



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Kam makarasının dış çap yüzey taşlama işleminde etkili olan faktörlerin deney tasarımı kullanılarak en iyilenmesi

Optimization of the factors that are critical in external surface grinding of roller followers using design of experiments

Yazar(lar) (Author(s)): Ezgi GÜNAY¹, Mustafa YURDAKUL², Yusuf Tansel İÇ³, Hacı Veli MIZRAK⁴, Serkan GÜNEŞ⁵

ORCID¹: 0000-0001-8468-6465

ORCID²: 0000-0002-1562-5738

ORCID³: 0000-0001-9274-7467

ORCID⁴: 0000-0002-4291-7648

ORCID⁵: 0000-0003-3976-0771

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Günay E., Yurdakul M., İç, Y. T., Mızrak H. V, ve Güneş S., “Kam makarasının dış çap yüzey taşlama işleminde etkili olan faktörlerin deney tasarımı kullanılarak en iyilenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(1): 27-37, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.389264

Kam Makarasının Dış Çap Yüzey Taşlama İşleminde Etkili Olan Faktörlerin Deney Tasarımı Kullanılarak En İyilenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ezgi GÜNAY¹, Mustafa YURDAKUL¹, Yusuf Tansel İÇ^{2*}, Hacı Veli MIZRAK³, Serkan GÜNEŞ¹

¹Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Türkiye

³Taşlama Montaj Birimi, Ortadoğu Rulmana Sanayi ve Tic. A.Ş., Türkiye.

(Geliş/Received :13.11.2016 ; Kabul/Accepted :03.03.2017)

ÖZ

Bu çalışmada içten yanmalı motorlarda supap tahrik mekanizması sisteminde yer alan itici düzeneğinde kullanılan kam makaralarına bitirme işlemi olarak uygulanan taşlama prosesi sonucu elde edilen yüzey değerlerinin en iyilenmesi amaçlanmıştır. Taşlamada kam makaralarından, hem müşteri isteklerini, hem de belirlenen spesifik kalite beklentilerini karşılayacak en iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ve çevrim süresinin elde edilmesi beklenmektedir. Bunları tespit edebilmek için 2k faktöriyel (2 seviyeli tam faktöriyel tasarım) deney tasarımı metodolojisinden faydalanılmıştır.

Gerçekleştirilen deney tasarımı çalışmasında; ilk olarak iki farklı yüzey pürüzlülük değeri ile işlem çevrim süresinin en küçüklenmesinde etkili olan değişkenler belirlenmiş, ardından yüzey pürüzlülük değerleri ve çevrim süresini eş zamanlı olarak istenen düzeyde sağlayabilecek değişken değerlerinin belirlenmesi için çok amaçlı en iyileme işlemi gerçekleştirilmiştir. En iyileme sonucunda motor performansında çok önemli parçalardan biri olan ve belirli bir sınır değerinde yüzey pürüzlülüğü gerektiren kam makarasının çalışma performansını artıracak şekilde pürüzlülük değerlerine ve daha düşük çevrim süresine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taşlama, talaşlı imalat, kam makarası, yüzey pürüzlülüğü, deney tasarımı, optimizasyon.

Optimization of the Factors That are Critical in External Surface Grinding of Roller Followers Using Design of Experiments

ABSTRACT

In this study, it is aimed to experimentally optimize the parameters of the grinding of external surface of the roller followers which are used in internal combustion engines to operate the inlet and exhaust valves. 2k factorial experimental design methodology is applied to optimize the grinding process such that after this last finishing operation the rollers' external surface quality and cycle time meets the customers' special and strict requirements. In the application of the experimental design methodology, the critical parameters that are important in the optimization of two different surface roughness values along with cycle time are first determined. Then, the values of critical parameters are calculated with the application of the multi-objective optimization of the two surface roughness measures and cycle time. As a result of the optimization, the surface roughness values that are important in the working of the roller followers and cycle time are improved.

Keywords: Grinding, machining operation, roller follower, surface roughness, design of experiment, optimization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşlama işlemi genel olarak sert aşındırıcılarla parça üzerinden talaş kaldırarak gerçekleştirilen yüzey düzeltme ve temizleme işlemi olarak tanımlanabilir [1,2]. Taşlama işlemi günümüzde hassas yüzey kalitesi ve iyi toleransların istenildiği uzay teknolojisi, otomotiv, savunma sanayi, taşımacılık, medikal parça imalatı ve elektronik parça imalatında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [3,4]. Kızaklar, kayıtlar, dişli çarklar, merdaneler, yataklar, bilezikler ve ölçü aletleri gibi

sürtünmenin en aza indirilmesinin gerektiği ve ölçü tamlığı, dairesellik, yüzey kalitesi ve görünümünün önemli olduğu parçalarda taşlama işlemi özellikle tercih edilir. Ancak, taşlama işleminde herhangi bir talaşlı imalat işleminde olduğu gibi en yüksek üretim hızı ile birlikte en iyi yüzey kalitesinin elde edilmesini doğrudan etkileyen aşındırıcı taş cinsi gibi kontrol edilebilen ve edilemeyen çok sayıda değişken parametre bulunmaktadır [5-6]. Bu parametreler hem tek başlarına, hem de birbirleri ile etkileşimli olarak taşlama işlemine etki etmektedir. Parametre değerlerinin doğru olmaması durumunda istenen yüzey kalitesi elde edilemeyecek ve parça yüzeyini gereken hassasiyete ulaştırmak için

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ytansel@baskent.edu.tr

düzeltilen ek işlem gerekecektir. Ek işlem, istenmeyen bir maliyet ve zaman kaybı demektir [4].

Literatürde taşlama işleminin iyileştirilmesiyle ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır [7-20]. Bu çalışmalarda genel olarak yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen ve malzeme-yöntem- tezgah unsurlarının bitirme işlemi üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Makalenin konusu olan taşlama işleminin en iyilenmesi ile ilgili olarak ise deney tasarımının kullanıldığı çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Örneğin, Jae-Seab ve diğerleri [21] cevap yüzeyi yöntemi kullanılarak sertleştirilmiş SCM440 çeliğinin silindirik taşlanmasında yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda cevap yüzeyi yöntemi ile elde edilen matematiksel modelin taşlama sırasında doğru taşlama şartlarının belirlenmesine yardımcı olacağı belirtilmiştir.

Shaji ve Radhakrishnan [22] yüzey taşlama işleminde yağlayıcı olarak grafit kullanımıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi için Taguchi deney tasarımı yöntemini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada; grafit yardımıyla taşlama işlemi ile soğutucu yardımıyla gerçekleştirilen taşlama işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçları karşılaştırılmıştır. Dhavlikar vd. [23] ise dış silindirik taşlama işleminde yüzey yuvarlanma hatalarının en aza indirilmesi amacıyla bütünlük Taguchi ve ikil (dual) yanıt metodolojilerinin kullanıldığı bir çalışma sunmuşlardır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Monte Carlo benzetim tekniğinden yararlanılarak yüzey hatalarını en küçükleyen faktör seviyeleri tespit edilmiştir. Krajnik vd. [24] ise iç silindirik taşlama işleminde yüzey pürüzlülüğünü azaltmak amacıyla yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin en iyi seviyelerini bulmaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda, cevap yüzeyi yöntemi kullanılarak bir regresyon eşitliği elde edilmiş, ardından bu eşitlik tek amaçlı en iyileme modelinin amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Doğrusal olmayan matematiksel model bir sezgisel algoritma olan genetik algoritma üzerinden çözülmüş ve optimal faktör seviyeleri tespit edilmiştir. Agarwal [25], taşlama işleminde yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi, yüzey bozulmalarının azaltılması ve daha iyi talaş kaldırma oranını elde etmek şeklinde üç amaçlı en iyileme işlemi gerçekleştirerek üç amaç için uygun taşlama faktörleri seviyelerini belirlemiştir. İkinci dereceden cevap yüzeyi yöntemi kullanılarak oluşturulan çok amaçlı matematiksel modelin çözümünde genetik algoritmadan faydalandığı belirlenmiştir. Rudrapati vd. [26], cevap yüzeyi metodunu kullanarak iç silindirik taşlama işleminde titreşim ve yüzey pürüzlülüğü olarak belirlenen iki amacı eniyileyecek faktör seviyelerinin tespit edilmesine yönelik bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çok amaçlı en iyileme işlemi için genetik algoritmanın kullanıldığı bir sezgisel en iyileme uygulaması araştırma içeriğinde sunulmuştur. Günay ve Mızrak makaralar için yaptıkları çalışmalarında deney tasarımı metodu kullanarak deneyler gerçekleştirmişler ve bu deneyler

sonucunda buldukları optimum değerler ile hedeflenen yüzey pürüzlülük değerine ulaşmışlardır [27].

Bu çalışma yapılmadan önce çalışmanın gerçekleştirildiği firmada izofiniş operasyonu sonrasında dış çap yüzey pürüzlülüğü (Ra) 0,200µm ile 0,300µm olan parçalar müşteriye gönderilebiliyordu. Bu parçaların motorda kullanımında ise motor arızalanma problemi gözlemlenebilmekte ve dolayısıyla imalatçı firma ilave maliyete katlanmak suretiyle olumsuz şekilde etkilenmekteydi. Çalışmamızda bu hususların giderilmesini temin etmek için, iki farklı yüzey kalitesi ölçüm değeri (Ra ve Rvk) taşlama çevrim süresi ile eş zamanlı olarak en iyileme işlemine tabi tutularak hem taşlama işleminden beklenen kalite seviyesi en iyilenecek, hem de işlem süresinin azaltılması sonucu yıllık üretim miktarı artırılabilir.

2. KAM MAKARASI MALZEMESİ VE YÜZEY KALİTESİ (CAM FOLLOWER MATERIAL AND SURFACE QUALITY)

Kam makaraları (Şekil 1 a,b) gemi motorlarının ve kojenerasyon tesislerinde kullanılan motorların külbütör mekanizmasında kullanılan ve kam mili üzerinde çalışıp emme ve egzoz subaplarını tahrik ederek açılma kapanma zamanlarını yöneten parçalardır. Kam makaraları motor içerisinde külbütör mekanizmasının hareketini yönetmektedir. Bu makaralarda 60 - 62 HRC sertlik değeri tormalama işleminden sonra ısıl işlem yapılarak verilir ve taşlama sonrasında da parça bu sertlikte kalmalıdır. Parçanın belirlenen sertlikte kalması vardiya içerisinde rutin kontrollerde yanık kontrolleri yaparak sağlanmaktadır. Eğer taşlama bölgesi yeteri kadar soğutulmazsa iki tip taşlama yanığı (a) Yeniden meniveşleme yanığı (bu yanıkta iş parçasının işlenen yüzeyinin sıcaklığı yeteri kadar soğutulmayıp meniveşleme sıcaklığına ulaşırsa (200- 205 °C civarı) bu durumda parçanın yüzey sertliği bir miktar düşer ve düşük sertlikte makaranın müşteriye gönderilmesi mümkün değildir) ile (b) Yeniden sertleştirme yanığı (bu yanık türünde ise iş parçasının yüzeyi yeteri kadar soğutulmayıp yüzey sıcaklığı 800°C seviyelerine anlık olarak gelse bile taşlama yanığı oluşmaktadır. Bu yanık ise makara sertliğini ciddi şekilde düşürmekte ve çalıştığı yerde çok hızlı bozulmaya uğramasına sebebiyet vermektedir) oluşur. Sonuç olarak, taşlama sırasında iş parçasında sertliği düşüren hiçbir yanığın olmaması gerekmektedir. Yanık oluşması tespit edilmesi durumunda, yanığın oluşmadığı bir önceki kontrole kadar olan tüm parçalar karantinaya ayrılır ve tek tek kontrolden geçirilir. Kam makara malzemesi olarak 100Cr6 rulman çeliği kullanılmaktadır (Çizelge1).



Şekil 1. a) Kam makarasının boyutları (Cam roller dimensions), b) Kam makarası itici gövdesine montajlı hali (Mounting of the cam pulley on the propulsive body)

Çizelge 1. DIN 100Cr6 rulman çeliği kimyasal ve mekanik özellikleri (Chemical and mechanical properties of DIN 100Cr6 bearing steel)

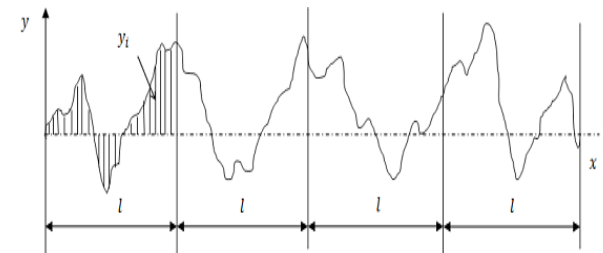
Kimyasal Özellikler				
C	Si	Mn	P	
0,93-1,05	0,15-	0,25-0,45	0-0,025	
S	Al	Cr	Cu	Mo
0-0,015	0-0,05	1,35-1,60	0-0,30	0-0,10
Mekanik Özellikler				
Özellik		Değer		
Kayma modülü		80 GPa		
Elastiklik modülü		190-210 GPa		
Poisson oranı		0,27-0,30		
Özellik		Değer		
Yoğunluk		7,81 g/cm ³		
Erime noktası		1424 °C		
Krtik çekme dayanımı		228 kgf/mm ²		

Külbütör mekanizmasının temel görevi; eksantrik milinden aldığı hareketle silindirlere emme ve egzoz zamanlarının oluşması için supapların açılmasını ve diğer sıkıştırma ve iş zamanlarında ise kapalı kalmasını sağlamaktır. Söz konusu makaralar kam mili ile çalıştığı için temas yüzeyinin pürüzlülük değerinin tercihen düşük olması, supapların boşluksuz kapanmaları ve açılmaları için bir gerekliliktir. Bu nedenle motorun çalışması için kam makarasının yüzeylerinin taşlama işlemi ile pürüzlülük değerlerinin en aza indirilmesi oldukça önemlidir.

Talaş kaldırarak işleme sırasında; seçilen yonteme, kesici cinsine ve işleme parametre değerlerine bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin (profil ortalama çizgisi) altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir. Yüzey kalitesinin değerlendirilmesi ve matematiksel büyüklüklere çevrilmesi için pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi gerekir. Günümüzde bu ölçümleri yeterli doğrulukla, hassasiyetle ve kısa sürede gerçekleştiren cihazlar; temaslı ölçüm yapan induktifprolu yüzey pürüzlülük cihazlarıdır. Pürüzlülük ölçümünün doğru ve hassas yapılması ile aynı zamanda hangi pürüzlülük ölçütlerinin kullanılacağına doğru tespiti ve bunların doğru değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yüzey pürüzlülüğü standarda göre yüzeye dik olan bir kesitte, pürüzlülük yüksekliği boyunca belirlenmiş bir profilin ortalama çizgisine göre tayin edilir [28]. Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde literatürde en çok ideal bir yüzey profilinden sapmaların aritmetik ortalaması şeklinde tanımlanan (Şekil 2) ortalama pürüzlülük (Ra) kullanılmaktadır [28]. Ra değeri aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilir:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (1)$$

$$R_a = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n |y_i|) \quad (2)$$



Şekil 2. Ortalama pürüzlülük gösterimi (Average roughness illustration)

Çalışmada dikkate alınan ve önemli bir diğer yüzey pürüzlülük göstergesi, Şekil 3'te verildiği gibi ideal yüzey profilinden içeri doğru uzanan ve vadiyi andıran bir şekle sahip olan derinliklerin ortalaması olarak hesaplanan Ortalama Vadi Yüzey Derinliğidir (Rvk). Bu pürüzlülük değeri işlenmiş yüzeyden içeri doğru oluşan vadiler sayesinde yüzeyin yağ tutma kapasitesini gösterir ve Eşitlik 3 ile hesaplanır. Eşitlikte, n örneklem sayısını ifade etmektedir. Şekil 3'te verilen örnek için;

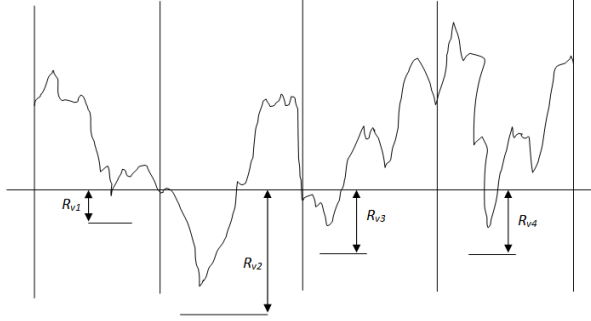
$$R_{vk} = (R_{v1} + R_{v2} + R_{v3} + R_{v4}) / 4 \quad (3)$$

olarak hesaplanır ve;

$$R_{vk} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n R_{vi}) \quad (4)$$

Şeklinde ifade edilir [27]. Taşlama sonucu beklentiler, kam makarasının kullanımı sırasında yüzeyin aşınmasına ve ısınmasına yol açan sürtünmeyi en aza indirmek ve yüzey üzerinde kayganlığı artıran ve ısıyı yüzeyden uzaklaştıran yağı yüzeyde vadiler içinde tutma

kabiliyetini arttırmaktır. Bu iki hedef yukarıda açıklanan ortalama yüzey pürüzlülük ve ortalama yüzey vadi süresinin azaltılması üretim hızının artması hedefini sağlayacaktır.



Şekil 3. R_{vk} 'nın bir örnek yüzey profili üzerinde gösterimi (Impressions on a sample surface profile of R_{vk})

yükseklik ölçümleri ile değerlendirilecektir. Bu iki yüzey pürüzlülük değeri ile beraber tezgahdaki çevrim

kullanılarak açılan ekranda gerekli parametre sayısı ve alt-üst sınır değerleri, tekrar sayısı belirtildikten sonra otomatik olarak elde edilmiştir. Elde edilen deney planı Çizelge 3'te sunulmuştur. Bu deney kombinasyonuna göre toplamda 96 adet (1/2 kesirli: $2^6-1=32$ adet deney kombinasyonu ve 3 tekrarlı) deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler için Toyo 11LA88 Silindirik Dış Yüzey Taşlama Makinası (Şekil 4) kullanılmıştır.

3.2. Ölçümler

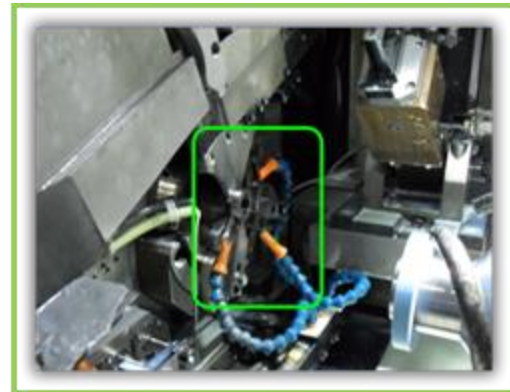
İşlenen parçaların R_a ve R_{vk} değerleri, temas uçlu ölçme sistemine sahip Taylor Hobson Form TalySurf PGI 1230 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bu cihaz, programı doğrultusunda parça dış çap yüzeylerinden doğrusal

Çizelge 2. Faktörler ve alt-üst seviyeleri (Factors and upper and lower levels)

Faktör	Kısaltma	Değişken	AltSeviye*	ÜstSeviye
Elmaslama (taş bileme) hızı (m/d)	ELMHIZ	x_1	0,080	0,350
İş kafası devri (dev/d)	İSKDEV	x_2	710	930
Kesme hızı (mm/s)	KESHIZ	x_3	45	55
İlerleme hızı (mm/Ø/s)**	İLHIZ	x_4	0,015	0,25
Finish spark-out (kivılcım kesilme) süresi (s)	FSOUT	x_5	2	3,5
Sıvı basıncı (bar)	BASINÇ	x_6	3	5

*Başlangıç koşulu

** Makinanın işlediği çapta saniyede aldığı mm değerinde yol (Ø: Çap)



Şekil 4. Taş kafası, elmaslama ünitesi ve parçanın bağlanmış görüntüsü (Stone head, diamond unit and attached image of the piece)

3. UYGULAMA (APPLICATION)

3.1. Deney Planının Oluşturulması

Taşlamada etkili olan 6 adet faktör (Çizelge 2) seçilerek oluşturulan 3 tekrarlı deney tasarım kombinasyonu MINITAB paket programı yardımıyla "Stat/DOE/Factorial/Create factorial design" sekmesi

ölçümler gerçekleştirerek yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemektedir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve çevrim süre değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. İlk 20 ve son 16 deneyin sonuçları (96 deneyden) (Results of the first 20 and the last 16 trials (from 96 experiments))

Deney No	Faktör seviyelerinden oluşan deney kombinasyonları						Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleri		
	ELMHIZ (m/d)	ISKDEV (dev/d)	KESHIZ (mm/s)	ILHIZ (mmØ/s)	FSOUT (s)	BASINÇ (bar)	R _a (µm)	R _{vk} (µm)	ÇevrimSüresi (s)
1	0,08	710	45	0,015	2	3	0,314	0,4501	13,69
2	0,35	710	45	0,015	2	5	0,154	0,231	13,66
3	0,08	930	45	0,015	2	5	0,112	0,156	14,01
4	0,35	930	45	0,015	2	3	0,148	0,213	13,25
5	0,08	710	55	0,015	2	5	0,1237	0,1834	14,4
6	0,35	710	55	0,015	2	3	0,1767	0,1907	14,37
7	0,08	930	55	0,015	2	3	0,1271	0,1645	15,15
8	0,35	930	55	0,015	2	5	0,199	0,266	12,59
9	0,08	710	45	0,025	2	5	0,1183	0,1692	14,66
10	0,35	710	45	0,025	2	3	0,1519	0,2714	13,77
11	0,08	930	45	0,025	2	3	0,0893	0,1224	13,89
12	0,35	930	45	0,025	2	5	0,1836	0,2842	13,38
13	0,08	710	55	0,025	2	3	0,0929	0,124	16,05
14	0,35	710	55	0,025	2	5	0,1576	0,2425	14,95
15	0,08	930	55	0,025	2	5	0,1154	0,167	17,26
16	0,35	930	55	0,025	2	3	0,1983	0,2397	14,7
17	0,08	710	45	0,015	3,5	5	0,1022	0,1613	15,87
18	0,35	710	45	0,015	3,5	3	0,1376	0,203	16,1
19	0,08	930	45	0,015	3,5	3	0,1043	0,1512	15,11
20	0,35	930	45	0,015	3,5	5	0,1636	0,253	15,98
						...			
81	0,08	710	45	0,015	3,5	5	0,1022	0,1567	15,88
82	0,35	710	45	0,015	3,5	3	0,1289	0,1678	15,77
83	0,08	930	45	0,015	3,5	3	0,0933	0,1331	16,55
84	0,35	930	45	0,015	3,5	5	0,1589	0,2416	15,08
85	0,08	710	55	0,015	3,5	3	0,0953	0,1536	16,8
86	0,35	710	55	0,015	3,5	5	0,1148	0,1763	16,27
87	0,08	930	55	0,015	3,5	5	0,1814	0,2516	16,06
88	0,35	930	55	0,015	3,5	3	0,1915	0,2892	15,46
89	0,08	710	45	0,025	3,5	3	0,2308	0,3642	15,59
90	0,35	710	45	0,025	3,5	5	0,2211	0,3534	14,97
91	0,08	930	45	0,025	3,5	5	0,2753	0,4118	15,18
92	0,35	930	45	0,025	3,5	3	0,2726	0,4485	14,99
93	0,08	710	55	0,025	3,5	5	0,1506	0,2082	14,85
94	0,35	710	55	0,025	3,5	3	0,1655	0,1923	15,79
95	0,08	930	55	0,025	3,5	3	0,1044	0,136	16,68
96	0,35	930	55	0,025	3,5	5	0,1219	0,1955	15,86

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Çizelge 4’de %95 güven düzeyinde ISKDEV faktörü dışındaki tüm parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğünde etkili olduğu görülmektedir. Yine ikili ve üçlü faktör etkileşimleri değerlendirildiğinde etkili olan faktör etkileşimleri de Çizelge 4’de koyu renkli olarak belirtilmiştir.

Buna göre Ra için etkili ana parametreler ELMHIZ, KESHIZ, ILHIZ, FSOUT ve BASINÇ olarak tespit edilmektedir. Gerçekleştirilen deneylerin analizi sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü için elde edilen ANOVA tablosu ise Çizelge 5’de verilmiştir

Çizelge 4. MINITAB program çıktısı olarak elde edilen R_a için öngörülen etkili faktörler ve katsayıları (Effective factors and coefficients for R_a obtained as MINITAB program output)

Terim	Etki	Katsayı	SE Katsayı	T	P
Sabit		0,12374	0,007553	16,38	0,000
ELMHIZ	0,02779	0,01389	0,001724	8,06	0,000
ISKDEV	0,00011	0,00006	0,001724	0,03	0,974
KESHIZ	-0,03077	-0,01538	0,001724	-8,92	0,000
ILHIZ	0,01709	0,00855	0,001724	4,96	0,000
FSOUT	0,01738	0,00869	0,001724	5,04	0,000
BASINC	-0,00826	-0,00413	0,001724	-2,40	0,019
ELMHIZ*ISKDEV	0,02336	0,01168	0,001724	6,77	0,000
ELMHIZ*KESHIZ	0,02087	0,01044	0,001724	6,05	0,000
ELMHIZ*ILHIZ	0,00362	0,00181	0,001724	1,05	0,298
ELMHIZ*FSOUT	-0,00659	-0,00329	0,001724	-1,91	0,060
ELMHIZ*BASINC	-0,00474	-0,00237	0,001724	-1,38	0,173
ISKDEV*KESHIZ	0,01298	0,00649	0,001724	3,76	0,000
ISKDEV*ILHIZ	0,00301	0,00151	0,001724	0,87	0,385
ISKDEV*FSOUT	0,00822	0,00411	0,001724	2,38	0,020
ISKDEV*BASINC	0,01753	0,00876	0,001724	5,08	0,000
KESHIZ*ILHIZ	-0,02955	-0,01478	0,001724	-8,57	0,000
KESHIZ*FSOUT	-0,02131	-0,01065	0,001724	-6,18	0,000
KESHIZ*BASINC	0,00537	0,00268	0,001724	1,56	0,124
ILHIZ*FSOUT	0,04641	0,02321	0,001724	13,46	0,000
ILHIZ*BASINC	0,00716	0,00358	0,001724	2,08	0,042
FSOUT*BASINC	0,01017	0,00508	0,001724	2,95	0,004
ELMHIZ*ISKDEV*KESHIZ	-0,01461	-0,00731	0,001724	-4,24	0,000
ELMHIZ*ISKDEV*ILHIZ	-0,01104	-0,00552	0,001724	-3,20	0,002
ELMHIZ*KESHIZ*ILHIZ	-0,00849	-0,00425	0,001724	-2,46	0,016
ELMHIZ*ISKDEV*FSOUT	-0,00995	-0,00497	0,001724	-2,89	0,005
ELMHIZ*KESHIZ*FSOUT	-0,00731	-0,00365	0,001724	-2,12	0,038
ELMHIZ*ILHIZ*FSOUT	-0,02634	-0,01317	0,001724	-7,64	0,000
ELMHIZ*ISKDEV*BASINC	-0,04314	-0,02157	0,001724	-12,51	0,000
ELMHIZ*KESHIZ*BASINC	-0,02348	-0,01174	0,001724	-6,81	0,000
ELMHIZ*ILHIZ*BASINC	-0,02129	-0,01065	0,001724	-6,18	0,000
ELMHIZ*FSOUT*BASINC	-0,02686	-0,01343	0,001724	-7,79	0,000
ELMHIZ*ISKDEV*KESHIZ*ILHIZ*FSOUT* BASINC	0,07518	0,03759	0,007747	4,85	0,000

S = 0,0168893 R-Sq = 94,05% R-Sq(adj) = 91,25%

Çizelge 5. MINITAB programı çıktısı olarak elde edilen R_a için varyans analizi (ANOVA) tablosu (Statistical analysis of variance (ANOVA) for R_a obtained as MINITAB program output)

Kaynak	SD	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ana Etkiler	6	0,057151	0,057151	0,0095252	33,39	0,000
2- yönlü etkileşim	15	0,126658	0,126658	0,0084439	29,60	0,000
3- yönlü etkileşim	10	0,116176	0,116176	0,0116176	40,73	0,000
6- yönlü etkileşim	1	0,006715	0,006715	0,0067154	23,54	0,000
Artık hata	68	0,019397	0,019397	0,0002852		
Hata	68	0,019397	0,019397	0,0002852		
Toplam	100	0,326098				

SD: Serbestlik Derecesi; Sq SS: Kareler Toplamı; Adj SS: Düzeltilmiş Kareler Toplamı; Adj MS: Düzeltilmiş Kareler Ortalaması

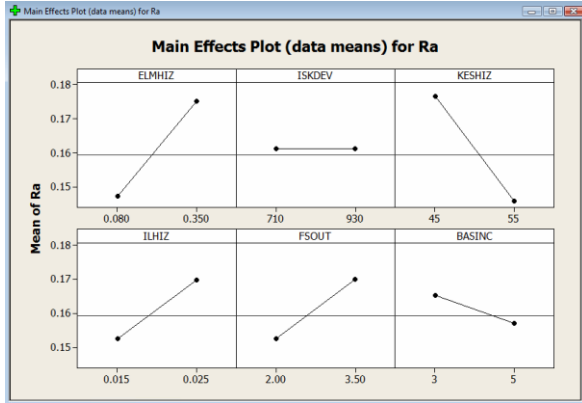
Diğer yanıtlar için tespit edilen etkili faktörler ise Rvk için KESHIZ, ILHIZ, FSOUT; Çevrim Süresi için ELMHIZ, KESHIZ, FSOUT, BASINC olmuştur. Rvk ve Çevrim Süresi için elde edilen ANOVA tabloları Ek-1'de sunulmuştur.

4.1. Ana Faktörlerdeki Değişimlerin Yanıtlar Üzerindeki Etkileri

Ana faktörlerin R_a üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde ELMHIZ, ILHIZ, FSOUT

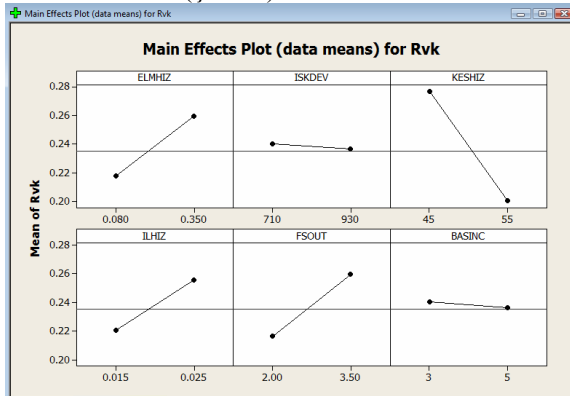
faktörlerinin artışı ortalama R_a değerini olumsuz yönde etkileyerek artışına neden olmaktadır. Bununla birlikte KESHIZ ve BASINC faktörlerindeki artışlar ortalama R_a değerini düşürmektedir.

ISKDEV kriterindeki artışın ise ortalama R_a değerinin değişimi üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir (Şekil 5).

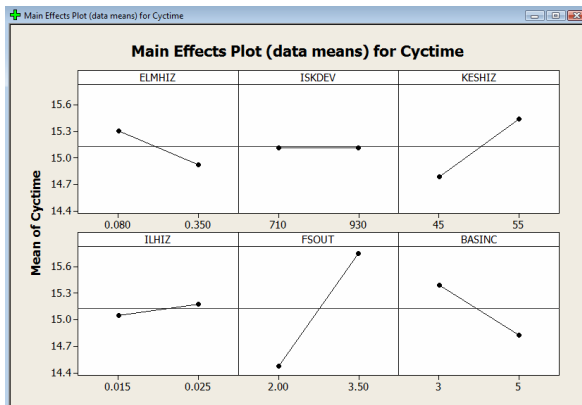


Şekil 5. Ana faktörlerdeki değişimlerin R_a üzerindeki etkileri (The effects of changes in main factors on R_a)

Diğer taraftan ortalama R_{vk} değeri için değerlendirme yapıldığında ELMHIZ, ILHIZ ve FSOUT faktör değerlerindeki artışlar ortalama R_{vk} değerini artırmakta; ISKDEV, KESHIZ ve BASINC faktör değerlerindeki artışlar ise R_{vk} değerini düşürmektedir (Şekil 6). Ayrıca çevrim süresi açısından bakılacak olursa KESHIZ, ILHIZ ve FSOUT faktörlerinin değerlerinin artışı ortalama çevrim süresinin artışına neden olurken, ELMHIZ ve BASINC faktör değerlerindeki artış çevrim süresini azaltıcı yönde bir etkiye sebep olmaktadır. ISKDEV faktör değerinin değişimi ise çevrim süresini etkilememektedir (Şekil 7).



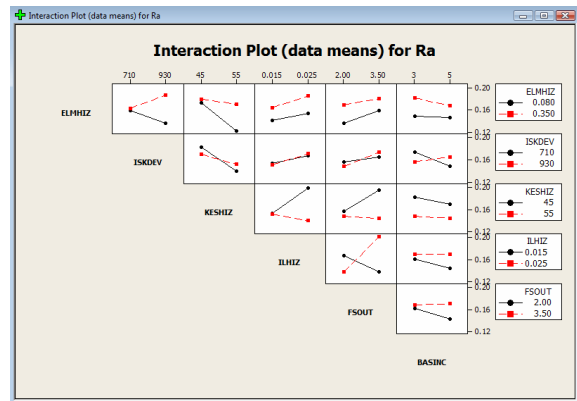
Şekil 6. Ana faktörlerdeki değişimlerin R_{vk} üzerindeki etkileri (Effects of changes in main factors on R_{vk})



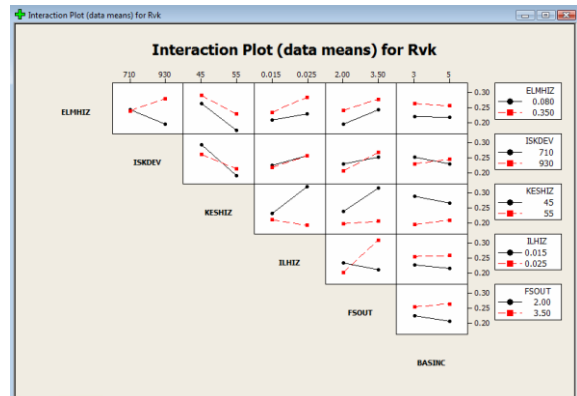
Şekil 7. Ana faktörlerdeki değişimlerin çevrim Süresi üzerindeki etkileri (Effects of changes in main factors on cycle time)

4.2. Faktör Etkileşimlerinin Yanıtlar Üzerindeki Etkileri

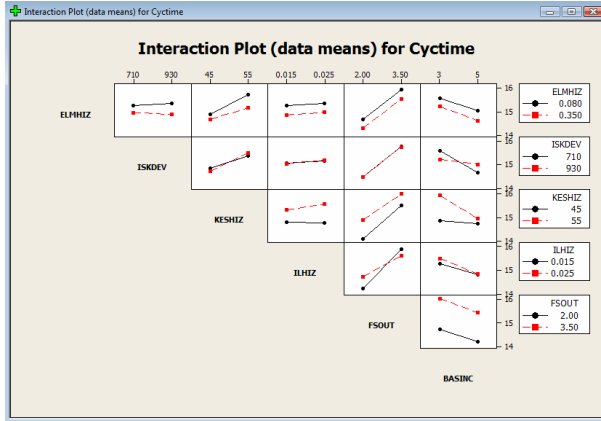
Ana faktörlerin yanıtlar üzerindeki etkilerinin ardından faktör etkileşimlerinin de yanıtlar üzerindeki etkileri de incelenmiştir. ISKDEV faktörünün alt seviyesi olan R_a 'da meydana gelen değişim ILHIZ ve FSOUT faktörlerinin her iki seviyesi için de benzer etkiye sahip olmaktadır. Bunun dışındaki tüm faktörlerde ise bir faktörün alt seviyeden üst seviyeye hareketinde diğer faktörlerin etkileri farklı sonuçlar doğurmaktadır (Şekil 8). ISKDEV faktörünün alt seviyesi olan 710 değerinden 930 değerine hareket etmesi sonucunda R_{vk} 'da meydana gelen değişim ILHIZ faktörünün her iki seviyesi için de benzer etkiye sahip olmaktadır. Bunun dışındaki tüm faktörlerde ise bir faktörün alt seviyeden üst seviyeye hareketinde diğer faktörlerin etkileri farklı sonuçlar doğurmaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. Faktör etkileşimlerinin R_a üzerindeki etkileri (Factor interaction effects on R_a)



Şekil 9. Faktör etkileşimlerinin R_{vk} üzerindeki etkileri (The effects of factor interactions on R_{vk})



Şekil 10. Faktör etkileşimlerinin çevrim süresi üzerindeki etkileri (The effects of factor interactions on cycle time)

4.3. Üç Yanıt İçin Regresyon Eşitlikleri

Her üç yanıt için de ANOVA analizi sonucunda R^2 (adj) değerleri sırasıyla R_a için %91,25, R_{vk} için %88, ve Çevrim Süresi için %60,33 şeklinde tespit edilmiş olup, bu değerler R_a ve R_{vk} için yeterli düzeyde, Çevrim Süresi içinse tatmin edici bir değerde elde edilebilmiştir. Özellikle R_a ve R_{vk} için %85'in üzerindeki R^2 (adj) değerleri dikkate alındığında her üç yanıt için de aşağıda sunulan regresyon fonksiyonlarının geçerliliklerinin yeterli olduğu söylenebilir. ANOVA tablolarında etkili ana faktörler ve faktör etkileşimleri kullanılarak her üç yanıt için de elde edilen regresyon eşitlikleri Çizelge 2'de verilen değişkenler cinsinden aşağıda sunulmaktadır:

$$(Enküçükke)R_a = 0,12374 + 0,1389x_1 + 0,00006x_2 - 0,01538x_3 + 0,00855x_4 + 0,00869x_5 - 0,00413x_6 + 0,01168x_1x_2 + 0,01044x_1x_3 + 0,00649x_2x_3 + 0,0411x_2x_5 + 0,00876x_2x_6 - 0,01478x_3x_4 - 0,01065x_3x_5 + 0,02321x_4x_5 + 0,00358x_4x_6 + 0,00508x_5x_6 - 0,00731x_1x_2x_3 - 0,00552x_1x_2x_4 - 0,00425x_1x_3x_4 - 0,00497x_1x_2x_5 - 0,00365x_1x_3x_5 - 0,01317x_1x_4x_5 - 0,02157x_1x_2x_6 - 0,01174x_1x_3x_6 - 0,01065x_1x_4x_6 - 0,01343x_1x_5x_6 + 0,03759x_1x_2x_3x_4x_5x_6 \quad (4)$$

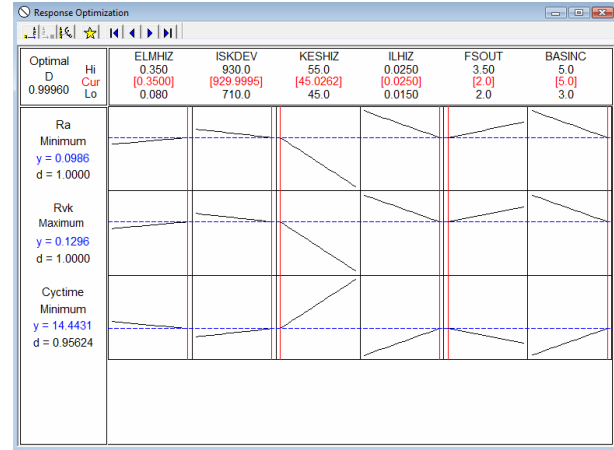
$$(Enbüyükke)R_{vk} = 0,1739 + 0,02089x_1 - 0,00177x_2 - 0,3815x_3 + 0,01764x_4 + 0,02166x_5 - 0,00212x_6 + 0,02277x_1x_2 + 0,007x_1x_3 + 0,00793x_1x_4 + 0,01403x_2x_3 + 0,00993x_2x_5 + 0,00962x_2x_6 - 0,02717x_2x_3 - 0,01763x_2x_5 + 0,00981x_2x_6 + 0,03287x_4x_5 - 0,00847x_1x_2x_3 - 0,01357x_1x_2x_4 - 0,0118x_1x_3x_4 - 0,02146x_1x_4x_5 - 0,03892x_1x_2x_6 - 0,1299x_1x_3x_6 - 0,01543x_1x_4x_6 - 0,01918x_1x_5x_6 + 0,06456x_1x_2x_3x_4x_5x_6 \quad (5)$$

$$(Enküçükke)Çevrim Süresi = 15,392 - 0,1931x_1 - 0,0025x_2 + 0,3298x_3 + 0,0606x_4 + 0,6369x_5 - 0,2829x_6 + 0,1794x_2x_6 - 0,2173x_3x_6 - 0,1931x_4x_5 + 0,2471x_1x_5x_6 \quad (6)$$

Eşitlikler girdi faktörleriyle yanıtlar arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade etmektedir. Bu eşitliklerden faydalanılarak farklı faktör seviyelerinde elde edilebilecek yanıt değerleri tahmin edilebilir.

4.4. En iyileme

Yukarıda bahsedildiği gibi faktörlerin değerlerindeki alt seviyeden üst seviyeye doğru hareketlerinde yanıtlar üzerinde farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Çalışma kapsamında tüm yanıtlardan arzu edilen değerleri en iyileyecek faktör değerlerini belirlemek amacıyla çok amaçlı en iyileme gerçekleştirilmiştir. Bunun için MINITAB programındaki "Stat / DOE / Faktoriyel/ Response Optimizier" aracından faydalanılmıştır. MINITAB programındaki Response Optimizier (yanıt en iyileyici) aracı memnuniyet fonksiyonu yaklaşımını (desirability function approach) kullanmaktadır. Bu yöntemde çok amaçlı en iyilemede en iyilenecek edilecek her bir yanıt için tekil memnuniyet fonksiyonu (d) ve tüm yanıtları kapsayacak şekilde bileşik memnuniyet fonksiyonu (D: desirability) seviyesi, faktörlerin hangi kombinasyonda en iyi hedeflenen sonuç değerlerine ulaşabileceğini tanımlamaktadır. Tekil memnuniyet fonksiyonu (d) faktörlerin tekil olarak ulaşabileceği optimum noktayı değerlendirirken, tüm sistemin memnuniyet fonksiyonu (D) elde edilen faktör değerleriyle genel olarak sonuca ne kadar yaklaşılabildiğini gösterir. Memnuniyet seviyesi 0 ile 1 arasında bir aralığa sahiptir. "1", ideal durumu işaret ederken; "0", bir veya daha çok sonucun kabul edilebilir limitlerin dışına çıktığını belirtir. Yapılan çoklu yanıt en iyilemesi neticesinde (Şekil 11) bütünleşik memnuniyet seviyesi (D) 0,9996 olduğu için bu çalışmada belirlenen en iyi faktör değerleri ile (Şekil 10'da kırmızı yazı fontu ile belirtilen satır) R_a , R_{vk} çevrim süresi yanıtlarının toplamda ideal duruma yakınsama durumunu göstermektedir. Yani en iyi durumu belirlenen faktör değerleriyle $1 - 0,9996 = 0,0004$ birimlik bir sapma ile çok iyi bir düzeyde yakalanabilmiştir.



Şekil 11. Optimizasyon sonuçları (Optimization results)

Şekil 11'de üst tarafta görülen kırmızı renkli sonuçlar, elde edilen en iyi faktör değerlerini göstermektedir. Bunun anlamı; kırmızı renkli faktör değerleri süreçte çalıştırılacak olursa ortaya çıkacak yanıt değerleri yine bu grafikte satırları ifade eden alanda görülen mavi renkli "y" değerlerinin elde edileceğini gösterir.

a) R_a yanıtı için $d=1$ yakalanabilmiştir. Bunun anlamı, tespit edilen en iyi faktör seviyeleri ile R_a değeri $0,0986 \mu\text{m}$ değeriyle sağlanabilmiştir.

b) R_{vk} yanıtı için ise çalışma sonunda yine en iyi memnuniyet fonksiyonu elde edilebilmiştir ($d=1$). Böylece R_{vk} yanıtı $0,1296 \mu\text{m}$ değeri ile tespit edilmiştir.

c) Çevrim süresi $14,4432$ saniye ile memnuniyet fonksiyonu değeri $0,95623$ olarak bulunmuştur.

Çoklu yanıt en iyilemesi sonucunda yanıt en iyileyici aracı ile bulunan sonuçlar Çizelge 6'da özetlenmiştir. Yanıt en iyileyici aracından ortaya koyulan en iyi değerler için önerilen çıktı değerlerine göre işlemde başlangıç durumundaki faktör değerlerinden elde edilen $R_a=0,25 \mu\text{m}$ değerine göre optimizasyon sonucunda $R_a = 0,0986 \mu\text{m}$ değeri elde edilebilmektedir. Sadece ana yanıt olan R_a açısından çalışma değerlendirilecek olursa %39 seviyesinde bir iyileşme sağlanabildiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, taşlama işleminde kam makarasının yüzey pürüzlülüğü değerlerini iyileştirirken (R_a 'yien küçükleyen ve R_{vk} 'yien büyükleyen) aynı zamanda taşlama çevrim süresini en aza indiren faktör değerleri bulunmuştur. Ayrıca çalışma sonucunda her bir kalite değeri üzerinde hangi faktörlerin daha önemli olduğu ortaya konmuştur (Şekil 12-13-14). Buna göre, R_a için etkili faktörler ve etkileşimleri için çizdirilen Pareto grafiği incelendiğinde İlerleme Hızı ve Kıvılcım Kesilme Süresi (FSOUT) faktörleri arasındaki etkileşimin ortalama yüzey pürüzlülüğünde birincil öneme sahip olduğu görülmektedir (Şekil 12). Bununla birlikte grafikte ikinci önem sırasında Taş Bileme Hızı, İş Kafası Devri ve Basınç faktörlerinin etkileşimleri yer almaktadır. Üçüncü sırada ise Kesme Hızı ana faktörünün etkisi, dördüncü sırada Kesme Hızı ve İlerleme Hızı faktörünün ikili etkileşimi, beşinci sırada

Çizelge 6. Belirlenen optimum proses faktör değerleri ve karşılığında elde edilen yanıtlar (Determined optimum process factor values and corresponding responses)

Faktörler	Optimum faktör değerleri	Elde edilen yanıtlar
Elmaslama Hızı (taş bileme hızı) (m/d)	0,35	
Kesme Hızı (m/s)	45,0262	$R_a = 0,098 \mu\text{m}$
İş Kafası devri (dev/d)	929,9995	$R_{vk} = 0,119 \mu\text{m}$
İlerleme Hızı (mmØ/s)	0,025	Çevrim Süresi =14,4 saniye
Kıvılcım kesilme süresi (Finish Spark-Out Zamanı)	2	
Sıvı Basıncı (bar)	5	

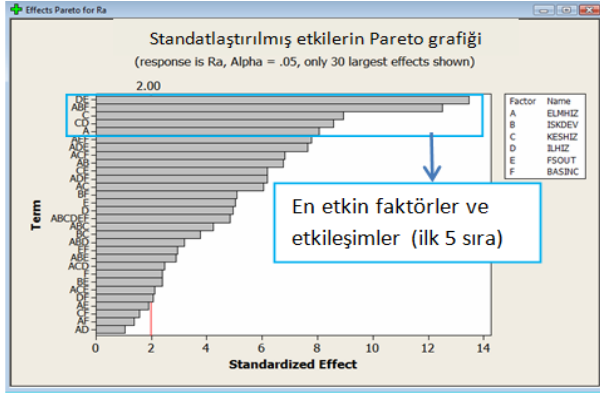
4.5. Doğrulama Deneyleri

Yukarıda yanıt en iyileyici aracından elde edilen optimal faktör değerlerinin doğruluğunu onaylamak için 19 adet doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneyinde elde edilen yanıtlar kullanılarak gerçekleştirilen t testi ile elde edilen %95 güven düzeyindeki güven aralığı değerleri ise Çizelge 8'de verilmektedir. Bu sonuçlara göre, optimizasyon sonucunda elde edilen değerlerin doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen alt ve üst güven aralığı değerleri içerisinde elde edilebildiği gözlenmiştir

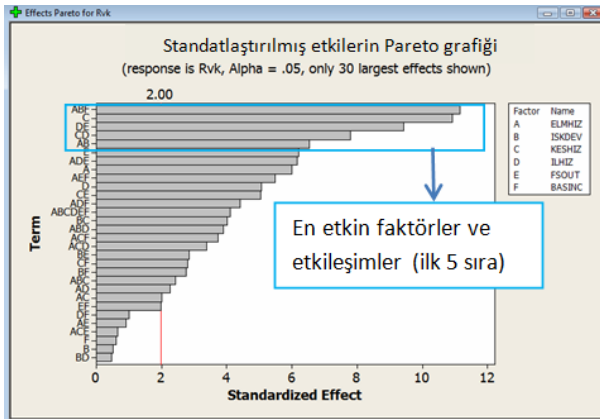
ise Taş Bileme Hızı ana faktör etkisi bulunmaktadır. Bu değerlendirmelere göre Pareto grafiğinde ilk beş sırada genel olarak hız ile ilişkili faktörlerin ve aralarındaki etkileşimlerin R_a üzerinde önemli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Benzer sonuçlar R_{vk} için Şekil 13 ve çevrim süresi için Şekil 14 incelenerek elde edilebilir. Çalışmanın firma açısından sonuçları irdelenirse, en iyileme sonucu elde edilen parametre değerleri ile üretilen kam makaraların müşterilere yaklaşık 20.000.000 adet gönderilmiş ve çalışma öncesi olan müşteri şikâyetlerinden hiçbirinin tekrarlanmadığı görülmüştür

Çizelge 8. Doğrulama deneyleri ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi (Evaluation of validation experiments measurement results)

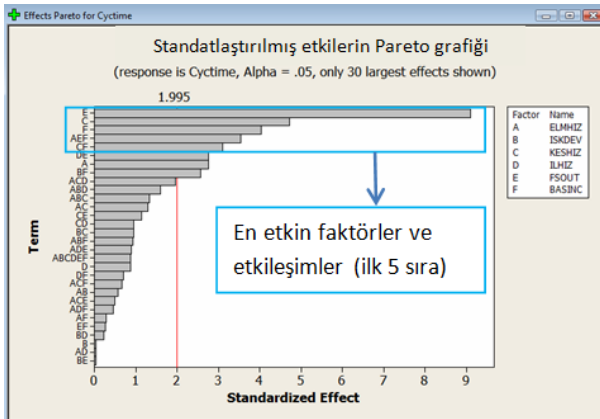
Yanıt	Optimizasyon sonucu bulunan optimum değerler	Doğrulama Deneyi Sonuçları		
		Ortalama	%95 Güven Aralığı	
			Alt değer	Üst değer
R_a (μm)	0,0986	0,11934	0,0892	0,1332
R_{vk} (μm)	0,1196	0,21309	0,0945	0,2425
Çevrim Süresi (sn)	14,4432	15,898	12,995	17,125



Şekil 12. Ra için faktör etkilerine ilişkin Pareto grafiği (Pareto graph of factor effects for R_a)



Şekil 13. R_{vk} için faktör etkilerine ilişkin Pareto grafiği (Pareto graph of factor effects for R_{vk})



Şekil 14. Çevrim Süresi için faktör etkilerine ilişkin Pareto grafiği (Pareto chart of factor effects for the Cycle Time)

Çalışma sonucunda literatürdeki tek yüzey pürüzlülüğü sonucunun en iyilendiği çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada kam makarası için R_a , R_{vk} yüzey pürüzlülüğü değerleri ile beraber işlem çevrim süresinin

de en iyilendiği bir çalışma ortaya konmuş olup, elde edilen optimum faktör seviyeleri doğrultusunda taşlama işlemi firmada uygulanmaya başlanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Malkin, S. and Guo, C. Grinding Technology-Theory and Applications of Machining with abrasives, *Industrial Press*, New York, 2008.
- [2] Tonshoff, H. K., Karpuschewski, B. and Mandrysch, T., "Grinding Process Achievements and Their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities", *Annals of the CIRP*, 47: 651-668, 1998.
- [3] Tonshoff, H. K., Friemuth, T. and Becker, J. C., "Process Monitoring in Grinding", *Annals of the CIRP*, 51: 551-571, 2002.
- [4] Demir, H. ve Güllü, A., "Silindirik Taşlamada Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Oranı İlişkisinin Araştırılması", *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji*, 1-2, 151-167, 1999.
- [5] Srivastava, A.K., Yuen K.M., and Ebestavi M.A., "Surface finish in Robotic Disk Grinding", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 32: 69-297, 1992.
- [6] Gondi, P., Mattogno, G., Sili, A. and Foderaro, G., "Structural Characteristics at Surface And Barkhausen Noise in AISI 4340 Steel After Grinding", *Nondestructive Testing and Evaluation*, 10: 255-267, 1993.
- [7] Warkentin, A., Mohamed, A-M., Bauer, O. R. "Application of Shallow Circumferential Grooved Wheels to Creep-Feed Grinding", *Journal of Materials Processing Technology*, 213(5): 700-706, 2013.
- [8] Ohmori H., Katahira K., Komotori J. and Mizutani M., "Functionalization of Stainless Steel Surface Through Mirror-Quality Finish Grinding", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 57: 545-549, 2008.
- [9] Miller, M.H. and Dow, T.A., "Influence of The Grinding Wheel in The Ductile Grinding of Brittle Material: Development and Verification of Kinematic Based Model", *ASME Journal of Manufacturing Science And Engineering*, 121: 638-646, 1999.
- [10] Gavas M., Karacan İ. and Kaya E., "A Novel Method to Improve Surface Quality in Cylindrical Grinding", *Experimental Techniques*, 35: 26-32, 2011.
- [11] Susana K., Lia-Yuen and Yuan- Shin., "Turn-Mill Toll Path Planning and Manufacturing Cost Analysis for Complex Parts Machining, <http://fie.engrng.pitt.edu/ie2002/proceedings/ierc/papers/2289>, 2002.
- [12] Choi H.Z., Lee S.W., and Jeony H.D., "A Comprasion of The Cooling Effects of Compressed Cold Air and Coolant for Cylindrical Grinding With a CBN Wheel", *Journal of Materials Processing Technology*, 111: 265-268, 2001.
- [13] Hassui A., Diniz A.E., "Correlating Surface Roughness and Vibration on Plunge Cylindrical Grinding of Steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 855-862, 2003.

- [14] Suzuki, K., Uematsu, T. and Nakagawa, T., “Highly Efficient Finishing of Ceramics by Helical Scan Grinding”, Proceedings of the International Conference on Machining of Advanced Materials, *National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg*, MD, 17, 1993.
- [15] Demir, H., Güllü, A., “Taş Dokusunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(1): 77-83, 2008.
- [16] Agarwal S. and Rao P.V., “A New Surface Roughness Prediction Model for Ceramic Grinding”, *Journal of Engineering Manufacture*, 219: 811-821, 2005.
- [17] Domala K., Salisbury E., Moon, K.S., Sutherland J.W., “A Three-Dimensional Geometric Model for the Surface Texture Generated by a Single Pass of the Wheel in a Surface Grinding Process”, *Manufacturing Science and Engineering*, 3: 363-375, 1995.
- [18] Sharp, K.W., Miller, M.H. and Scattergood, R.O., “Analysis of the Grain Depth-of-Cut in Plunge Grinding”, *Precision Engineering*, 24, 220-230, 2000.
- [19] Nguyen T., Zhang L.C., Sun D., “Heat Transfer in Grinding-Hardening of a Cylindrical Component”, *Advanced Materials Research*, 325: 35-41, 2011.
- [20] Savas V., Ozay Ç., “Analysis of The Surface Roughness of Tangential Turn-Milling for Machining with End Milling Cutter”, *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 279–283, 2007.
- [21] Kwak, J.B., Sim, S.B., Jeong, Y.D., “An Analysis of Grinding Power and Surface Roughness in External Cylindrical Grinding of Hardened SCM440 Steel Using The Response Surface Method”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 304–312, 2006.
- [22] Shaji, S., Radhakrishnan, V. “Analysis of Process Parameters in Surface Grinding with BLG Graphite as Lubricant Based on the Taguchi Method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 141: 51–59, 2000.
- [23] Dhavlikara, M.N., Kulkarni, M.S., Mariappan, V. “Combined Taguchi and Dual Response Method for Optimization of a Centerless Grinding Operation”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 90–94, 2003.
- [24] Krajnik, P., Kopac, J., Sluga, A. “Design of Grinding Factors Based on Response Surface Methodology”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163: 629–636, 2005.
- [25] Agarwal, S. “Optimizing Machining Parameters to Combine High Productivity with High Surface Integrity in Grinding Silicon Carbide Ceramics”, *Ceramics International*, 42: 6244–6262, 2016.
- [26] Rudrapati, R., Pal, P.K., Bandyopadhyay, A. “Modeling and Optimization of Machining Parameters in Cylindrical Grinding Process”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 82: 2167–2182, 2016.
- [27] Mızrak H.V., “Makara Dış Çap Taşlamada Gerekli Yüzey Pürüzlülük Değerinin Elde Edilmesi İçin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Optimum Taşlama Parametrelerinin Belirlenmesi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 2016.
- [28] Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M., Soliman, H.H. “Roughness parameters”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 123: 133-145, 2002.