

AISI 1040 Alaşımının Frezelenmesinde Teorik ve Uygulamalı Kesme Parametrelerine Dayalı iTool Adlı Yeni bir Paket Program ile Bilgisayar Destekli Süreç Planlama

Kadirhan AKDENİZ¹ , Ayşegül ÇAKIR ŞENCAN^{2*} 

¹Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ), Ankara, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/02/2025
Düzeltilme: 13/03/2025
Kabul: 29/08/2025

Anahtar Kelimeler

iTool
Frezeleme
AISI 1040
CAPP
CAD/CAM
İşleme zamanı
Takım ömrü

Article Info

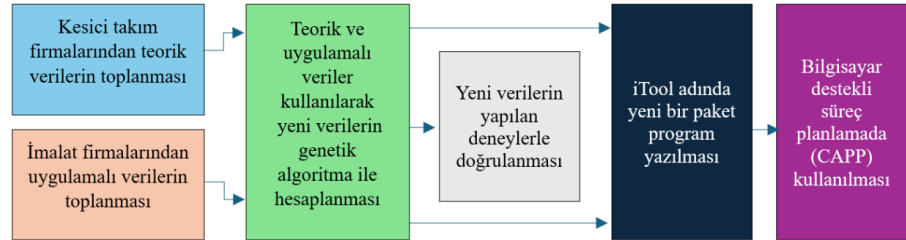
Research article
Received: 20/02/2025
Revision: 13/03/2025
Accepted: 29/08/2025

Keywords

iTool
Milling
AISI 1040
CAPP
CAD/CAM
Machining time
Tool life

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, CNC frezeleme için Python tabanlı iTool yazılımı geliştirilmiştir. AISI 1040 alaşımında farklı çaplı karbür takımlar için teorik ve endüstriyel kesme parametreleri karşılaştırılmıştır. Bulgular, yeni koşulların %87 daha uzun takım ömrü ve %22 daha kısa işleme süresi sağladığını göstermiştir. / This study presents a Python-based software, iTool, for CNC milling optimization. Cutting parameters for carbide tools in AISI 1040 alloy were compared between theoretical and industrial data. The proposed conditions achieved 87% longer tool life and 22% shorter machining time, validated through experiments with different tool diameters.



Şekil A: Çalışmada uygulanan adımların şeması / Figure A: Scheme of the steps applied in the study

Önemli noktalar (Highlights)

- iTool yazılımı ile CAM entegrasyonu / iTool software with CAM integration
- Genetik algoritma ile optimize edilmiş kesme parametreleri / Cutting parameters optimized via genetic algorithm
- %87 daha uzun takım ömrü, %22 daha kısa işleme süresi / 87% longer tool life, 22% shorter machining time

Amaç (Aim): Bu çalışmanın amacı, AISI 1040 alaşımının frezeleme işleminde en uygun kesme parametrelerini belirlemek, işleme süresini optimize etmek ve takım ömrünü artırmak için bilgisayar destekli süreç planlama (CAPP) uygulaması geliştirmektir. / The aim of this study is to develop a computer-aided process planning (CAPP) approach to determine the optimal cutting parameters for milling AISI 1040 alloy, optimizing machining time and enhancing tool life.

Özgünlük (Originality): Teorik ve endüstriyel kesme parametrelerini birleştirip genetik algoritma ile optimize eden, ayrıca sonuçları kullanıcı dostu iTool yazılımı ile erişilebilir hâle getiren ilk kapsamlı çalışma. / First comprehensive study to combine theoretical and industrial cutting parameters optimized via genetic algorithm, making results accessible through the user-friendly iTool software.

Bulgular (Results): Teorik V_c ve f değerleri uygulamalı verilere göre sırasıyla %35 ve %50 daha düşük bulunmuştur. Genetik algoritma ile elde edilen yeni parametreler, endüstriyel verilere göre %87 daha uzun takım ömrü ve teorik verilere göre %22 daha kısa işleme süresi sağlamış, deneyler bu sonuçların güvenilirliğini doğrulamıştır. Theoretical V_c and f values were 35% and 50% lower than industrial data. New parameters obtained via genetic algorithm provided 87% longer tool life than industrial data and 22% shorter machining time than theoretical data, with experiments confirming their reliability.

Sonuç (Conclusion): Çalışma, talaşlı imalat süreçlerinde verimlilik ve takım ömrünü optimize eden bir CAPP yaklaşımı sunmaktadır. iTool yazılımı, kullanıcıların en uygun kesme parametrelerini hızlı ve kolay seçmesini sağlamaktadır. / The study presents a CAPP approach optimizing efficiency and tool life. iTool software enables users to quickly and easily select optimal cutting parameters.



AISI 1040 Alaşımının Frezelenmesinde Teorik ve Uygulamalı Kesme Parametrelerine Dayalı iTool Adlı Yeni bir Paket Program ile Bilgisayar Destekli Süreç Planlama

Kadirhan AKDENİZ¹ , Ayşegül ÇAKIR ŞENCAN^{2*}

¹Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ), Ankara, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 20/02/2025
Düzeltilme: 13/03/2025
Kabul: 29/08/2025

Anahtar Kelimeler

iTool
Frezeleme
AISI 1040
CAPP
CAD/CAM
İşleme zamanı
Takım ömrü

Öz

Bu çalışmada, CNC freze tezgâhlarında çevrim sürelerinin azaltılması ve kesici takım ömrünün artırılması amacıyla kesme parametrelerinin optimizasyonu araştırılmıştır. Bu doğrultuda Python tabanlı iTool adlı yeni bir yazılım geliştirilmiş ve CAM paket programlarına yardımcı bir modül olarak tasarlanmıştır. Programda kullanılacak veriler için, en az iki farklı kesici takım üreticisinden ve bu takımları uygulayan iki farklı imalat firmasından bilgiler toplanmıştır. Böylece literatürde tavsiye edilen teorik değerler ile endüstride uygulanan gerçek parametreler birlikte değerlendirilmiştir. Araştırma, AISI 1040 alaşımının frezelenmesinde kullanılan 4 ağızlı karbür takımlar (D: 5–25 mm) üzerine yoğunlaşmış; kesme hızı (Vc) ve ilerleme (f) parametreleri karşılaştırılmıştır. Bulgular, teorik değerlerin endüstride kullanılanlara göre sırasıyla %35 ve %50 daha düşük olduğunu göstermiştir. Belirlenen hedef hacim (255025 mm³) için işleme süresi (th) ve takım ömrü (T) temel performans kriterleri olarak ele alınmıştır. Elde edilen yeni kesme koşulları, endüstriyel uygulamalara göre %87 daha uzun takım ömrü ve teorik değerlere göre %22 daha kısa işleme süresi sunmuştur. 8, 10 ve 12 mm çaplı takımlarla yapılan deneyler hesaplanan verileri doğrulamıştır. Sonuçta, iTool programı kullanıcıların deneyimden bağımsız şekilde en uygun kesme koşullarına kısa sürede ulaşabilmesini sağlayan etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Computer Aided Process Planning with a New Package Program Named iTool Based on Theoretical and Practical Cutting Parameters in Milling of

Article Info

Research article
Received: 20/02/2025
Revision: 13/03/2025
Accepted: 29/08/2025

Keywords

iTool
Milling
AISI 1040
CAPP
CAD/CAM
Machining time
Tool life

Abstract

This study focuses on optimizing cutting parameters to reduce cycle times and extend tool life in CNC milling operations. To achieve this, a Python-based software named iTool was developed and designed as a complementary module for CAM systems. For data acquisition, information was collected from at least two cutting tool manufacturers and two machining companies, enabling a comparative assessment of recommended theoretical parameters and those applied in industry. The investigation concentrated on four-flute carbide tools (D: 5–25 mm) used in milling AISI 1040 alloy, with cutting speed (Vc) and feed rate (f) considered as primary variables. The results revealed that theoretical Vc and f values were 35% and 50% lower, respectively, than industrial practices. For a target volume of 255025 mm³, machining time (th) and tool life (T) were defined as performance criteria. New cutting conditions derived from the collected data provided 87% longer tool life compared to industrial values and 22% shorter machining time compared to theoretical recommendations. Experimental trials using tool diameters of 8, 10, and 12 mm confirmed the consistency of these findings. Ultimately, iTool offers a practical solution that allows even inexperienced users to identify the most efficient cutting conditions rapidly and effectively, enhancing both productivity and tool performance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat, kesici takım marifeti ile talaş adı verilen fazla malzemenin, iş parçasından uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir [1]. Talaşlı imalat yöntemleri endüstride en yaygın kullanılan

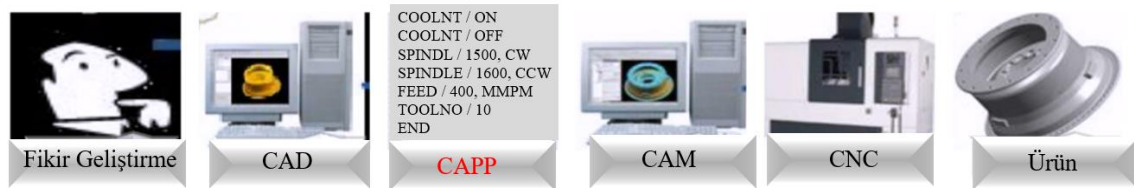
imalat yöntemlerinden biridir. Tornalama, frezeleme ve taşlama operasyonları en sık kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinin başında gelmektedir. Her imalat sürecinde olduğu gibi talaşlı imalat süreçlerinin de en hızlı şekilde gerçekleşmesi istenir. Bu ise yüksek kesme hızı

(Vc) ve ilerleme (f) parametreleri ile mümkündür [1]. Fakat bu kesme parametrelerini aşırı yükseltmek, kullanılan kesici takımın çok hızlı aşınmasına ve ömrünün kılınmasına sebep olur. Çünkü artan kesme parametreleri kesici takımla iş parçasının arayüzündeki sürtünmeyi artırır. Bu artış, takım ile talaş ve iş parçası arasındaki temas yüzeyinde daha fazla ısı enerjisi açığa çıkmasına neden olur. Ayrıca, dar kayma bölgelerinde meydana gelen yüksek hızlı plastik deformasyon ve artan talaş kaldırma oranı, malzemenin kesilmeye karşı atomik düzeyde gösterdiği içsel direnç nedeniyle daha fazla ısının açığa çıkmasına neden olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın daha da yükselmesine yol açar. Bu yüksek sıcaklık, takımda termal yumuşama, difüzyon ve oksidasyon gibi mekanizmalarla kesici kenarlarda deformasyonun hızla artmasına yol açar [2]. Yani, yüksek üretim hızına çıkma hedefiyle kullanılan yüksek kesme parametreleri, takım sarfiyatını artırarak üretim maliyetlerini olumsuz etkileyebilmektedir [3].

Ayrıca aşınan takımın ürettiği bir iş parçasının istenilen kalitede olamaması da bir diğer önemli

sorundur [4]. Bu sebeple bir malzemeye uygulanacak talaşlı imalat işlemi ile ilgili kesici takım özellikleri, kesme şartları gibi faktörlerin en doğru şekilde belirlenmesi, verimli bir imalat süreci için hayati öneme sahiptir.

Son yıllarda mühendislik sistemlerini içeren tüm endüstri alanlarında risk takibi ve süreç yönetimine yönelik daha modern ve yenilikçi yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır [5]. Bu dönüşümün temel dinamiklerinden biri olan Endüstri 4.0, endüstri ile teknolojinin bütünleşmesini sağlayarak yalnızca genel üretim süreçlerini değil, aynı zamanda talaşlı imalat alanını da önemli ölçüde etkilemiştir. Talaşlı imalatla kullanılan Bilgisayar Destekli Süreç Planlama (CAPP) kavramı, üretim öncesi gerçekleştirilecek adımların, uygulanacak yöntemlerin, kullanılacak makine, cihaz ve teçhizatlar ile o teçhizatlar ait parametrelerin en verimli şekilde tespit edilebilmesi amacıyla bilgisayar teknolojilerinden faydalanılması olarak tarif edilebilir [6, 7, 8]. Şekil 1’ de CAPP’in üretimin hangi aşamasında yerini aldığı gösterilmiştir.



Şekil 1. Üretim döngüsünde CAPP kullanımı [9] (Use of CAPP in the production cycle [9])

Üretim endüstrisinde CAPP yaklaşımıyla ilgili günümüze kadar çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan birinde Mauthner ve arkadaşları “CAM-in-the-loop” sisteminin gelişimini ele almışlardır. Bu sistem kesme hızı, fener mili hızı, kesme derinliği gibi parametrelerin takibi ve ayarlanmasına olanak sağlamaktadır. İşleme süresinin optimizasyonuna ilave olarak takım aşınmasını önleyip kaliteyi artırmayı hedefledikleri çalışmalarında, verilerinin gerçek zamanlı analizi ve işleme sürelerinin iyileştirilmesi için önemli gelişmeler sağlamışlardır [10]. Xu ve He tarafından yapılan bir başka çalışmada CAD, CAPP, CAM ve CNC dörtlüsünün birbirleri ile ilişkisini ve entegrasyonu ele almışlardır. CAPP sayesinde üretim planlamadan, süreç yönetimine kadarki adımlarda etkin çözüm elde etmişlerdir. Bu entegrasyon ile hata payını minimuma indirme, süreci hızlandırma, kaliteyi artırma, maliyeti kısma gibi avantajları elde etmişlerdir [11]. Deja ve Siemiatkowski ise yaptıkları çalışmada, freze-torna tezgahlarında işlem gerektiren parçaların CAPP sistemi ile işleme alınmasından makine atamasına kadar nasıl yapılabileceği üzerinde çalışmışlardır. Otomasyon

ile daha hızlı, doğru ve verimli planlamaya olanak elde ederek maliyet tasarrufu ve ürün kalitesi artışı sağlamışlardır [12]. Başka bir çalışmada Kumar ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmalarda, mikro işleme için CAPP ile G kodu üretmeyi amaçlamışlardır. CAPP ile otomatik özellik çıkartma ve parça özelliklerine göre süreç planlaması ve kesici takım ilişkilendirilmesini incelemişlerdir [13]. Zubair ve Mansor yaptıkları araştırmalarda, tornalama işlemleri üzerinde bir parçanın geometrisinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Yardımcı takım kütüphaneleri ile hangi bölgelerin nasıl bir işleme yapılacağına göre değişkenlik gösterebilecek bir algoritma tasarlamışlardır. Ayrıca parametrelerin otomatik oluşturulmasını sağlayan bir algoritma geliştirerek yardımcı bir yazılım ile kullanım kolaylığı sunmuşlardır [14]. Culler ve Burd tarafından yapılan çalışmada CAM programları sonucunda elde edilen dokümantasyonlar ile işleme sürelerine bakılarak faaliyet bazlı maliyetleme için CAPP üzerine bir yazılımı yapmışlardır. Bu şekilde, iş yükünü azaltan ve takip edilebilirliği artırmayı amaçlayan bir çalışma ortaya koymuşlardır. API

(Application Programming Interface) ile programlamada daha fazla çalışmaların yapılabileceğinin temelini gösteren bir çalışma olmuştur [15]. Bu ve benzeri çalışmaların ortaya koyduğu gerçek, CAPP teknolojisi ile yeni süreç planlamaları daha verimli bir üretim için sürekli geliştirilebilir olduğudur [16, 17].

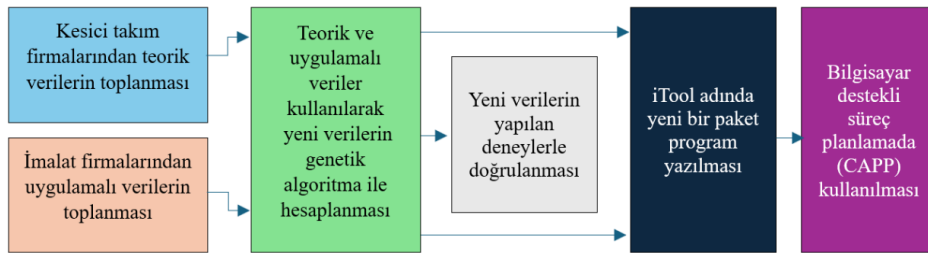
Gerçekleştirilen bu çalışma öncesinde talaşlı imalat alanında faaliyet yürüten firmaları da kapsayan geniş çaplı incelemeler yapılmış ve en fazla sarfiyatın kesici takımlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu problemin önüne geçmek için frezelemede kullanılan kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) gibi kesme parametreleri hakkında derin araştırmalar yapılmıştır. Özellikle kesici takımları üreten firmaların önerdikleri kesme parametreleri ile bu kesici takımları kullanan firmaların uyguladıkları kesme parametreleri yakından incelenmiştir. Böylece, teorik olarak tavsiye edilen değerler ile endüstride uygulanan değerlerin ilişkisi üzerinde durulmuştur. İncelemeler yapılırken kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerindeki değişkenlerle ilgili gerekli bilgiler toplanarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu kapsamda, alanında en ileri gelen en az iki büyük kesici takım firmasından alınan V_c ve f değerleri ile, bu takımlarla imalat yapan örnek en az iki imalat firmasının kullandığı V_c ve f değerlerinin farklı olduğu saptanmıştır. Toplanan veriler kullanılarak yeni kesme parametreleri genetik algoritma yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Teorik, endüstride uygulanan ve algoritma ile hesaplanan kesme şartlarından örnek

bir kesit yapılan gerçek ortamlı deneylerle gözlenmiştir.

Hesaplanan verilerin ulaşılabilir olması için, talaşlı imalat alanında tecrübesi olmayan bir kullanıcının rahatlıkla kullanabileceği yeni bir paket program oluşturulmuştur. iTool adı verilen bu yeni program, Python programlama diliyle yazılmış ve CAM paket programlarına yardımcı bir yazılım programı olarak kullanılması da amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sayesinde oluşturulan iTool programı ile talaşlı imalat süreçlerine ait birikmiş tecrübenin bir yazılım sayesinde kayıt altına alınması ve imalat süreçlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada AISI 1040 alaşımlarını yüzey frezeleme işleminde en doğru kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) parametrelerinin belirlenmesini amaçlayan bilgisayar destekli süreç planlama (CAPP) yapılmıştır. Kesici takımları üreten firmalardan alınan teorik veriler (TV) ile bu kesici takımları kullanan imalat firmalarından alınan uygulamalı veriler (UV) kullanılarak geliştirilen algoritmayla yeni veriler hesaplanmıştır (HV). Hesaplanan bu yeni verilerin performansı gerçek ortamda yapılan fiziki deneylerde de gözlenmiştir. Python programlama dilinde yazılan ve kolay bir arayüze sahip olan yeni bir paket program (iTool) ile bu veriler kullanıcıya sunulacak hale getirilmiştir. Bu adımların basit bir şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada uygulanan adımların basit şeması (Simple diagram of the steps applied in the study)

2.1. Firmalardan Verilerin Toplanması ve Yeni Verilerin Hesaplanması (Collecting Data from Firms and Calculating New Data)

En verimli kesme şartlarını belirleyebilmek için en az iki farklı kesici takım firmasının katalog değerleri ile en az iki farklı imalat firmasında yaygın olarak uygulanan değerler kullanılmıştır. Firmalardan toplanan ve hesaplanan veriler kesme hızı (V_c) ve ilerleme (f) parametreleridir. İşlenecek hedef malzeme olarak AISI 1040 belirlenmiştir. Tüm firmalar için elde edilen veriler 4 ağızlı karbür parmak freze özelinde toplanmıştır. 5 mm - 25 mm

çap arasındaki tüm freze takımları için V_c ve f verileri toplanmıştır. Yapılan değerlendirmelerde performans kriteri olarak takım ömrü (T) ve hedeflenen hacmin işleme zamanı (t_h) alınmıştır. Verilerin karşılaştırılabilir olması için dikdörtgen prizma şeklinde bir iş parçasının yüzeyinden sabit hacimde (255025 mm³) malzeme kaldırılmasına göre hesaplar yapılmıştır. Kesici takım firmalardan alınan teorik veriler, imalat firmalarından toplanan uygulamalı veriler ve bu veriler kullanılarak hesaplanan yeni veriler bir özeti Tablo 1'de verilmiştir. .

Tablo 1. Teorik veriler (TV), uygulamalı veriler (UV) ve bu veriler kullanılarak hesaplanan yeni verilerin (HV) taslağı (Theoretical data (TV), applied data (UV) and draft of new data (HV) calculated using these data)

İşleme Verileri: Girdiler									İşleme Verilerine Bağlı Algoritma ile Hesaplanan Kesme Hızı (Vc) ve İlerleme (f) Verileri	
Takım Çapı	2 Kesici Takım Firmasından Alınan Teorik Kesme hızı (Vc) ve İlerleme (f) Verileri				2 İmalat Firmasından Alınan Uygulamalı Kesme hızı (Vc) ve İlerleme (f) Verileri					
D (mm)	1.TV		2.TV		1.UV		2.UV		HV	
5-25	Vc ₅₋₂₅	f ₅₋₂₅	Vc ₅₋₂₅	f ₅₋₂₅	Vc ₅₋₂₅	f ₅₋₂₅	Vc ₅₋₂₅	f ₅₋₂₅	Vc ₅₋₂₅	f ₅₋₂₅
İşleme Verileri: Çıktılar									İşleme Verilerine Bağlı Algoritma ile Hesaplanan Takım Ömrü (T) ve İşleme Zamanı (th) Verileri	
Takım Çapı	Teorik Veriler için Takım ömrü (T) ve Esas İşleme Zamanı (Th)				Uygulamalı Veriler için Takım ömrü (T) ve Esas İşleme Zamanı (th)					
D (mm)	1. TV		2.TV		1.UV		2.UV		HV	
5-25	T ₅₋₂₅	th ₅₋₂₅	T ₅₋₂₅	th ₅₋₂₅	T ₅₋₂₅	th ₅₋₂₅	T ₅₋₂₅	th ₅₋₂₅	T ₅₋₂₅	th ₅₋₂₅

Frezelemede kesmeyi gerçekleştiren iki ana hareketin meydana getirdiği iki kesme parametresi vardır. Bunlardan biri takım çapına ve dönüş hızına bağlı olan kesme hızı (Vc), bir diğeri ise ilerleme (f) değerleridir. Bu değerler takım üreticileri tarafından alınarak gerekli formüllerle birleştirilip tezgaha girilen devir (N) ve ilerleme hızı (Vf) hesaplarken kullanılmaktadır [18].

Devir (N) takımın birim zamanda dönme sayısını ifade eder. N hesabı için Eşitlik 1 kullanılmaktadır.

$$N = \frac{V_c 1000}{\pi D} \quad (1)$$

İlerleme (f) takımın bir tam tur dönüşünde ilerleme doğrultusunda milimetre olarak aldığı yoldur. Diş başı ilerleme (fz) ve diş sayısına(z) bağlıdır. f için Eşitlik 2 şu şekildedir:

$$f = z f_z \quad (2)$$

İlerleme hızı (Vf) takımın birim zamanda ilerleme doğrultusunda milimetre olarak aldığı yoldur. Vf için Eşitlik 3 şu şekildedir:

$$V_f = N f \quad (3)$$

Esas işleme zamanı (th) takımın talaş kaldırdığı süreyi ifade etmektedir.

Paso sayısı (i), işlenen boy (L) ve ilerleme hızına (Vf) bağlı bir değerdir. Bu çalışmada th değerlerini hesaplarken kullanılan Eşitlik 4 şu şekildedir:

$$t_h = \frac{i L}{V_f} \quad (4)$$

Bu çalışmadaki takım ömrü hesaplamalarında Taylor takım ömrü modeli kullanılmıştır. Bu modele göre kesme parametrelerindeki artışa karşın, kullanılan takımın ömrü azalır [18]. Taylor takım ömrü modeli Eşitlik 5'te verilmiştir

$$V_c T^n = C \quad (5)$$

Burada kullanılan sembollerden Vc kesme hızına (m/dk), T takım ömrüne (dk), n sabit üstel değere ve C de Taylor sabitine karşılık gelmektedir. Sabit değerlerden n üsteli takım ve iş parçası malzemesine bağlı olarak değişir. C değerinin ise takım malzemesi, iş malzemesi ve kesme koşullarına bağlı olduğu bilinmektedir [19]. Seçilmiş bazı tipik takım malzemeleri incelendiğinde n ve C değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. n üsteli ve C sabitinin kesici takım ve iş parçası malzemesine göre değişimi [19] (Variation of n exponent and C constant according to cutting tool and workpiece material [19])

Takım malzemesi	n	C	
		Çelik dışı için kesim (m/dk)	Çelik için kesim (m/dk)
Sade karbon çeliği	0,1	70	20
Yüksek hız çeliği	0,125	120	70
Sinterlenmiş karbür	0,25	900	500
Sermet	0,25		600
Kaplamalı karbür	0,25		700
Seramik	0,6		900

En hızlı işleme ve en yüksek takım ömrünü birlikte sunabilecek en verimli kesme şartlarının tespiti için teorik verilerin ortalaması ile uygulamalı verilerin

ortalaması arasında en verimli kesme şartlarının tespiti için genetik algoritma (GA) modeli kullanılmıştır. Genetik algoritma modeli, evrimsel

hesaplama alanında yaygın olarak kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Temelde, çözüm uzayında en iyi çözümleri bulmaya çalışan bir arama algoritmasıdır. Popülasyon tabanlı olarak çalışan genetik algoritma modeli, 7 temel adıma sahiptir. Bunlar:

1. Çözümlerin Kodlanması: Probleme özgü bilgilerin genetik algoritmanın kullanacağı şekle çevrilmesi.
2. Başlangıç Popülasyonu Oluşumu: Belli bir potansiyel çözümü (birey) içeren bir kümenin türetilmesi.
3. Uygunluğu Değerlendirme: Hedeflenen probleme ait uygunluk (fitness) ölçütüne göre her bir bireyin değerlendirilmesi.
4. Çoğalma Seçilimi: Daha iyi çözümleri için en uygun bireylerin seçilmesi.
5. Çaprazlama (Crossover): Belirlenen bireylere ait genetik durumlarını değiştirerek yeni bireylerin oluşturulması
6. Mutasyon: Yeni türetilen bireylerin genetik yapısında hedeflenen probleme yaklaştıracak küçük değişiklikler yapılması.

7. Yeni Popülasyon Oluşumu ve Durdurma: Yeni bireyler bir sonraki nesli oluşturur ve süreç yeniden başlaması ve sürecin belirli bir optimizasyon problemini çözmek için en iyi sonucu elde edene kadar tekrarlanması [20, 21].

T_{ve} bağımlı değişkenlerini en iyi hedefe ulaştırma problemi ile oluşturulan bu yöntem ile 5 mm -25 mm arasında çaplara sahip takımlar için artarak T_{ve} ve azalarak t_h 'ye yaklaşmayı sağlayan optimum V_c ve f değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.2. Fiziki Testlerin Yapılması (Performing Physical Tests)

Algoritma ile belirlenen kesme parametreleri için işleme performansını gözlemleyebilmek adına, fiziki deneylerle örnek bir veri kümesi test edilmiştir. Bu başlık altında deneysel çalışmalarda kullanılan materyaller ve uygulanan yöntemlere yer verilmiştir. Deney malzemesi olarak seçilen AISI 1040 alaşımı farklı kesme parametreleri kullanılarak frezelenmesinde tüm şartlarda aynı iş parçası hacmi işlenmiştir. Bu şartlarda işleme zamanı (t_h) incelenmiş ve takımlardaki aşınma görüntüleri alınmıştır. Ayrıca, her farklı şart için takım ömürleri (T) de hesaplanmıştır. Tablo 3'te yapılan deneylerde kullanılan sabit ve değişken parametreler verilmiştir.

Tablo 3. Fiziki deneylerde kullanılan sabit ve değişken parametreler (Fixed and variable parameters used in physical experiments)

Deney Değişkenleri				Performans Kriterleri		
Deney no	Veri Kaynağı	Kesme parametreleri:		İşleme zamanı t_h (dk)	Takım ömrü T (dk)	Takım aşınmaları V_b (mm)
		V_c (m/dk)	f (mm/dev)			
1	TV ₈	V_{c8}	f_8	t_{h8}	T_8	1.Takım ₈
2	UV ₈	V_{c8}	f_8	t_{h8}	T_8	2.Takım ₈
3	HV ₈	V_{c8}	f_8	t_{h8}	T_8	3.Takım ₈
4	TV ₁₀	V_{c10}	f_{10}	t_{h10}	T_{10}	4.Takım ₁₀
5	UV ₁₀	V_{c10}	f_{10}	t_{h10}	T_{10}	5.Takım ₁₀
6	HV ₁₀	V_{c10}	f_{10}	t_{h10}	T_{10}	6.Takım ₁₀
7	TV ₁₂	V_{c12}	f_{12}	t_{h12}	T_{12}	7.Takım ₁₂
8	UV ₁₂	V_{c12}	f_{12}	t_{h12}	T_{12}	8.Takım ₁₂
9	HV ₁₂	V_{c12}	f_{12}	t_{h12}	T_{12}	9.Takım ₁₂
Deney Sabitleri						
İş Parçası Malzemesi			AISI 1040 (18 HRC)			
Kesici Takım			8 mm, 10 mm ve 12 mm Çaplı, Karbür, 4 Ağızlı, Yekpare Takımlar			
Kesme Sıvısı			Yok (Kuru)			
Takım Bağlama Boyu-Takım Tutucu			30 mm, SNDVK CoroChuck930HA10S20-100			
İşlenen Parça Hacmi			255025 mm ³			

Bilindiği üzere kesici takımların kesme açıları, malzemesi veya kaplaması da işleme performansını etkilemektedir [22]. Bu sebeple deneylerde aynı kesme açısı ve malzemeye sahip üç farklı çapta (8 mm, 10 mm ve 12 mm) kesici takımlar kullanılmış

ve bu takımlara ait kesme parametreleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir çap için sırasıyla teorik (TV), uygulamalı (UV) ve hesaplanan (HV) kesme parametreleri olmak üzere üç durum test edilerek toplamda dokuz deney yapılmıştır. İncelenen her bir

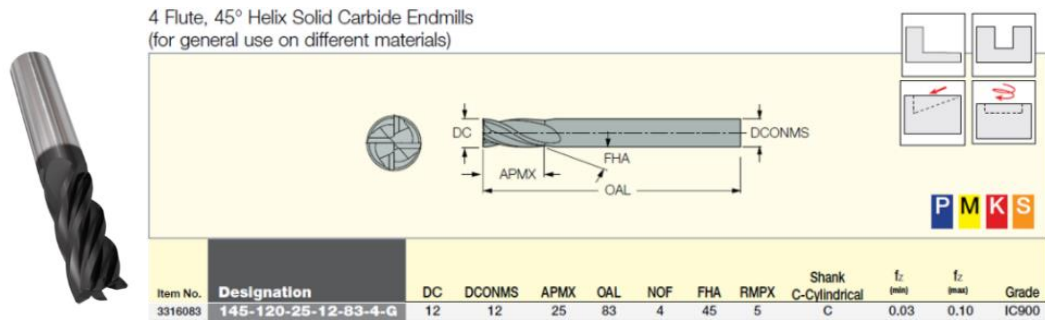
çap için, teorik veriler takım firmalarına ait verilerin ortalamaları alınarak, uygulamalı veriler ise imalat firmalarına ait verilerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Hesaplanan veriler ise her takım çapı için ilgili algorithmadan türetilmiştir. Dokuz farklı kesme şartının her birinde yeni bir kesici takım kullanarak AISI 1040 malzemeden 255025 mm³ sabit hacim işlenmiştir. Deneyler sonunda belirtilen hacmin işleme zamanı (th) ve takım ömrüne (T) işaret eden takımların işlem sonrası aşınma verileri değerlendirilmiştir.

Deneylerde MAZAK marka, i-630V model 5 eksen CNC tezgahın kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımlar ise IC900 kalitesinde, 4 ağızlı, yekpare, karbür kesici takımlardır. Kullanılan kesici takımların fotoğrafı ve teknik özellikleri Şekil 3'te verilmiştir.

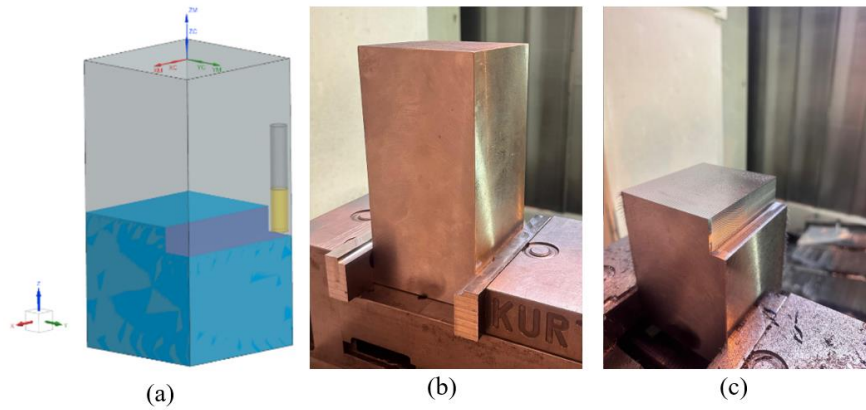
Kuru kesme şartlarında yapılan deneyler için Siemens NX programı üzerinden hazırlanan CAM

programı kullanılmıştır. 255025 mm³ hacimde talaş kaldırılmış olan iş parçası numunesinin CAM programı üzerindeki sanal görüntüsü ve gerçek görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.

Deneylerde takımlardaki aşınma, çatlak ve kırılma gibi deformasyonların ultrasonik gölgelendirme yöntemi ile görüntülediği, HAIMER Tool Presetter Vio Lineer marka/model ölçme cihazı kullanılmıştır. İş parçası olarak kullanılan AISI 1040 çeliği, piyasada karbon çeliği olarak sınıflandırılan %0,4 karbon içeren çeliklerdir. Sertleştirilmeye uygun bir malzeme olduğu için otomotiv, havacılık ve ulaşım sektörlerinde kullanılır [23, 24]. Tablo 4'te bu malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan kesici takıma ait teknik özellikler [25] (Technical specifications of the cutting tool used [25])



Şekil 4. İş parçası malzemesinin işlenmiş CAM katı modeli (a), işlem öncesi (b) ve işlem sonrası (c) fotoğrafı (Photograph of the machined CAM solid model of the workpiece material (a), before (b) and after (c) processing)

Tablo 4. AISI 1040 malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri* (Chemical and mechanical properties of AISI 1040 material*)

C %	Mn %	Si %	P %	S %
0,37-0,44	0,60-0,90	0,15-0,35	<0,040	<0,05
Sertlik (HRC)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)		Uzama (mm) %
18	385	655		10-20
* Veriler üretici firmadan alınmıştır.				

2.3.iTool Programının Yazılması (Writing the iTool Program)

Elde edilen yeni verilere rahatlıkla ulaşılabilmesi için, kullanımı kolay olan bir arayüze sahip ve CAM paket programlarına yardımcı bir alt program olarak çalışabilecek paket program yazılmıştır. Yazılan bu program ile uygulanacak işleme bilgisi, işlenecek

malzeme bilgisi ve kullanılacak kesici takım bilgisi girildikten sonra, o şartlardaki en uygun kesme parametrelerinin kullanıcıya önerilmesi amaçlanmıştır. Hedeflenen program Python programlama diliyle yazılmış ve yazım aşamasında tkinter ile PIL araçları kullanılmıştır. Hazırlanan ve adı iTool olarak belirlenen paket programa ait kodlardan küçük bir kesite Şekil 5'te yer verilmiştir.

```

MAIN.launch
1 import tkinter as tk
2 from tkinter.ttk import *
3 from PIL import Image, ImageTk
4
5
6 def cal_step():
7     root.Z = root.tool_diameter * 35 / 100
8     root.step_over = root.tool_diameter * 15 / 100
9
10
11 class Tool_Diameter_Window:
12     def __init__(self, func):
13         self.win = tk.Toplevel()
14         self.func = func
15
16         frame = tk.Frame(self.win)
17         self.win.title("Takım Çapı Seçme Ekranı")
18         self.win.resizable(False, False)
19
20         window_height = 500
21         window_width = 900
22
23         screen_width = self.win.winfo_screenwidth()
24         screen_height = self.win.winfo_screenheight()
25
26         x_coordinate = int((screen_width / 2) - (window_width / 2))
27         y_coordinate = int((screen_height / 2) - (window_height / 2))

```

Şekil 5. iTool programı için Python programlama dili ile yazılan kodlardan bir kesit (A section of the code written in Python programming language for the iTool program)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1.Toplanan Verilerin İncelenmesi (Review of Collected Data)

Bu çalışmada yekpare karbür parmak frezeler kullanılarak AISI 1040 alaşımının frezelenmesinde gereken kesme parametreleri verilerine ulaşılmıştır. Alanında en ileri gelen iki büyük kesici takım firmasından alınan teorik veriler, 5 mm'den 25 mm'ye kadar olan takım çapına (D) göre kesme hızı (Vc) ve ilerleme (f) değerleridir. Belirlenen sabit hacmin (255025 mm³) seçilen parametrelerle ne kadar sürede işleneceği (th), Eşitlik (1), Eşitlik (3) ve Eşitlik (4) kullanılarak her çap için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca, alınan verilerle birlikte Tablo 2'den uygun n ve C sabitleri alınarak kesme hızına bağlı takım ömürleri (T) de hesaplanmıştır. Takım ömrü hesabı için Taylor takım ömrü

modeline ait formülü (Eşitlik 5) kullanılmıştır. 5 mm – 25 mm arasında çaplara sahip dört ağızlı yekpare karbür takımlar için kesici takım firmalarından alınan Vc ve f verileri ile hesaplanan th ve T sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Benzer şekilde talaşlı imalat sektöründe faaliyet gösteren iki imalat firmasından AISI 1040 alaşımlarının frezelenmesinde kullandıkları 5 mm – 25 mm çap aralığındaki dört ağızlı karbür parmak frezeler için Vc ve f verileri alınmıştır. Yine alınan bu veriler ile, belirlenen sabit hacmin ne kadar sürede işleneceği (th) ilgili denklemler kullanılarak her çap için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yine Tablo 2'den uygun n ve C sabitleri alınarak kesme hızına bağlı takım ömürleri (T) hesaplanmıştır. 5 mm – 25 mm arasında çaplara sahip dört ağızlı yekpare karbür takımlar için imalat firmalarından alınan Vc ve f verileri ile hesaplanan th ve T sonuçları Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 5. Kesici takım firmalarından alınan teorik veriler (Theoretical data obtained from cutting tool firms)

Takım Çapı D (mm)	1. Takım firmasına ait teorik veriler (1.TV)				2. Takım firmasına ait teorik veriler (2.TV)			
	Vc (m/dk)	f (mm/dev)	th (dk)	T (dk)	Vc (m/dk)	f (mm/dev)	th (dk)	T (dk)
5	110	0,160	72,835	426,883	110	0,060	194,227	426,883
6	120	0,220	33,720	301,408	110	0,080	101,160	426,883
7	120	0,220	24,774	301,408	115	0,080	71,090	357,345
8	130	0,220	17,509	218,829	115	0,120	36,286	357,345
9	130	0,220	13,834	218,829	117	0,140	24,154	333,531
10	140	0,240	9,538	162,692	120	0,160	16,691	301,408
11	140	0,260	7,276	162,692	125	0,180	11,771	256,000
12	150	0,300	4,946	123,456	130	0,200	8,560	218,829
13	150	0,300	4,214	123,456	135	0,200	7,023	188,167
14	155	0,300	3,516	108,281	138	0,240	4,937	172,331

15	155	0,300	3,063	108,281	140	0,280	3,633	162,692
16	160	0,300	2,608	95,367	143	0,280	3,127	149,463
17	160	0,320	2,166	95,367	145	0,300	2,549	141,386
18	165	0,340	1,763	84,322	145	0,320	2,132	141,386
19	165	0,340	1,582	84,322	150	0,360	1,644	123,456
20	170	0,360	1,309	74,831	150	0,360	1,484	123,456
21	170	0,380	1,125	74,831	153	0,380	1,250	114,054
22	175	0,380	0,996	66,638	153	0,400	1,082	114,054
23	175	0,400	0,865	66,638	160	0,400	0,947	95,367
24	180	0,420	0,736	59,537	160	0,460	0,756	95,367
25	180	0,420	0,678	59,537	165	0,460	0,676	84,322
C= 500; n=0,25; z=4								

Tablo 6. İmalat firmalarından alınan uygulamalı veriler (Applied data from manufacturing firms)

Takım Çapı D (mm)	1. İmalat firmasına ait uygulamalı veriler (1.UV)				2. İmalat firmasına ait uygulamalı veriler (2.UV)			
	Vc (m/dk)	f (mm/dev)	th (dk)	T (dk)	Vc (m/dk)	f (mm/dev)	th (dk)	T (dk)
5	141,37	0,200	45,34	156,46	109,96	0,286	40,80	427,57
6	150,80	0,248	23,61	120,86	113,10	0,333	23,61	382,01
7	175,93	0,248	14,87	65,24	131,95	0,333	14,87	206,20
8	175,93	0,284	9,96	65,24	138,23	0,454	7,97	171,19
9	197,92	0,284	7,00	40,73	141,37	0,500	5,60	156,47
10	204,20	0,320	4,86	35,94	157,08	0,600	3,40	102,66
11	224,62	0,320	3,65	24,55	155,51	0,666	2,55	106,87
12	218,65	0,376	2,68	27,34	169,65	0,666	1,97	75,46
13	224,62	0,400	2,11	24,55	171,53	0,714	1,55	72,20
14	241,90	0,416	1,62	18,25	184,73	0,714	1,24	53,67
15	245,04	0,440	1,31	17,33	188,50	0,750	1,01	49,51
16	251,33	0,480	1,04	15,66	201,06	0,750	0,83	38,24
17	267,04	0,480	0,87	12,29	213,63	0,750	0,69	30,01
18	271,43	0,500	0,73	11,51	214,88	0,789	0,58	29,31
19	286,51	0,520	0,59	9,27	226,82	0,789	0,50	23,61
20	282,74	0,576	0,49	9,77	238,76	0,789	0,43	19,23
21	296,88	0,576	0,42	8,04	250,70	0,789	0,37	15,82
22	304,11	0,612	0,35	7,30	262,64	0,789	0,32	13,14
23	310,70	0,624	0,31	6,70	252,90	0,857	0,28	15,28
24	301,59	0,712	0,26	7,55	263,89	0,857	0,25	12,89
25	314,16	0,724	0,23	6,41	274,89	1,000	0,19	10,95
C= 500; n=0,25; z=4								

Kesici takım firmalarından alınan teorik verilerle imalat firmalarından alınan uygulamalı verilerin daha kolay karşılaştırılabilmesi için tüm veriler grafikler halinde Şekil 6 ve Şekil 7’de sunulmuştur. Şekil 6’da iki kesici takım firması ve iki imalat firması olmak üzere toplamda dört firmaya ait takım çaplarına göre kullanılan kesme hızları verilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde genel olarak artan takım çapına bağlı olarak kesme hızlarının artması Eşitlik 1’de de ifade edildiği üzere beklenen bir durumdur [26]. Takım çapı ile kesme hızı arasındaki ilişki incelendiğinde, kesme hızının sadece teorik olarak değil, uygulamalı verilerde de çapla birlikte arttığı anlaşılmaktadır. Tüm veri türleri göstermektedir ki, büyük çaplı takımlar için önerilen devir sayıları düşürülse bile, bu azalış takım çapındaki artışı tam olarak dengelemediğinden dolayı, kesme hızı artmaya devam etmektedir. Bu durum, büyük çaplı takımların daha rijit yapıları sayesinde daha agresif

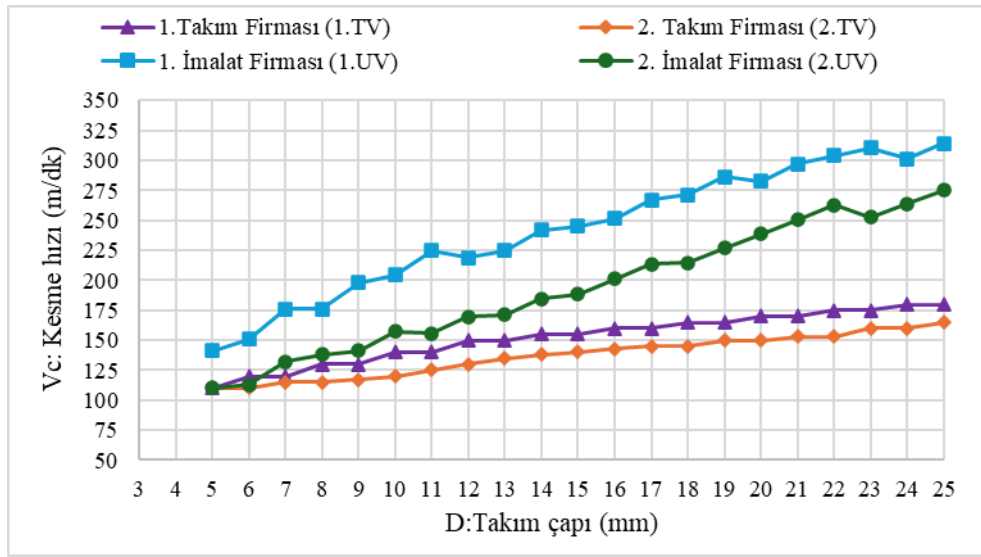
kesme koşullarını tolere edebilmesiyle de ilişkilendirilebilir. Buna karşılık, küçük çaplı takımlar daha düşük mekanik dayanım gösterdiğinden, daha düşük kesme hızlarında çalıştırılmaları hem takım ömrünü uzatmakta hem de işleme kalitesini iyileştirmektedir.

Teorik ve uygulamalı verileri karşılaştırdığımızda, imalat firmalarının kullandığı Vc değerlerinin kesici takım firmalarının önerdiği teorik değerlerden daha yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Küçük çaplı kesici takımlarda veriler daha yakınken, kesici takım çapı büyüdükçe uygulamalı ve teorik veriler arasındaki fark artmaktadır. Teorik verilerin ortalamasının uygulamalı verilerin ortalamasından %35 daha az olduğu söylenebilir. Uygulamalı veriler kendi içinde karşılaştırıldığında 2. imalat firmasının 1. imalat firmasından ortalama %20 daha düşük kesme hızları kullandığı anlaşılmaktadır. Teorik veriler birbirine yakın

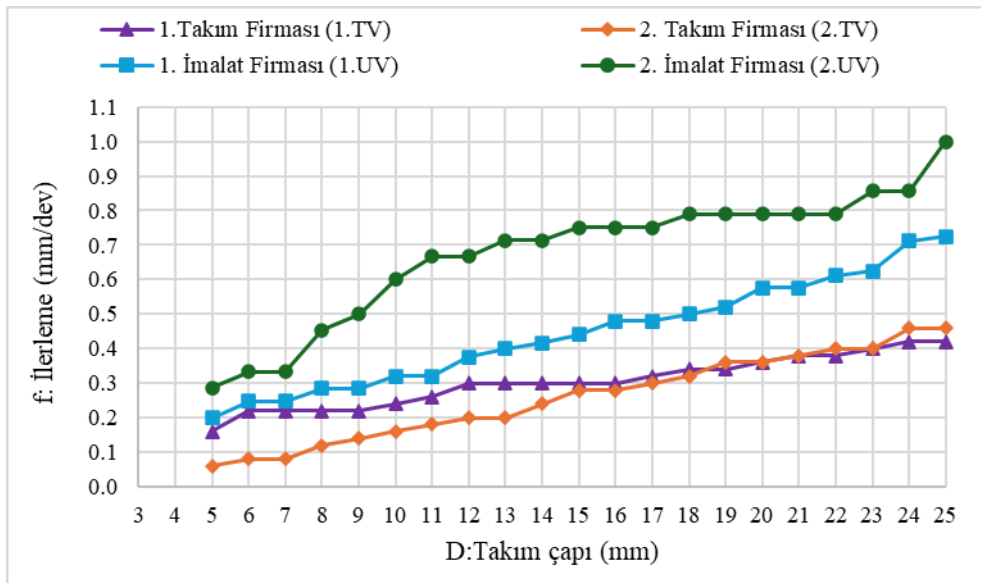
olmakla birlikte, 2. kesici takım firmasının önerdiği kesme hızı değerlerinin 1. kesici takım firmasına göre %10 daha az olduğu söylenebilir.

Takım çaplarına göre dört firmanın kullandığı ilerleme değerlerini götüren Şekil 7 incelendiğinde ise, takım tüm firmalar için artan takım çapına bağlı olarak ilerleme parametrelerinin de arttığı görülmektedir. Çünkü, yüksek kesme parametrelerinin sebep olacağı yüksek kesme kuvvetine karşı, çok küçük çaplı takımların kırılma ihtimali daha fazla olacağından, bu çaplarda düşük ilerlemelerin kullanılması daha güvenlidir [27]. Uygulamalı ve teorik veriler karşılaştırıldığında, imalat firmalarının kullandığı ilerleme verilerinin

kesici takım firmasının önerdiği teorik verilerden daha yüksek olduğu Şekil 7'de görülmektedir. Yine büyük çaplı takımlarda bu farkın arttığı görülmektedir. Teorik f verilerin ortalamasının uygulamalı verilerin ortalamasına göre %50 daha az olduğu söylenebilir. Uygulamalı veriler kendi içinde karşılaştırıldığında 1. imalat firması 2. imalat firmasına göre %34 daha düşük ilerleme değerleri kullanmaktadır. İki kesici takım firmasına ait teorik f verileri özellikle büyük çaplı takımlarda birbirine çok yakınken, küçük çaplı takımlarda 1. Kesici takım firmasının önerdiği f değerleri daha fazladır. Ortalama f değerleri için 1. kesici takım firmasının 2. kesici takım firmasına göre %15 daha düşük f ilerleme değeri önerdiği söylenebilir.



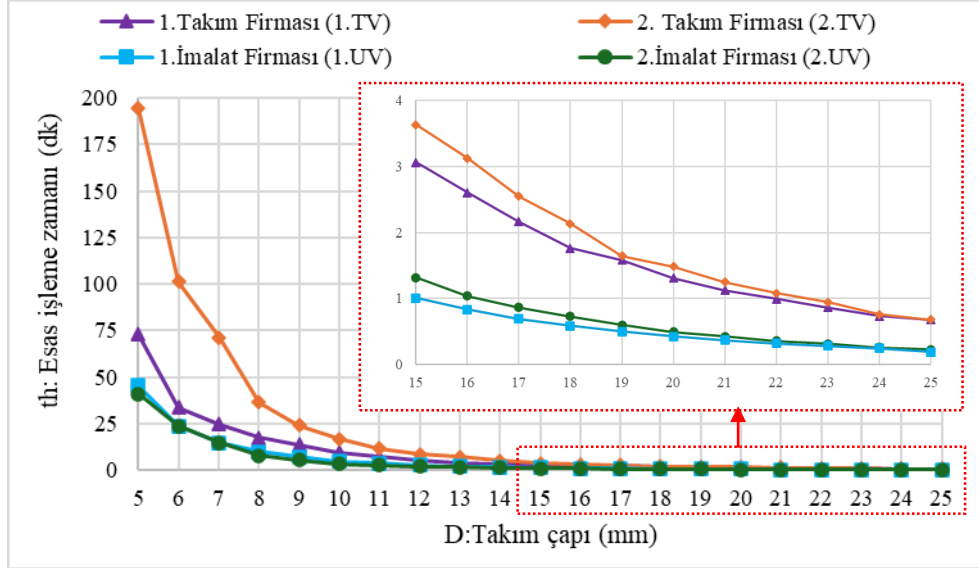
Şekil 6. Farklı firmalardan alınan kesme hızı (Vc) verilerinin karşılaştırılması (Comparison of cutting speed (Vc) data from different firms)



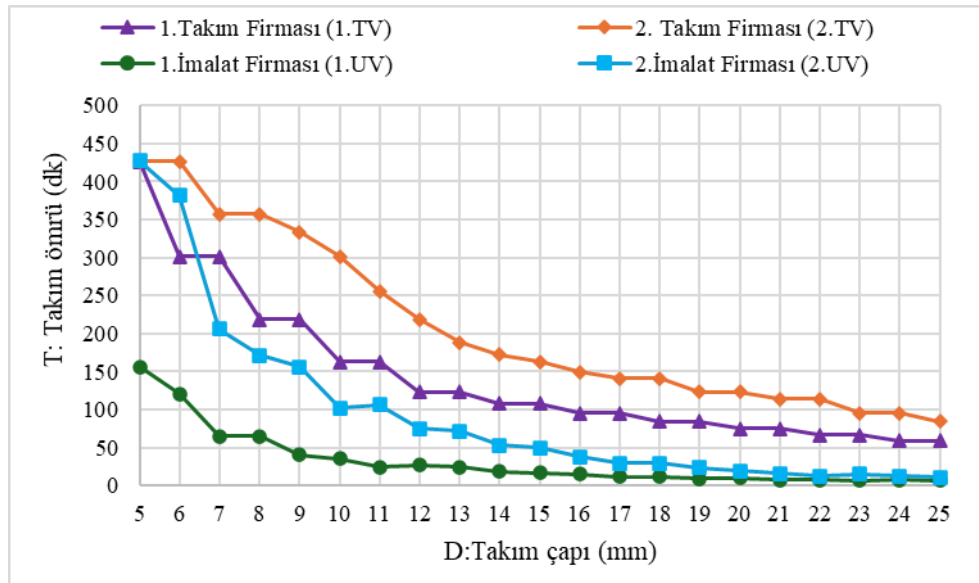
Şekil 7. Farklı firmalardan alınan ilerleme (f) verilerinin karşılaştırılması (Comparison of feed (f) data from different firms)

Sonuç olarak, 1. imalat firması 2. imalat firmasına göre daha yüksek V_c ve daha düşük f değerleri kullanmaktadır. Bu durum iki firmanın imalat uygulamasında kullandıkları f ve V_c 'ye bağlı bir parametre olan ilerleme hızı (V_f) değerlerinin (Eşitlik 3) birbirine daha yakın olduğunu göstermektedir. Eşitlik 4'te de verildiği üzere, V_f

özellikle esas işleme zamanını (th) belirleyen temel kesme parametrelerindendir. Dolayısıyla esas işleme zamanını V_c ve f birlikte etkiler. Artan V_c ve f (dolayısıyla V_f)'e bağlı olarak esas işleme zamanı azalacaktır. Şekil 8'de dört firmanın kullandıkları kesme parametrelerine bağlı olarak işleme zamanlarındaki değişim verilmiştir.



Şekil 8. Farklı firmalara ait esas işleme zamanı (th) verilerinin karşılaştırılması (Comparison of actual machining time (th) data of different firms)



Şekil 9. Farklı firmalardan alınan takım ömrü (T) verilerinin karşılaştırılması (Comparison of tool life (T) data from different firms)

Şekil 8'de azalan takım çapına bağlı olarak th değerinin arttığı görülmektedir. İşleme süresi üzerinde etkili olan faktörler birlikte değerlendirildiğinde, takım çapındaki artışın çift yönlü bir avantaj sunduğu görülmektedir. Bir yandan, daha büyük çaplı takımlar için önerilen yüksek ilerleme değerleri sayesinde ilerleme hızı artmakta ve bu da işlem süresini azaltmaktadır.

Diğer yandan, yana kayma mesafesi ($D \times 0,5$) takım çapıyla birlikte arttığından, sabit bir iş hacminin daha az sayıda paso ile işlenmesi mümkün olmaktadır. Bu iki etki, büyük çaplı takımların daha kısa çevrim süreleriyle çalışmasına olanak tanımaktadır [28]. Dolayısıyla takım çapının artışına bağlı olarak tüm verilerde esas işleme zamanının azalıyor olması beklenen bir durumdur.

Teorik ve uygulamalı veriler karşılaştırıldığında yüksek kesme parametrelerinin uygulandığı imalat firmalarında daha küçük işleme zamanları elde edildiği Şekil'8'de de görülmektedir. Büyük çaplı takımlarda (15-25 mm) tüm veriler birbirine çok yakın olsa da, imalat firmalarına (uygulamalı verilere) ait ortalama t_h değerlerinin teorik değerler göre %44 daha az olduğu söylenebilir.

Hızlı bir üretim imalat zamanını azaltsa da, takım deformasyonunda aynı azalan etkiyi göstermeyecektir. Aksine azalan işleme zamanı takımda aşınmaları artırarak ömrü kısaltacaktır [29]. Bu sebeple toplanan veriler için takım çapına göre takım ömründeki değişimi belirlemek de önemlidir. Dört firmanın kullandığı kesme parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek takım ömürleri hesaplanarak, elde edilen sonuçlar Şekil 9'daki grafikte verilmiştir.

Daha önce Eşitlik 5'te takım ömrünün başta kesme hızı olmak üzere kesme şartlarına bağlı olarak değiştiği vurgulanmıştı. Dolayısıyla büyük çaplı takımlarda kullanılan yüksek kesme hızı takımların aşınmasını hızlandıracaktır. Artan kesme parametrelerine bağlı olarak kesici takımların daha kısa sürede aşınarak ömrünü daha kısa sürede tamamlamadığı yapılan pek çok araştırmada gözlenmiştir [30, 31, 32]. Bu sebeple daha yüksek kesme hızlarının kullanıldığı uygulamalı verilerde takım ömrü, teorik verilere göre daha düşüktür. Sayısal olarak ifade edilecek olursa, uygulamalı verilere ait takım ömrü ortalaması, teorik verilere ait takım ömrü ortalamasından %63,5 daha az olduğu söylenebilir. Dolayısıyla Şekil 9'da artan takım çapı ve buna bağlı olarak artan kesme hızı, T verilerinde azalmaya sebep olmuştur.

Tüm bu sonuçlar ışığında, kesici takımları kullanan imalat firmalarına ait (uygulamalı) verilerin işleme hızını yükselterek birim zamanda üretilen ürün

sayısını artırma motivasyonu içerdiği düşünülmektedir. Buna karşın, kesici takım firmalarının önerdikleri (teorik) veriler ise takım bütünlüğünü en uzun süre koruma motivasyonu içerdiği değerlendirilmektedir. Verimli bir imalat süreci mümkün olan en kısa sürede imalat yaparken, eldeki imalat araçlarını mümkün olan en uzun sürede kullanmakla mümkün olacaktır. Dolayısıyla bu noktada, bu ihtiyaçlara cevap verebilecek kesme parametrelerinin belirlenmesi hayati öneme sahiptir [33].

3.2. Elde Edilen Yeni Veriler (New Data Obtained)

Verimli bir talaş kaldırma işlemi kesici takımı en uzun süre kullanırken, üretimi mümkün olan en hızlı şekilde yapmak olarak tarif edilebilir [27]. Fakat işleme hızının artışının doğrudan takım ömrünü olumsuz etkilediği Eşitlik 5'te verile Taylor takım ömrü modelinden de anlaşılmaktadır. Bu iki tezat durum için optimum bir noktada kalmak çok önemlidir. Yani, hem hızlı bir üretimi sunacak hem de takım ömrünü agresif bir şekilde aşağıya çekmeyecek kesme parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Kesici takım firmalarının önerdiği yüksek takım ömrünü sağlayan teorik kesme parametreleri, imalat firmalarına ait uygulamalı kesme parametrelerine göre daha düşük seviyedir. Buna karşılık firmalar da düşük işleme zamanı ve buna bağlı olarak hızlı bir imalat sunan yüksek kesme parametreleri kullanmaktadır. Hızlı bir imalat yaparken, takım ömrünü de agresif bir şekilde azaltmamak için teorik veriler ve uygulamalı verilerin arasında yeni değerler hesaplanmıştır. Bu nedenle T ve t_h verileri oluşturulan algoritmanın problem çözme kaynağıdır. Yeni verilerin elde edilmesi için Google Colab ortamında Python programlama dili ile genetik algoritma geliştirilmiştir. Şekil 10'da oluşturulan genetik algoritma için çalıştırılan kodların bir bölümü paylaşılmıştır.

```
# Genetik algoritma döngüsü
for generation in range(generations):
    population = sorted(population, key=lambda x: fitness(x, veriler), reverse=True) # Fitness sıralaması
    new_population = population[:10] # En iyi 10 birey seçilir

    # Çaprazlama ve mutasyon işlemleri
    while len(new_population) < population_size:
        parent1, parent2 = random.sample(population[:50], 2) # İlk 50 popülasyondan iki ebeveyn seç
        child = [(p1 + p2) / 2 for p1, p2 in zip(parent1, parent2)] # Basit çaprazlama
        if random.random() < 0.1: # Mutasyon oranı
            child[1] += random.uniform(-10, 10) # Kesme hızında küçük değişiklik
            child[2] += random.uniform(-0.05, 0.05) # İlerleme miktarında küçük değişiklik
        new_population.append(child)

    population = new_population

# Sonuçları döndürme
best_solution = max(population, key=lambda x: fitness(x, veriler))
return best_solution
```

Şekil 10. Genetik algoritma için Python programlama dilinde yazılan kodlardan bir kesit (A section of the codes written in Python programming language for the genetic algorithm)

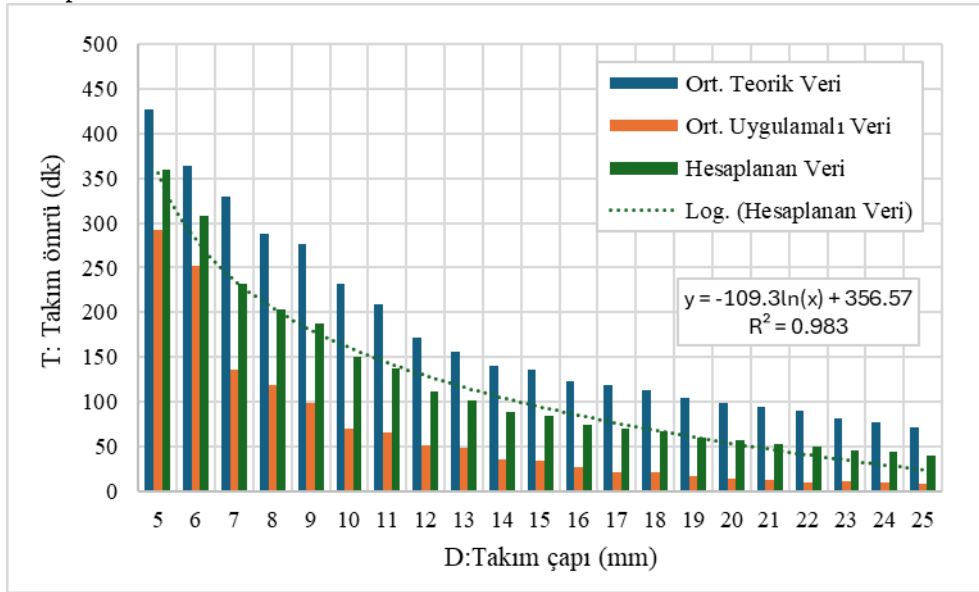
Uygulamalı verilerin ortalaması ve teorik verilerin ortalaması arasında en iyi ara değerleri için en düşük t_h ve en yüksek T değerlerine yaklaşan yeni kesme parametreleri Şekil 10'da kullanılan algoritmayla belirlenmiştir. Elde edilen yeni kesme parametrelerine göre her çap için türetilen yeni T verilerinin, ortalaması alınan teorik ve uygulamalı T verilerine göre durumu Şekil 11'de paylaşılmıştır.

Hesaplanan veriler firmalardan toplanan verilerin arasında ortalamaya yakın bir dağılım sergilediği

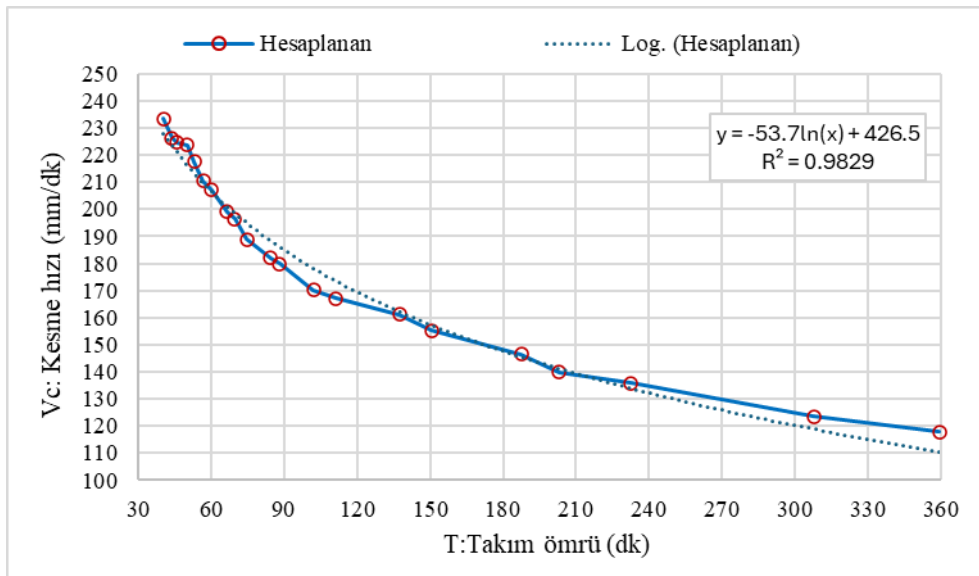
Şekil 11'deki grafikte görülmektedir. Grafikte y , 5-25 mm arasında değişen takımın ömürlerine karşılık gelmektedir. x ise takım çaplarını ifade etmektedir. Toplanan verilerde ve bu veriler

kullanılarak hesaplanan verilerde artan takım çapıyla birlikte o çap için kullanılacak kesme hızın da değişmesi sebebiyle, takım ömrü ile takım çapı ilişkisi, takım ömrü ile kesme hızı ilişkisine benzer davranışa sahiptir.

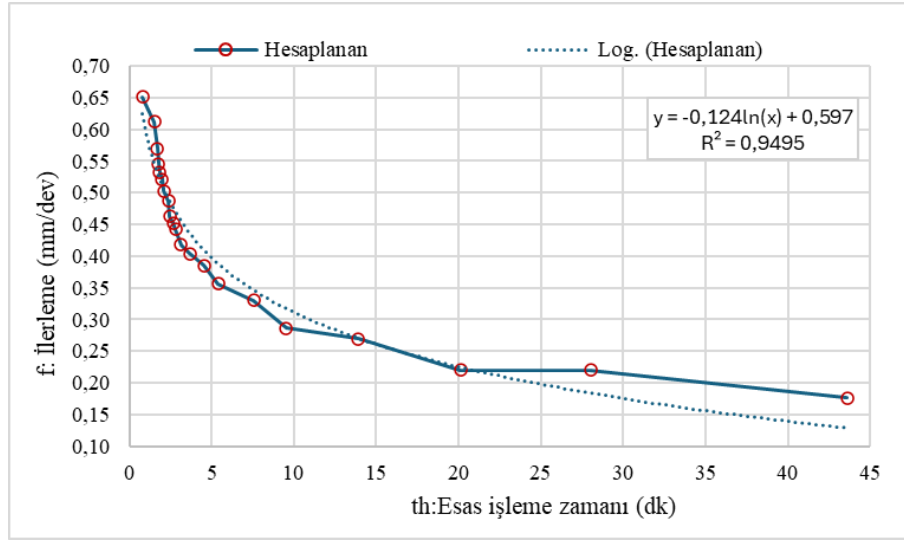
Hesaplanan yeni takım ömrü ile yeni kesme hızı verileri Şekil 12'deki gibidir. Kesme hızındaki azalmanın takım ömrünü artırdığını anlatan Şekil 12'deki grafikte verilen denklemde y kesme hızını, x ise takım ömrünü ifade etmektedir. Verilerin dağılımına göre oluşturulan logaritmik eğilim çizgisinin verilerle uyumu %98'in üzerindedir. Böylece, eğilim çizgisine ait denklem ile ara değerler doğruya çok yakın olarak hesaplanabilir.



Şekil 11. Toplanan tüm veriler kullanılarak hesaplanan yeni takım ömrü (T) verileri (New tool life (T) data calculated using all collected data)



Şekil 12. Hesaplanan yeni veriler için kesme hızı (V_c) takım ömrü (T) ilişkisi (Cutting speed (V_c) tool life (T) relationship for new calculated data)



Şekil 13. Hesaplanan yeni veriler için ilerleme (f) ve esas işleme zamanı (th) ilişkisi (The relationship between the feed (f) and the actual machining time (th) for the new calculated data)

Bir diğer önemli çıktı esas işleme zamanı (th)'dır. Ve esas işleme zamanı birinci derecede ilerleme parametresine bağlıdır. Hesaplanan yeni ilerleme verine bağlı olarak Eşitlik 4 ile elde edilen th verileri Şekil 13'te paylaşılmıştır. İlerlemelerdeki azalmanın esas işleme zamanını artırdığını anlatan Şekil 13'teki denklemde y ilerlemeye, x ise esas işleme zamanına karşılık gelmektedir. Verilerin dağılımına göre oluşturulan logaritmik eğilim çizgisinin verilerle uyumu %95'e yakın olduğu için, eğilim çizgisine ait denklem ile ara değerler doğruya yakın bir şekilde hesaplanabilir.

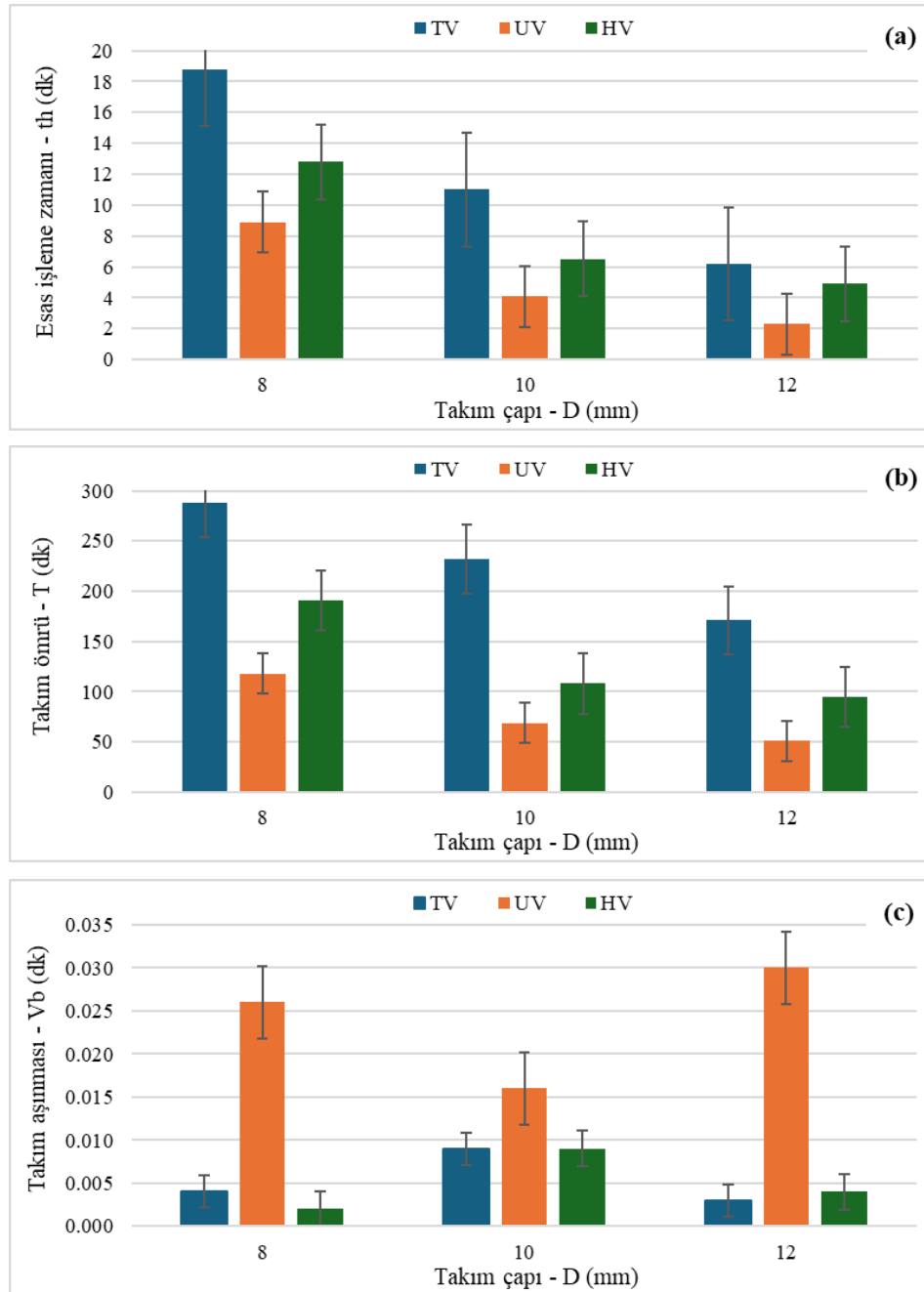
3.3. Fiziki Testlerden Elde Edilen Sonuçlar (Results Obtained from Physical Tests)

Çalışmada, algoritma ile hesaplanan verilerin mevcut teorik ve uygulamalı verilere göre

performanslarını karşılaştırmak için AISI 1040 18 HRC sertliğindeki paslanmaz çelik malzemesi yüzey frezeleme operasyonu ile fiziki işleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerde test edilen 8 mm, 10 mm ve 12 mm çaplı takımlara ait ortalama teorik veriler (TV), ortalama uygulamalı veriler (UV) ve algoritma ile hesaplanan veriler (HV) kullanılarak yapılan dokuz deneyde; esas işleme zamanı (th), takım ömrü (T) ve takımlardaki aşınma (Vb) incelenmiştir. Gerçekleştirilen dokuz deneye ait kullanılan kesme parametreleri ve elde edilen performans çıktıları Tablo 7'de verilmiştir. Dokuz farklı kesme şartında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen th, T ve Vb sonuçlarının grafiklere aktarılmış hali ise sırasıyla Şekil 14.a, Şekil 14.b ve Şekil 14.c'deki gibidir.

Tablo 7. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve elde edilen performans çıktıları (Cutting parameters used in the experiments and the performance results obtained)

Deney Değişkenleri					Performans Kriterleri		
Deney no	Veri kaynağı	D (mm)	Vc (m/dk)	f (mm/dev)	th (dk)	T (dk)	Vb (mm)
1	TV	8	123	0,170	18,8	288	0,004
2	UV	8	157	0,369	8,9	118	0,026
3	HV	8	138	0,272	12,8	191	0,002
4	TV	10	130	0,200	11,0	232	0,009
5	UV	10	181	0,460	4,1	69	0,016
6	HV	10	157	0,327	6,5	108	0,009
7	TV	12	140	0,250	6,2	171	0,003
8	UV	12	194	0,521	2,3	51	0,030
9	HV	12	165	0,383	4,9	95	0,004



Şekil 14. Deneylerde kullanılan farklı veri kaynaklarından elde edilen esas işleme zamanı (a), takımın ömrü (b) ve takım aşınması (c) sonuçları (Actual machining time (a), tool life (b) and tool wear (c) results obtained from different data sources used in the experiments.)

Şekil 14.a ve Şekil 14.b incelendiğinde tüm takımlar için teorik verilerin kullanıldığı şartardaki düşük kesme parametreleri yüksek takım ömrü sunmasına karşılık, bu şartlarda sabit bir hacmin işlenmesi (255025 mm³) daha uzun sürdüğü anlaşılmaktadır. Sayısal olarak ifade edilecek olursa t_h çıktıların ortalaması TV, UV ve HV şartları için sırasıyla 12 dk, 5 dk ve 8 dk olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde T çıktıların ortalaması TV, UV ve HV şartları için sırasıyla 230 dk, 79 dk ve 131 dk olduğu belirlenmiştir. Takım çapının artmasıyla birlikte kesme hızları, ilerlemeler ve yanal kayma

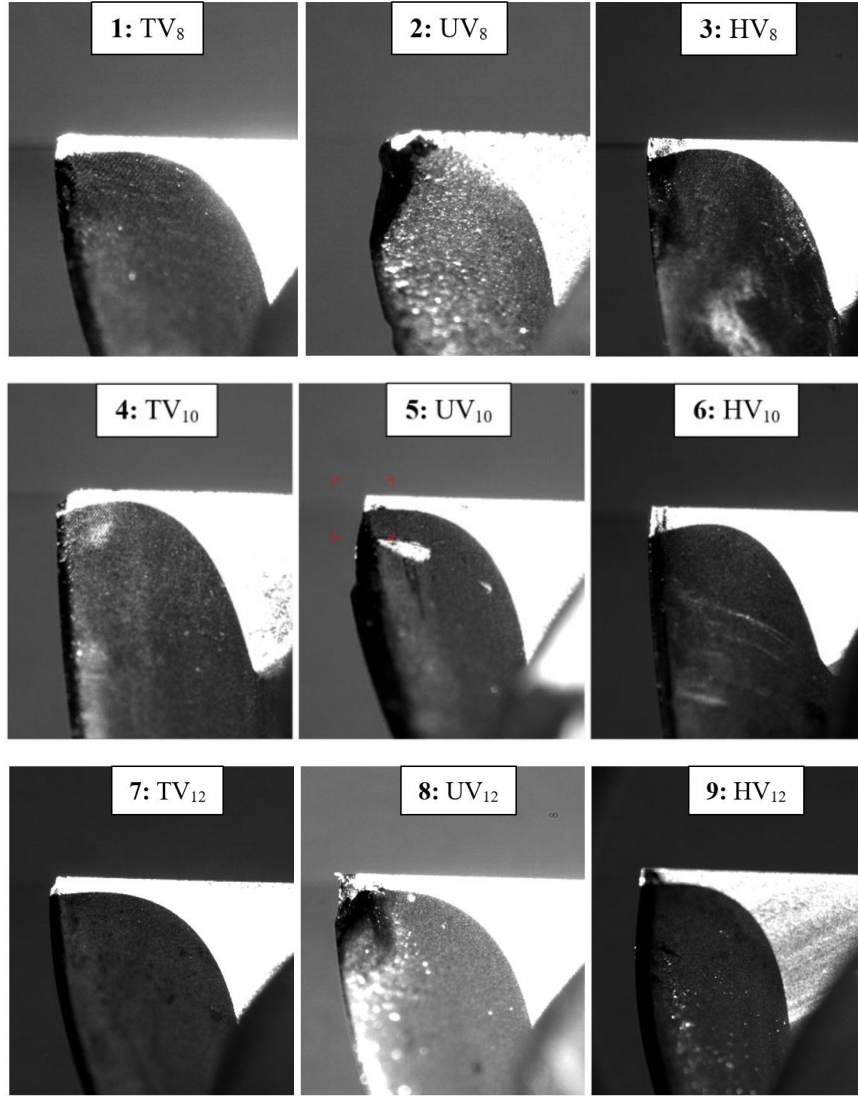
mesafeleri ($D \times 0,5$) de arttığı için, sabit bir hacmi işlerken t_h ve T değerleri azalmaktadır.

Freze işleminin uzun zaman aldığı teorik veri türünde, takım aşınması beklendiği üzere en küçük seviyelerde olduğu Şekil 14.c'de net bir şekilde görülmektedir. Diğer taraftan yüksek kesme parametrelerinin kullanıldığı uygulamalı verilerde ise düşük bir takım ömrü ve aynı hacmin daha kısa sürede işlenmesi beklentisi vardır. 8 mm, 10 mm ve 12 mm çapa sahip takımlarla gerçekleştirilen deneylerde gözlenen yüksek takım aşınmaları düşük takım ömrü tahminini destekler niteliktedir. Buna

karşılık algoritma kullanılarak hesaplanan verilerde hem aynı hacim için işleme süresi teorik veriler kadar uzun değildir. Hem de deney sonucundaki takım aşınması teorik verilere çok yakındır. Sayısal olarak ifade edilecek olursa, uygulamalı verilerin kullanıldığı şartlarda aşınma değeri ortalama 0,024 mm olarak ölçülürken; bu değer teorik ve hesaplanan verilerin kullanıldığı şartların her ikisinde de ortalama 0,005 olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle uygulamalı verilerin kullanıldığı

şartlarda ölçülen aşınmalara göre teorik ve hesaplanan verilerinin kullanıldığı şartlardaki aşınmalar ortalama %78 daha az olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 15'te TV, UV ve HV olmak üzere üç veri kaynağından alınan kesme parametrelerinin kullanıldığı takımlara ait aşınma görüntüleri paylaşılmıştır.



Şekil 15. Teorik veriler (TV), uygulamalı veriler (UV) ve hesaplanan veriler (HV) için deneylerde kullanılan 8-10-12 mm çaplı karbür takımlara ait aşınma görüntüleri (Wear images of 8-10-12 mm diameter carbide tools used in experiments for theoretical data (TV), practical data (UV) and calculated data (HV))

Şekil 15'teki görsellerde de uygulamalı verilerin kullanıldığı UV8 UV10 ve UV12 şartlarında takımlardaki deformasyonların diğer şartlara göre çok yüksek olduğu net bir şekilde görülmektedir. TV ve HV şartlarında kullanılan tüm takımlardaki deformasyonların ise daha az olduğu görülmektedir. Bu noktada, verimli bir işleme sadece hızlı aşınmayan bir takım ile izah edilemez. Aynı zamanda üretim hızının yüksekliği de verimli bir üretim için

gereklidir [34]. Teorik veriler düşük bir takım aşınması yani, uzun bir takım ömrü sunarken, düşük üretim hızları kullanmayı önermektedir. Buna karşılık uygulamalı veriler oldukça yüksek üretim hızları önerirken, bu durum hızlı bir takım aşınmasına sebep olmaktadır. Hesaplanan veriler hem teorik verilerden daha hızlı bir üretimi sunabildiği, hem de teorik verilere yakın takım ömrü de sunabildiği fiziki deneylerle ortaya

konmuştur. Bu bulgu, hesaplamalı yöntemlerin yalnızca teorik yaklaşımlardan değil, aynı zamanda uygulamalı denemelerden de daha sürdürülebilir ve dengeli kesme stratejileri önerebildiğini göstermektedir. Literatürde benzer şekilde, çok hedefli iyileştirme temelli kesme parametresi belirleme çalışmalarında da üretim verimliliği ile takım ömrü arasında denge kurulmasının en ideal strateji olduğu vurgulanmaktadır [35-36].

Sonuç olarak, elde edilen deneysel bulgular ışığında, hesaplanan kesme parametrelerinin hem takım ömrü hem de üretim süresi açısından makul düzeyde bir iyileştirme sunduğu, dolayısıyla endüstriyel ölçekte verimli, dengeli ve sürdürülebilir bir üretim sürecine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Bu bulgular, ileri üretim sistemlerinde veri temelli karar destek mekanizmalarının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

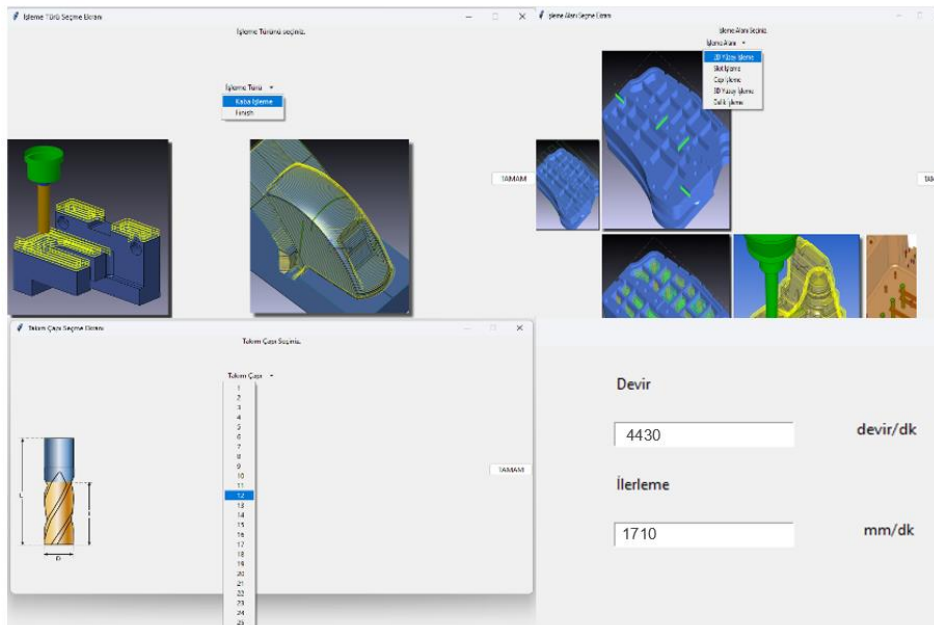
3.4. Yazılan iTool Paket Programı (Written iTool Package Program)

Geliştirilen algoritma ile hesaplanan verilere kullanıcının rahatlıkla ulaşabileceği paket program yazılması için öncelikle uygun arayüz tasarımı yapılmıştır. Program oluşturulurken özellikle kolay kullanılabilme ve geliştirilebilme yeteneklerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Python programa diliyle yazılan programda özel kodlama şablonları kullanılmış ve Tkinter kütüphanesi sayesinde kodlar çalışır duruma getirilmiştir. Programda malzeme bilgileri (cinsi ve sertliği), işleme bilgileri (işleme tipi, işleme alanı) ve kesici takım bilgileri (çapı ve ağız sayısı) kullanıcının seçimine sunulmuştur.

Program şimdilik malzeme bilgisi olarak araştırmaların yapıldığı AISI 1040 alaşımı ile ilgili bilgileri içermektedir. Kesici takım bilgisi olarak ise yalnızca karbür 5-25 mm çap arası parmak freze için veri girişi yapılmıştır. İşleme tipi ile ilgili deneylerin gerçekleştirildiği yüksek hacimli talaş kaldırma adına kaba işleme yöntemine ait işlem basamakları aktif durumdadır. İşleme alanı için de yine araştırmaların yapıldığı yüzey tarama işlemi kullanılabilir durumdadır. Programının oluşturulmasında Python yazılımı ile sözü edilen her bir sekme için birden fazla pencerenin bağımsız çalışması sağlanmıştır. Her bir sekme için program geliştirilmeye açık ve kütüphaneleri eklemeye/güncellemeye uygun olarak tasarlanmıştır.

Program isim belirlenirken daha önce kullanılmamış olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, benzer ölçüde bir programın varlığının olup olmadığına dair araştırmalar yapılmış olup özgün, yerli ve milli bir yazılım ortaya konulmaya çalışılmıştır. Programın demo arayüz görseli Şekil 16'da verilmiştir.

Girilen şartlara en uygun kesme parametreleri program tarafından önerilmektedir. Bu kapsamda takım çapına bağlı olarak algoritma ile hesaplanan V_c ve f verileri kullanıcıya sunulmaktadır. Program, önerilen V_c ve f verilerini ilerleme hızı (V_f) ve devir sayısına (N) dönüştürebilmesinin yanında, bu V_f ve N parametrelerinin manuel olarak girilebileceği ikinci bir opsiyonel pencereyi kullanıcıya sunacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 16. iTool paket programının demo arayüzü (Demo interface of the iTool package program)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada AISI 1040 alaşımının yüzey frezeleme işleminde en doğru kesme parametrelerinin belirlenmesini amaçlayan bilgisayar destekli süreç planlama (CAPP) uygulaması yapılmıştır. Verimli bir işleme için performans kriteri olarak takım ömrü (T) ve hedeflenen sabit hacim (255025 mm³) için işleme zamanı (th) alınmıştır. En verimli kesme parametreleri belirleyebilmek için en az iki farklı kesici takım firmasından teorik veriler (TV) ile imalat sektöründe faaliyet gösteren en az iki farklı firmanın kullandığı uygulamalı veriler (UV) toplanmıştır. Bu verilerin incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Toplanan kesme hızı (Vc) verileri için, teorik verilerin ortalamasının uygulamalı verilerin ortalamasından %35 daha az olduğu gözlenmiştir.
- Toplanan ilerleme (f) verileri için ise, teorik verilerin ortalamasının uygulamalı verilerin ortalamasına göre %50 daha az olduğu görülmüştür.
- Bu kesme parametrelerine bağlı olarak sabit bir hacmin işlenmesi için gereken esas işleme zamanının (th) ortalamaları karşılaştırıldığında uygulamalı verilerin ortalamasının, teorik verilerin ortalamasına göre %44 daha az olduğu hesaplanmıştır.
- Diğer taraftan hesaplanan takım ömrü (T) için, uygulamalı verilere ait T ortalamasının, teorik verilere ait T ortalamasından %63,5 daha az olduğu belirlenmiştir.

Hızlı bir imalat yaparken, takım ömrünü de agresif bir şekilde azaltmamak hedefiyle, teorik veriler ile uygulamalı verilerin arasında yeni değerler genetik algoritma ile hesaplanmıştır. Elde edilen yeni verilerin endüstride uygulanan verilere göre %87 daha fazla takım ömrü sunduğu, teorik verilere göre ise %22 daha kısa işleme zamanı sağladığı hesaplanmıştır. Hesaplanan verilere (HV) ait parametreler arasındaki ilişkiler yüksek uyumla belirlenmiştir. Bu ilişkiler aşağıdaki denklemlerle kısaca ifade edilebilir:

- Takım çapı (D) ile takım ömrü (T) arasındaki ilişkiyi veren denklem:

$$T = -109,3 \ln(D) + 356,57 \quad (R^2 = \%98)$$

- Takım ömrü (T) ile kesme hızı (Vc) arasındaki ilişkiyi veren denklem:

$$Vc = -53,7 \ln(T) + 426,5 \quad (R^2 = \%98)$$

- İşleme zamanı (th) ile ilerleme (f) arasındaki ilişkiyi veren denklem:

$$f = -0,124 \ln(th) + 0,597 \quad (R^2 = \%95)$$

Farklı kesme parametrelerinin göreceli performansını değerlendirmek amacıyla, çapları 8 mm, 10 mm ve 12 mm olan her bir takım için teorik veriler (TV), uygulamalı veriler (UV) ve algoritma ile türetilmiş veriler (HV) kullanılarak dokuz ayrı kesme koşulunda sabit bir talaş hacminin (255025 mm³) işlendiği deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu çeşitli kesme koşullarına ilişkin esas işleme süresi (th), takım ömrü (T) ve takım aşınması (Vb) verilerinden elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur:

- TV ve HV şartlarındaki aşınma ortalamalarının birbirine çok yakın (0,005 mm) ve GV şartlarındaki aşınma ortalamasına (0,024 mm) göre çok daha (%78) az olduğu tespit edilmiştir.
- Diğer taraftan, TV şartlarındaki takım ömrü ortalamasına (230 dk) göre UV ve HV şartlarındaki takım ömrü ortalamaları sırasıyla %65,6 ve %43 daha az olduğu belirlenmiştir.
- Buna karşılık, TV şartındaki işleme süresi ortalamalarına (12 dk) göre UV ve HV şartlarındaki işleme süresi ortalamaları sırasıyla %57,5 ve %32,8 daha az olduğu görülmüştür.
- Dolayısıyla, UV şartlarında takım aşınmaları, TV şartlarında ise işleme süresi çok yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlara göre hem hızlı bir imalat yapabilmek, hem de takım aşınmasını kritik bir şekilde artırmamak adına, diğer verilere göre algoritma ile belirlenen HV şartlarının makul seviyelerde olduğu söylenebilir.

Tüm bu aşamalar sonunda bu çalışmanın hedeflerinden biri olan yeni bir CAPP programı Python programlama diliyle yazılmıştır. iTool olarak isimlendirilen ve hesaplanan yeni verilere göre kesme parametresi sunan bu yeni paket program, talaşlı imalat alanında tecrübesi olmayan bir kullanıcıya rehber olabileceği değerlendirilmektedir. Böylece, talaşlı imalat

süreçlerine ait birikmiş tecrübenin geliştirilebilir özelliğe sahip bu yeni yazılım sayesinde kayıt altına alınabileceği ve imalat süreçlerindeki verimin sürdürülebilir hale getirilmesine destek olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, fiziki deneylerde makine ve ekipman kullanma olanağı sağlayan Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ)'a teşekkür eder.

The authors would like to thank Turkish Aircraft Industries Inc. (TUSAŞ) for providing the opportunity to use machinery and equipment in physical experiments.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Kadirhan AKDENİZ: Verileri toplamış, deneyleri yapmış, iTool paket programını oluşturmuş ve makaleyi yazmıştır.

He collected the data, conducted the experiments, created the iTool package program and wrote the article..

Ayşegül ÇAKIR ŞENCAN: Çalışmayı planlamış, deney sonuçlarını analiz etmiş, makaleyi yazmış ve gerekli kontrolleri yapmıştır.

She planned the study, analyzed the experimental results, wrote the article and made the necessary checks.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Akkurt M. (2012) Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi: CNC Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [2] Uluğ D ve Dilipak H. (2012) Kaplamalı ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar İçin Takım Ömrü Modeli'ndeki "N" Üstel Değerinin DeneySEL Olarak Araştırılması, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara

- [3] Çakır MC. (2018) Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, 3. Baskı, Dora Yayınevi, Bursa.
- [4] Yağmur S. (2023), AISI 1050 çeliğinin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın (MMY) kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğü üzerindeki etkisinin araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 11(4), 1024-1034.
<https://doi.org/10.29109/gujsc.1378275>.
- [5] Yılmaz AF, Köse O. (2025) Advancing sustainable shipbuilding through a hybrid risk prioritization model: integrating FMEA and machine learning, Engineering Science and Technology, an International Journal, 70:102158,
<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2025.102158>.
- [6] Akdeniz K. (2024) Frezeleme Operasyonlarında Bilgisayar Destekli Süreç Planlama ile Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak,
- [7] Zhou J, Camba JD. (2021) Computer-Aided Process Planning In Immersive Enviroments: A Critical Review, Computers in Industry, Volume: 133.
- [8] Shin H, Olling GJ, Chung YC, Kim BH, Cho SK. (2003) An Integrated CAPP/CAM System For Stamping Die Pattern Machining, Computer-Aided Design 35: 203-213.
- [9] Yusof Y, Latif K. (2014) Survey on computer-aided process planning. Int J Adv Manuf Technol 75, 77-89.
<https://doi.org/10.1007/s00170-014-6073-3>
- [10] Mauthner G, Votruba W, Ramsauer C, Plessing L, Trautner T, Bleicher F. (2022) Development of a CAM-in-the-Loop System for Cutting Parameter Optimization using an Instrumented Tool Holder, Procedia CIRP, 107: 326-331.
- [11] Xu XW and He Q. (2004) Striving for a Totalintegration of CAD, CAPP, CAM and CNC, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 20: 101-109.
- [12] Deja M, Siemiatkowski MS. (2018) Machining Process Sequencing And Machine Assignment In Generative Feature-based CAPP For Mill-turn Parts, Journal of Manufacturing Systems, 48: 49-62.
- [13] Kumar SPL, Jerald J, Kumanan S. (2014) Automatic Feature Extraction and CNC Code Generation in a CAPP System for Micromachining, Procedia Materials Science, 5: 1986-1997.

- [14] Zubair AF, Mansor MSA. (2021) Embedding Firefly Algorithm In Optimization of CAPP Turning Machining Parameters for Cutting Tool Selections, *Computers&Industrial Engineering*, Volume 135: 317-325.
- [15] Culler DE, Burd W. (2007) A Framework For Extending Computer Aided Process Planning to Include Business Activities and Computer Aided Design and Manufacturing (CAD/CAM) Data Retrieval, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23: 339-350.
- [16] Lin AC, Lin MY, Ho HB. (1999) CAPP And Its Integration With Tolerance Charts For Machining Of Aircraft Components, *Computers in Industry*, 38: 263-283.
- [17] Pobozniak J and Sobieski S. (2017) Extension of STEP-NC Data Structure to Represent Manufacturing Process Structure in CAPP System, *Procedia Manufacturing*, 11: 1692-1699.
- [18] Şeker U. (2000) Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, 39-45, Ankara.
- [19] Groover MP. (2021) In Principles of Modern Manufacturing, Vol.4 (Eds: Yurdakul M, İç YT), Nobel Press, İstanbul, Türkiye.
- [20] Emel GG, Taşkın Ç. (2002) Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(1):129-152.
- [21] Tül U, Tuncer A. (2017). Intelligent Test Paper Generation with Genetic Algorithm. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 5(4), 27-34. <https://doi.org/10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.341977>
- [22] Günay M, Kayki MÖ, Yılmaz AF. (2025). Comprehensive analysis of FEM assisted cermet insert design and tool performance for turning bearing rings. *Sādhanā* 50, 180. <https://doi.org/10.1007/s12046-025-02867-y>
- [23] URL2:/https://www.muhandisalemi.com/her-yonuyle-1040-celigi>, Ziyaret tarihi: 09.11.2023.
- [24] Vakulenko, I. A., Plitchenko, S., Yılmaz, A. F. (2025). Influence Degree and Scheme of Hot Reduction on Properties of the Carbon Steel. *Manufacturing Technologies and Applications*, 6(1), 150-156. <https://doi.org/10.52795/mateca.1634663>.
- [25] URL1: /https://www.iscar.com/Catalogs/publication-2021/Flash_Solid_catalog_43_1_2021_METRIC.pdf, Ziyaret tarihi: 18.02.2023.
- [26] Çakır MC. (2018) Modern Machining Methods, Dora Press, Bursa, Turkey.
- [27] Kalpakjian S, Schmid SR. (2003) Manufacturing processes for engineering materials. 4th ed. Newjersey.
- [28] Akkurt M., CNC Takım Tezgahlarının Programlanması ve CAD-CAM Sistemleri, Birsan yayınevi.
- [29] Altıntaş Y. (2012) Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design, Canbridge University Press, USA.
- [30] Şirin E, Yıldırım ÇV, Şirin Ş, Kıvak T, Sarıkaya M. (2024) Comprehensive analysis of cutting temperature, tool wear, surface integrity and tribological properties in sustainable milling of Ti6Al4V alloy: LN2, nanofluid and hybrid machining. *Journal of Manufacturing Processes*, 131:1360-1371. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.09.120>.
- [31] Sarıkaya M, Gupta MK, Tomaz I, Pimenov DY, Kuntoğlu M, Khanna N, Yıldırım ÇV, Krolczyk GM. (2021) A state-of-the-art review on tool wear and surface integrity characteristics in machining of superalloys. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35: 624-658. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.08.005>.
- [32] Gupta MK, Boy M, Korkmaz ME, Yaşar N, Günay M, Krolczyk GM. (2022) Measurement and analysis of machining induced tribological characteristics in dual jet minimum quantity lubrication assisted turning of duplex stainless steel. *Measurement*, 187:110353. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110353>.
- [33] Uzun G. (2019) Analysis of grey relational method of the effects on machinability performance on austempered vermicular graphite cast irons, *Measurement* 142, 122–130.
- [34] Zheng G, Li L, Li Z, Gao J, Niu Z. (2018) Wear mechanisms of coated tools in high-speed hard turning of high strength steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94: 4553-4563. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1132-1>.
- [35] Sardinas, R. Q., Santana, M. R., & Brindis, E. A. (2006). Genetic algorithm-based multi-objective optimization of cutting parameters in turning processes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(2), 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2005.06.007>
- [36] Saravanan, M., Ramalingam, D., Manikandan, G., & Kaarthikeyan, R. R. (2012). Multi objective optimization of drilling parameters using genetic algorithm. *Procedia engineering*,

38, 197-207.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.027>