

RSM TEKNİĞİ UYGULANARAK DERLİN MALZEMESİNİN OPTİMUM AŞINMA DEĞERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Aysun SAĞBAŞ¹, F.Bülent YILMAZ² ve Fatih ALTINIŞIK³

¹ Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü-MERSİN

asagbas@mersin.edu.tr

² Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü-MERSİN

fbyilmaz@mersin.edu.tr

³ Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü-MERSİN

fyzd@mersin.edu.tr

Özet

Malzemenin önemli özelliklerinden biri olan aşınma; parçalar arasındaki açıklığın artmasına, istenmeyen hareket serbestliğine ve malzeme kaybına neden olduğundan, en düşük düzeye indirilmesi amaçlanır. Bu çalışmada; sahip olduğu özellikler nedeniyle, sanayide yaygın bir kullanım alanı olan Derlin malzemesinin aşınma miktarı ile süreç değişkenleri (uygulanan yük miktarı ve kayma mesafesi) arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için aşınma tahmin modeli oluşturulmuştur. Bu amaçla; önemli istatistiksel özelliklere sahip merkezi birleşik tasarım (Central Composite Design) uygulanmıştır. Elde edilen deney sonuçları için DesignExpert paket programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış olup, bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Sonuçta; tepki yüzeyleri ve tasarımları yaklaşımı (RSM) uygulanarak, geliştirilen optimizasyon modeli çalıştırılmış ve farklı istenilirlik oranlarında alternatif çözümler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: aşınma, istatistiksel deneysel tasarım, RSM

Abstract

It is desirable to reduce wear as much as possible since wear is one of the important properties of material that results an increase in distance between the parts. In this study, wear prediction model is generated to estimate the relation of the amount of wear in Derlin material, which has a common usage area due to its having important properties between process variables (applied load and sliding distance). Central composite design has been carried out for this purpose since it has very good statistical properties. Statistical analysis was done for the obtained experimental data using DesignExpert software and an optimization model was developed. Finally, applying response surface and designs approach an optimization model was built. It was integrated and generated several alternative solutions with different desirability ratios.

Key Words: wear, statistical experimental design, RSM

1. GİRİŞ

Katı cisim yüzeyinde tribolojik zorlanmalar sonucu oluşan ve istenmeyen malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınma olayını etkileyen çok sayıda tribolojik parametrenin bulunması, aşınmayı önlemek için çözüm bulmayı güçleştirmektedir. Üretim yapılan işletmelerde, makine parçalarında ortaya çıkan aşınma; işgücü, zaman ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

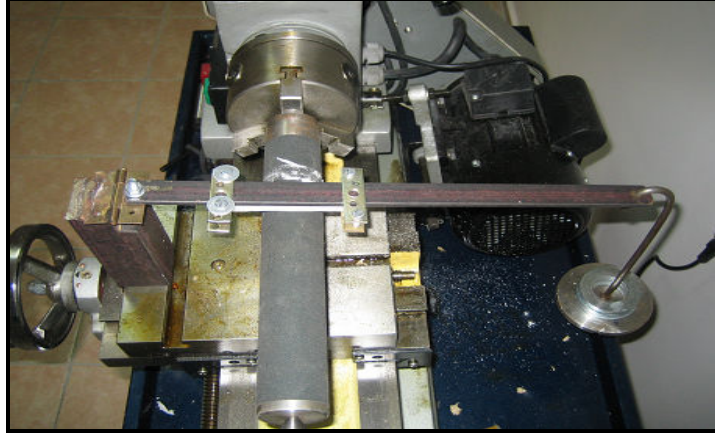
Aşınmadan kaynaklanan hasar, gelişmiş ülkelerde gayri safi milli hasılanın % 1-4' ü arasında maliyete sebep olmakta ve bu maliyetin % 36'sını abrasiv aşınma hasarları oluşturmaktadır. OECD araştırma grubu, aşınmadan dolayı meydana gelen ekonomik kaybın A.B.D.'de gayri safi milli hasılanın %2.5'i, Almanya'da ise %4.5'i olduğunu belirtmiştir [1]. Abrasiv aşınma; iki yüzeyden birinin çok sert ve pürüzlü olduğu durumda yada arada sert partiküllerin bulunduğu şartlarda ortaya çıkan ve çok hızlı gelişen aşınma türüdür. Aşınma çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı sırasında işleme toleranslarının kötüleşmesine, istenmeyen malzeme kaybına ve hareket serbestliğine neden olduğundan, aşınma miktarının tahmin edilmesi ve en düşük seviyeye indirilmesi konusunda çok sayıda araştırma yapılmaktadır.

Zhang ve ark., [2] üç farklı polimerik malzeme (PE,PUR,EP-PUR) için, yapay sinir ağı (ANN) yaklaşımını uygulayarak malzemelerin aşınma miktarını incelemişlerdir. Budinski [3], aşınma hızının tahmin edilmesi ile ilgili beş teorik model incelemiştir. Bu modellerden ilki, polimerin aşınma hızını tahmin etmeyi amaçlayan Ratner-Lanchester korelasyonu olarak bilinen modeldir. Budinski, önerilen modellerin tahmin gücünü, 21 polimerik malzeme için araştırmış ve yapılan testler sonucunda; malzemenin mekanik özellikleri ile abrasiv aşınma direnci arasındaki korelasyonun zayıf olduğunu belirtmiştir. Lin ve Chou [4], AISI 1045 çeliği için, aşınma hızı ile uygulanan yük ve kayma hızı arasındaki ilişkiyi tahmin edebilmek amacıyla merkezi birleşik tasarım (Central Composite Design) uygulamış ve en iyi tahmin modelinin ikinci derece polinom modeli olduğu sonucuna ulaşmış, tahmin edilen sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Shipway ve Ngao [5], malzemenin aşınma davranışının ve hızının kritik olarak polimer tipine bağlı olduğunu belirtmiştir. Rajesh ve ark. [6], farklı poliamid malzemeleri (PA 12, PA 42 ve PA 10) için yaptıkları araştırmada; CH₂/CONH oranının abrasiv aşınma performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemiş ve spesifik aşınma hızının, malzemenin bazı mekaniksel özellikleri ile iyi bir korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ünal ve arkadaşları [7], tarafından yapılan çalışmada; alifatik poliketone (APK), polioksimetilen (POM), ultrayüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHWPE), poliamid 6.6 (PA6.6) ve %30 cam lifi kuvvetlendirilmiş polihienilensülfite (PPS) mühendislik polimerleri oda sıcaklığında, pin on disk test cihazında, 1 m/sn kayma hızı, 10 N yükleme ve 50, 100, 150 ve 200 metre kayma mesafesinde incelenmiş olup, tüm malzemelerin aşınma hızının artan aşınma mesafesi ile lineer bir şekilde arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

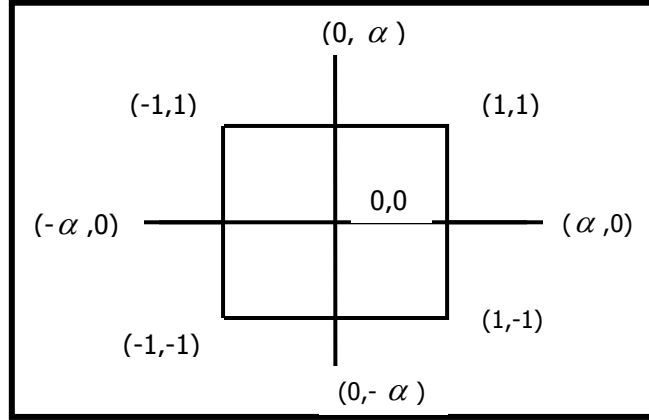
Bu çalışmada; uygulanan yük ve kayma mesafesi değişkenleri ile aşınma miktarı arasındaki ilişkinin ve optimum aşınma değerinin tahmin edilebilmesi için tepki yüzeyleri ve tasarımları yaklaşımı ile uygun regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu amaçla Derlin malzemesi kullanılarak, merkezi birleşik tasarım uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar için DesignExpert (ver. 6.0) programı ile istatistiksel analizler yapılmıştır. Uygun model seçimi için F testi yapılarak varyans analizi (ANOVA) tablosu oluşturulmuştur. Seçilen modelin uygunluğunun ve yeterliliğinin test edilmesi için uyum eksikliği testi (Lack of Fit Test), sapma analizi (Residual Analysis) ve normalite testi yapılmış olup, optimum işlem koşulları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, üç boyutlu tepki yüzeyleri ve izdüşüm grafikleri şeklinde gösterilmiştir.

2. DENEYSEL PLAN

Yapılan araştırmada; Derlin malzemesinin abrasiv aşınma davranışının deneysel olarak modellenenilmesi amacıyla, 16x92x8 mm ölçülerinde dikdörtgen kesitli deney numuneleri hazırlanmış olup, deneylerde P 220 Grand marka aşındırıcı kağıt kullanılmıştır. Aşınma miktarı; ağırlık kaybı esasına göre ölçülmüş olup, oluşan ağırlık kayıplarını ölçmek için 0.01 gr hassasiyetinde ve 1500 gr tartma kapasiteli elektronik terazi kullanılmıştır. Deneyler, mil çapı 40 mm ve uzunluğu 400 mm olan AT 280 tipi bir torna tezgahında gerçekleştirilmiş olup, deney düzeneği şematik olarak şekil 1.'de gösterilmiştir. Yapılan araştırmada; önemli istatistiksel özelliklere (Rotatability ve orthogonality) sahip merkezi birleşik tasarım uygulanmış olup, iki değişken için merkezi birleşik tasarım, tasarım matrisi olarak şekil 2. de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzenegi ve Numunenin Bağlanması



Şekil 2. İki Değişken İçin Merkezi Birleşik Tasarım

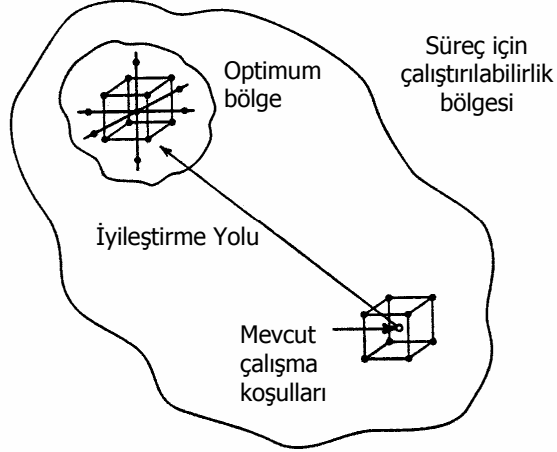
Merkezi birleşik tasarımlarda iki önemli parametre; merkez noktalarının sayısını ifade eden n_c ve tasarım merkezinden aksenal noktaların uzaklığı gösteren α değerleridir. Tasarımın döndürülebilirlik özelliğine sahip olması için k : parametre sayısı olmak üzere, $\alpha = \sqrt{k}$ olarak alınır. Döndürülebilirlik; ikinci derece modellerde ilgilenilen bölgede, tasarım merkezinden eşit uzaklıktaki tüm noktalarda tepki değerinin tahmin varyansının eşit olmasını sağlar [8]. Kayma mesafesi ve uygulanan yük değişkenleri için merkezi birleşik tasarım (CCD) matrisi, kodlanmış ve gerçek değişkenler şeklinde çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uygulanan Yük ve Kayma mesafesi İçin Merkezi Birleşik Tasarım Matrisi

Faktörler	Faktör seviyeleri				
	En Düşük (-1.414)	Düşük (-1)	Merkez (0)	Yüksek (1)	En Yüksek (1.414)
X_1 : Uygulanan Yük (N)	7.9	10	15	20	22
X_2 : Kayma Mesafesi (m)	99.6	62.8	125.6	188.4	277.3

3. TEPKİ YÜZEYİ METODOLOJİSİ (RSM)

RSM; tepki (response) değişkenine etki eden çok sayıda değişkenin olması durumunda; problemlerin analiz edilmesinde ve modellenmesinde kullanılan istatistiksel tekniklerin ve matematiksel ifadelerin birleşimidir. Yeni ürünün formülasyonunda, var olan ürün tasarımının iyileştirilmesinde, süreç optimizasyonunda, sürecin geliştirilmesinde ve iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılır [9]. Tepki yüzeyleri metodu için işlem akışı şekil 3.'de verilmiştir.



Şekil 3. Tepki Yüzeyleri Metodu İçin İşlem Akışı [9]

Tepki yüzeyleri ve tasarımları yaklaşımında merkezi birleşik tasarımların kullanılması durumunda ikinci derece modeller daha uygun olmaktadır. İkinci derece bir polinom modeli, en genel şekliyle eşitlik 1.'de gösterilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j=2}^k \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

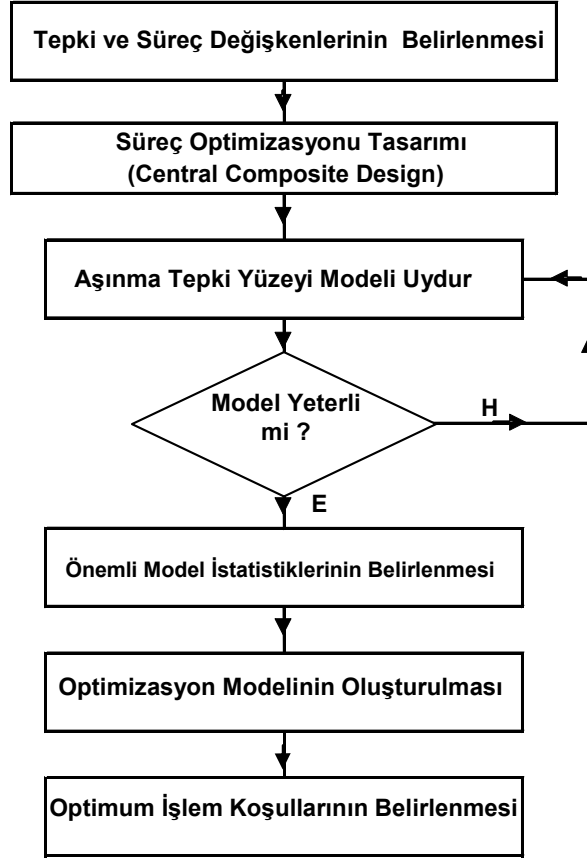
y = tepki değişkeni

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = bilinmeyen regresyon parametreleri

x_i, x_j = süreç (karar) değişkenleri ($i = 1, 2, \dots, k$) ve ($j = 1, 2, 3, \dots, k$)

ε = hata terimi ile gösterilir.

Yapılan çalışmada; uygun tasarımın seçilmesinden optimum işlem koşullarının belirlenmesine kadar olan işlem akışı şekil 4.'de verilmiştir.



Şekil 4. Optimizasyon Yaklaşımı İçin İşlem Sırası

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR

4.1. Tepki Yüzeyi Tasarımı Deney Sonuçları

Derlin malzemesinin aşınma miktarını minimum yapan süreç değişkenlerinin değerinin belirlenmesi amacıyla merkezi birleşik tasarım uygulanmış olup, sonuçlar çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. Uygulanan Merkezi Birleşik Tasarım Deney Sonuçları

Deney No	Kodlanmış değişkenler		Gerçek değişkenler		Tepki değişkeni
	X_1	X_2	ξ_1 : Yük (N)	ξ_2 : kayma mesafesi(m)	$y_{aşınma}$ (gr)
1	-1	-1	10.0	62.80	0.16
2	+1	-1	20.0	62.80	0.23
3	-1	+1	10.0	188.4	0.26
4	+1	+1	20.0	188.4	0.38
5	-1.414	0	7.9	125.6	0.12
6	+1.414	0	22.0	125.6	0.29
7	0	-1.414	15.0	99.60	0.21
8	0	+1.414	15.0	277.3	0.31
9	0	0	15.0	125.0	0.24

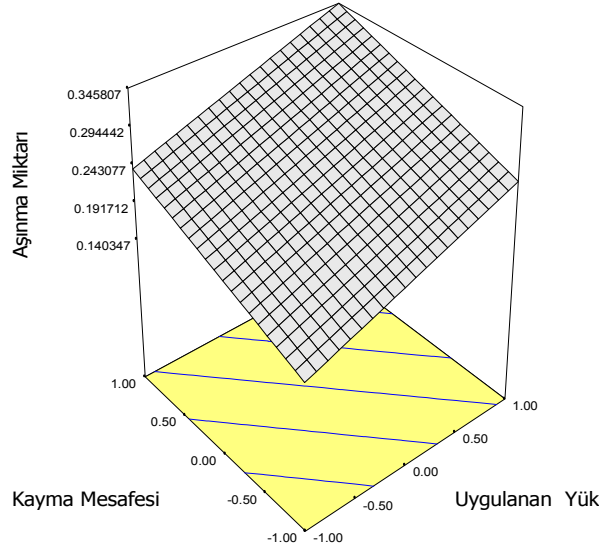
Elde edilen deney sonuçları için DesignExpert paket programı [10] kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış olup, en uygun regresyon modeli oluşturulmuştur.

4.2. Tepki Yüzeyi Deneyinin Analizi

Aşınma regresyon modelinin seçiminde alternatif modellerin analizi tablosu incelenmiş ve F testi yapılarak en uygun modelin eşitlik 2.'de verilen lineer regresyon modeli olduğu görülmüştür.

$$y_{aşınma} = 0.243 + 0.0538X_1 + 0.0489X_2 \quad (2)$$

Kodlanmış değişkenler kullanılarak, seçilen aşınma regresyon modeli için uygulanan yük ve kayma mesafesi ile aşınma miktarı arasındaki izdüşüm grafiği şekil 5.'de verilmiştir.



Şekil 5. Uygulanan Yük ve Kayma Mesafesi İle Aşınma Miktarı Arasındaki Tepki Yüzeyi Grafiği

Şekil 5. incelendiğinde, Derlin malzemesinin aşınma miktarını minimum yapan sonuç (en iyi sonuç) düşük yük miktarı ve küçük kayma mesafelerinde çalışıldığı zaman elde edilmektedir. Yapılan çalışmanın bir sonraki adımında, geliştirilen optimizasyon modeli çalıştırılarak, optimum işlem koşulları belirlenmiş ve alternatif çözüm önerileri çizelge 3.'de verilmiştir.

Çizelge 3. Optimum İşlem Koşulları

Alternatif Çözümler	Tepki Değişkeni	Süreç Değişkenleri		
		$y_{aşınma}$ (gr)	ξ_1 : Uygulanan Yük (N)	ξ_2 : kayma mesafesi (m)
1	$y_{aşınma}$ min	0.1481	11.65	118.374
2		0.1582	9.20	158.959
3		0.1559	8.45	166.499
4		0.1594	12.90	108.695
5		0.1314	10.05	112.465
1	$y_{aşınma}$ range	0.1168	9.05	107.439
2		0.1041	8.30	101.784
3		0.1195	8.85	113.722
4		0.1042	9.35	103.669
5		(0.16-0.24)	0.1164	8.65

Çizelge 3. incelendiği zaman, malzemenin aşınma miktarının minimum olabilmesi için 10 N yük ve 112 metre kayma mesafesinde çalışılması gerekirken, aşınmanın belli değerler (0.16-

0.24) arasında olması istendiğinde ise; 8.3-9.5 N ve 101-112 metre kayma mesafesinde çalışması gerektiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Derlin malzemesinin aşınma miktarını minimum yapan süreç değişkenlerinin değerinin belirlenmesi amacıyla merkezi birleşik tasarım uygulanmış olup, geliştirilen optimizasyon modeli DesinExpert paket programı kullanılarak çalıştırılmış ve düşük yük ve kayma mesafesi koşullarında çalışması durumunda; aşınma miktarının minimum olacağı sonucuna ulaşılmıştır. İleride yapılacak benzer çalışmalarda; aynı süreç değişkenleri için malzemenin aşınma hızını minimum, sertlik değerini maksimum yapan çoklu bir optimizasyon modeli geliştirilebilir. Ayrıca, aynı malzeme için farklı test cihazları ve yapay sinir ağları ve genetik algoritma gibi diğer optimizasyon teknikleri kullanılarak minimum aşınma miktarı incelenerek elde edilecek sonuçlar karşılaştırılabilir.

6. KAYNAKÇA

- [1] SARI, N.Y., AKAY, S., KALUÇ, E., "Aşınmayı Önlemede Etkili YöNemler: Isıl Püskürtme", Mühendis ve Makine, cilt: 38, sayı: 448, 19-24.
- [2] ZHANG, Z., BARKOULA, N.M., KERGER-KOCSIS, J., FRIEDRICH, K., "Artificial Neural Network predictions on erosive wear of polymers, Wear, 255,708-713, 2003
- [3] BUDİNSKİ, K.G., "Resistance to particle abrasion of selected plastics", Wear, 203-204, 302-309, 1997
- [4] LİN J.F., CHOU C.C., "The response surface method and the analysis of mild oxidational wear", Tribology, 35, 771-785, 2002
- [5] SHİPWAY, P.H., NGAO, N.K., "Microscale abrasive wear of polymeric materials. Wear, 255, 742-750, 2003
- [6] RAJESH, J.J., BİJWE, J., TEWARİ U.S., "Abrasive wear performance of various polyamides" Wear, 252, 769-776, 2002
- [7] ÜNAL, H., SEN, U., MİMAROĞLU, A., "Abrasive wear behaviour of polimeric materials", Materials & Design, 26, 705-710, 2005
- [8] MYERS, R.H., MONTGOMERY, D.C., "Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (2nd edition), John Wiley & Sons Inc, New York, (2002)
- [9] MONTGOMERY, D.C., "Design and Analysis of Experiment", John Wiley&Sons Inc, New York, (2002)
- [10] Stat-Ease, Inc., DesignExpert (Ver. 6.0), www.stat-ease.com