

# TORNALAMA İŞLEMİNDE CEVAP YÜZEY METODU İLE KESME KUVVETLERİNİN KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK MODELLENMESİ

Süleyman NEŞELİ<sup>a,\*</sup>, İlhan ASİLTÜRK<sup>b</sup>, Süleyman YALDIZ<sup>b</sup>, ve Hacı SAĞLAM<sup>b</sup>

<sup>a,\*</sup> Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

Tel: 0-332-2232358 [sneseli@selcuk.edu.tr](mailto:sneseli@selcuk.edu.tr) Konya/TÜRKİYE

<sup>b,\*</sup> Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü

Tel: 0-332-2233344 [iasilturk@selcuk.edu.tr](mailto:iasilturk@selcuk.edu.tr) Konya/TÜRKİYE

## Özet

Bu makalede tornalama operasyonu için Cevap Yüzey Metodu (CYM) ile kesme parametrelerine bağlı olarak radyal ( $F_x$ ), ilerleme ( $F_y$ ) ve teğetsel ( $F_z$ ) kesme kuvvetlerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda giriş parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği kullanılarak  $L_{27}$  ( $3^{13}$ ) Taguchi ortogonal deney tasarımı ile 27 deney gerçekleştirilmiştir. Kuru kesme şartlarında AISI 4140 çelik numuneler, karpit uçlar kullanılarak silindirik dış yüzey tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetlerindeki değişimin gerçek zamanlı olarak bilgisayar ortamına kaydedilmesi için MATLAB yazılımı ile geliştirilen özel bir program kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre CYM tahmin modeli Minitab 15 yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Deney ve tahmin modellerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar göstermiştir. Kesme parametrelerinin radyal, ilerleme ve teğetsel kuvvetler üzerindeki etkileri ise ANOVA kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kesme derinliğinin tüm kesme kuvvetleri bileşenleri üzerinde en etkin parametre olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kesme kuvvetleri, Cevap yüzey metodu, Varyans analizi

## 1.Giriş

Talaşlı imalatta oluşan kesme kuvvetleri, tezgâh, kesici takım ve yardımcı aparatların tasarımı ve imalatında dikkate alınması gereken temel parametrelerden birisidir. Talaş kaldırmada asıl amaç olan en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarının gerçekleşmesi, kesme kuvvetlerinin minimize edilmesiyle mümkün olabilir. Kuvvet minimizasyonu kriterine bağlı olarak en ideal kuvvetlerin bulunması kesme parametrelerinin optimize edilmesine bağlıdır. Günümüzde endüstrideki çoğu talaşlı imalat uygulaması için yaygın olarak kullanılan tornalama operasyonlarındaki parametre optimizasyonu birçok araştırmacının odaklandığı başlıca konulardan birisidir. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin ölçümü, modellenmesi ve optimizasyon için tahmini akademik ve endüstri çevrelerinden çok sayıda araştırmaya konu olmuştur [1-4].

Talaş kaldırma işlemlerinde parça üretim maliyetinin belirlenebilmesi için; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve talaş açısı gibi faktörlerin kesme kuvveti üzerine etkisinin bilinmesi gerekir. Kesme esnasında oluşacak kuvvetlerin bilinmesiyle, gereken gücün tespit edilmesi, takım/tezgâhın doğru boyutlandırılması gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, bunlara bağlı olarak talaş kaldırma işlemleri sonucu meydana gelen kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerinde yarattığı gerilmelerde incelenmesi gerekmektedir. Üretimin kalitesinin artırabilmesi, tezgahların uzun ömürlü olabilmesi ve tezgah

hassasiyetini uzun süre koruyabilmesi için tezgahı etkileyen yük, kuvvet ve zorlanmaların etkisiyle meydana gelen gerilmeler iyi analiz edilmelidir [5]. Buna paralel olarak İnasaki ve Sukvittayawong [6], tornalamada oluşan kesme kuvvetlerini ölçerek kesme kuvvetlerine bağlı olarak takım ömrünü tayin etmek için çalışmalar yürütmüştür.

Yine Asiltürk v.d. [7] ve Dimla [8], kesme kuvvetleriyle takımın aşınma oranı arasındaki direk ilişki ile takım ve işleme durumunun gerçek zamanlı izlenmesinin kuvvet ölçümüyle mümkün olabileceğini ifade etmişlerdir.

Abou-El-Hossein v.d. [9], AISIP20 takım çeliğinin işlenmesi esnasında meydana gelen kuvvetlerin tahmini için deneysel bir çalışma yapılmışlardır. Dört giriş parametresinin kesme kuvveti üzerine olan etkileri CYM kullanılarak değerlendirilmiş ve neticede kuvvet tahmini için birinci ve ikinci derece regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Yapılan ve ANOVA analizi sonucunda kesme kuvveti üzerine en etkili parametrenin ilerleme ve eksenel talaş derinliği olduğu vurgusu yapılmıştır. Bunlara ilaveten ilerleme ve eksenel derinliğin etkileşiminin de kesme kuvveti üzerine etki ettiği tespit edilmiştir.

Zhao v.d. [10] yaptıkları çalışmalarında particle swarm optimizasyon (PSO) yöntemini kullanarak arzu edilen bir kesme kuvveti değeri için frezelemede devir sayısı ve ilerleme oranı kombinasyonlarını optimize etmişlerdir.

Wang v.d. [11] tarafından, yüksek ısı dirençli F91 çeliğinin kesme parametrelerinin kuvvetler üzerine olan etkisi araştırılmış ve kuvvet tahmini için üssel bir fonksiyon geliştirilmiştir. Optimizasyon sonucunda düşük kuvvet değerlerinin daha yüksek talaş kaldırma oranına ve daha düşük takım aşınmalarına sebep olduğunu vurgulamışlardır.

Yine Çalışkan v.d. [12] çalışmalarında kesme hızı ilerleme ve talaş derinliği parametrelerine ilaveten kesici takım kaplamasının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerinde  $L_{27} (3^{13})$  Taguchi deney tasarımı kullanmışlar ve CYM yöntemini kullanarak süreci optimize etmişlerdir.

Bu çalışmada, tornalamada kesme parametrelerinin radyal, ilerleme ve teğetsel kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri ANOVA ile araştırılmış, kuvvet tahminleri ve parametre optimizasyonları için ise CYM kullanılarak optimum kesme parametrelerinin tespiti yapılmıştır.

Sonuç olarak tornalama operasyonlarının parametre optimizasyonu ile daha verimli hale getirilmesi, güncelliğini artırarak koruyan bir araştırma alanı olarak literatürden rahatlıkla anlaşılabilir. Buradan yola çıkarak yapılan bu çalışmada, endüstride imalat zamanı ve maliyet kaybını minimize etmek amacıyla tornalama operasyonunun optimizasyonunu kapsamaktadır. Ayrıca bu çalışma üniversitelerde konuyla ilgili dersler için örnek bir çalışma olarak da düşünülebilir.

## 2. Deneysel Çalışma

### 2.1. Kesme Koşulları ve Kuvvet Ölçümleri

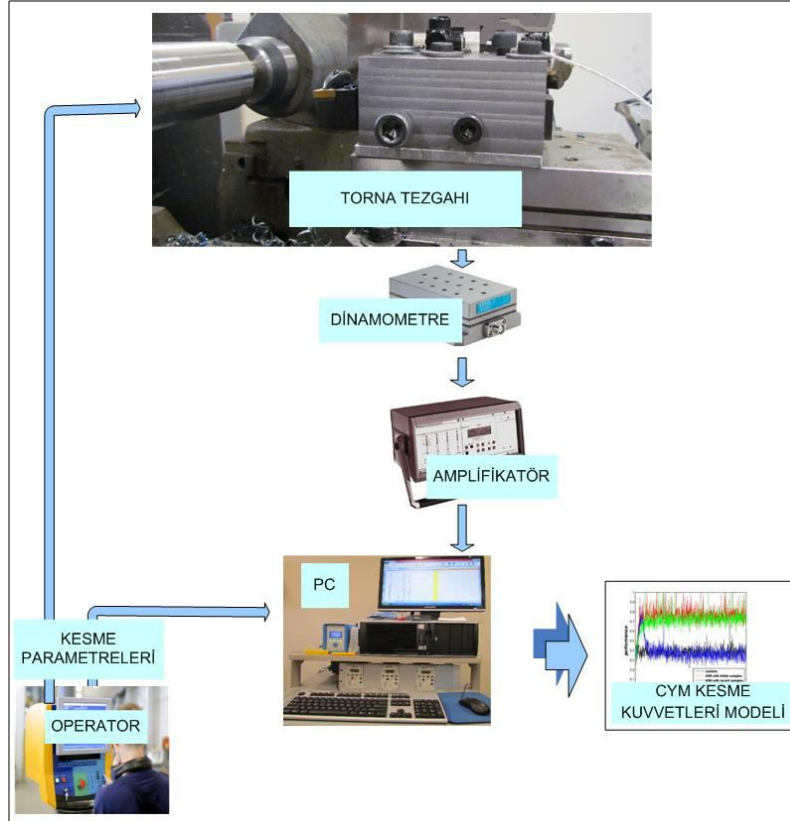
Yapılan deneysel çalışmada iş parçası malzemesi olarak yüksek dayanım gerektiren makina parçalarının, dişli çarkların, bağlantı çubuklarının, civataların, pimlerin, aksların üretiminde yaygın olarak tercih edilen AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. 35 HRC sertliğinde ve Ø60x500 mm ebatlarında hazırlanmış işparçası malzemeleri Jones and Lamson 12 konvansiyonel torna tezgâhında işlenerek her üç eksendeki  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  kuvvet verileri elde edilmiştir. Deneyler, kuru kesme şartlarında işparçalarının dış yüzeylerinden talaş kaldırmak suretiyle yapılmıştır. Takım tutucu olarak DTG NR 163 C, kesici uç olarak Kennametal üretimi ve CVD yöntemiyle TiCN kaplamalı TNMG 080408 MN formu kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üretici firma kataloğuna uygun olarak üç farklı kesme hızı,

ilerleme ve talaş derinliği belirlenmiştir. Tablo 1’de verilen kesme parametreleriyle deneyler yapılırken üç eksende kesme kuvveti değerleri ölçülmüştür.

Tablo 1. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Parametre	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
$V$	Kesme hızı	m/dak	104	149	211
$f$	İlerleme	mm/dev	0.13	0.18	0.38
$a$	Talaş derinliği	mm	0.25	0.76	1.27

Kesme kuvveti değerlerinin ölçülmesinde Kistler Model 9257B dinamometre ve buradan gelen sinyallerin filtre edilerek yükseltilmesi için Kistler 5011A amplifikatör kullanılmıştır. Veri toplama kartı olarak ise 200.000 Hz örnekleme frekansı olan National Instruments NI DAQCard-6036E serisi kart kullanılmıştır. Matlab 6.5 Programı kullanılarak geliştirilen bir veri toplama ve değerlendirme yazılımı arayüzü sayesinde  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  kesme kuvvetleri saniyede 80 kez ölçülüp ortalama değerleri veri tabanına bir veri olarak kaydedilmiştir. Deneylerde kullanılan tezgâh ve cihazların şematik gösterimi Şekil 1 ile verilmiştir.



Şekil 1. Deney şeması

### 3. Cevap Yüzey Metodu

CYM herhangi bir kesme sistemine ait giriş parametrelerin (bağımsız değişken) optimizasyonu için kullanılan en yaygın matematiksel modelleme ve istatistikî değerlendirme yöntemidir. Buna ilaveten CYM giriş parametreleri kombinasyonlarının tepkilerle (bağımlı değişkenler) olan ilişkilerinin tespitinde ve yorumunda da rahatlıkla kullanılabilir [13]. Genel olarak CYM yöntemi üç aşamalı olarak

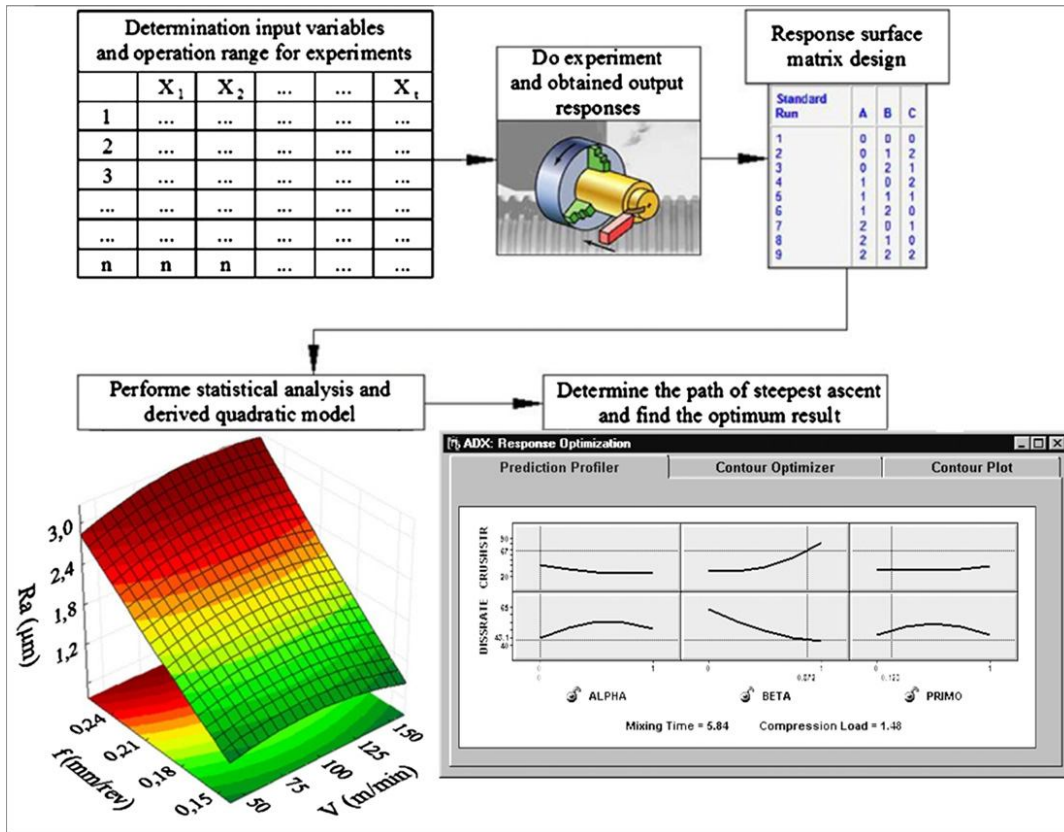
gerçekleştirilir. Birinci aşamada tepki değerlerinin elde edilebilmesi için bir deneysel parametre kombinasyonu oluşturularak fiziksel deneyler gerçekleştirilir. Bu sayede geleneksel yöntemlerle yapılacak deney sayısına göre daha az sayıda ve verimli deney yapılarak maliyetlerin azalması sağlanmış olur. Yapılan analiz neticesinde oluşturulan matematik model sayesinde bilinmeyen ara tepki değerlerinin tespiti oldukça kısa bir zamanda gerçekleştirilebilir. İkinci aşamada elde edilen tepkilerin giriş parametreleri ile olan ilişkileri ikinci dereceden polinomial veya üssel bir fonksiyon olarak tanımlanır. Üçüncü olarak son aşamada ise yüzey grafikleri ve ANOVA gibi analizlerle optimum noktaların tespiti gerçekleştirilir.

RSM problemlerindeki giriş parametreleri ile bunlara karşılık olan tepkiler arasında bulunan ilişki genellikle aşağıda verilen ikinci dereceden polinomial bir denklem aracılığıyla ifade edilir [14]:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Burada  $\eta$  tahmin edilen tepki veya tepkiler (her üç eksendeki kuvvetler  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$ ),  $\beta_0$  sabit katsayı,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  ve  $\beta_{ij}$  sırasıyla birinci ve ikinci dereceden kodlanmış giriş parametrelerinin ve parametre etkileşimlerinin katsayılarını temsil etmektedir.

Yapılan CYM optimizasyon çalışmasında izlenen yol şematik olarak şekil 2'de gösterilmiştir [2].



Şekil 2. CYM akış diyagramı

### 3.1. Deneysel Tasarım

Gerçekte fiziksel deney şartlarını göz önüne alındığında imalat ortamlarında sistemi etkileyen birçok faktör vardır.  $L_{27}$  ortogonal dizini normalde üç seviyeli on üç faktör ( $3^{13}$ ) kombinasyonunun etkilerinin araştırılmasında kullanılabilir. Ancak birçok araştırmada olduğu gibi bazı faktörlerin ihmal edilerek deney sayısı azaltılabilir ve zamandan son derece büyük tasarruf sağlanabilir [15, 16]. Bu çalışmada kullanılan üç parametre ve üç seviye için  $L_{27}$  Taguchi standart ortogonal deney tasarımına bağlı kalınarak toplam 27 fiziksel deney gerçekleştirilmiştir.  $L_{27}$  deney tasarımına göre üç seviyeli on üç faktörün 27 farklı deneysel kombinasyonu Tablo 2 ile verilmiştir. Tablo 2 içerisindeki kalın rakamlarla gösterilen 1, 2 ve 5 no'lu sütunlar parametre optimizasyonu için kullanılacak kodlanmış  $3^3$  deneysel tasarımını göstermektedir.

Table 2.  $L_{27}$  Taguchi ortogonal deney tasarımı

Deney No	Deneysel parametreler												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Yukarıdaki tabloda verilen ve yapılan çalışmaya uygun ( $3^3$ ) deneysel parametre tasarım sıralaması ile bunlara karşılık gelen tepkiler Tablo 3 ile verilmiştir. Tablodaki ilk parametre sütununda kesme kuvveti ( $V$ ), ikinci parametre sütununda ilerleme ( $f$ ) ve son parametre sütununda ise talaş derinliği ( $a$ ) ifadeleri

yer almaktadır. Tablonun en sağında ise radyal, ilerleme ve teğetsel eksen doğrultularındaki tepki değerleri olarak  $F_x$ ,  $F_y$ , ve  $F_z$  kuvvet değerleri bulunmaktadır.

Tablo 3. Deneysel parametreler ve ölçülen ortalama kuvvet tepkileri.

Deney sayısı	Parametre			Kuvvet		
	$V$ (m/dak)	$f$ (mm/dev)	$a$ (mm)	$F_x$ (N)	$F_y$ (N)	$F_z$ (N)
1	104	0.13	0.25	67.64	137.79	175.01
2	104	0.13	0.76	213.08	199.58	376.78
3	104	0.13	1.27	362.62	258.12	574.88
4	104	0.18	0.25	62.65	152.50	203.32
5	104	0.18	0.76	313.72	265.95	588.78
6	104	0.18	1.27	315.72	266.45	583.46
7	104	0.38	0.25	93.31	247.47	414.87
8	104	0.38	0.76	346.05	391.10	987.13
9	104	0.38	1.27	303.66	345.82	930.73
10	149	0.13	0.25	60.96	135.27	155.61
11	149	0.13	0.76	222.69	211.08	373.00
12	149	0.13	1.27	376.41	278.05	566.87
13	149	0.18	0.25	65.59	156.17	193.21
14	149	0.18	0.76	252.35	270.99	494.07
15	149	0.18	1.27	374.19	296.64	702.71
16	149	0.38	0.25	99.73	253.15	403.26
17	149	0.38	0.76	183.54	312.14	628.48
18	149	0.38	1.27	419.86	453.08	1200.16
19	211	0.13	0.25	62.93	137.92	137.28
20	211	0.13	0.76	231.80	226.22	371.00
21	211	0.13	1.27	389.42	307.38	549.12
22	211	0.18	0.25	68.60	166.09	189.81
23	211	0.18	0.76	243.18	289.94	469.41
24	211	0.18	1.27	367.69	294.79	735.11
25	211	0.38	0.25	107.49	266.84	400.97
26	211	0.38	0.76	219.66	328.06	732.05
27	211	0.38	1.27	426.14	456.92	1194.85

## 4. Sonuçlar ve Analizi

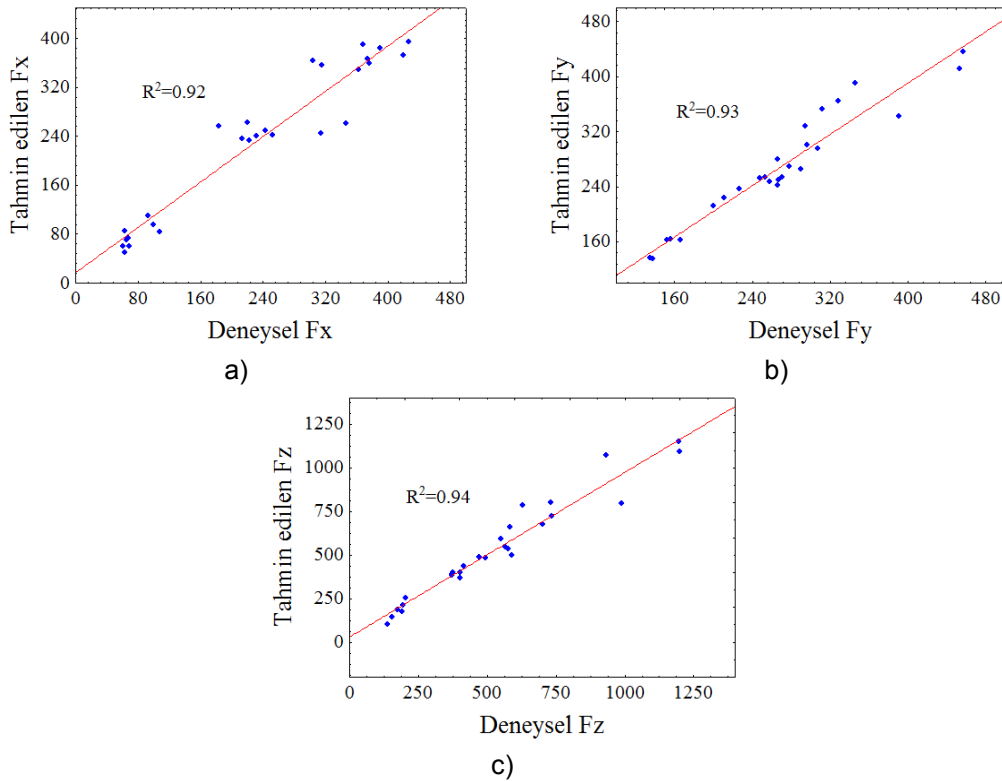
### 4.1. Model Oluşturulması

Tablo 3 ile verilen parametre ve tepki değerleri kullanılarak ikinci dereceden polinomial bir tepki tahmin fonksiyonu (1) denklemi şeklinde oluşturulmuştur. Her bir tepki için oluşturulan bu tahmin denklemleri Tablo 4 ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 4. Regresyon modelleri ve  $R^2$  değerleri

Regresyon modelleri	$R^2$
$F_x = 7.268 - 0.834V + 368.291f + 364.786a + 0.002V^2 - 375.133f^2$ $- 91.317a^2 - 0.105Vf + 0.533Va - 87.310fa$	% 92,69
$F_y = 4.271 + 0.067V + 652.720f + 172.752a - 5.469e(-4)V^2 - 394.178f^2$ $- 81.095a^2 - 0.075Vf + 0.448Va + 101.223fa$	% 93,18
$F_z = 81.754 - 2.381V + 1540.22f + 3290.604a + 0.004V^2 - 1752.67f^2$ $- 155.959a^2 + 0.608Vf + 1.316Va + 1138.67fa$	% 94,43

Kuvvetlere ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren  $R^2$  ifadesi %90'dan daha yüksek olduğu için tüm tepki değerlerinin %95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın tahmin edilmesinde son derece yeterli olduğu açıktır. Şekil 3 ile verilen deneysel kuvvetler ile tepkilerin tahmini için oluşturulan regresyon denklemleri aracılığıyla üretilen tahmin değerlerinin uyumunu gösteren grafikler verilmiştir. Grafiklerdeki içi dolu noktalar tahmin değerlerini göstermektedir. Bu noktaların yine grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin gerçeğine uyumunu gösterir.  $F_x$  için verilen Şekil 3-a içerisindeki grafiğin tahmin tutarlılığı %92.69, Şekil 3-b ile verilen  $F_y$  için tahmin tutarlılığı %93.18 ve son olarak  $F_z$  için verilen Şekil 3-c grafiğinin tahmin tutarlılığı %94.43 olarak tespit edilmiştir. Verilen her üç şekil için de oluşturulan kuvvet modelleri ile elde edilen tahmin değerlerinin gerçekteki değerlere oldukça yakın olduğu gözlemlenmiş ve dolayısıyla denklemlerin geçerliliği ispatlanmıştır.



Şekil 3. Tahmin edilen ve gerçek kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

#### 4.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Deneylerde kullanılan parametrelerin tepkiler üzerindeki hem yalın hem de etkileşimli etkilerinin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılabilir. Tablo 5-7'de, sırasıyla  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  için yapılan ANOVA tablolarına yer verilmiştir. ANOVA analizinde bir parametre veya etkileşiminin tepki üzerinde etkili olup olmadığı P (önem/olasılık) değerine bakılarak karşılaştırılır. %95 güven aralığı göz önüne alınarak  $P < 0.05$  (%5 önem değeri) olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucuna varılır. Toplam varyasyon üzerine her bir faktörün katkısı çizelgelerin son sütununda yüzde olarak (PC%) belirtilmiştir. Buna göre  $F_x$  için en etkili parametrenin %85.22 oranında talaş derinliği olduğu görülmektedir. Şekil 6 ile verilen  $F_y$  için ANOVA tablosunda en etkili parametreler yaklaşık olarak %47 oranla talaş derinliği ve %37 oranla ilerleme olarak görülmektedir.  $F_z$  için verilen ANOVA tablosunda (Şekil 7) en etkili parametrelerin ise yaklaşık %59 oranla talaş derinliği, %31 oranla ilerleme ve %3 oranla ilerleme-talaş derinliği etkileşiminin olduğu görülmektedir. Verilen her ANOVA tablosu için belirtilen etkili parametreler haricindeki diğer parametrelerin de bir miktar etkili olduğu, oranlardan tespit edilebilir. Ancak bu etkiler genele göre oldukça düşük kaldığından etkili değilmiş gibi yani ihmal edilerek analizler yorumlanmıştır.

Tablo 5.  $F_x$  için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	PC (%)	$R^2$
V	1	68	0,037	0,850	0.02	
$V^2$	1	113.5	0,061	0,807	0.03	
f	1	2469.2	1,336	0,264	0.57	
$f^2$	1	75.4	0,041	0,842	0.02	
a	1	366233.2	198,090	<b>&lt;0,000*</b>	85.22	%92.69
$a^2$	1	3384.9	1,831	0,194	0.79	
$V \times f$	1	6.8	0,004	0,952	0.00	
$V \times a$	1	2559.6	1,385	0,256	0.60	
$f \times a$	1	417.2	0,226	0,641	0.10	
Hata	17	31430				
Toplam SS	26	429773.8				

\* Koyu renkle gösterilen parametre tepki üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.  
df:Serbestlik derecesi, SS:Kareler toplamı, F:F-testi değeri, P:Hataların varyansı PC: Yüzde katkı oranı

Tablo 6.  $F_y$  için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	PC (%)	$R^2$
V	1	2272,8	2,861	0,109	1,15	
$V^2$	1	13,9	0,017	0,896	0,01	
f	1	74823,9	94,196	<b>&lt;0,000*</b>	37,81	
$f^2$	1	83,2	0,105	0,750	0,04	
a	1	94159,5	118,538	<b>&lt;0,000*</b>	47,58	%93.18
$a^2$	1	2669,4	3,361	0,084	1,35	
$V \times f$	1	3,4	0,004	0,948	0,00	
$V \times a$	1	1807,8	2,276	0,150	0,91	
$f \times a$	1	559,7	0,705	0,413	0,28	
Hata	17	13503,8				
Toplam SS	26	197898,7				

\* Koyu renkle gösterilen parametre tepki üzerinde %95 güven aralığında etkilidir. Kısaltmalar için Bkz. Tablo 5



Tablo 7.  $F_z$  için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	PC (%)	$R^2$
$V$	1	88	0,012	0,915	0,00	
$V^2$	1	653	0,088	0,771	0,03	
$f$	1	724049	97,232	<0,000*	31,84	
$f^2$	1	1646	0,221	0,644	0,07	
$a$	1	1344829	180,597	<0,000*	59,15	%94.43
$a^2$	1	9873	1,326	0,265	0,43	
$V \times f$	1	224	0,030	0,864	0,01	
$V \times a$	1	15607	2,096	0,166	0,69	
$f \times a$	1	70820	9,510	<0,007*	3,11	
Hata	17	126592				
Toplam SS	26	2273775				

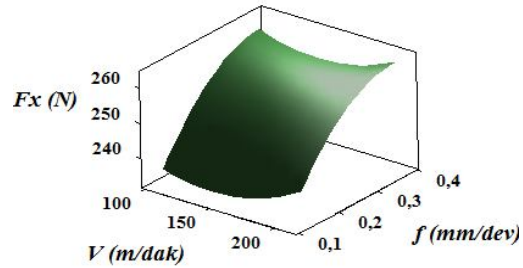
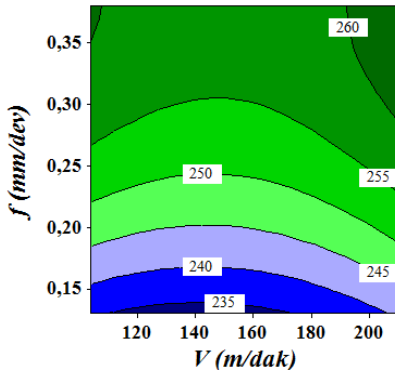
\* Koyu renkle gösterilen parametre tepki üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.

Kısaltmalar için Bkz. Tablo 5

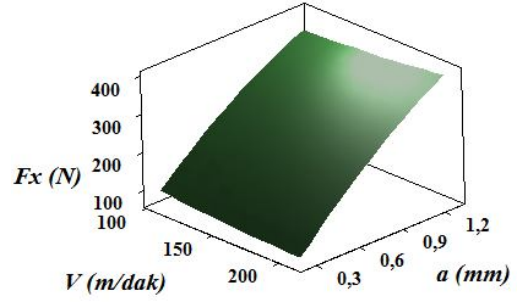
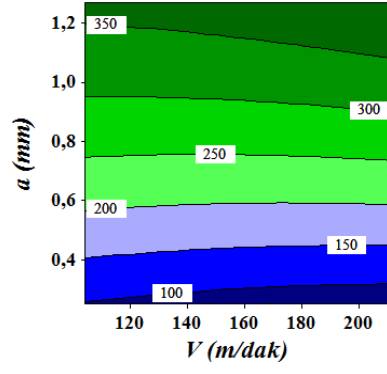
### 4.3. Kontur ve 3B Yüzey Grafik Analizleri

Elde edilen regresyon denklemlerine bağlı olarak çizdirilen kontur ve 3B yüzey grafikleri ile deney parametrelerinin tepkiler üzerindeki etkileri ve optimum parametre kombinasyonları net olarak anlaşılabilir (Bkz. Şekil 4-6). Kontur ve 3B verilen grafiklerde aranacak optimum noktalar, grafik içerisinde verilen parametre kombinasyonuna göre kuvvetlerin en düşük olacağı bölgelerin tespiti şeklinde olacaktır. Şekil 4-6 arası verilen kontur ve 3B grafiklerinin eldesi amacıyla her bir grafiğin a grubu için talaş derinliği 0.76 mm, b grubu için ilerleme 0.255 mm/dev ve c grubu için ise kesme hızı 157.5 m/dak değerleri sabit olarak kabul edilmiştir. Yapılan bu kabullerin ardından Şekil 4 içerisinde verilen her üç grup grafik incelendiğinde minimum  $F_x$  kuvvetinin oluşması net olarak ilerleme ve talaş derinliği değerinin en düşük olduğu durumlarda söz konusu olmaktadır. Ancak kesme hızı değerlerinin her üç eksendeki kuvvet bileşenleri üzerine olan etkisi oldukça düşük görüldüğü gibi aynı zamanda değişken davranmaktadır. Daha açık ifadeyle  $F_x$  kuvvet bileşeni için en ideal kesme hızı deneylerde kullanılan kesme hızı değerlerinin orta seviyeleri iken  $F_y$  ve  $F_z$  için sanki değişime sebep olmuyormuş gibi görünmektedir.

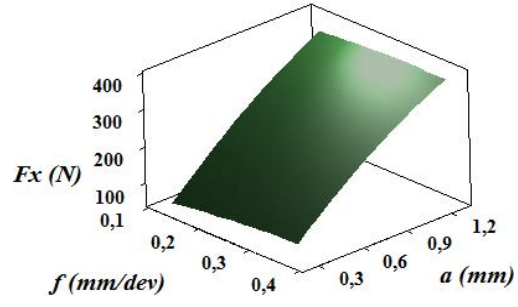
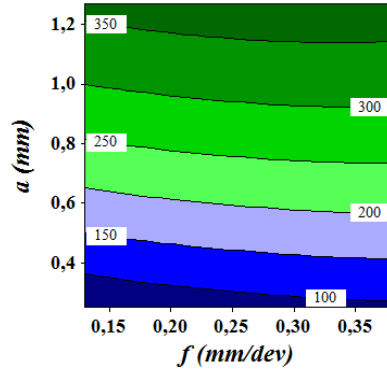
Şekil 5 ve 6 ile verilen kesme parametrelerinin  $F_y$  ve  $F_z$  üzerine olan etkilerini gösteren kontur ve 3B yüzey grafikleri incelendiğinde yine  $F_x$  için geçerli koşulların burada da ideal olduğu gözlemlenmektedir. Yani minimum ilerleme ve talaş derinliği değerleri için minimum kuvvet bileşenleri söz konusu olacaktır.



a)

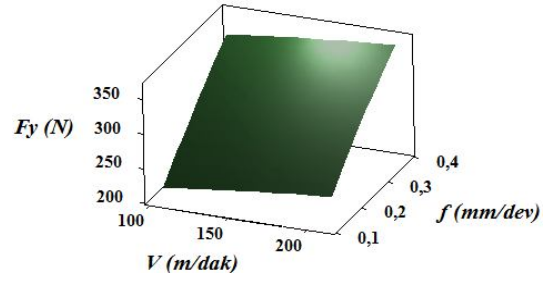
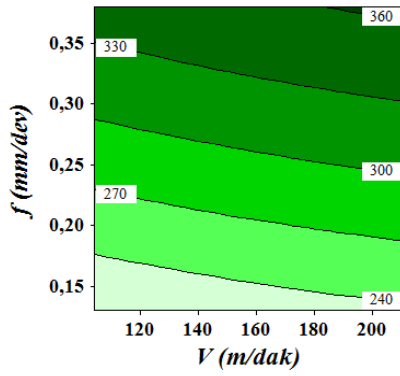


b)

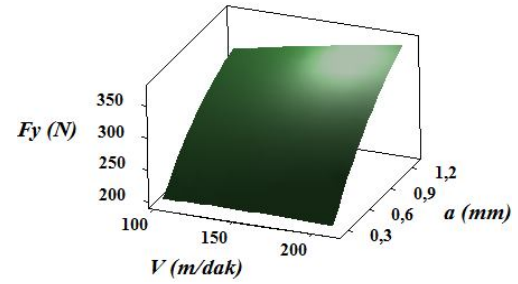
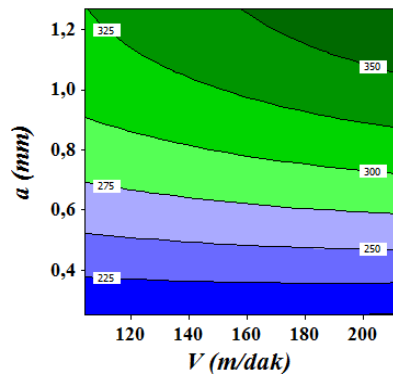


c)

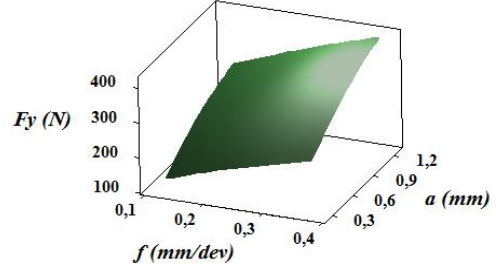
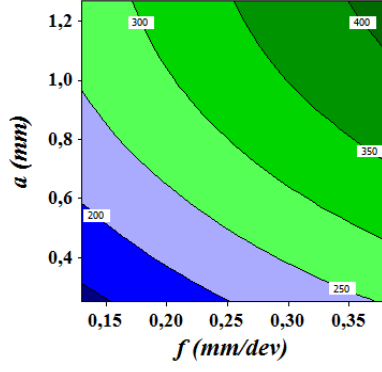
Şekil 4. Deney parametrelerinin  $F_x$  tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi



a)

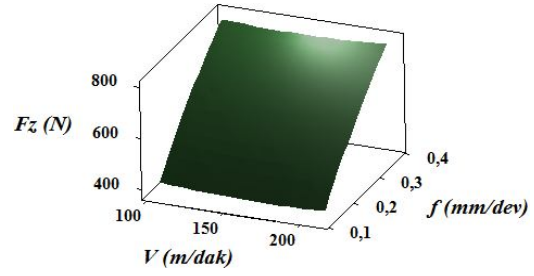
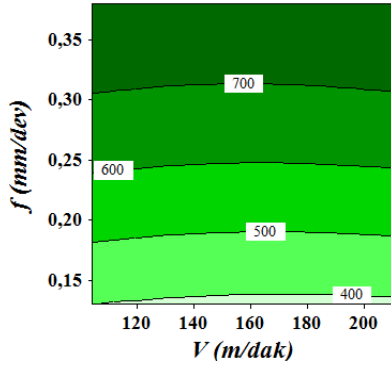


b)

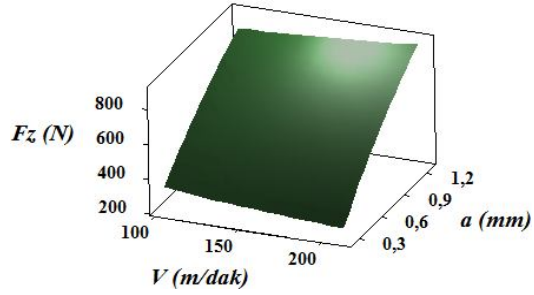
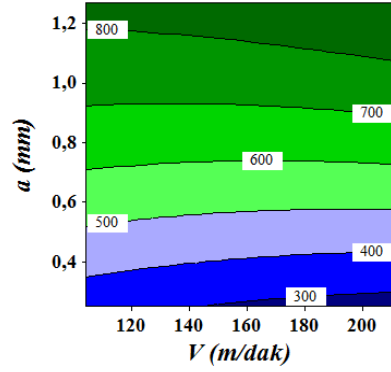


c)

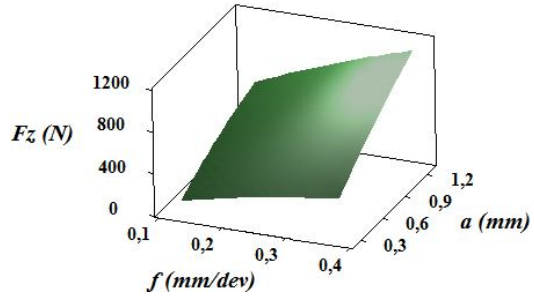
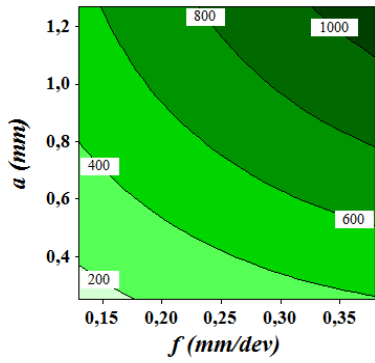
Şekil 5. Deney parametrelerinin  $F_y$  tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi



a)



b)



c)

Şekil 6. Deney parametrelerinin  $F_z$  tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi

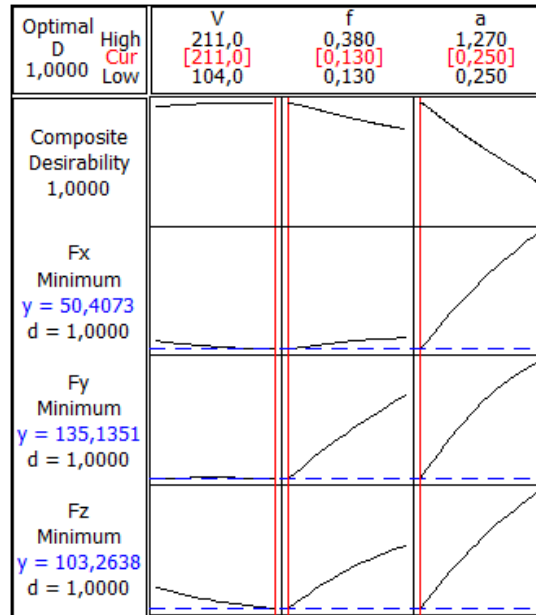
#### 4.4. Parametre Optimizasyonu

DeneySEL çalışmanın ardından optimizasyon edilmesi bir gerekliliktir. Her optimizasyon ise belirli kriterlere bağlı olarak yapılır. Bu çalışmada optimizasyon için belirlenen kriter doğrultusunda oluşturulan optimizasyon tablosu Tablo 8 ile verilmiştir. Bu tabloda amaç tahmin edilen tepkilere parametre kombinasyonunun etkisini belirlenen kriterlere bağlı olarak bulmaktır. Tepki olarak değerlendirilen kuvvet bileşenlerinin minimize edilmesi, maliyetler ve ürün kalitesi açısından imalatta arzu edilen bir durum olup, optimizasyon kriterini oluşturmaktadır.

Tablo 8. Deney parametreleri için kuvvet bileşenlerinin optimizasyonu

Tepkiler	Hedef	Global çözüm			En düşük	Hedef	En yüksek	Tahmin değ.	İstenirlik
		V	f	a					
$F_x$	Min.	104	0.13	0.25	60,96	60,96	426,14	50.41	1
$F_y$	Min.	104	0.13	0.25	135,27	135,27	456,92	135.13	1
$F_z$	Min.	104	0.13	0.25	137,28	137,28	1200,16	103.26	1

Tablo 8 ile verilen istenirlik sütunu optimizasyondaki hedefin gerçekleşmesindeki başarıyı temsil eder. İstenirlik değeri daima 0-1 aralığında bulunur. Bu durumda tahmin edilen kuvvet bileşenlerinin değerleri tablo içerisinde verilmiştir. Minimum kuvvet bileşenlerinin elde edilebilmesi için optimizasyon sürecinde kabul edilen parametre kombinasyonu ise Şekil 7 ile verilmiştir. Minimum kuvvet bileşeni için en ideal kesme kombinasyonu  $V=211$  m/dak,  $f=0.13$  mm/dev ve  $a=0.25$  olarak bulunmuştur.



Şekil 7. Optimizasyon grafiği

## 5. Sonuçlar

Radyal, ilerleme ve teğetsel kesme kuvvetlerinin minimum olabilmesi için gerekli olan parametre kombinasyonunun tespiti amacıyla yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Her üç kuvvet bileşeninin tahmini için yapılan response surface analiziyle bulunan regresyon denklemlerinin geçerliliği  $R^2$  oranlarına bağlı olarak ( $R_{F_x}^2 = 0.92$ ,  $R_{F_y}^2 = 0.93$ ,  $R_{F_z}^2 = 0.94$ ) son derece yüksek bulunmuş ve tahmin grafikleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buradan yola çıkarak benzer çalışmalar için bu tahmin fonksiyonlarının güvenle kullanılabileceği ifade edilebilir.
2. ANOVA analizi ile parametrelerin tepkiler üzerine etkilik oranları tespit edilmiştir.  $F_x$  için en etkili parametre %85 etki oranıyla talaş derinliği,  $F_y$  için %47 ile talaş derinliği ve %37 ile ilerleme son olarak  $F_z$  için ise %59 ile talaş derinliği, %31 ilerleme ve %3 ile talaş derinliği-ilerleme etkileşiminin etkili olduğu tespit edilmiştir.
3. Oluşturulan kontur ve 3B yüzey grafikleri ile kuvvet bileşenleri üzerine etkili olan parametrelerin etkileri görsel olarak teyit edilmiştir.
4. Son olarak yapılan optimizasyon ile belirlenen kriter dikkate alınarak kuvvetler için lokal bir minimizasyon çözümü aranmış ve sonuçta en ideal kuvvet değerlerinin çıkabilmesi için gerekli kesme parametresi kombinasyonu  $V=211$  m/dak,  $f=0.13$  mm/dev ve  $a=0.25$  olarak bulunmuştur.
5. ANOVA, regresyon ve yüzey grafiklerinin sonuçlarının birbirleri ile olan tutarlılığına bakarak çalışmamızda uyguladığımız yöntemin benzeri çalışmalar için güvenle kullanılabileceği ifade edilebilir.

## Kaynaklar

- [1] Neşeli, S., Yıldız, S. ve Türkeş, E. (2011), "Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology".measurement, Vol. 44(3), 580-587.
- [2] Asiltürk, İ. ve Neşeli, S. (2012), "Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis", Measurement, Vol. 45, 785–794
- [3] Erzurumlu, T. ve Oktem, H. (2007), "Comparison of response surface model with neural network in determining the surface quality of moulded parts", Materials and Design, Vol. 28, 459–465
- [4] Sağlam, H., (2001), "Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi", Selçuk-Teknik Online Dergisi, Vol. 1/3.
- [5] Şeker, U. (2000), "Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı", G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara.

- [6] Inasaki, I. ve Sukvittayawong, S. (1991), "Optimization Of Turning Process By Cutting Force Measurement", JSME International Journal, Series III, Vol. 34
- 
- [7] Asiltürk, İ., Ünüvar, A. ve Ersoyoğlu, A.S. (2010), "Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Araştırılması", 14.Uluslararası Makina Tasarımı ve İmalatı Kongresi (UMTİK 2010), pp. 73-82, 29 Haziran-2 Temmuz 2010, Güzelyurt, KKTC.
- 
- [8] Dimla, D.E. (2000), "Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting,operations-a review of methods", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, 1073-1098.
- 
- [9] Abou-El-Hossein, K.A., Kadirgama, K., Hamdi, M. ve Benyounis, K.Y., (2007), "Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel", Journal of Materials Processing Technology Vol. 182, 241-247.
- 
- [10] Zhao, H., Li, J.G., Yao, Y.X. ve Liu, C.Q. (2008), "Cutting Parameters Optimization for Constant Cutting Force in Milling, Applied Mechanics and Materials, Vol. 10(12), 483-487.
- 
- [11] Wang, Z.J., Sun, F.H. ve Zhao, G.W. (2008), Optimization of Cutting Force by Exponential Model in Milling Heat-Resistant Steel F91, Advanced Materials Research, 53-54, 397
- 
- [12] Çalışkan, H., Kurbanoglu, C., Panjan, P. ve Kramar, D. (2012), "Investigation of the performance of carbide cutting tools with hard coatings in hard milling based on the response surface methodology", Int J Adv Manuf Technol, DOI 10.1007/s00170-012-4374-y
- 
- [13] Aloufi, A. ve Kazmierski, T.J. (2011), "A response surface modelling approach to performance optimisation of kinetic energy harvesters, IJRCS Simulation", Benchmarking and Modeling of Systems and Communication Networks Vol.1/8.
- 
- [14] Myers, R.H., Douglas, C.M. ve Anderson-Cook, C.M. (2009), "Process and Product Optimization Using Designed Experiments", 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc.
- 
- [15] Park, S.H. (1998), "Robust Design and Analysis for Quality Engineering", Chapman & Hall, London.
- 
- [16] Aggarwal, A., Singh, H., Kumar, P. ve Singh. M. (2008), "Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique-A comparative analysis", J. Mat. Processing Technology, Vol. 200, 373-384.