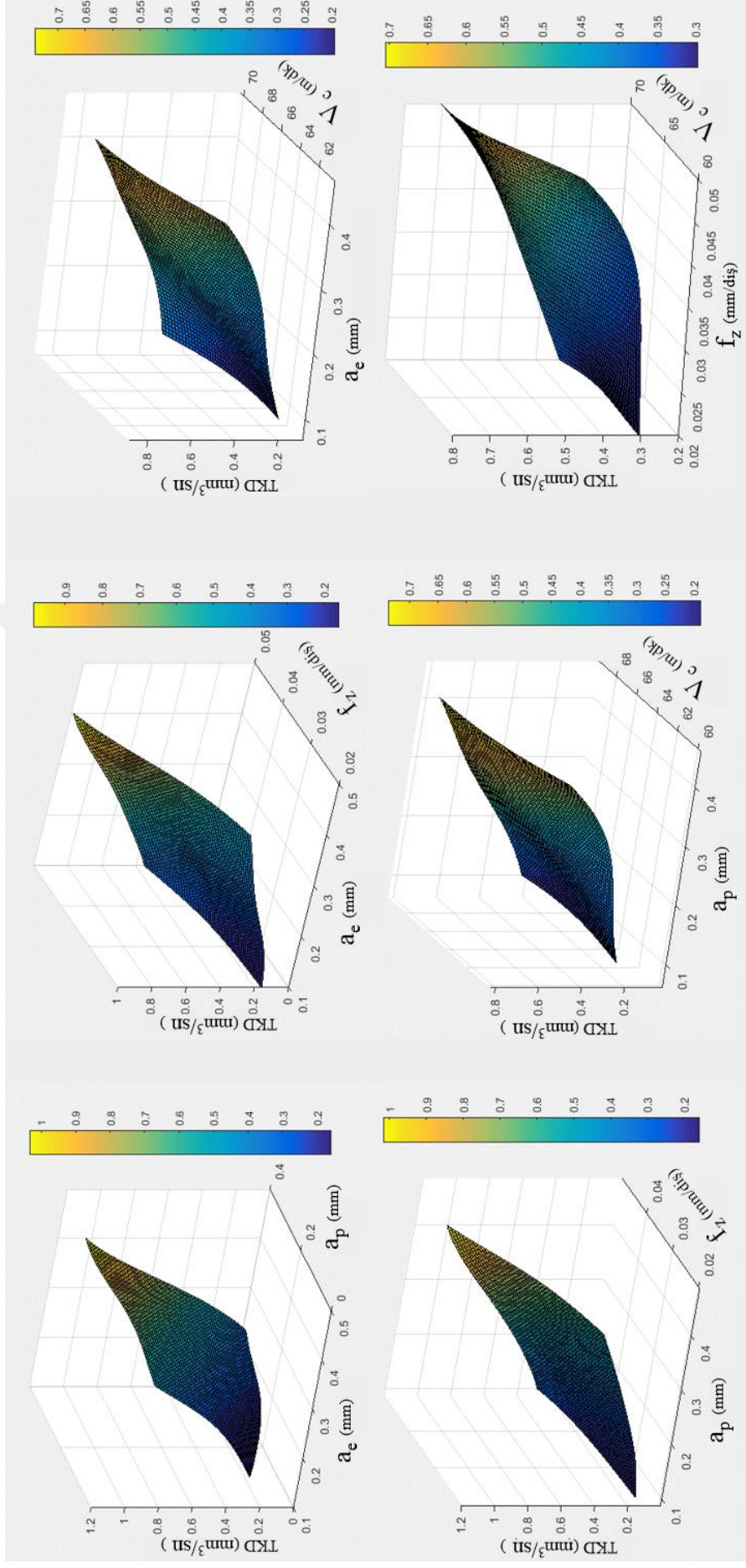


Şekil 7.8 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi ve (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin performans eğrileri.

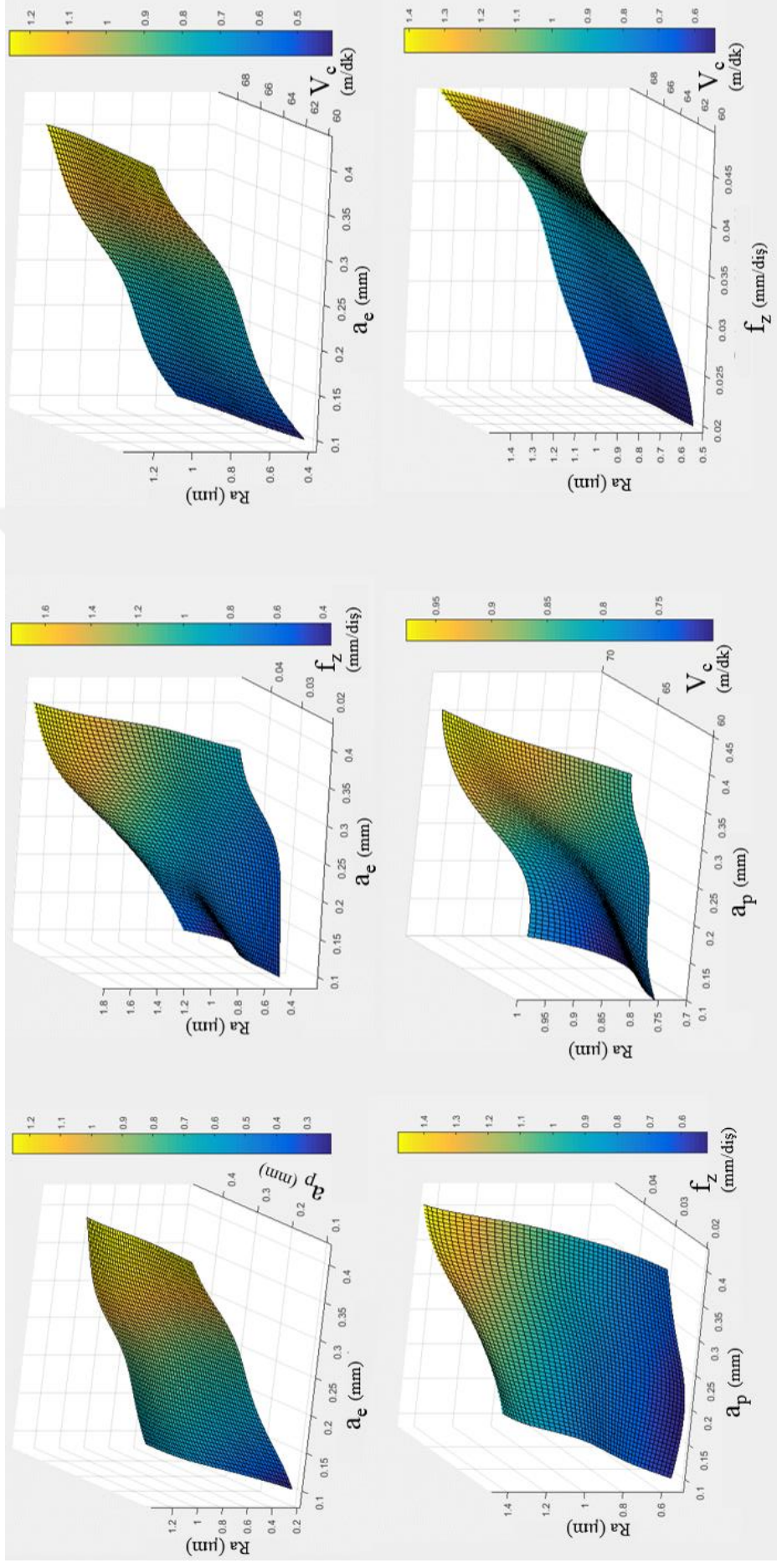
Şekil 7.9 ve Şekil 7.10’da emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde girdi parametrelerinin özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi gibi çıktı parametreleri üzerindeki değişimi görülmektedir. Şekillere bakıldığında zaman girdi parametreleri ile özgül kesme enerjisi arasında doğru orantılı bir ilişki, talaş kaldırma debisi ile ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Özgül kesme enerjisinin minimum olduğu noktada talaş kaldırma debisi maksimum değere sahiptir. Herhangi bir girdi parametresinde artış meydana geldiği zaman talaş kaldırma debisi değerinde artma gözlenmiştir bunun aksine özgül kesme enerjisi değerinde azalma olduğu görülmüştür. Şekil 7.11’de emme yüzeyinin ince talaş işlemi sonrasında elde edilen yüzeylerde yüzey pürüzlülüğünün YSA yüzey grafikleri yer almaktadır. Girdi parametrelerinde herhangi bir artış meydana geldiği zaman yüzey pürüzlülüğü değerinde artış meydana gelmektedir. Şekil 7.11’e bakıldığında daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için torna-freze takım tezgahlarında talaşlı imalat işlemleri sırasında düşük girdi parametresi değerleri kullanılmalıdır.



Şekil 7.9 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen özgül kesme enerjisinin yüzey grafikleri.



Şekil 7.10 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen talaş kaldırma debisinin yüzey grafikleri.



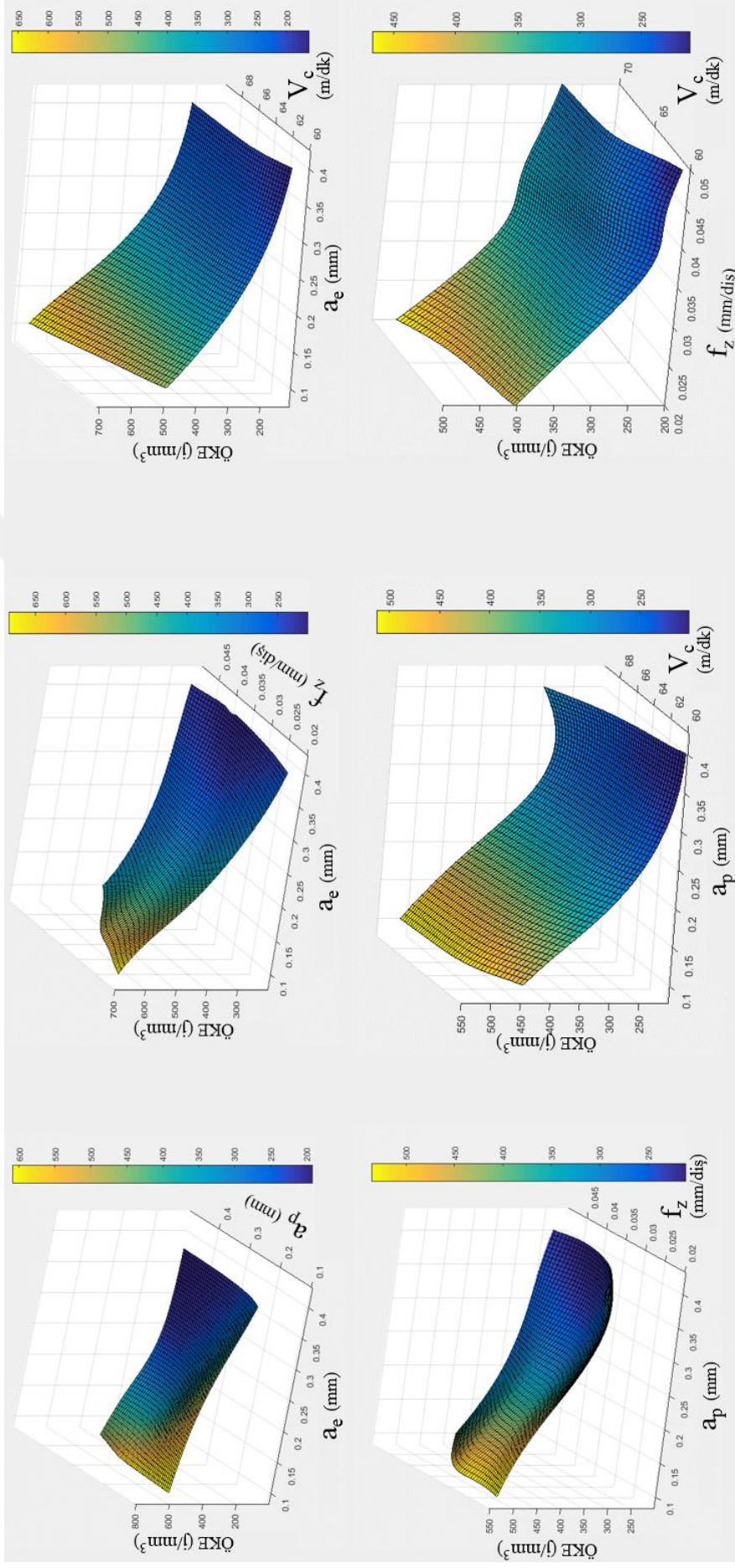
Şekil 7.11 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen yüzey pürüzlülüğünün yüzey grafikleri.

7.3 Basınç Yüzeyinin İnce Talaş İşlemleri için Özgül Kesme Enerjisi, Talaş Kaldırma Debisi ve Yüzey Pürüzlülüğü Yapay Sinir Ağı Modellerinin Geliştirilmesi

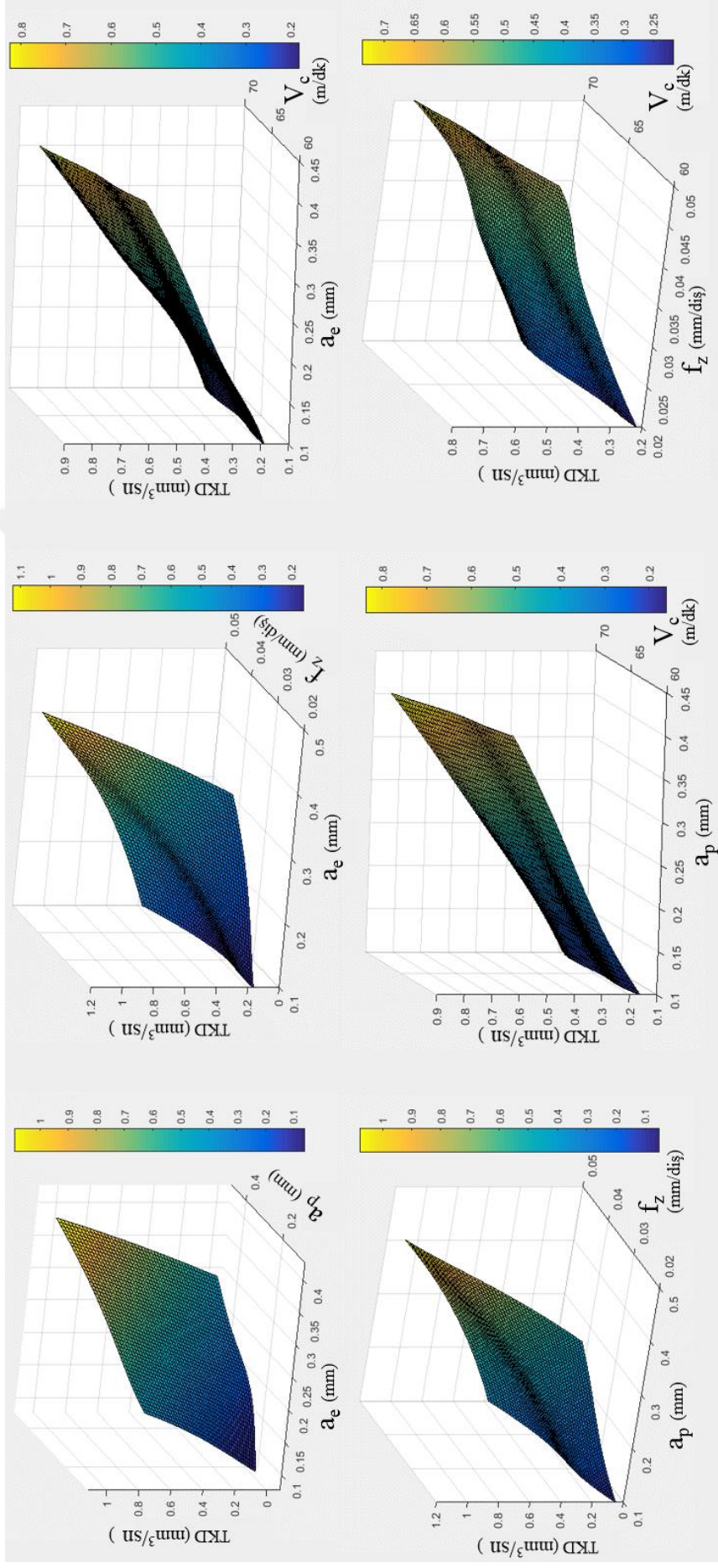
Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğünün girdi parametreleri ile olan ilişkileri emme yüzeyinin ince talaş işlemleri sonucunda elde edilen ilişkilere benzerlik göstermelidir. Çünkü emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde kullanılan girdi parametrelerinin aynısı kullanılmış ve aynı deney tasarımı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Tek farklılık emme yüzeyi ile basınç yüzeyinin serbest form yapılarıdır. Serbest form yapıları ufak da olsa farklılık gösterdiği için işlem süreleri de farklılık gösterir. Buna bağlı olarak basınç yüzeyi ile emme yüzeyinin ince talaş işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisi 3 boyutlu yüzey grafiklerine bakıldığında zaman farklılık görülmektedir. Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'te sırasıyla basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğünün 3 boyutlu yüzey grafikleri yer almaktadır.

Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'deki grafiklere bakıldığında zaman özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi üzerinde en etkili parametrelerin yanal kayma ve kesme derinliği olduğu görülmektedir. Çünkü yanal kayma ve kesme derinliğinde artış meydana geldiğinde zaman çıktı parametrelerinde farkedilebilir değişiklikler meydana gelmektedir. Bu iki girdi parametresi dışında kesme hızı veya diş başına ilerlemede herhangi bir değişim meydana geldiğinde zaman çıktı parametreleri üzerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.

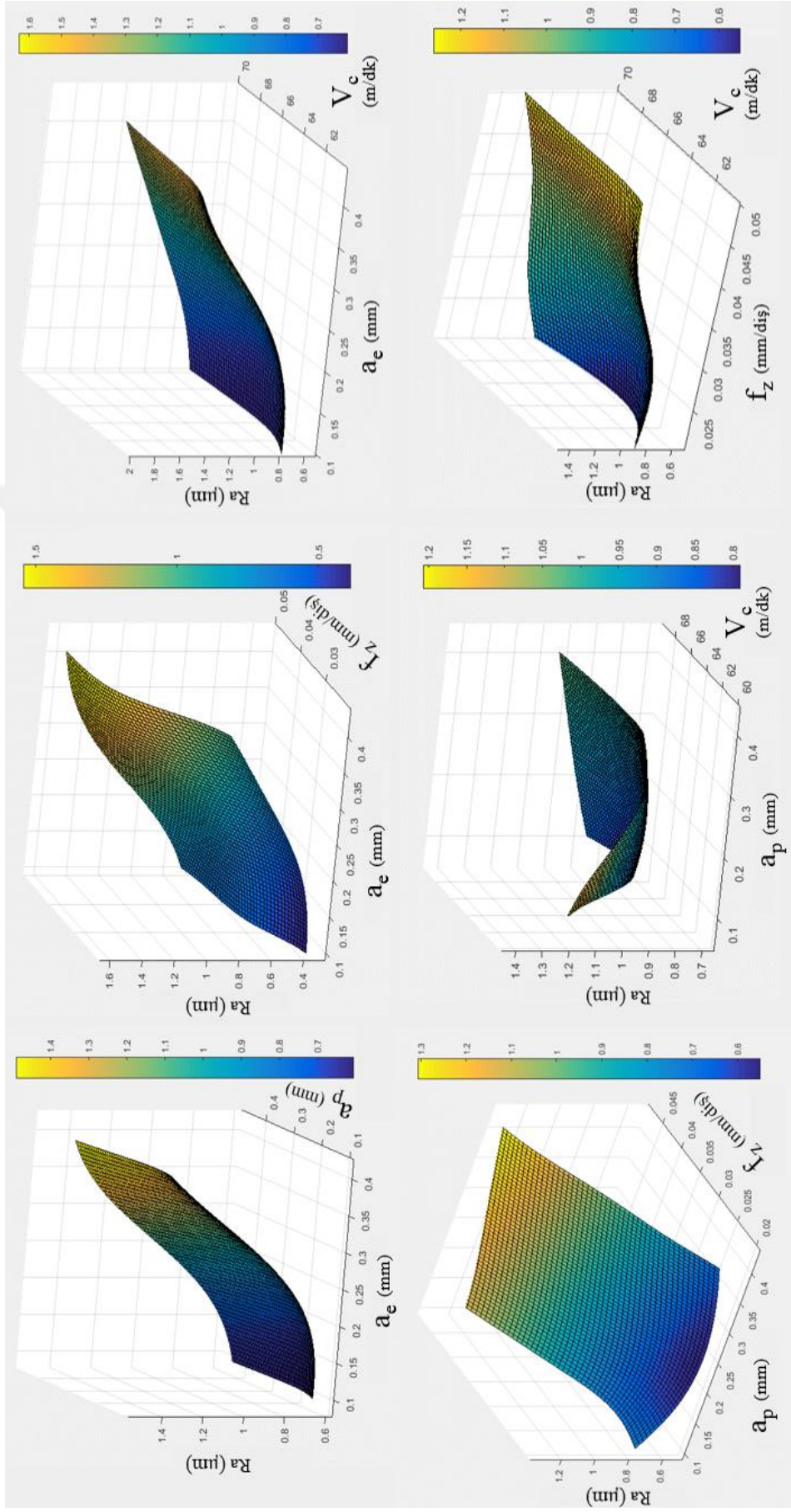
Şekil 7.14'teki grafikler girdi parametreleri ile çıktı parametresi olarak yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi gösterecek 3 boyutlu yüzey grafikleridir. Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde olduğu gibi çıktı parametresi üzerinde etkili olan girdi parametreleri yanal kayma, diş başına ilerleme ve kesme derinliği olduğu görülmektedir. Fakat kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerinde pek bir etkisinin olmadığı Şekil 7.14'te görülmektedir.



Şekil 7.12 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen özgül kesme enerjisinin yüzey grafikleri..



Şekil 7.13 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen talaş kaldırma debisinin yüzey grafikleri.



Şekil 7.14 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde YSA modeli ile tahmin edilen yüzey pürüzlülüğünün yüzey grafikleri..



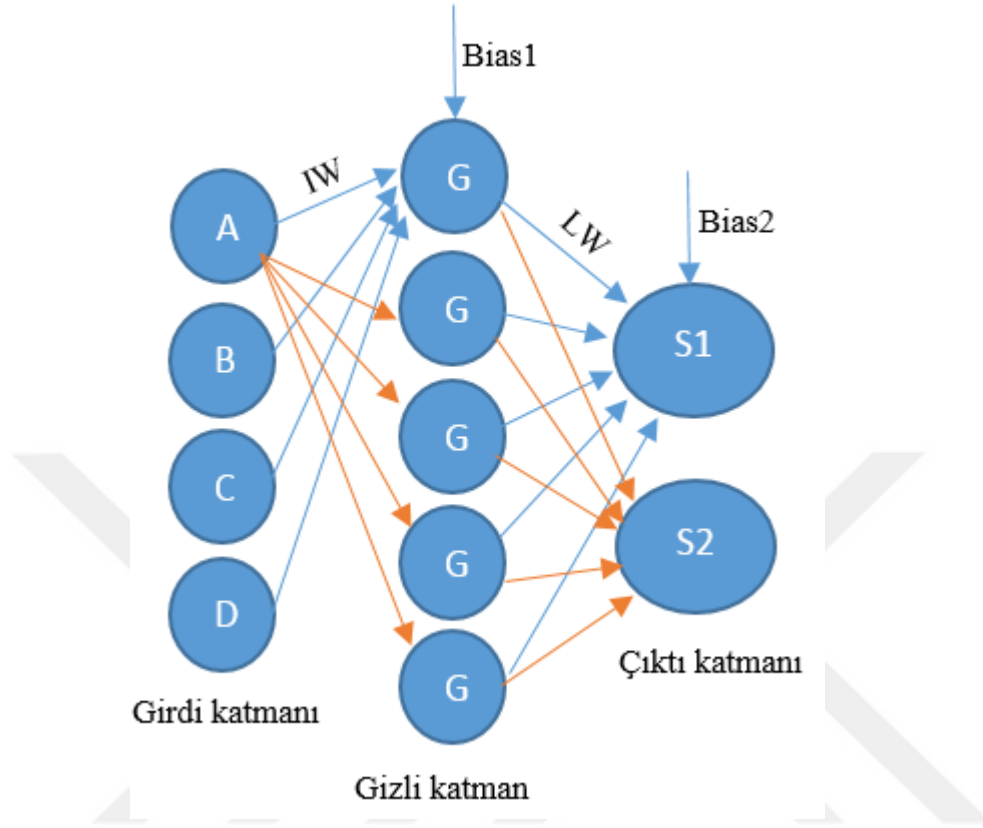
8. GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ İLE İŞLEM ÇIKTILARININ ENİYİLENMESİ

Yapay sinir ağları kullanılarak elde edilen tahmin modelleri genetik algoritma yönteminde uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Uygunluk fonksiyonları kaba talaş işlemleri için talaş kaldırma debisi (mm^3/sn) ile özgül kesme enerjisi (J/m^3) dir. Emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde uygunluk fonksiyonları talaş kaldırma debisi (mm^3/sn), özgül kesme enerjisi (J/m^3) ve yüzey pürüzlülüğü (μm)' dir. Bu uygunluk fonksiyonları baz alınarak en uygun bireylerin yer aldığı popülasyonlar yaratılır. En uygun bireylerin bulunması aşamasında rulet seçilimi, sıralı seçim ve turnuva seçimi olmak üzere 3 farklı seçim yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise turnuva seçilimi sayesinde uygun bireyler tespit edilir. Turnuva seçiminde popülasyon içerisinden rastgele 5 veya 6 birey seçilir ve bu bireylerden uygunluk değeri en iyi olan seçilir diğer bireyler elenir. Bu şekilde uygun bireylerden oluşan popülasyon oluşturulmuştur. Seçim yöntemi dışında daha iyi bireyler meydana getirebilmek için çaprazlama metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada sezgisel (heuristic) çaprazlama yöntemi kullanılmıştır.

Ayrıca eniyileme yöntemlerinde yerel optimum noktalara yakalanmadan küresel optimum noktayı bulmak önemlidir. Genetik algoritma mutasyon değişimi sayesinde en uygun bireyi bulmaya çalışırken sık sık yön değişiklikleri yapar. Bu sayede genetik algoritma yerel optimum noktalarda kısır döngüye girmeden küresel optimum noktayı bulmaya çalışır.

Genetik algortmada kullanılacak uygunluk fonksiyonlarını oluşturmak için her bir işlem kademesinin YSA modeli sonucu elde edilen tahmin modellerinin ağırlıkları bulunmuştur. Bu çalışmada, başlangıç ağırlık değeri (IW) ve gizli katman sonrasında elde edilen ağırlık değeri (LW) olmak üzere iki türlü ağırlık değeri vardır. Ayrıca gizli katmana eklenen sabit (bias1) ve çıktı katmanına eklenen sabit (bias2) olmak üzere de iki farklı sabit vardır. Şekil 8.1'de sabitler ve ağırlıklar görülmektedir. Uygunluk fonksiyonlarını bulurken Denklem (8.1) ve Denklem (8.2)'den yararlanılmıştır.

Şekil 8.1’de gösterilen A,B,C,D girdi parametrelerini, G gizli katmanı ve S1 ile S2 ‘de çıktı parametrelerini temsil etmektedir.

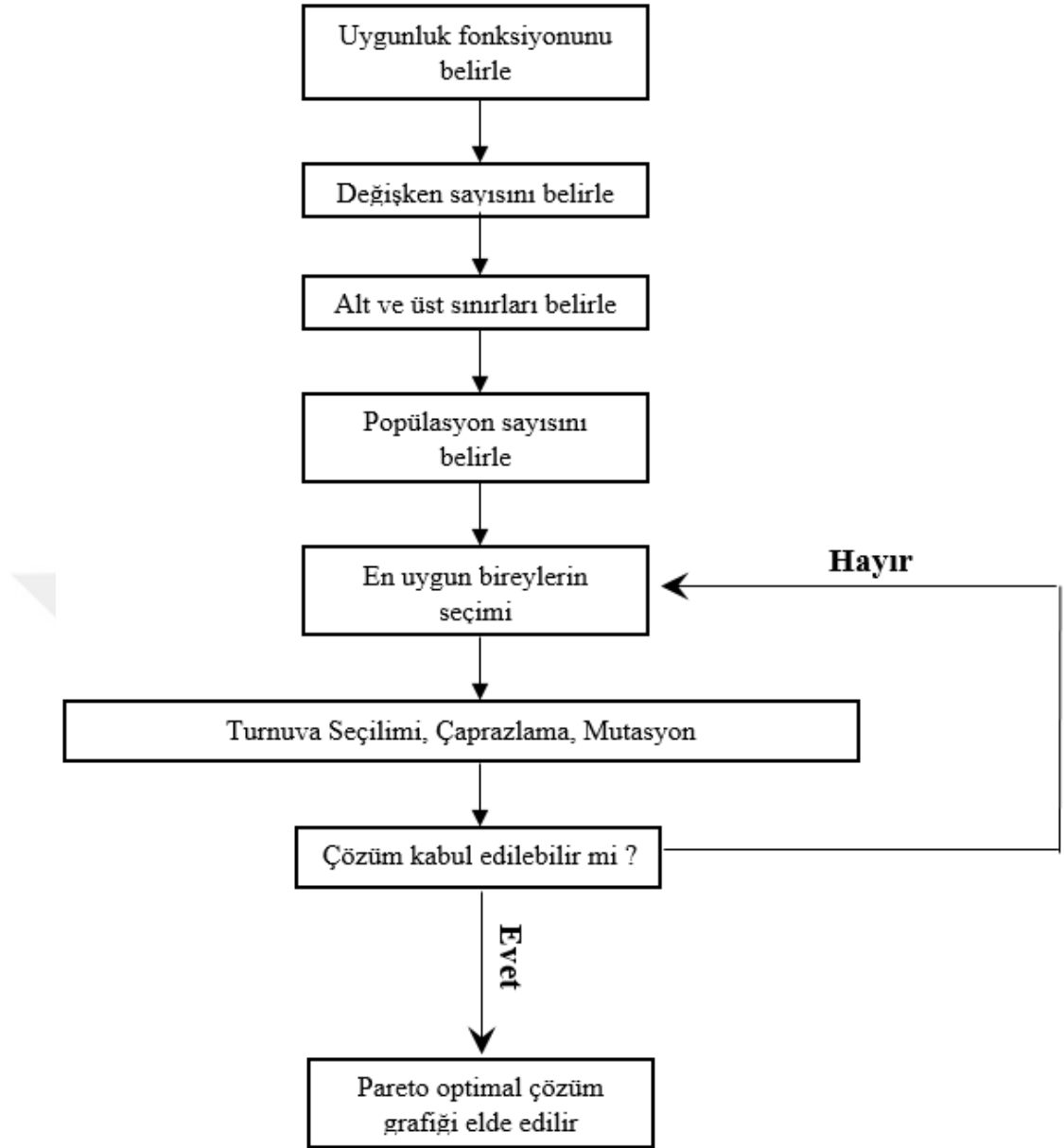


Şekil 8.1 : Yapay sinir ağı modeli ağırlıkları ve sabitleri.

$$O = \frac{1}{1 + e^{-x}} (Iw * girdi + bias1) \quad (8.1)$$

$$\text{Çıktı} = Lw.O + bias2 \quad (8.2)$$

Her bir işlem kademesi için elde edilen talaş kaldırma debisi, özgül kesme enerjisi ve yüzey pürüzlülüğü uygunluk fonksiyonları çok amaçlı eniyileme yöntemi kullanılarak çıktı parametrelerinin pareto eğrileri elde edilmiştir. Pareto optimal çözüm grafiklerini elde edebilmek için Şekil 8.2’de yer alan genetik algoritmanın akış şeması kullanılmıştır.



Şekil 8.2 : Genetik algoritmanın akış şeması.

Genetik algoritmada kullanılan kaba talaş işleme ait özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi uygunluk fonksiyonları Denklem (8.3) ve (8.4)' de emme yüzeyinin ince talaş işlemi için özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğü uygunluk fonksiyonları Denklem (8.5), (8.6) ve (8.7)'de yer almaktadır. Son olarak basınç yüzeyine ait ÖKE, TKD ve yüzey pürüzlülüğü uygunluk fonksiyonları Denklem (8.8), (8.9) ve (8.10)'da yer almaktadır.

$$\begin{aligned}
 \text{ÖKE} = & 519 - 124.4 \cdot x(1) - 208.0 \cdot x(2) - 4034 \cdot x(3) - 1.62 \cdot x(4) + 11.29 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.3) \\
 & + 33.50 \cdot x(2) \cdot x(2) + 8424 \cdot x(3) \cdot x(3) - 0.0020 \cdot x(4) \cdot x(4) + 15.92 \cdot x(1) \cdot x(2) \\
 & + 426 \cdot x(1) \cdot x(3) + 0.256 \cdot x(1) \cdot x(4) + 640 \cdot x(2) \cdot x(3) + 0.393 \cdot x(2) \cdot \\
 & x(4) + 10.6 \cdot x(3) \cdot x(4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TKD} = & 44.79 - 14.93 \cdot x(1) - 23.89 \cdot x(2) - 746 \cdot x(3) - 0.398 \cdot x(4) + 0.000 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.4) \\ & - 0.000 \cdot x(2) \cdot x(2) + 0 \cdot x(3) \cdot x(3) - 0.00000 \cdot x(4) \cdot x(4) + 5.971 \cdot x(1) \cdot x(2) + 186.6 \cdot \\ & x(1) \cdot x(3) + 0.0995 \cdot x(1) \cdot x(4) + 298.6 \cdot x(2) \cdot x(3) + 0.1592 \cdot x(2) \cdot x(4) + 4.98 \cdot \\ & x(3) \cdot x(4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ÖKE} = & -1845 - 4752 \cdot x(1) - 2646 \cdot x(2) - 11129 \cdot x(3) + 110.4 \cdot x(4) + 5916 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.5) \\ & x(1) + 4015 \cdot x(2) \cdot x(2) + 130160 \cdot x(3) \cdot x(3) - 0.757 \cdot x(4) \cdot x(4) + 2199 \cdot x(1) \cdot x(2) \\ & + 12349 \cdot x(1) \cdot x(3) - 8.2 \cdot x(1) \cdot x(4) + 1653 \cdot x(2) \cdot x(3) - 13.9 \cdot x(2) \cdot x(4) - 109 \cdot x(3) \cdot \\ & x(4) \end{aligned}$$

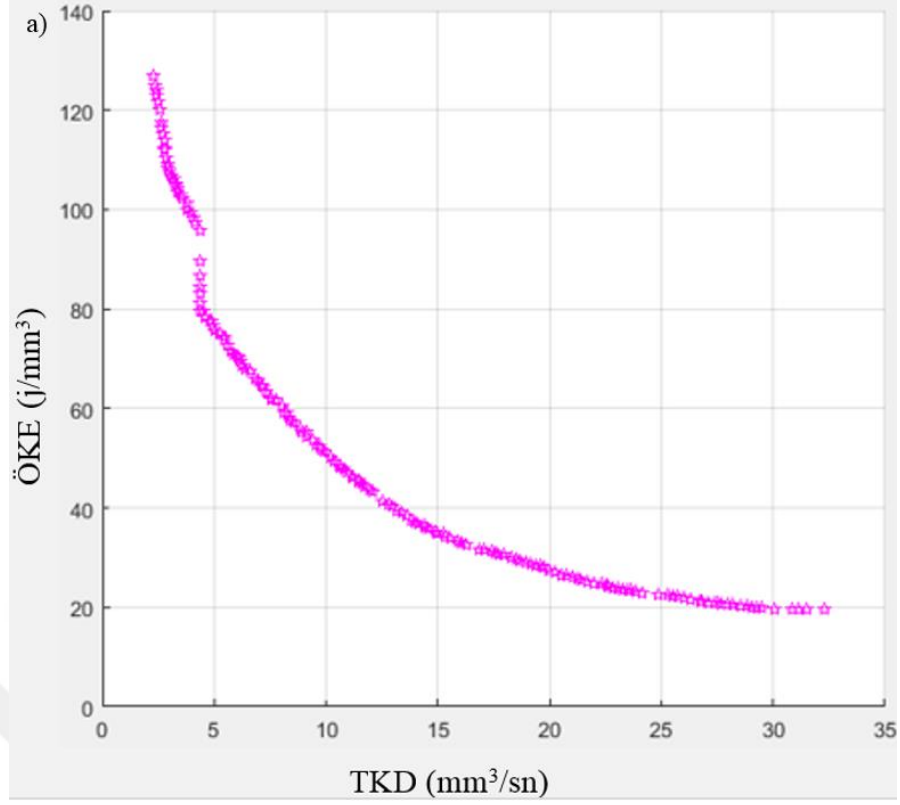
$$\begin{aligned} \text{TKD} = & 1.36 - 3.623 \cdot x(1) - 3.623 \cdot x(2) - 25.88 \cdot x(3) - 0.0139 \cdot x(4) + 0.000 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.6) \\ & - 0.000 \cdot x(2) \cdot x(2) + 0.0 \cdot x(3) \cdot x(3) - 0.000000 \cdot x(4) \cdot x(4) + 7.245 \cdot x(1) \cdot \\ & x(2) + 51.75 \cdot x(1) \cdot x(3) + 0.0279 \cdot x(1) \cdot x(4) + 51.75 \cdot x(2) \cdot x(3) + 0.0279 \cdot x(2) \cdot \\ & x(4) + 0.199 \cdot x(3) \cdot x(4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ra} = & 14.86 - 0.83 \cdot x(1) - 0.74 \cdot x(2) - 19.7 \cdot x(3) - 0.449 \cdot x(4) + 3.27 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.7) \\ & x(1) + 3.70 \cdot x(2) \cdot x(2) + 369 \cdot x(3) \cdot x(3) + 0.00361 \cdot x(4) \cdot x(4) - 1.53 \cdot x(1) \cdot \\ & x(2) + 96.9 \cdot x(1) \cdot x(3) - 0.0142 \cdot x(1) \cdot x(4) + 7.3 \cdot x(2) \cdot x(3) - 0.0076 \cdot x(2) \cdot x(4) \\ & - 0.193 \cdot x(3) \cdot x(4) \end{aligned}$$

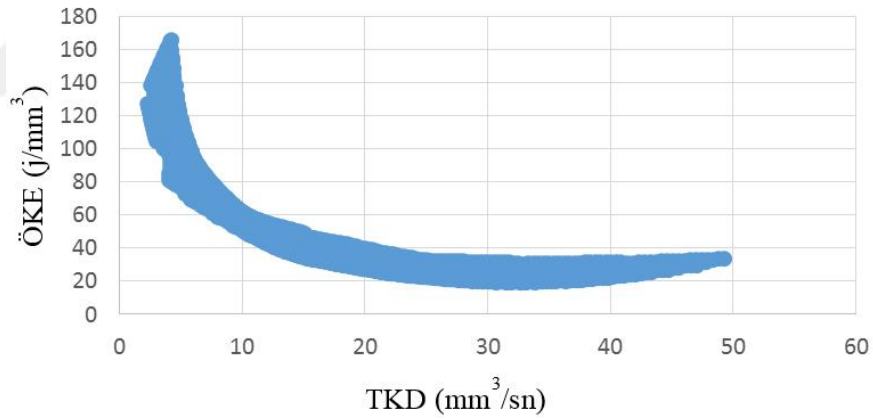
$$\begin{aligned} \text{ÖKE} = & -2125 - 3901 \cdot x(1) - 1795 \cdot x(2) - 5839 \cdot x(3) + 106.7 \cdot x(4) + 5310 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.8) \\ & + 3408 \cdot x(2) \cdot x(2) + 109267 \cdot x(3) \cdot x(3) - 0.713 \cdot x(4) \cdot x(4) + 1661 \cdot x(1) \cdot x(2) \\ & + 8511 \cdot x(1) \cdot x(3) - 10.2 \cdot x(1) \cdot x(4) - 2186 \cdot x(2) \cdot x(3) - 15.9 \cdot x(2) \cdot x(4) - 123 \cdot x(3) \cdot \\ & x(4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TKD} = & 1.36 - 3.623 \cdot x(1) - 3.623 \cdot x(2) - 25.88 \cdot x(3) - 0.0139 \cdot x(4) + 0.000 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.9) \\ & - 0.000 \cdot x(2) \cdot x(2) + 0.0 \cdot x(3) \cdot x(3) - 0.000000 \cdot x(4) \cdot x(4) + 7.245 \cdot x(1) \cdot x(2) \\ & + 51.75 \cdot x(1) \cdot x(3) + 0.0279 \cdot x(1) \cdot x(4) + 51.75 \cdot x(2) \cdot x(3) + 0.0279 \cdot x(2) \cdot x(4) \\ & + 0.199 \cdot x(3) \cdot x(4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ra} = & 14.94 - 0.83 \cdot x(1) - 0.74 \cdot x(2) - 19.7 \cdot x(3) - 0.449 \cdot x(4) + 3.27 \cdot x(1) \cdot x(1) \quad (8.10) \\ & + 3.70 \cdot x(2) \cdot x(2) + 369 \cdot x(3) \cdot x(3) + 0.00361 \cdot x(4) \cdot x(4) - 1.53 \cdot x(1) \cdot x(2) \\ & + 96.9 \cdot x(1) \cdot x(3) - 0.0142 \cdot x(1) \cdot x(4) + 7.3 \cdot x(2) \cdot x(3) - 0.0076 \cdot x(2) \cdot x(3) - 0.193 \cdot \\ & x(3) \cdot x(4) \end{aligned}$$



b)



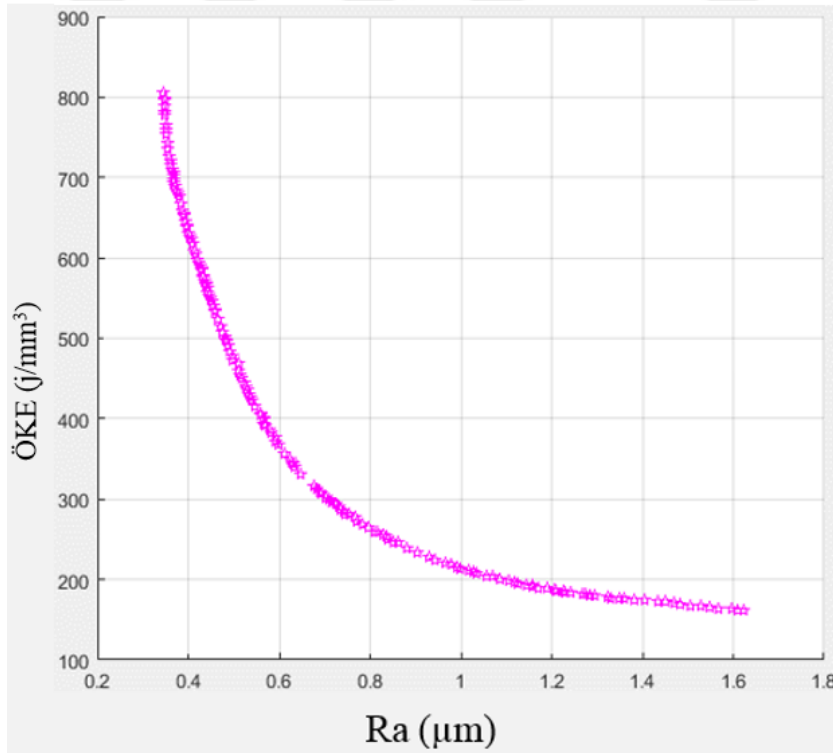
Şekil 8.3 : Genetik algoritma tarafından üretilen kaba talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin a) en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD değerindeki değişim ve b)çözüm uzayı.

Eniyileme probleminin kısıtları, giriş parametrelerinin üst ve alt sınırları olarak belirtilir. Kesici takımın ömrü ve iş parçasının malzemesi nedeniyle kesme koşulları belirli bir aralıkla sınırlıdır. Kaba talaş işlemleri için sisteme tanıtılan alt sınır yanıl kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızı parametreleri için sırasıyla 1mm,1mm, 0,03 mm/diş ve 63 m/dk'dır. Üst sınır ise sırasıyla 3mm, 2mm, 0,05mm/diş ve 87m/dk'dır. Bu alt ve üst sınırlar kullanılarak yapılan çok amaçlı eniyileme yöntemi sayesinde elde edilen en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD

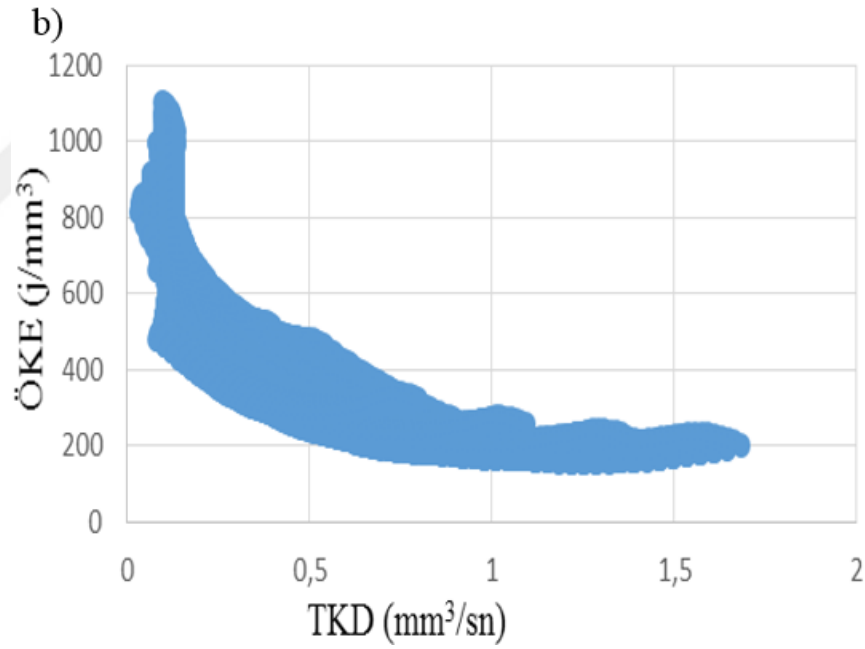
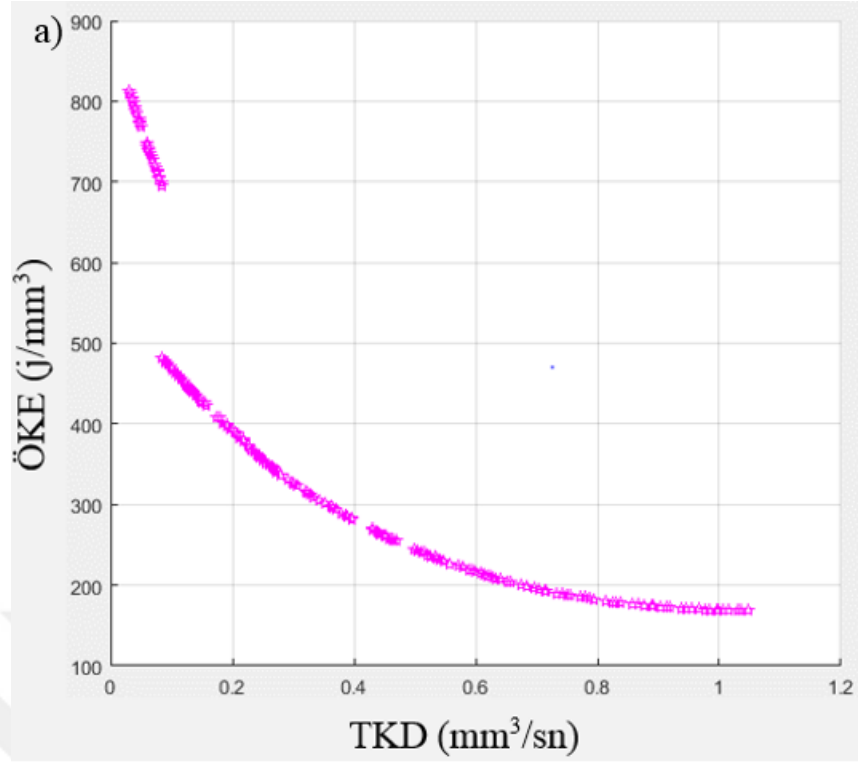
değerindeki değişim ve çözüm uzayı Şekil 8.3'te görülmektedir. Şekil 8.3'e bakıldığı zaman girdi parametrelerinde herhangi bir artış meydana geldiği zaman talaş kaldırma debisinin arttığı özgül kesme enerjisinin ise azaldığı görülmektedir. Enerji tüketimini azaltmak amacıyla torna-freze takım tezgahlarına tanıtılmak istenen girdi parametreleri, talaş kaldırma debisini maksimum ve özgül kesme enerjisini minimum yapacak şekilde seçilmelidir. Bu noktada, Çizelge 8.1'de yer alan farklı senaryolar için elde edilmiş eniyileme sonuçları arasından enerji verimliliği için maksimum TKD minimum ÖKE senaryosuna ait girdi parametreleri kullanılmalıdır.

Çizelge 8.1 :Kaba talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait eniyileme sonuçları.

Senaryo	Girdiler				Eniyileme Sonuçları	
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)
Max. TKD, Min ÖKE	2,51	1,52	0,05	87,00	32,397	19,23
Min. TKD, Max ÖKE	1,00	0,50	0,03	87,00	2,551	131,12
Ort. ÖKE, Ort. TKD	2,26	0,77	0,03	87	9,581	58,90



Şekil 8.4 : Genetik algoritma tarafından üretilen emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin Pareto optimal çözümü.



Şekil 8.5 : Genetik algoritma tarafından üretilen emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin a) en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD değerindeki değişim ve b)çözüm uzayı.

Şekil 8.4 ve 8.5'te yer alan pareto optimal çözümlerini elde edebilmek için kaba talaş işlemlerinde olduğu gibi çok amaçlı eniyileme yönteminden yararlanılmıştır. Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde gerek özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi gerekse yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin çok amaçlı eniyileme

yöntemlerinde kullanılan alt sınırlar yanal kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızı için sırasıyla 0,1mm, 0,1mm, 0,02mm/diş ve 60m/dk'dır. Öte yandan üst sınırlar ise sırasıyla 0,4mm, 0,4mm, 0,05mm/diş ve 70m/dk'dır.

Şekil 8.4'te yer alan pareto optimal çözüme bakıldığı zaman minimum yüzey pürüzlülüğü ve minimum özgül kesme enerjisi için tek bir nokta bulunmamaktadır. Çünkü girdi parametrelerinde herhangi bir artış meydana geldiği zaman özgül kesme enerjisinde azalma meydana gelecek bunun aksine yüzey pürüzlülüğünde ise artma meydana gelecektir. Bu yüzden çıktı parametrelerinden hangisi daha önemli ise ona göre en iyi girdi parametreleri belirlenmelidir. Çizelge 8.2'de emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisi için elde edilmiş farklı senaryolar yer almaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ile özgül kesme enerjisinin önem derecesi eşit ise Çizelge 8.2'de yer alan ortalama Ra ortalama ÖKE senaryosu seçilmelidir ve bu senaryoya uygun girdi parametreleri kullanılmalıdır.

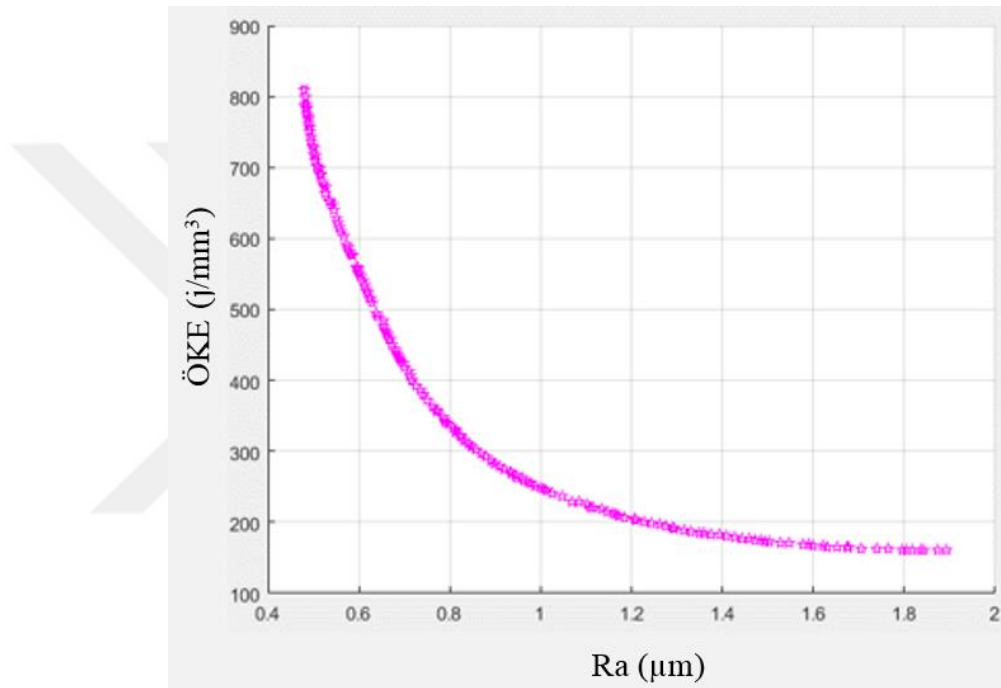
Çizelge 8.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları.

Senaryo:	Girdiler:				Eniyileme sonuçları	
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	Ra (μm)	ÖKE (j/mm^3)
Min. Ra, Max ÖKE	0,10	0,16	0,03	63,31	0,349	804,97
Max. Ra, Min ÖKE	0,33	0,35	0,05	70,00	1,706	179,63
Ort. Ra, Ort. ÖKE	0,26	0,29	0,03	62,27	0,667	323,16

Şekil 8.5'e bakıldığı zaman emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde talaş kaldırma debisi ile özgül kesme enerjisinin ikili ilişkisi görülmektedir. Özgül kesme enerjisinin minimum, talaş kaldırma debisinin maksimum olması istenildiğinde girdi parametrelerinin artırılması gerekmektedir. Bu yüzden, Çizelge 8.3'de yer alan farklı senaryolara ait eniyileme sonuçları arasından seçilmesi gereken en uygun senaryo maksimum TKD minimum ÖKE senaryosudur. Bu senaryo için gerekli girdi parametreleri de Çizelge 8.3'de yer almaktadır.

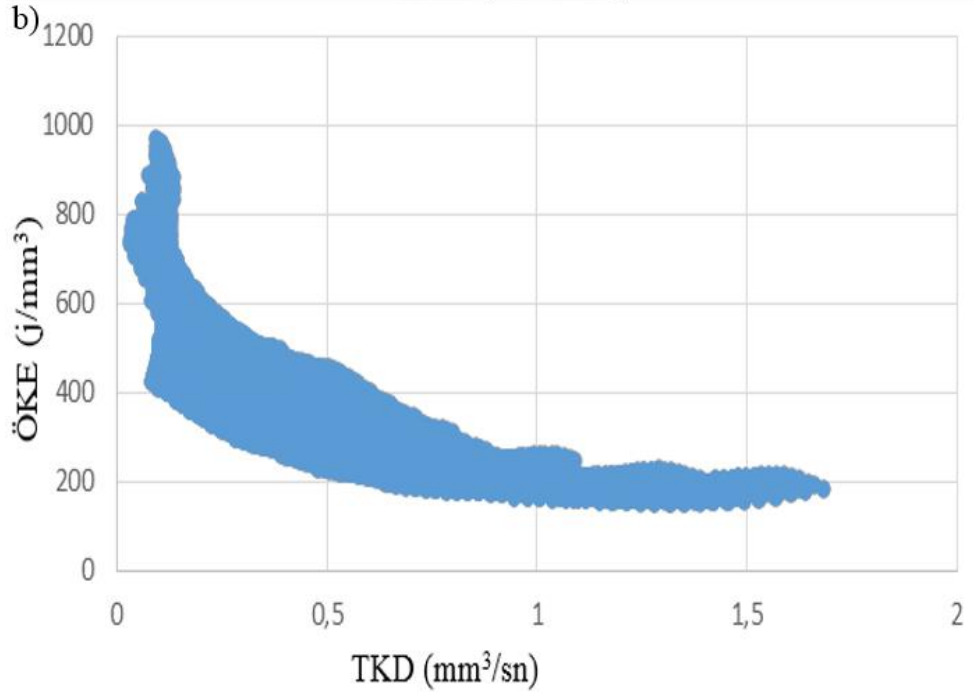
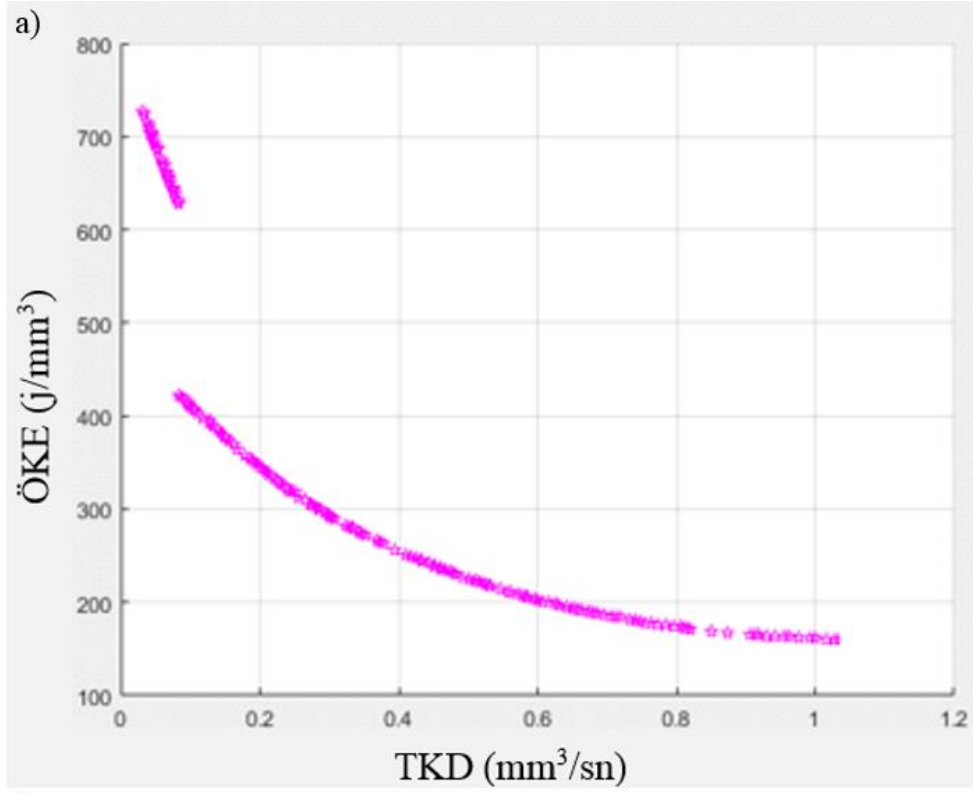
Çizelge 8.3 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları.

Senaryo:	Girdiler:				Optimizasyon sonuçları	
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)
Max. TKD, Min ÖKE	0,33	0,35	0,05	70,00	1,259	179,63
Min. TKD, Max ÖKE	0,10	0,10	0,05	60,00	0,086	827,06
Ort. TKD, Ort. ÖKE	0,34	0,23	0,02	60,01	0,320	410,92



Şekil 8.6 : Genetik algoritma tarafından üretilen basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin Pareto optimal çözümü.

Şekil 8.6 ve 8.7'deki durum Şekil 8.4 ve 8.5'deki durumun aynısıdır. Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde elde edilen grafiklerin benzeri basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde de elde edilmiştir. Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde çok amaçlı eniyileme yöntemini uygulayabilmek için emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde uygulanan alt ve üst sınırlar kullanılmıştır.



Şekil 8.7 : Genetik algoritma tarafından üretilen basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin a) en küçük ÖKE değerlerine karşılık TKD değerindeki değişim b) çözüm uzayı.

Çizelge 8.4 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları.

Senaryo:	Girdiler:				Optimizasyon sonuçları	
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	Ra (μm)	ÖKE (j/mm^3)
Min. Ra, Max ÖKE	0,10	0,10	0,03	63,17	0,478	803,44
Max. Ra, Min ÖKE	0,33	0,34	0,05	60,00	1,892	132,30
Ort. Ra, Ort. ÖKE	0,23	0,25	0,03	61,82	0,794	312,50

Çizelge 8.5 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin farklı senaryolara ait talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisinin eniyileme sonuçları.

Senaryo:	Girdiler:				Optimizasyon sonuçları	
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	TKD (mm^3/sn)	ÖKE (j/mm^3)
Max. TKD, Min ÖKE	0,33	0,34	0,05	60,00	1,013	133,30
Min. TKD, Max ÖKE	0,10	0,10	0,05	60,03	0,104	736,04
Ort. TKD, Ort. ÖKE	0,34	0,22	0,02	60,03	0,311	347,03

Basınç yüzeyinin ince talaş işleminden sonra düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeyler elde edebilmek için girdi parametre değerlerini düşük tutmak gerekir. Girdi parametreleri düşük seçildiği zaman bu sefer de özgül kesme enerjisi değeri yüksek gelmektedir. Özgül kesme enerjisi değerini düşük tutmak için seçilen girdi parametreleri ile maksimum yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeyler elde edilir. Bu durumda emme yüzeyinin ince talaş işleminde olduğu gibi ortalama Ra ortalama ÖKE senaryosu seçilip bu senaryoya uygun girdi parametreleri seçilmelidir.

Ayrıca Çizelge 8.5’de de basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisi için uygulanan farklı senaryoların eniyileme sonuçları yer almaktadır. Çıktı parametreleri nasıl olması gerekiyorsa ona uygun senaryo seçilir ve o senaryoya ait girdi parametreleri kullanılır.



9. DOĞRULAMA

Çok amaçlı eniyileme yöntemleri kullanılarak elde edilen pareto optimal çözümlerinin farklı senaryolar için elde edilen çıktılarının doğrulanması gerekmektedir. Bu amaçla, çok amaçlı eniyileme yönteminin bulduğu çıktıları elde edebilmek amacıyla kullanılması gereken girdi parametreleri Mazak i-200st torna-freze takım tezgahına tanıtılarak döner çark parçası tekrar işlenmiştir. Buna ek olarak aynı girdi parametreleri önceden geliştirilen YSA modeline tanıtılarak YSA modelinin çıktıları alınmıştır. Eniyileme yöntemi sonucunda farklı senaryolara uygun en iyi girdi parametreleri ile elde edilen eniyileme sonuçları ile deney sonuçları ve geliştirilen YSA modelinin çıktıları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.1 : Kaba talaş işlemlerinin genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması

Senaryo	Girdiler				Eniyileme sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	% hata (TKD)	% hata (ÖKE)	T-test (TKD)	T-test (ÖKE)
Max. TKD, Min ÖKE	2,51	1,52	0,05	87,0	32,397	19,23	33,003	18,43	1,84	4,33	2,24 8	1,49 7
Min. TKD, Max ÖKE	1,00	0,50	0,03	87,0	2,551	131,12	2,597	122,80	1,75	6,78		
Ort. ÖKE, Ort. TKD	2,26	0,77	0,03	87,0	9,581	58,90	9,007	57,31	6,37	2,78		
Senaryo	Girdiler				YSA sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/diş)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	% hata (TKD)	% hata (ÖKE)	T-test (TKD)	T-test (ÖKE)
Max. TKD, Min ÖKE	2,51	1,52	0,05	87,0	31,88	19,26	33,00	18,43	3,41	4,53	1,84 4	1,45 1
Min. TKD, Max ÖKE	1,00	0,50	0,03	87,0	2,56	130,12	2,60	122,80	1,43	5,97		
Ort. ÖKE, Ort. TKD	2,26	0,77	0,03	87,0	9,58	58,39	9,01	57,31	6,38	1,89		

Çizelge 9.1’ya bakıldığı zaman kaba talaş işlemlerinin talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisi için elde edilen farklı senaryolara ait en iyi girdi parametreleri ve eniyileme sonuçları görülmektedir. Ayrıca bu girdi parametreleri kullanılarak torna-freze takım tezgahlarında yapılan deneyler sonrasında elde edilen sonuçlar ile önceden geliştirilen YSA modeli çıktıları da Çizelge 9.1’da yer almaktadır. Deney sonuçları ve eniyileme sonuçları arasında yapılan t-test sonuçlarını yorumlamak gerekirse çıkan değerler 0,05’den büyük olduğu için deney sonuçları ile eniyileme sonuçları arasında istatistiksel olarak önemli bir farkın olmadığı söylenebilir. Öte yandan YSA sonuçları ile deney sonuçları arasında yapılan t-test sonuçları da 0,05’den büyük geldiği için YSA modelinin de tutarlı sonuçlar verdiği söylenebilir. Deney sonuçları ile YSA sonuçları ve deney sonuçları arasında hesaplanan yüzde hata değerleri’de %10’un üzerinde olmadığı için sonuçlar kabul edilebilir çıkmıştır.

Çizelge 9.2 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin Ra ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.

Senaryo	Girdiler				Eniyileme sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	% hata (Ra)	% hata (ÖKE)	T-test (Ra)	T-test (ÖKE)
Min. Ra, Max. ÖKE	0,10	0,16	0,03	63,31	0,35	804,97	0,38	812,20	8,60	0,89	3,518	6,213
Max. Ra, Min. ÖKE	0,33	0,35	0,05	70,00	1,71	179,63	1,73	190,30	1,11	5,61		
Ort. Ra, Ort. ÖKE	0,26	0,29	0,03	62,27	0,67	323,16	0,68	316,75	1,79	2,02		
Senaryo	Girdiler				YSA sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	% hata (Ra)	% hata (ÖKE)	T-test (Ra)	T-test (ÖKE)
Min. Ra, Max. ÖKE	0,10	0,16	0,03	63,31	0,36	805,50	0,38	812,20	5,82	0,83	3,959	6,421
Max. Ra, Min. ÖKE	0,33	0,35	0,05	70,00	1,71	178,99	1,73	190,30	0,94	5,94		
Ort. Ra, Ort. ÖKE	0,26	0,29	0,03	62,27	0,67	324,92	0,68	316,75	1,26	2,58		

Çizelge 9.2 ve 9.3’te emme yüzeyinin ince talaş işlemlerine özgü uygulanan çok amaçlı eniyileme yöntemiyle, deney yapılarak ve YSA yöntemi kullanılarak elde edilen çıktılar arasında yapılan t-test sonuçları 0,05’den büyük gelmiştir. Sonuçların

0,05'den büyük çıkması eniyileme yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile YSA modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında bir tutarlılık olduğu söz konusudur. Ayrıca eniyileme sonuçları ile deney sonuçları arasında yapılan t-test sonuçları da 0,05'den büyük çıkmıştır. Bu sonuçlar eniyileme sonuçları ile deney sonuçları arasında önemli bir farkın olmadığını göstermektedir. Deney sonuçları ile eniyileme sonuçları ve YSA sonuçları arasında hesaplanan yüzde hata değerleri de kabul edilebilir çıkmıştır.

Çizelge 9.3 : Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinin TKD ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.

Senaryo	Girdiler				Eniyileme sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	% hata (TKD)	% hata (ÖKE)	T-test (TKD)	T-test (ÖKE)
Max. TKD, Min ÖKE	0,33	0,35	0,05	70,00	1,259	179,63	1,167	190,30	7,89	5,61	1,438	2,389
Min. TKD, Max ÖKE	0,10	0,10	0,05	60,00	0,086	827,06	0,094	856,10	8,44	3,39		
Ort. ÖKE, Ort. TKD	0,34	0,23	0,02	60,01	0,320	410,92	0,304	403,05	5,19	1,95		
Senaryo	Girdiler				YSA sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	% hata (TKD)	% hata (ÖKE)	T-test (TKD)	T-test (ÖKE)
Max. TKD, Min ÖKE	0,33	0,35	0,05	70,00	1,246	178,99	1,167	190,30	6,80	5,94	1,515	14,646
Min. TKD, Max ÖKE	0,10	0,10	0,05	60,00	0,088	865,06	0,094	856,10	5,46	1,05		
Ort. ÖKE, Ort. TKD	0,34	0,23	0,02	60,01	0,323	412,92	0,304	403,05	6,27	2,45		

Çizelge 9.4 ve 9.5'de yer alan değerler, basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin eniyileme sonuçları ile deney sonuçları ve YSA sonuçları arasında yapılan t-test ve yüzde hata sonuçlarını yansıtmaktadır. T-test sonucunda elde edilen değerler 0,05'den büyük geldiği için deney sonuçları ile eniyileme sonuçları arasında önemli bir farkın olmadığı söylenebilir ve YSA sonuçları ile deney sonuçları arasında bir tutarlılık olduğu söz konusudur. Deney sonuçları ile eniyileme sonuçları ve YSA sonuçları arasında yapılan t-test dışında yüzde hatalar hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzde hata

değerleri %10'un üzerinde olmadığı için elde edilen YSA sonuçları ve eniyileme sonuçları kabul edilebilir.

Çizelge 9.4 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin Ra ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması.

Senaryo	Girdiler				Eniyileme sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	% hata (Ra)	% hata (ÖKE)	T-test (Ra)	T-test (ÖKE)
Min. Ra, Max. ÖKE	0,10	0,10	0,03	63,17	0,478	803,44	0,524	802,20	8,89	0,15	3,573	1,375
Max. Ra, Min. ÖKE	0,33	0,34	0,05	60,00	1,892	132,30	1,872	129,20	1,07	2,40		
Ort. Ra, Ort. ÖKE	0,23	0,25	0,03	61,82	0,794	312,50	0,733	293,28	8,22	6,55		
Senaryo	Girdiler				YSA sonuçları		Deney sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	Ra (μm)	ÖKE (μm^3)	% hata (Ra)	% hata (ÖKE)	T-test (Ra)	T-test (ÖKE)
Min. Ra, Max. ÖKE	0,10	0,10	0,03	63,17	0,470	800,50	0,524	802,20	10,28	0,21	2,396	1,290
Max. Ra, Min. ÖKE	0,33	0,34	0,05	60,00	1,881	131,21	1,872	129,20	0,48	1,55		
Ort. Ra, Ort. ÖKE	0,23	0,25	0,03	61,82	0,806	314,26	0,733	293,28	9,86	7,15		

Çizelge 9.5 : Basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin TKD ve ÖKE için genetik algoritma ve YSA çıktılarının doğrulanması

Senaryo	Girdiler				Eniyileme sonuçları		Dene sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	% hata (TKD)	% hata (ÖKE)	T-test (TKD)	T-test (ÖKE)
Max. TKD, Min ÖKE	0,33	0,34	0,05	60,00	1,01	133,30	0,97	129,04	4,70	3,31	2,372	1,537
Min. TKD, Max ÖKE	0,10	0,10	0,05	60,03	0,10	736,04	0,10	813,14	8,32	9,48		
Ort. ÖKE, Ort. TKD	0,34	0,22	0,02	60,03	0,31	347,03	0,29	367,47	8,29	5,56		
Senaryo	Girdiler				YSA sonuçları		Dene sonuçları		Karşılaştırma			
	a_e (mm)	a_p (mm)	f_z (mm/dis)	V_c (m/dk)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	TKD (mm ³ /sn)	ÖKE (j/mm ³)	% hata (TKD)	% hata (ÖKE)	T-test (TKD)	T-test (ÖKE)
Max. TKD, Min ÖKE	0,33	0,34	0,05	60,00	1,02	131,21	0,97	129,04	5,05	1,68	2,110	1,457
Min. TKD, Max ÖKE	0,10	0,10	0,05	60,03	0,09	738,04	0,10	813,14	8,26	9,24		
Ort. ÖKE, Ort. TKD	0,34	0,22	0,02	60,03	0,31	348,42	0,29	367,47	6,97	5,19		



10. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Dünyada gün geçtikçe enerji ihtiyacı artmaktadır. Çünkü hızlı bir şekilde nüfus artmakta ve nüfusun istekleri artmaktadır. Enerji ihtiyacı arttığı için enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmanın önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada özellikle savunma, havacılık ve otomotiv sanayiinde kullanılan döner çark parçasının torna-freze takım tezgahlarında enerji tüketimi açısından verimli bir şekilde işlenebilmesi için işlem planlaması geliştirilmiştir. Döner çark parçası gibi serbest form yüzeylerine sahip karmaşık parçaların daha rahat bir şekilde talaşlı imalatlarının yapılabilmesi amacıyla işlem planlamalarının geliştirilmesi son derece önemlidir. Döner çark parçalarında serbest form yüzeyler emme yüzeyi ve basınç yüzeyleridir. Geliştirilen işlem planlamasında döner çark parçalarının talaşlı imalat süreci tornalama işlemi, kaba talaş frezeleme işlemi, ara-kaba frezeleme işlemi ve ince talaş frezeleme işlemi olmak üzere ana hatlarıyla dörde ayrılmıştır. Bu şekilde tasarlanan işlem planlaması sayesinde ince talaş işlemine daha uniform talaş kalıntıları bırakarak ince talaş işlemi sonrasında elde edilen yüzeylerin daha kaliteli çıkması da sağlanmıştır.

İşlem planlaması hazırlandıktan sonra döner çark parçalarının enerji tüketimi açısından daha verimli işlenebilmesi ve daha iyi yüzey kalitesine sahip emme yüzeyi ve basınç yüzeyi elde edilebilmesi için yanıt yüzey metodu ve yapay sinir ağları yöntemiyle tahmin modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak geliştirilen tahmin modelleri uygunluk fonksiyonu olarak kullanarak genetik algoritma yöntemi sayesinde en iyi çıktı parametreleri elde edilmiştir.

Yapay sinir ağları, yanıt yüzey metodu ve genetik algoritma yöntemlerini kullanabilmek amacıyla döner çark parçalarının talaşlı imalatı sırasında tükettiği enerji ve metal kesme işlemi sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin toplanması gerekir. Bu amaç çerçevesinde merkezi kompozit deney tasarımı kullanılarak 30'luk deney tasarımı oluşturulmuştur. Merkezi kompozit deney tasarımının tercih edilme sebebi az deney sayısı ile başarılı sonuçlar elde edilmesidir.

Ayrıca merkezi kompozit tasarımında kübik yapının merkezinde tekrarlanan deney sayısı birden fazla olduğu için oluşturulan deney tasarımı kullanılarak elde edilen deneysel çıktılar da tutarlılık söz konusudur. Deney tasarımı oluşturulup deney çıktıları elde edildikten sonra işlem kademelerinden 8'lik parmak freze ile gerçekleştirilen kaba talaş frezeleme işleminin toplam enerji tüketimi üzerinde en fazla paya sahip olduğu tespit edilmiştir. Kaba talaş frezeleme işleminden sonra sırasıyla emme yüzeyi ve basınç yüzeylerinin ince talaş işlemleri sırasında tüketilen enerjilerin toplam enerji tüketiminde en fazla paya sahip olduğu görülmüştür. Daha sonra yapay sinir ağları, yanıt yüzey metodu ve genetik algoritma kullanılarak yapılacak tahmin modelleri ve eniyileme işlemleri bu üç işlem kademesine özgü yapılmıştır.

Deney çıktıları kullanılarak yapılan kaba talaş işlemleri için özgül kesme enerjisinin varyans analizinde girdi parametrelerinden kesme derinliğinin en etkili parametre olduğu tespit edilmiştir. Yanal kayma ise kesme derinliğinden sonra özgül kesme enerjisi üzerinde ikinci en etkili parametredir. Kaba talaş işlemlerinde kesme derinliği ise hiçbir frezeleme işlemi yapılmamış iş parçasından ilk kaldırılan talaş miktarını belirleyen ana parametre olduğu için özgül kesme enerjisini de en çok etkileyen parametre olmuştur. Öte yandan diğer dış başına ilerleme ve kesme hızı gibi parametrelerin de özgül kesme enerjisini etkilediği saptanmıştır. Ancak yanal kayma ve kesme derinliği kadar etkili parametreler değildir.

Kaba talaş işlemlerinde talaş kaldırma debisine en çok etki eden girdi parametresi kesme derinliğidir. Kesme derinliğinden sonra sırasıyla yanal kayma, dış başına ilerleme ve kesme hızı parametreleri talaş kaldırma debisinde etkili parametrelerdir. Bu etkili parametrelerin davranışlarını yanıt yüzey metodu kullanılarak elde edilen 3 boyutlu yüzey grafiklerinde de görmek mümkündür.

Emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisine etki eden en önemli parametre yanal kayma olarak tespit edilmiştir. Çünkü ince talaş işlemlerinde 5'lik küresel parmak freze, kaba talaş işlemi sırasında 8'lik düz parmak frezenin girmediği yerlere girdiği için yanal kayma miktarının özgül kesme enerjisi üzerinde etkisi çok fazladır. Yanal kaymadan sonra en etkili parametre kesme derinliğidir. İnce talaş kaldırma işlemlerinde kesme derinliğinin en önemli girdi parametresi olmamasının en önemli sebebi kesme derinliği yönünde döner çark parçası üzerinde pek fazla talaş kalıntılarının kalmaması ve kesme derinliği yönünde ince talaş

işlemi sırasında kesici takımın zorlanmamasıdır. Emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde kesme hızının özgül kesme enerjisi üzerinde etkisinin olmadığı varyans analizi sonucunda ortaya çıkmıştır. Ayrıca emme yüzeyi ve basınç yüzeylerinin ince talaş işlemlerinde talaş kaldırma debisi üzerinde en etkili parametreler kesme derinliği ve yanal kayma'dır. Bu parametrelerden sonra sırasıyla dış başına ilerleme ve kesme hızı talaş kaldırma debisi üzerinde etkilidir. Yüzey pürüzlülüğünde ise en etkili parametre yanal kaymadır. Kesici takım talaşlı imalat sırasında en fazla yanal kayma yönünde zorlandığı için yanal kayma miktarı ne kadar fazla olursa ince talaş işlemi sonrasında yüzeyde meydana gelen takım yolu izleri daha belirgin olur. Bu yüzden yüzey pürüzlülüğünde en etkili girdi parametresi yanal kaymadır. Yanal kaymadan sonra sırasıyla dış başına ilerleme ve kesme derinliği yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerdir. Fakat kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne pek bir etkisi bulunmamaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma debisi ve özgül kesme enerjisine ait yanıt yüzey yöntemiyle elde edilen 3 boyutlu yüzeylerde, varyans analizinde elde edilen sonuçlar paralelinde girdi parametreleri ile çıktı parametrelerinin değişimi söz konusudur. Başka bir ifadeyle, yüzey pürüzlülüğü yanıt yüzey grafiklerine bakıldığı zaman çıktı parametresinde en fazla değişimin yanal kaymada meydana gelen değişim sonucunda gerçekleştiği görülmüştür. Öte yandan özgül kesme enerjisi yanıt yüzey grafiğine bakıldığında yanal kayma değerinde herhangi bir artışın meydana gelmesi diğer girdi parametrelerine göre özgül kesme enerjisinde en fazla değişimin meydana gelmesine sebep olduğu görülmüştür.

Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak kaba talaş işlemleri için özgül kesme enerjisi ve talaş kaldırma debisinin tahmin modelleri, emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri için ise özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğünün tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bütün tahmin modelleri için yapılan t-test sonuçları 0,05'den büyük geldiği için geliştirilen tahmin modellerinin istatistiki olarak doğrulukları kabul edilmiştir. Geliştirilen tahmin modellerinin istatistiki olarak doğrulukları tespit edildikten sonra yapay sinir ağları kullanılarak MATLAB™ ortamında elde edilen 3 boyutlu yüzey grafiklerindeki girdi parametreleri ile çıktı parametreleri arasındaki ilişkilerin, yanıt yüzey yöntemiyle elde edilen 3 boyutlu yüzey grafiklerindeki ilişkiler ile aynıdır.

Son olarak yapay sinir ağıları kullanılarak elde edilen uygunluk fonksiyonları genetik algoritmada kullanılmıştır. Genetik algoritma sonucunda kaba talaş işlemlerinde özgül kesme enerjisini minimum, talaş kaldırma debisini maksimum yapacak yanal kayma, kesme derinliği, diş başına ilerleme ve kesme hızı girdi parametrelerinin değerleri sırasıyla 2,51mm, 1,51mm, 0,05mm/diş ve 87m/dk olarak tespit edilmiştir. Emme yüzeyinin ince talaş işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü ile özgül kesme enerjisi değerlerinin optimum olduğu girdi parametreleri sırasıyla 0,26mm, 0,29mm, 0,03mm/diş, 62,27m/dk ve maksimum talaş kaldırma debisi ile minimum özgül kesme enerjisini elde edebilecek girdi parametreleri ise sırasıyla 0,33mm, 0,35mm, 0,05mm/diş ve 70m/dk olarak tespit edilmiştir. Basınç yüzeyinin ince talaş işlemleri için maksimum talaş kaldırma debisi ile minimum özgül kesme enerjisini elde edebilecek girdi parametreleri sırasıyla 0,33mm, 0,34mm, 0,05mm/diş ve 60m/dk'dır. Ayrıca basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinde optimum yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme enerjisi değerlerini elde edebilmek için kullanılması gereken girdi parametreleri sırasıyla 0,23mm, 0,25mm, 0,03mm/diş ve 61,82m/dk olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak özgül kesme enerjisi, talaş kaldırma debisi ve yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen YSA modellerinin hata değerleri %10'un altındadır. Başka bir ifadeyle, geliştirilen YSA modelleri kullanarak talaşlı imalata başlanmadan önce işlem planlamaları oluşturulurken çıktı parametreleri gerçek değerlere yakın bir şekilde tahmin edilebilir. Ayrıca pareto optimal çözüm grafikleri sayesinde çıktı parametrelerinin farklı senaryolar için kullanılacak girdi parametreleri elde edilmiştir.

10.1 Gelecek için Önerilen Çalışmalar

Tez kapsamında en fazla enerji tüketilen kaba talaş işlemleri, emme yüzeyi ve basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerine özgül yanıt yüzey metodları, yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiş ve genetik algoritma ile eniyileme sonuçları elde edilmiştir. Döner çark parçalarının taç yüzeyinin ince talaş, iç radyusların ince talaş, emme ve basınç yüzeylerinin ara-kaba kesim işlemleri için de YYM ve YSA tahmin modelleri geliştirilip genetik algoritma kullanılarak eniyileme işlemleri yapılabilir. Ayrıca YSA tahmin modeliyle elde edilen uygunluk fonksiyonları genetik algoritma dışında başka bir eniyileme yöntemlerinde de kullanılıp başka bir eniyileme yönteminin sonuçlarını genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırılabilir. Bu çalışmada serbest form

yüzelelerinin torna-freze takım tezgahlarında talaşlı imalatı sırasında özgül kesme enerjisi değerlerinin tahmin modellemesi ve eniyilemesi üzerine çalışılmıştır. Aynı yüzelelerin talaşlı imalatı sırasında kesici takım ömrünün tahmin modellemesi yapılabilir ve takım ömrünü eniyilemek amacıyla çalışmalar yapılabilir.





KAYNAKLAR

- [1] Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), “World Energy Outlook 2013”, erişim adresi: <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/>, erişim tarihi: Temmuz 2017.
- [2] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Petrol Piyasası Dairesi Başkanlığı (EPDK), “Petrol Piyasası Sektör Raporu 2013”, erişim adresi: <http://www.epdk.gov.tr/TR/Dokumanlar/YayinlarRaporlar/Yillik/>, erişim tarihi: Temmuz 2017.
- [3] Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), “Elektrik Üretim Sektör Raporu 2012”, erişim adresi: <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FE%C3%9CA%C5%9E%202015%20Sekt%C3%B6r%20Raporu.pdf>, erişim tarihi: Temmuz 2017.
- [4] TMMOB, “Türkiye’nin Enerji Görünümü”, erişim adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8407e6609052388_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=13, erişim tarihi: Temmuz 2017.
- [5] EIA, “Annual Energy Review 2010” p. 38, 2010
- [6] **Black, J.T., Kohser, R. A.**, (2008) *DeGarmo’s materials and processes in manufacturing*, John Wiley & Sons Inc., USA.
- [7] **Groover, M.P.**, (2010) *Fundamentals of modern manufacturing*, John Wiley & Sons Inc., USA.
- [8] **Chuang, L-C., Young, H-T., del Rio, J.A., Lopez de Haro, M.**, (2007). Integrated rough machining methodology for centrifugal impeller manufacturing, *Int J Adv Manuf Technol*, 34(11-12), 1062-1071.
- [9] **Morishige, K., Takeuchi, Y.**, (1997) 5-Axis control rough cutting of an impeller with efficiency and accuracy, *Proceedings of the 1997 IEEE, International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque, New Mexico, 25 April
- [10] **Fan, H-Z., Xi, G., Wang, W., Cao, Y-L.**, (2016). An efficient five-axis machining method of centrifugal impeller based on regional milling, *Int J Adv Manuf Technol*, 87(1-4), 789-799.

- [11] **Heo, E-Y., Kim, W-W., Kim, B-H., Jang, D-K., Chen, F.F.**, (2016). Efficient rough-cut plan for machining an impeller with a 5-axis NC Machine, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21, 971-983.
- [12] **Lim, P.**, (2009). Optimization of the rough cutting factors of impeller with five-axis machine using response surface methodology, *Int J Adv Manuf Technol*, 45(7-8), 821-829.
- [13] **Young, H-T., Chuang, L-C., Gerschwiller, K.A.**, (2004). Five-axis rough machining approach for a centrifugal impeller, *Int J Adv Manuf Technol*, 23 (3-4), 233-239.
- [14] **Ferry, W.B., Altintas, Y.**, (2008). Virtual five-axis flank milling of jet engine impellers—Part I: mechanics of five-axis flank milling, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 130(1), doi:10.1115/1.2815761.
- [15] **Arriaza, O.V., Kim, D-W., Lee, D.Y.**, (2017). Suhaimi, M.A., Trade-off analysis between machining time and energy consumption in impeller NC machining, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43, 164-170.
- [16] **Kim, D-W., Heo, E-Y., Lee, C-G., Lee, H-L.**, (2009). Machining and measurement plans for impeller manufacturing, *Computer-Aided Design and Applications*, 6(4), 563-573.
- [17] **Zhang, X., Yu, T., Wang, W.**, (2014). Modeling, simulation, and optimization of five-axis milling processes, *Int J Adv Manuf Technol*, 74(9-12), 1611-1624.
- [18] **Chen, K-H.**, (2011). Investigation of tool orientation for milling blade of impeller in five-axis machining, *Int J Adv Manuf Technol*, 52(1-4), 235-244.
- [19] **Chaves-Jacob, J., Poulachon, G., Due, E.**, (2012). Optimal strategy for finishing impeller blades using 5-axis machining, *Int J Adv Manuf Technol*, 58(5-8), 573-583.
- [20] **Bohez, E.L.J., Senadhera, S.D.R., Pole, K., Duflou, J.R., Tar, T.**, (1997). A geometric modeling and five-axis machining algorithm for centrifugal impellers, *Journal of Manufacturing Systems*, 6, 422-436.
- [21] **Wang, L., Cao, J.F., Li, Y.Q.**, (2010). Speed optimization control method of smooth motion for high-speed CNC machine tools, *Int J Adv Manuf Technol*, 49(1-4), 313-325.

- [22] **Zhang, L., Feng, J., Wang, Y., Chen, M.,** (2009). Feedrate scheduling strategy for free-form surface machining through an integrated geometric and mechanistic model, *Int J Adv Manuf Technol*, 40(11-12), 1191-1201.
- [23] **Lazoğlu, I., Boz, Y., Erdim, H.,** (2011). Five-axis milling mechanics for complex free form surfaces, *Ann CIRP Manuf Technol*, 60(1), 117-120.
- [24] **Filho, C., Martins, J.,** 2012. Prediction of cutting forces in mill turning through process simulation using a five-axis machining center, *Int J Adv Manuf Technol*, 58, 71-80.
- [25] **Schulz, H., Spur, G.,** (1990). High speed turn-milling — a new precision manufacturing technology for the machining of rotationally symmetrical workpieces, *Ann CIRP Manuf Technol*, 1 (39), 107-109.
- [26] **Schulz, H., Kiensel, T.,** (1994). Turn-milling of hardened steel- an alternative to turning, *Ann CIRP Manuf Technol*, 43(1), 93-96.
- [27] **Choudhury, S.K., Mangrulkar, K.S.,** (2000). Investigation of orthogonal turn-milling for the machining of rotationally symmetrical work pieces, *Journal of Materials Processing Technology*, 99(1), 120-128.
- [28] **Choudhury, S.K., Bajpai, J.B.,** (2005). Investigation in orthogonal turn-milling towards better surface finish, *Journal of Materials Processing Technology*, 170(3), 487-493.
- [29] **Savas, V., Ozay, C.,** (2007). Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1), 279-283.
- [30] **Neagu, C., Gheorghe, M., Dumitrescu, A.,** (2005). Fundamentals on face milling processing of straight shafts, *Journal of materials processing technology*, 66(3), 337-344.
- [31] **Karagüzel, U., Uysal, E., Budak, E., Bakkal, M.,** (2015). Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and mechanics, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 91, 24-33.
- [32] **Kopac, J., Pogacnik, M.,** (1997). Theory and practice of achieving quality surface in turn milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 307(5), 709-715.
- [33] **Zhu, L., Haonan, L., Wansan, W.,** (2013). Research on rotary surface topography by orthogonal turn-milling, *Int J Adv Manuf Technol*, 69, 2279-2292.
- [34] **Huang, C., Cai, Y.L.,** (2013). Turn-milling parameters optimization based on cutter wear, *Advanced Materials Research*, 602, 1998-2001.

- [35] **Kordonowy, D.N.**, (2002). A power assessment of machining tools, *Bachelor of Science Thesis*, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- [36] **Dahmus,, J.B., Gutowski, T.G.**, (2004) An environmental analysis of machining, *In ASME 2004 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Anaheim, California, USA, 13-19 November.
- [37] **Gutowski, T.G., Dahmus, J.B., Thiriez, A.**, (2006) Electrical energy requirements for manufacturing processes, *13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Leuven, Belgium, 31 May- 2 June.
- [38] **Rajemi, M.F., Mativenga, P.T., Aramcharoen A.**, (2010). Sustainable machining: selection of optimum turning conditions based on minimum energy considerations, *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11), 1059-1065.
- [39] **Diaz, N., Redelsheimer, E., Dornfeld, D.**, (2011) Energy consumption characterization and reduction strategies for milling machine tool use, *In Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Braunschweig, Germany, 2-4 May.
- [40] **He, Y., Liu, F., Wu, T., Zhong, F.P., Peng, B.**, (2012). Analysis and estimation of energy consumption for numerical control machining, *Proc IMechE Part B J Eng Manuf*, 226(2), 255-266.
- [41] **Schischke, K., Hohwieler, E., Feitscher, R., König, J., Kreuschner, S., Wilpert, P., Nissen, N.F.**, (2012). Energy-using product group analysis - Lot 5, Task 3 Report – Technical Analysis BAT and BNAT, Berlin, Mart.
- [42] **Li, W., Zein, A., Kara, S., Herrmann, C.**, (2011) An investigation into fixed energy consumption of machine tools, *18th CIRP LCE Conference*, Braunschweig, Germany, 2-4 May.
- [43] **Salonitis, K., Ball, P.**, (2013) Energy efficient manufacturing from machine tools to manufacturing systems, *Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 29-30 May.
- [44] **Draganescu, F., Gheorghe, M., Doicin, C.V.**, (2003). Models of machine tool efficiency and specific consumed energy, *J Mater Proc Technol*, 141, 9-15.
- [45] **Kara, S., Li, W.**, (2011). Unit process energy consumption models for material removal processes, *Ann CIRP Manuf Technol*, 60, 37-40.
- [46] **Uluer, M.,U., Unver, H.,O., Akkuş, K., ve Kılıç, S.,E.**, (2013) A model for predicting theoretical process energy consumption of rotational parts

using STEP AP224 features, *In Re-engineering Manufacturing for Sustainability 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Singapore, 17-19 April.

- [47] **Uluer, M., U., Unver, H., O., Gok, G., ve Fescioglu-Unver, N., ve Kilic, S.E.,** (2016). A framework for energy reduction in manufacturing process chains (E-MPC) and a case study from the Turkish household appliance industry, *Journal of Cleaner Production*, 112(4), 3342-3360, ISSN 0959-6526, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.106>.
- [48] **Altıntaş, R.S., Kahya, M., Ünver, H.O.,** (2016). Modelling and optimization of energy consumption for feature based milling, *Int J Adv Manuf Technol*, 86(9-12), 3345-3363, DOI 10.1007/s00170-016-8441-7.
- [49] **Moradnazard, M., Unver, H.O.,** (2017). Energy consumption characteristics of turn-mill machining, *Int J Adv Manuf Technol*, 91(5-8), 1991-2016 DOI: 10.1007/s00170-016-9868-6.
- [50] **Montgomery, D.,** (1997) Design and analysis of experiments, *Wiley*, New York, USA.
- [51] **Lawson, J.,** (2015) Design and analysis of experiments with R., *CRC Press.*, New York, USA.
- [52] **Box, G.E.P., Wilson, K.B.,** (1951). On the experimental attainment of optimum conditions, *Journal of the Royal Statistical Society*, 13(1), 1-45.
- [53] **Abhang, L.B., Hameedullah, M.,** (2010). Power prediction model for turning en-31 steel using response surface methodology, *Journal OF Engineering Science and Technology Review*, 3(1), 116-122.
- [54] **Campatelli, G., Lorenzini, L., ve Scippa, A.,** (2014). Optimization of process parameters using a response surface method for minimizing power consumption in the milling of carbon steel, *Journal of Cleaner Production*, 66, 309-316.
- [55] **Bhushan, R.K.,** (2013). Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of al alloy sic particle composites, *Journal of Cleaner Production*, 39, 242-254.
- [56] **Yan, Y., Li, L.,** (2013). Multi-objective optimization of milling parameters and the trade-offs between energy, production rate and cutting quality, *Journal of Cleaner Production*, 52 462-471.
- [57] **Aggarwal, A., Singh, H., Kumar, P., Singh, M.,** (2008). Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's Technique—a comparative analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 200, 373-384.

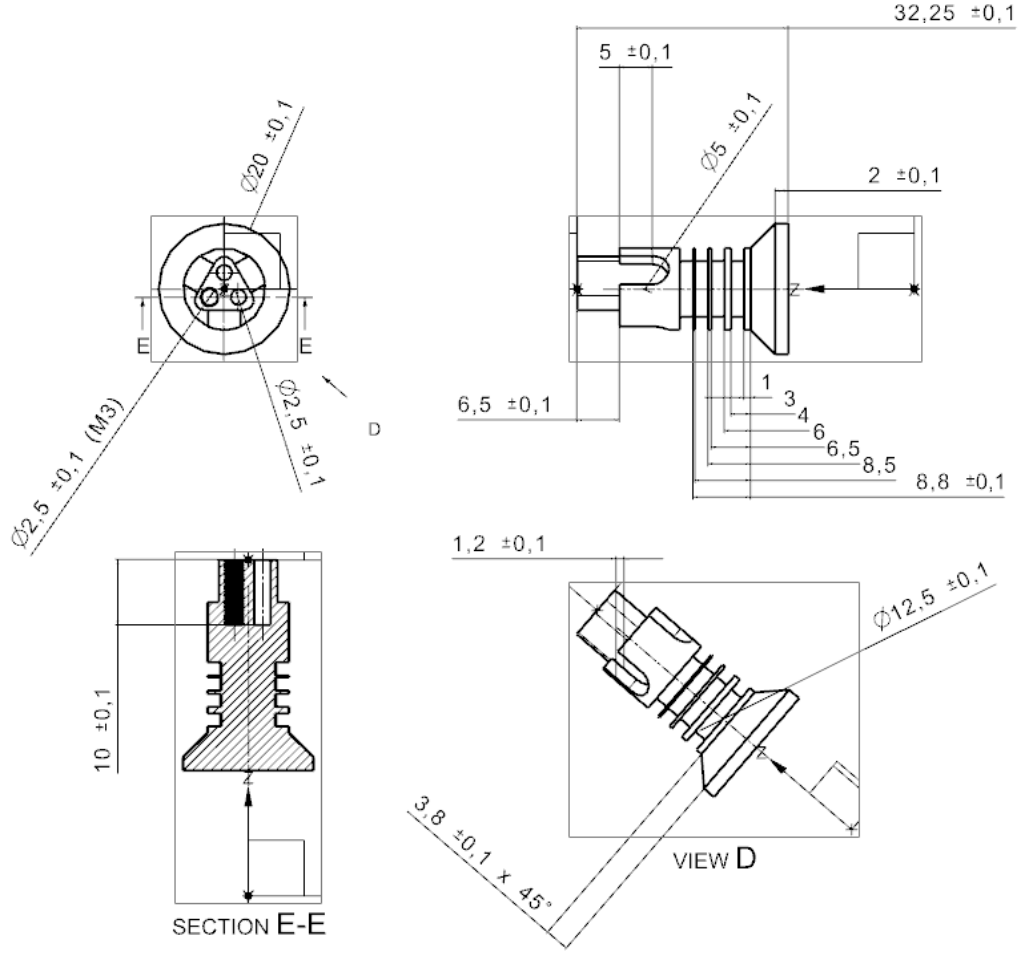
- [58] **Jou, Y-T., Lin, W-T., Lee, W-C., Yeh, T-M.,** (2014). Integrating the Taguchi Method and Response Surface Methodology for process parameter optimization of the injection molding, *Applied Mathematics & Information Sciences*, 3, 1277-1285.
- [59] **Yegnanarayana, B.,** (2006) Artificial Neural Networks, *Prentice Hall of India, Private Limited*, New Delhi, India.
- [60] **Haykin, S.,** (2005) Neural Networks a comprehensive foundation, *Pearson Educatio*, Canada.
- [61] **Mehrotra, K., Mohan, C.K., Ranka, S.,** (2000) Elements of Artificial Neural Networks, *The MIT Press*, USA.
- [62] **Priddy, K.L., Keller, P.E.,** (2005) Artificial Neural Networks: an introduction, *SPIE Press*, Washington, USA.
- [63] **Borgia, S., Pellegrinelli, S., Bianchi, G., Leonesio, M.,** (2014). A reduced model for energy consumption analysis in milling, *Procedia CIRP*, 17, 529–534.
- [64] **Kant, G., Sangwan K.S.,** (2014). Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining, *Journal of Cleaner Production*, 83, 151–164.
- [65] **Quintana, G., Ciurana, J., Ribatallada, J.,** (2011). Modelling power consumption in ball-end milling operations, *Materials and Manufacturing Processes*, 26(5), 746–756.
- [66] **Banardos, P.G., Vosniakos, G-C.,** (2002). Predicting surface roughness in machining: a review, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43(8), 833-844.
- [67] **Zain, A.M., Habibollah, H., Sharif, S.,** (2010). Prediction of surface roughness in the end milling machining using Artificial Neural Network, *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1755-1768.
- [68] **Cruz., C.E.D., Aguiar, P.R., Machado, A.R., Bianchi, E.C., Contrucci, J.G. Neto, F.C.,** (2013). Monitoring in precision metal drilling process using multi-sensors and Neural Network, *Int J Adv Manuf Technol*, 66(1-4), 151-158.
- [69] **Srikant, R.R., Krishna, P.V., Rao, N.D.,** (2011). Online tool wear prediction in wet machining using modified back propagation Neural Network, *Proc. IMechE Part B: J. Engineering Manufacture*, 225(7).
- [70] **Yazdi, M.R.S., Razfar, M.R., Asadnia, M.,** (2011). Modelling of the thrust force of the drilling operation on Pa6–nanoclay nanocomposites using Particle Swarm Optimization, *Proc. IMechE Part B: J. Engineering Manufacture*, 225(10), 1757-1771.

- [71] **Haupt, R.L., Haupt, S.E.**, (2004) *Practical Genetic Algorithms*, John Wiley & Sons Inc., USA.
- [72] **Hu, L., Peng, C., Evans, S., Peng, T., Liu, Y., Tang, R., Tiwari, A.**, (2017). Minimising the machining energy consumption of a machine tool by sequencing the features of a part, *Energy*, 121, 292-305.
- [73] **Li, X., Xing, K., Wu, Y., Wang, X., Luo, J.**, (2017). Total energy consumption optimization via genetic algorithm in flexible manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering*, 104, 188-200.
- [74] **Cus, F., Balic, J.**, (2013). Optimization of cutting process by GA approach, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19(1-2), 113-121.
- [75] **Suresh, P.V.S., Rao, P.V., Deshmukh, S.G.**, (2002). A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42(6), 675-680.
- [76] **Venkatesan, D., Kannan, K. ve Saravanan, R.**, (2009). A genetic algorithm-based artificial neural network model for the optimization of machining processes, *Neural Computing and Applications*, 18(2), 135-140.
- [77] **Dias, J., Rocha, H., Ferreira, B., Lopes, M.C.**, (2014). A genetic algorithm with neural network fitness function evaluation for IMRT beam angle optimization, *Central European Journal of Operations Research*, 22(3), 431-455.
- [78] **Kahya, M., Serin, G., Ünver, H.Ö., Durlu, N., Eroğul, O., Demir, O., Oğuz, E.**, (2016) A comparative study of energy consumption of selective laser sintering and turn-mill machining, *The 17th International Conference on Machine Design and Production*, 12-15 July.
- [79] International Standards Organization, ISO 10303-224 Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange – Part 224: Application Protocol: Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining Feature, Geneva, Switzerland, 2006.
- [80] **Rajemi, M.F.**, (2010). Energy analysis in turning and milling, *Dr. Thesis*, The University of Manchester School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, Manchester.
- [81] **Kalpakjian, S., Schmid, S.R.**, (2010) *Manufacturing engineering and technology*, Prentice Hall, Malesia.

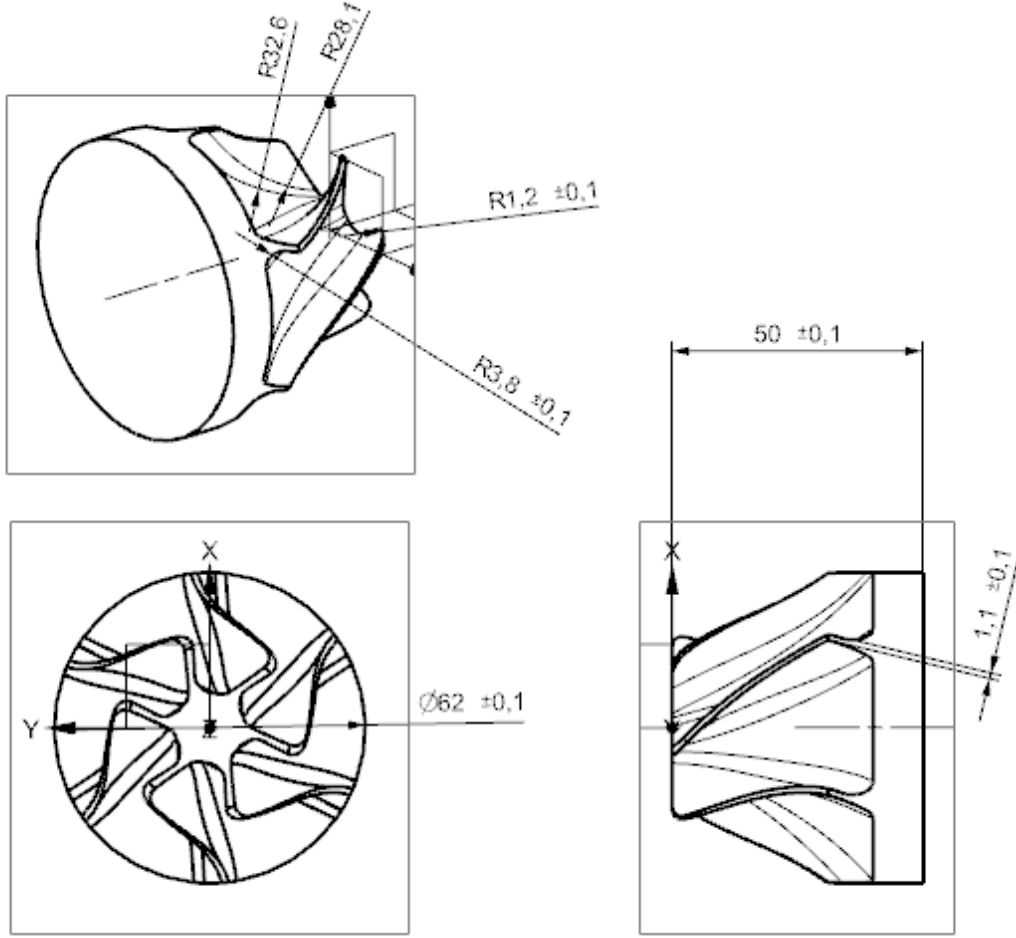


EKLER

EK 1: Ön çalışmaya ait enerji torna işlemlerinde enerji tahmin modelini ortaya çıkarmak için tasarlanan parça (ölçülendirme mm cinsinden yapılmıştır)



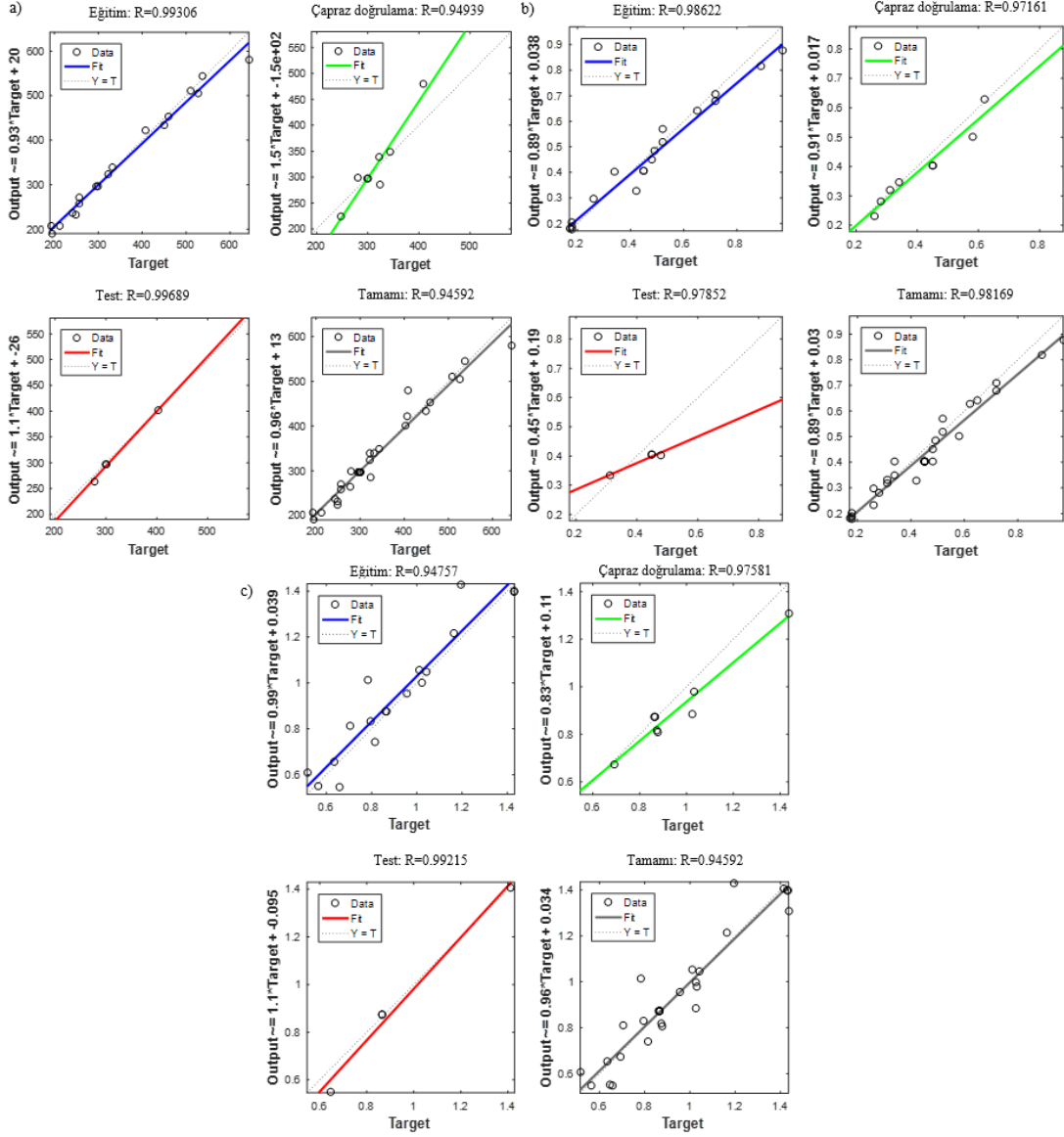
EK 2: Enerji, kaldırılan talaş miktarı ve yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli için kullanılan döner çark parçasının CAD görüntüsü (ölçülendirme mm cinsinden yapılmıştır)



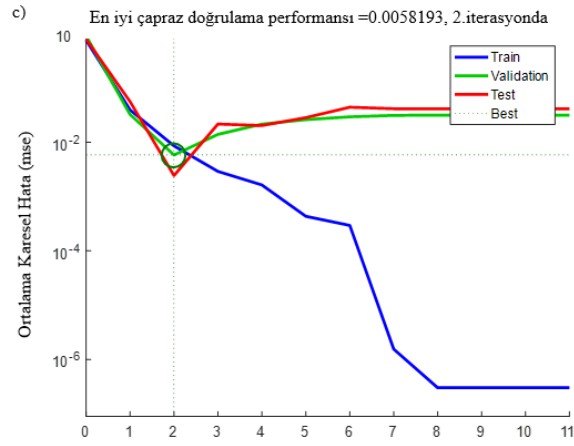
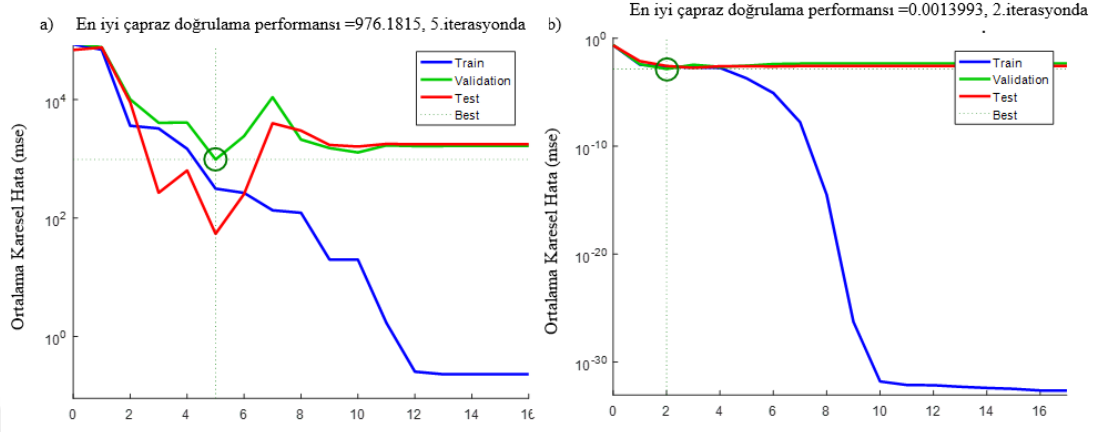
EK 3: Enerji, basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi, (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin mimarisi



EK 4: Enerji, basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi, (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin eğitim, çapraz doğrulama ve test verileri yüzdeleri



EK 5: Enerji, basınç yüzeyinin ince talaş işlemlerinin (a) özgül kesme enerjisi, (b) talaş kaldırma debisi ve (c) yüzey pürüzlülüğünün YSA modelinin performans eğrileri



EK 6: KABA TALAŞ, EMME YÜZEYİ VE BASINÇ YÜZEYİNİN İNCE TALAŞ İŞLEMLERİNE AİT ÖZGÜL KESME ENERJİSİ, TALAŞ KALDIRMA DEBİSİ VE YÜNEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİN EDEBİLMEK İÇİN KULLANILAN KOD

```
function [net,testTargets,testResults] =
run_backpropCvTest_IMPPELLERTEZ (full,normalizeData, train1Start,
train1End, train2Start, train2End, cvStart, cvEnd,
testStart,testEnd,
inputDataColumns,outputDataColumns,epocCount,hiddenNeuron)
% This script assumes these variables are defined:
%
%   bugdayInput - input data.
%   bugdayOutput - target data.

fullData = load(full);

% normalizeData = 0;
if (normalizeData == 1)
    maxValues = max(fullData(:,outputDataColumns));
    minValues = min(fullData(:,outputDataColumns));
    fullData = normalize_data(fullData);
end

inputs = fullData(:,inputDataColumns)';
targets = fullData(:,outputDataColumns)';
% disp(length(targets));
% disp(targets);
% inputs = bugdayInput';
% targets = bugdayOutput';

% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = hiddenNeuron;
net = fitnet(hiddenLayerSize);

% Choose Input and Output Pre/Post-Processing Functions
% For a list of all processing functions type: help nnprocess
net.inputs{1}.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
net.outputs{2}.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
net.layers{1}.transferFcn = 'logsig';

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
% For a list of all data division functions type: help nndivide

net.divideFcn = 'divideind'; % Divide data specifically as given.
net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
net.divideParam.trainInd=[(train1Start:train1End),(train2Start:train
2End)];
net.divideParam.valInd=(cvStart:cvEnd);
net.divideParam.testInd=(testStart:testEnd);
% net.divideParam.trainRatio = 70/100;
% net.divideParam.valRatio = 15/100;
% net.divideParam.testRatio = 15/100;
```

```

% For help on training function 'trainlm' type: help trainlm
% For a list of all training functions type: help nntrain
net.trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt

% Choose a Performance Function
% For a list of all performance functions type: help nnperformance
net.performFcn = 'mse'; % Mean squared error

% Choose Plot Functions
% For a list of all plot functions type: help nnplot
net.plotFcns = {'plotperform', 'plottrainstate', 'ploterrhist', ...
    'plotregression', 'plotfit'};
net.trainParam.epochs = epocCount;
net.trainParam.max_fail = 30;
net.trainParam.min_grad=1e-1000;
net.trainParam.show=10;
net.trainParam.mu=0.001;
net.trainParam.mu_dec=0.001;
net.trainParam.mu_inc=10;
net.trainParam.mu_max=1e+100;
net.trainParam.lr=0.1;
net.trainParam.goal=0;
% Train the Network
[net,tr] = train(net,inputs,targets);

% Test the Network
outputs = net(inputs);
errors = gsubtract(targets,outputs);
performance = perform(net,targets,outputs);
% disp(errors);
% Recalculate Training, Validation and Test Performance
trainTargets = targets .* tr.trainMask{1};
valTargets = targets .* tr.valMask{1};
testTargets = targets .* tr.testMask{1};
trainPerformance = perform(net,trainTargets,outputs)
valPerformance = perform(net,valTargets,outputs)
testPerformance = perform(net,testTargets,outputs)

% View the Network
% view(net)

% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
%figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, plotfit(net,inputs,targets)
%figure, plotregression(targets,outputs)
%figure, ploterrhist(errors)
% disp(targets);
disp(outputs);
% disp(testStart);
% disp(testEnd);
%
% disp(size(outputs));

display(targets);
testTargets = targets(1:end,testStart:testEnd)'; % targets=bizim
ulaşmak istediğimiz değerler
%1
display(testTargets);

```

```
display(targets);

%testTargets=targets(21:end,4);
testResults = outputs(:,testStart:testEnd)'; % output=modelin bize
verdiği çıktılar
%View the Network
% view(net);
%display all targets and outputs
% disp(targets);
% disp(outputs);
% disp(errors);
if (normalizeData == 1)
    testResults =
unnormelize_vector(testResults,maxValues,minValues);
    testResults=testResults';
end
```



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gökberk SERİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.11.1990-Konya
E-posta : gokberkserin@gmail.com;
gserin@etu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2017, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2014-2017	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	Burslu Yüksek Lisans Öğrencisi
2014	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	Stajyer
2013	TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.	Stajyer
2012	Üntes A.Ş.	Stajyer

YABANCI DİL: İngilizce (İleri düzeyde), Almanca (Temel düzeyde)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kahya, M.,Serin, G., Ünver, H.Ö., Durlu, N., Eroğul, O., Demir, O., Oğuz, E., 2016. A comparative study of energy consumption of selective laser sintering and turn-mill machining, The 17th International Conference on Machine Design and Production, 12-15 July, Bursa, Turkey.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Akay, A.N., **Serin, G.**, 2017. Mecanum Wheels, LAP LAMBERT Academic Publishing.
- **Serin, G.**, Kahya, M., Ünver, H.Ö., Güleç, Y., Durlu, N., Eroğul, O., 2016. A review of additive manufacturing technologies, The 17th International Conference on Machine Design and Production, 12-15 July, Bursa, Turkey.
- **Serin, G.**, Taşcıoğlu, Y., Özer, M.B., 2014. Design and manufacture of mecanum wheeled vehicle, MEMOK 2014-2015 National Mechatronics Engineering Student Congress, Ankara, Turkey.
-

