

Tornalanmış Yüzey İmgeleri Gri Ton Ortalama Değerlerinin Takım Aşınması ile İlişkisinin İncelenmesi

Tornalama işlemlerinde takım aşınmasının gerçek zamanlı takibiyle, kesici takımı daha verimli kullanmak ve aşınmaya bağlı ölçü/tolerans ve yüzey hatalarını en aza indirmek mümkün olabilir. Tornalanmış yüzey imgeleri üzerinden yanak aşınmasına dair bir çıkarım ve tahminde bulunmak mevcut yöntemlere bir alternatif olarak bir çok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır. Bu çalışmada aşınmaya bağlı parlaklık değişiminin gözlemlenmesi amacı ile tornalanmış yüzey imgeleri gri ton ortalamaları bir öznitelik olarak çıkarılmış ve aşınma ile uyum istatistikleri incelenmiştir. Farklı kesme parametreleri ile gerçekleştirilen deneyler sonrası aşınma ile gri ton ortalamaları arasında düşük uyumlu fakat dinamik olarak benzer bir değişim bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tornalama, Takım Aşınması Takibi, Görüntü İşleme

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 25 Mayıs 2023

Kabul: 15 Ağustos 2023

*Sorumlu Yazar: Muzaffer Tacettin Küllaç

Email: mtkullac@ktu.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.56193/matim.1269179>

Atıf şekli/How to cite: Küllaç M. T., Çuvalcı O., Tornalanmış Yüzey İmgeleri Gri Ton Ortalama Değerlerinin Takım Aşınması ile İlişkisinin İncelenmesi. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2023; 21(2): 81-88

GİRİŞ

Talaşlı imalat işlemlerinde takım aşınmasının gerçek zamanlı takibi üretim süreçlerinin otomasyonunda önemli bir adımdır. İşlem sırasında belirlenen aşınma miktarında değiştirilemeyen takım; parça hasarlarına, ölçü ve kalite kayıplarına neden olabilmektedir. Belirlenen miktardan önce yapılan takım değişimleri ise takımdan istenilen verimin alınmasını engelleyeceği ve fazladan bekleme süreleri oluşturacağı için maliyet kayıplarına sebebiyet vermektedir. Günümüzde, takım aşınmasının gerçek zamanlı takibi özel sektör ve akademik alanda birçok araştırmacının ortak konusudur.

Tornalama işlemlerinde takım aşınması birçok faktöre bağlı olarak çeşitli şekillerde gelişebilir. Yanak aşınması, krater aşınması, çentik aşınması, plastik deformasyon vb. gibi şekillerde ortaya çıkabilen aşınma türlerinde yanak aşınması, yüzey kalitesi ile doğrudan ilişkisi sebebiyle en çok takip edilen aşınma türüdür[1]. Akustik emisyon, kesme kuvvetleri, titreşim, motor gücü ve sıcaklık sinyalleri ölçümleri günümüzde sıklıkla kullanılan gerçek zamanlı takım aşınması takip yöntemleridir[2-3]. Talaş kaldırma işlemi birçok faktörün rol aldığı karmaşık bir mekanik süreçtir. Talaş-takım temas

yüzeyi, kesme düzlemi ve takım-iş parçası temas yüzeyinden kaynaklı farklılıklar bahsi geçen sinyal yöntemlerinin okumalarını farklı oranlarda etkilemektedirler, bu durum da, takım-iş parçası teması ile oluşan yanak aşınmasının spesifik olarak bu yöntemler ile takip edilebilmesini güçleştirmektedir.

Kesme sırasında oluşan yüzey, kesici takım ucunun negatif replikasıdır ve kesme kenarındaki hacimsel değişimleri yansıtır[4]. Bu bağlamda yüzey parametrelerinin incelenmesi yolu ile kesme kenarlarındaki aşınmaya dair bir izlenim elde edinilebilir. Ayrıca yanak aşınmasının yüzey pürüzlülüğü ile doğrudan bir ilişkisi vardır. Yüzey pürüzlülüğü artan yanak aşınması ile birlikte genellikle artmaktadır[5]. Yüzeyin yansıtma özelliği ise artan yüzey pürüzlülüğü ile azalmaktadır[6]. Buna bağlı olarak işlenmiş yüzey görüntüleri üzerinden gerçekleştirilen çeşitli doku analizi yöntemleri ile elde edilen dokusal öznitelikler aşınma takibi için kullanılabilirler. Gün geçtikçe gelişen mikroçip üretim teknikleri ile yüksek hızlı görüntü yakalama teknolojileri giderek daha az maliyetli ve daha fazla ulaşılabilir olmaktadır. Uygun bir yüksek hızlı görüntü alma donanımı ile tornalama işlemleri sırasında net yüzey görüntüleri yakalamak mümkün

olabilir. Her ne kadar şu ana kadar literatürde ve özel sektör girişimlerinde yüksek hızlı görüntü yakalama ile gerçekleştirilen gerçek zamanlı bir takım izleme yöntemi geliştirilmemiş olsa bile tormalanmış yüzey görüntüleri üzerinden takım aşınmasını yansıtabilecek öznitelikler ve karar verme algoritmaları birçok araştırmacı tarafından yukarıda bahsedilen sinyal tabanlı aşınma takip yöntemlerine alternatif olarak araştırılmaktadır. Günümüz literatüründe; kenar bulma algoritmaları[7], histogram[8], dalgacık (wavelet)[9], gri seviye eş oluşum matrisi[10], Voronoi mozaikleme[11] ve Fourier dönüşümü[12] gibi çeşitli imge/doku analiz yöntemleri yüzey imgelerinden aşınmayı yansıtabilecek özniteliklerin çıkarılması için kullanılmıştır.

Bir gri tonlama imgede, bir pikselin sayısal değeri o pikselin parlaklığını temsil etmektedir. Dolayısıyla imgenin tüm piksel değerlerinin ortalaması ilgili imgenin parlaklık değerini yansıtan bir öznitelik olarak kullanılabilir. Aynı optik (aydınlatma, odak mesafesi vb.) koşullarında edinilen yüzey imgeleri üzerinden çıkarılacak bu öznitelik ile yüzeylerin birbirine karşı göreceli yansıtma karakteristikleri incelenebilir. Aşınma ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi ve dolayısı ile yüzeyin yansıtma özelliğinin değiştiği bilinse de[5-6] şu ana kadar literatürde aşınma ile kıyaslamak üzere gri ton ortalamaları bir öznitelik olarak kullanılmamıştır.

Bu çalışmada farklı kesme parametrelerinde gerçekleştirilen tormalama işlemleri sürelerince aynı optik koşullarda edinilen yüzey imgelerinin gri ton ortalaması değerleri ile yüzeyin oluşumuna karşılık gelen aşınma değerleri karşılaştırılmış ve ilgili özniteliğin aşınma ile uyum istatistikleri incelenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

İş Parçası ve Kesici Takım

Bu çalışmada endüstride yaygın kullanımı ve kolay bulunabilirliği nedeni ile AISI 4140 çeliği iş parçası olarak seçilmiştir. AISI 4140 kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de gösterilmiştir. Sıcak haddelenmiş, ~102 mm çapında ve 330 mm uzunluğunda hazırlanan AISI 4140 kütükler hadde yüzeyinin temizlenmesi için kaba tormalama işleminden geçirilerek 98 mm çapa düşürülmüşlerdir. Deney kapsamındaki tormalama işlemleri; Goodway marka GLS – 200 CNC tormalama tezgahında, STJCR 25x25 takım tutucu ve TCMT16T308 (MT-TiCN+ Al2O3 +TiN kaplamalı & Talaş kırıcılı) kesici uçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. AISI 4140 Kimyasal kompozisyonu

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Fe %
0.38	0.15	0.75	<=	<=	0.8	0.15	Kal.
0.43	0.35	1.00	0.035	0.04	1.1	0.25	

Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında tormalanmış yüzey imgeleri gri ton ortalamalarının (G) değişen kesme parametrelerinde aşınma ile ilişkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı kesme parametrelerinde 8 adet tormalama deneyi gerçekleştirilmiştir. Das vd. [13] AISI 4140 çeliğinin kaplamalı seramik takımlarla tormalanmasında kesme parametrelerinin aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ile olan ilişkilerini incelemiş, parametrelerin aşınmaya olan katkılarını önem sırasına göre; kesme hızı(%25.35), ilerleme oranı(%14.12) ve kesme derinliği(%5.28) olarak bildirmişlerdir. Deneyler kapsamında kesme parametrelerinin çeşitlendirilmesi, takım aşınması üzerindeki etkileri göz önüne alınarak; 5 farklı kesme hızı (Deney 1-5), 3 farklı ilerleme oranı (Deney 3,6-7) ve 2 farklı kesme derinliği (Deney 3,8) olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deney 2 ve 4, özniteliğin dinamik değişim davranışını daha detaylı gözlemleyebilmek için tekrarlanmıştır. Deney numaraları ve belirlenmiş kesme parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Deney numaraları ve kesme parameteleri

Deney No.	Kesme Hızı - V (m/dk)	İlerleme Oranı - f (mm/dev)	Kesme Derinliği - a (mm)
1	220	0.20	1
2	240	0.20	1
3	260	0.20	1
4	275	0.20	1
5	300	0.20	1
6	260	0.22	1
7	260	0.24	1
8	260	0.20	1.5
2 Tek.	240	0.20	1
4. Tek.	275	0.20	1

Deney Düzenegi ve Fotoğrafların edinimi

Deney düzenegi; CNC Tormalama tezgahı, işlenmiş yüzeyleri fotoğraflamak için kullanılan aparat, kesici takımı fotoğraflamak için kullanılan aparat, aparatlara takılmış iki adet kalem tipi dijital mikroskop ve görüntülerin alındığı diz üstü

bilgisayardan oluşmaktadır. Deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir.

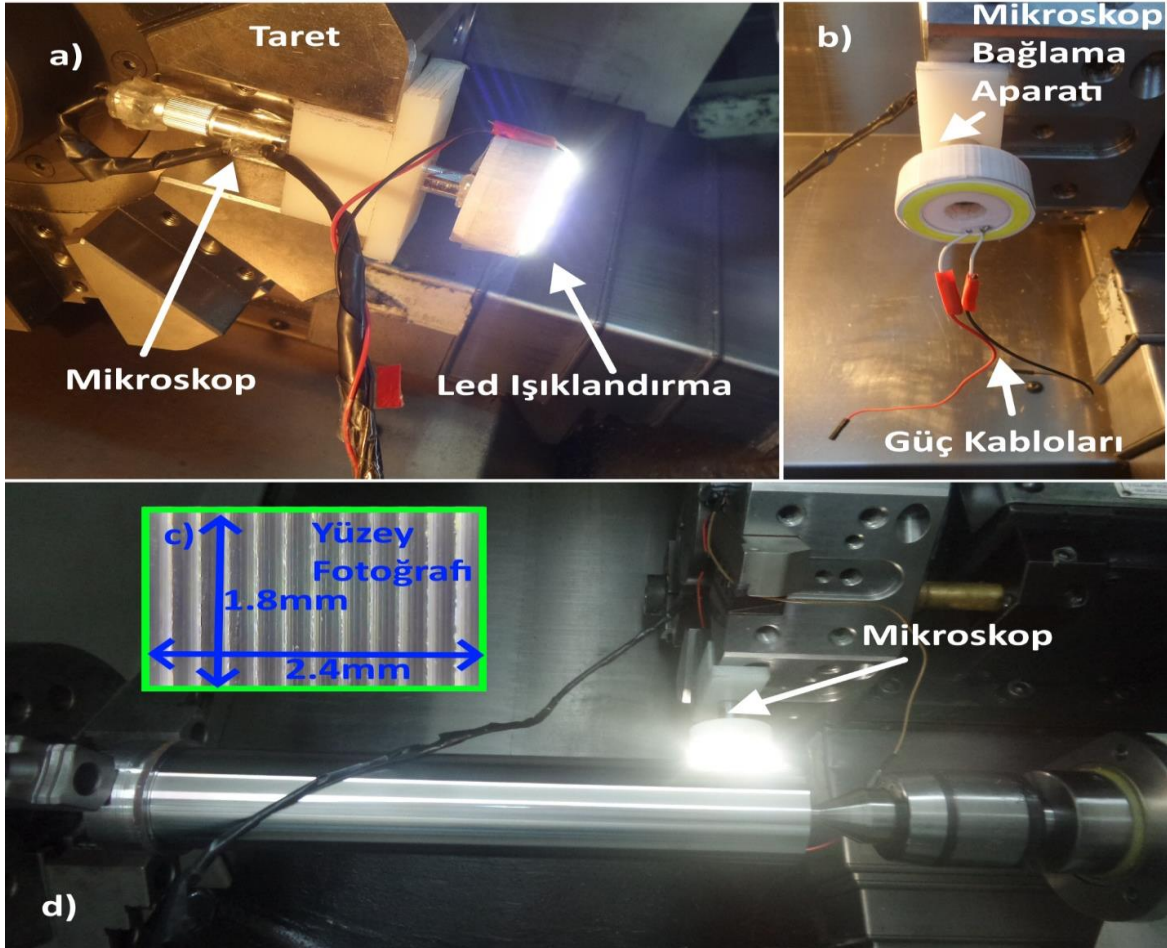


Şekil 1. Deney düzeneği

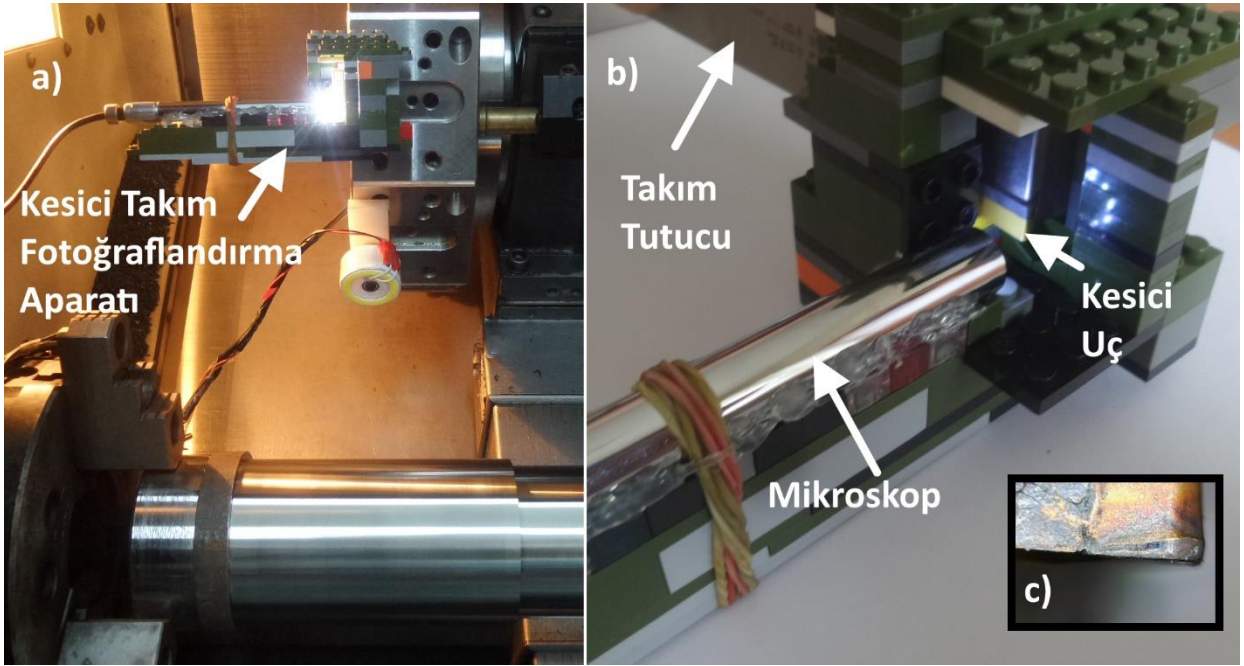
Tornalanan işparçası yüzeylerinin fotoğraflanması için Andonstar 500X (CMOS) dijital mikroskop kamera kullanılmıştır. Mikroskop, bir aparat yardımı ile belirlenen pasolar sonrası taret üzerindeki bir takım istasyonuna iş parçasına dik olacak şekilde yerleştirilmiş ve her seferinde yüzeye 11 mm yaklaştırılarak sabit optik koşullarında yüzeyin 2.4 mm x 1.8mm bir alanı fotoğraflanmıştır. Yüzeyin

ışıklandırılması mikroskop ucuna takılan halka şeklindeki bir led devresi ile yapılmıştır. Yüzey fotoğraflama düzeneği, fotoğrafların edinimi ve örnek bir yüzey imgesi Şekil 2’de gösterilmiştir.

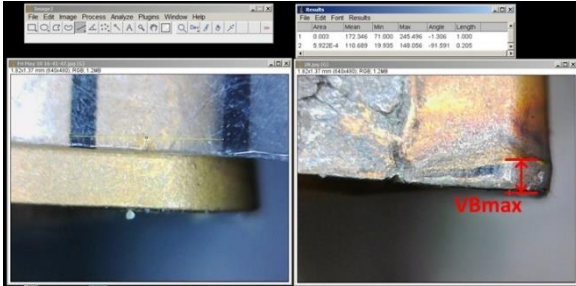
Yanak aşınmasının ölçülmesi yine belirlenen pasolarda takımdan alınan fotoğraflar üzerinden açık kaynak kodlu ölçüm programı “ImageJ” kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemleri kesici takım kullanılamaz hale gelinceye dek devam ettirilmiştir. Aşınma miktarı olarak maksimum aşınma boyutu (VB_{max}) değerlendirilmiştir. Kesici takımın fotoğraflanması yüzey fotoğraflandırılması için de kullanılan mikroskoptan bir adet daha kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroskop; kesici takımı taretten çıkarmadan fotoğraflayabilmek için özel olarak yapılmış bir aparata sabitlenmiş, aparat paso sonraları takıma takılarak fotoğraf edinimi gerçekleştirilmiştir. İlgili aparat ve kesici takıma takılarak kesici ucun fotoğraflanması Şekil 3’te gösterilmiştir. ImageJ programında gerçekleştirilen kalibrasyon ve aşınma ölçümü Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Yüzey fotoğraflama düzeneğinin yandan görünümü (a), düzeneğin önden görünümü (b), örnek bir yüzey fotoğrafı (c) ve yüzeyin fotoğraflandırılması (d)



Şekil 3. Kesici takım fotoğraflama aparatının taretteki kesici takıma takılması(a), aparatın yakın görünümü(b), örnek bir kesici uç fotoğrafı(c)



Şekil 4. ImageJ programında kalibrasyon ve Aşınma (VB_{max}) ölçümü

Görüntü işleme ve Öznitelik çıkarımı

Bu çalışma kapsamında tormalanmış yüzey imgelerinin gri ton ortalamaları (G) aşınma ile değerlendirilmek üzere bir öznitelik olarak kullanılmıştır.

Bu bağlamda deneyler sırasında edinilen 640 x 480 çözünürlükte RGB yüzey imgeleri ilk olarak OpenCV 4.5.4 C++ kütüphanesi kullanılarak gri ton imgelere dönüştürülmüştür daha sonra ilgili öznitelik her bir imge için Denklem 1'de gösterildiği şekilde C++ dilinde hesaplanmıştır.

$$G = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N m[i, j] \quad (1)$$

Burada;

G- Gri ton ortalama

m- Gri ton matrisi (Gri ton imge)

M- İmgedeki satır sayısı

N- İmgedeki Sütun sayısı

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tormalanmış yüzey imgeleri gri ton ortalamalarının takım aşınması ile ilişkisi incelenmiştir. Farklı kesme parametreleri ile gerçekleştirilen tormalama işlemleri sırasında edinilen yüzey imgeleri önce gri tona dönüştürülmüş daha sonra piksel değerlerinin ortalamaları(G) hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, karşılık gelen aşınma miktarı(VB_{max}) ile değerlendirilerek ilgili özniteliğin aşınma ile uyum istatistikleri sunulmuştur.

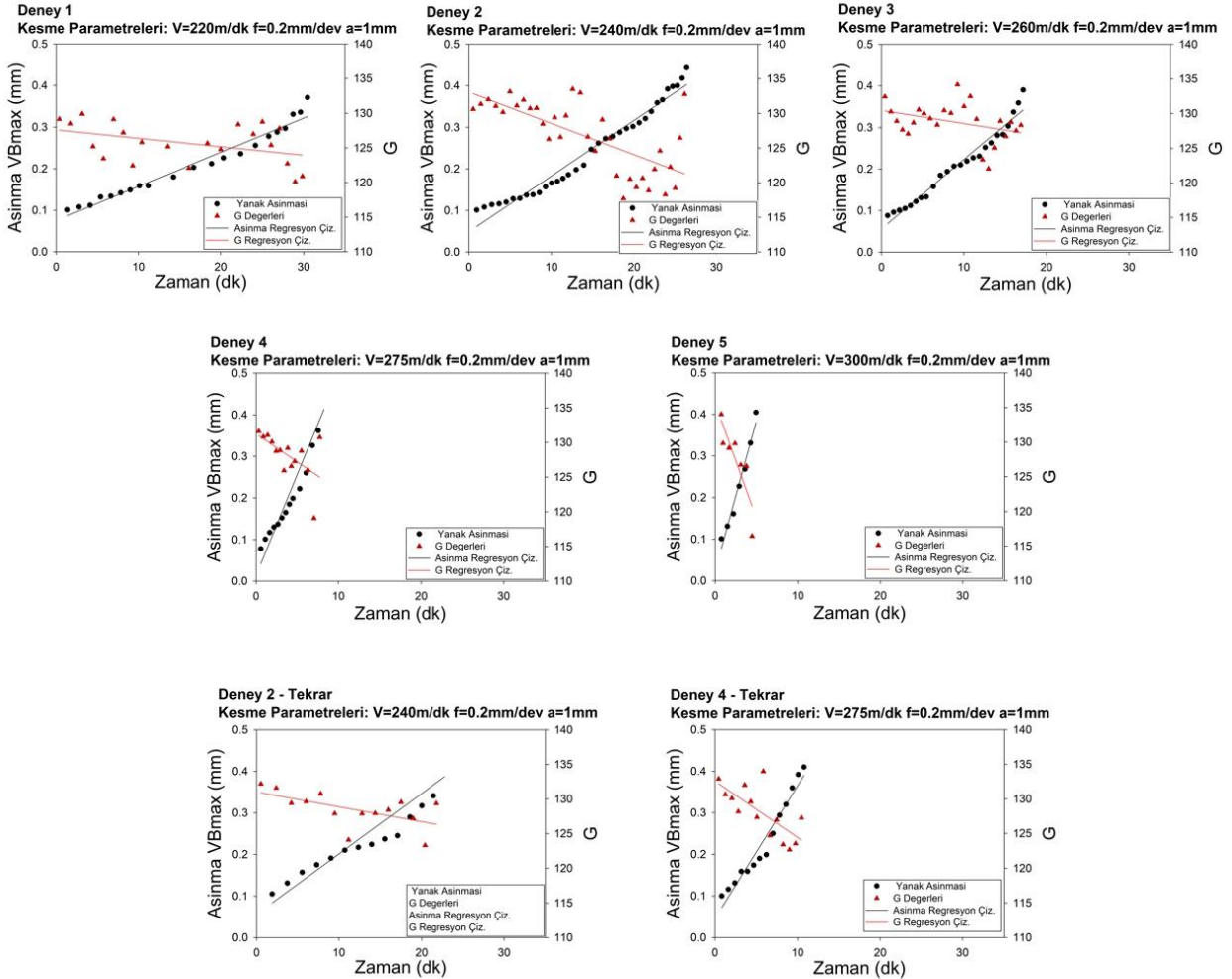
Farklı kesme hızlarında aşınmanın ve G değerlerinin değişimi Şekil 5(a-g)'de gösterilmiştir. Şekil 5(a-e)'de artan kesme hızlarında aşınma ve G değerlerinin değişimi incelenebilir. Beklendiği gibi artan kesme hızlarında takım daha hızlı aşınmış ve takım ömrü azalmıştır. G değerlerinde ise uyum düşük olsa da bir azalma eğilimi söz konusudur. Şekil 5(f,g)'de tekrarlanan deneylerin grafikleri görülebilir. Tekrar deneylerinde daha az görüntü alınmıştır.

Tekrarlanan deneylerde az da olsa asıllarına göre takım ömründe farklılıklar gözlemlenmiştir.

Kesme parametreleri aynı dahi olsa titreşim, paso farklılıkları, iş parçasındaki kalıntılar, yığılma kenar oluşumu vb. faktörler takım ömründe farklılıklara sebep olabilirler. Tekrarlanan deneylerin G değerlerinde ise uyum yine görece az iken genel itibariyle aşınmayla beraber bir azalma gözlemlenmiştir. Değişen kesme hızlarında gerçekleştirilen deneylere ait uyum istatistikleri Tablo 3'te görülebilir. Artan kesme hızlarıyla beraber düzenlenmiş R kare değerinde de artış eğilimi gözlemlenmiştir. Artan kesme hızlarında(Deney 1-5) ortalama düzenlenmiş R kare değeri 0.334492 olarak bulunmuştur.

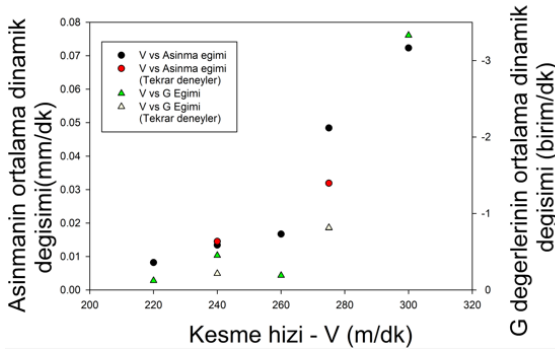
Tablo 3. Artan kesme hızlarında G değerleri regresyon doğrusunun Düzeltilmiş R kare değerleri ve eğimleri

Deney No.	Düz. R ²	Eğim
1	0.135090	-0.12221
2	0.474263	-0.45140
3	0.091098	-0.18999
4	0.280169	-0.81132
5	0.691838	-3.32990
2 Tek.	0.291304	-0.21446
4. Tek.	0.483170	-0.81475
Ortalama (Deney 1-5)	0.334492	



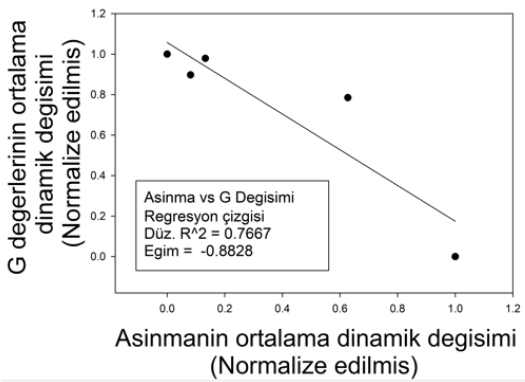
Şekil 5. Değişen kesme hızlarında "Aşınma-Zaman" ve "G- Zaman" grafikleri

G değerlerinin kesme hızına bağlı olarak dinamik değişimlerini incelemek için aşınma ve G değerlerinin eğimleri grafikleştirilmiştir. İlgili grafik Şekil 6'da görülebilir.



Şekil 6. Aşınma ve G değerlerinin kesme hızına bağlı dinamik değişimleri

Şekil 6'daki grafikten aşınma ve G değerlerinin benzer bir artış eğiliminde oldukları görülebilir. İlgili karşılaştırmanın uyum istatistiğini görmek için Deneysel 1-5'e ait eğim değerleri normalleştirilerek "G değerlerinin dinamik değişimi" – "Aşınmanın dinamik değişimi" grafiği oluşturulmuştur. Grafik Şekil 7'de görülebilir.

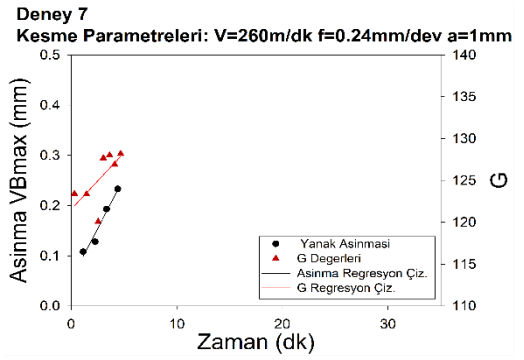
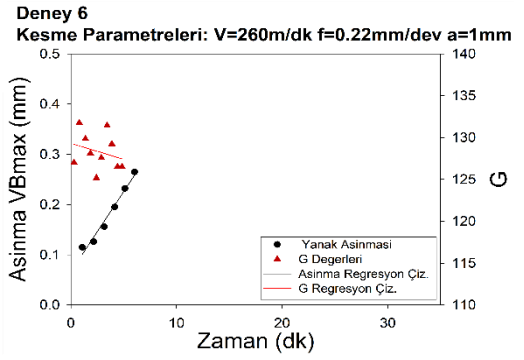
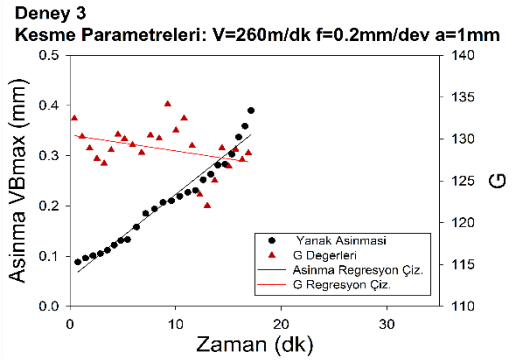


Şekil 7. Normalize edilmiş "G değerlerinin dinamik değişimi" – "Aşınmanın dinamik değişimi" grafiği

İlgili grafiğin regresyon doğrusu oluşturulmuş ve G değerlerinin dinamik değişiminin aşınma ile benzer olduğu gözlemlenmiştir. Grafikten; düzenlenmiş R kare değeri 0.7667, eğim değeri ise 0.8828 olarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında aşınma ile uyum istatistiklerini incelemek üzere 3 farklı ilerleme oranında deney düzenlenmiştir. Artan ilerleme oranlarında düzenlenmiş bu üç deneyin aşınma-zaman ve G- zaman grafikleri Şekil 8'de görülebilir. Beklendiği gibi, artan ilerleme oranlarıyla beraber takım ömründe bir azalma gerçekleşmiştir. G değerlerinde ise; Deneysel 3 (0.20 mm/dev) ve Deneysel 6 (0.22 mm/dev) da bir azalma eğilimi gözlemlenirken Deneysel 7 (0.24 mm/dev)'de bir artış eğilimi

gözlemlenmiştir. İlgili deneylere ait uyum istatistikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.



Şekil 8. Artan ilerleme oranlarında "Aşınma-Zaman" ve "G-Zaman" grafikleri

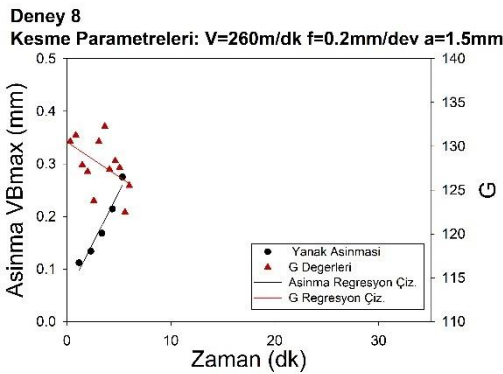
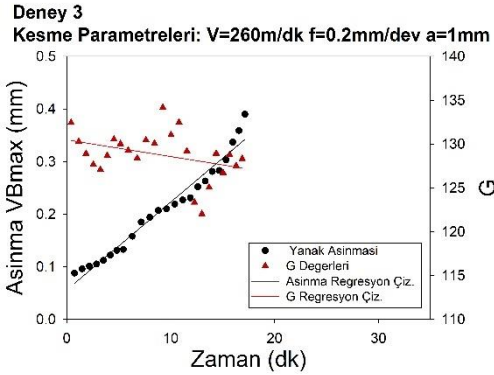
Tablo 4. Artan ilerleme oranlarında G değerleri regresyon doğrusunun Düzeltilmiş R kare değerleri ve eğimleri

Deneysel No.	Düz. R ²	Eğim
3	0.091098	-0.18999
6	-0.043899	-0.381634
7	0.325789	1.34666
Ortalama	0.124329	

Düzenlenmiş tüm deneyler arasında en düşük uyum oranı -0.043899 düzenlenmiş R kare değeri ile Deneysel 6 için bulunmuştur. Yine düzenlenmiş

deneysel olarak tek artış eğilimi Deneysel 7’de gözlemlenmiştir. Diğer deneylerin aksine Deneysel 7’de gözlemlenen artış eğilimi düşük uyum değerleri de göz önüne alındığında; veri setinin azlığına bağlı münhasır bir sonuç olabileceği gibi, ilerleme oranına bağlı olarak yüzey dokusundaki tepe ve çukur bölgelerindeki oransal ölçü farklılıklarının bir sonucu da olabilir. Farklı ilerleme oranları ile yapılan deneylerin ve analiz yöntemlerinin çeşitlendirilmesi konu hakkında daha net çıkarımlar yapılmasına yardımcı olabilir.

AISI 4140 çeliğinin kaplamalı seramik uçlar ile tormalanması sırasında kesme derinliğinin aşınmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin görece düşük olduğu bildirilmiştir[13]. Deneylerin çoğunda sabit bir kesme derinliği (1mm) benimsenmiş olsa da ilgili özneliğin (G) değişen kesme derinliğindeki uyumunu da incelemek için bir adet 1.5 mm kesme derinliğinde deney gerçekleştirilerek G değerlerinin kesme derinliğine bağlı olarak da değişimi gözlemlenmiştir. Değişen kesme derinliklerine sahip deneylerin grafikleri (Deneysel 3 ve 8) Şekil 9’da gösterilmiştir. Kesme derinliğindeki artışa karşılık takım ömründe yarıya varan bir azalma gerçekleşmiştir. Deneysel 8 için düzenlenmiş R kare değeri ve eğim sırasıyla 0.48317 ve -0.81475 olarak bulunmuştur. Artan kesme derinliklerinde G değerlerinin ortalama (Deneysel 3 ve 7) düzenlenmiş R kare değeri 0.287134 olarak bulunmuştur.



Şekil 9. Artan kesme derinliğinde “Aşınma-Zaman” ve “G-Zaman” grafikleri

SONUÇ

Bu çalışmada tormalanmış yüzey imajları gri ton ortalamalarının(G) farklı kesme parametrelerinde yanak aşınması ile değişimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 8 adet tormalama deneyi gerçekleştirilmiş, deneyler beş adet farklı kesme hızı, üç adet farklı ilerleme oranı ve iki adet farklı kesme derinliği olacak şekilde düzenlenmiştir.

Değişen kesme hızlarında gerçekleştirilen deneylerde G değerlerinin artan aşınma ile beraber bir düşüş eğiliminde oldukları gözlemlenmiş fakat uyum(Düz. R² değerleri) düşük bulunmuştur. Kesme hızındaki artışla beraber uyumda bir iyileşme söz konusu olsa da Deneysel 1-5 ortalama uyum değeri (Düz. R²) 0.334492 olarak bulunmuştur.

Artan kesme hızları üzerinden gerçekleştirilen dinamik değişim analizinde, aşınmanın artan hızlardaki değişim oranı, G değerlerinin değişim oranı ile benzer bulunmuştur. İlgili değerlerin karşılaştırmalı grafiğinden; düzenlenmiş R kare 0.7667 olarak, eğim ise 0.8828 olarak hesaplanmıştır.

Artan ilerleme oranları ile düzenlenen deneylerde(Den. 3,6,7) G özneliğinin ortalama uyum değeri (Düz. R²) 0.124329 olarak bulunmuştur. Deneysel 6, -0.043899 düzenlenmiş R kare değeri ile en düşük uyum gösteren deney olmuştur. Deneysel 3(0.20mm/dev) ve Deneysel 6 (0.22 mm/dev) ‘da artan aşınma ile beraber G değerlerinde bir azalma gözlemlenirken, Deneysel 7 (0.24 mm/rev)’de artış gözlemlenmiştir.

Artan kesme derinliklerinde G değerlerinin ortalama (Deneysel 3 ve 7) düzenlenmiş R kare değeri 0.287134 olarak bulunmuştur.

Değerlendirmeler sonrası aşınma ile gri ton ortalama değerleri arasında düşük uyumlu fakat dinamik olarak benzer bir değişim olduğu sonucuna varılmıştır.

Keywords: Turning, Tool Wear Monitoring, Image Processing

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Trabzon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesine ve değerli öğretim elemanlarına, deneylerin yapılması için sağlanan olanaklar için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. Nath, C., “Integrated Tool Condition Monitoring Systems and Their Applications: A

- Comprehensive Review”, *Procedia Manufacturing*, 2020, Volume 48, pp. 852-863.
2. Mohamed, A., Hassan, M., M'Saoubi, R., Attia, H., “Tool Condition Monitoring for High-Performance Machining Systems—A Review.”, *Sensors* 2022, 22, 2206.
 3. Li, X., Liu, X., Yue, C., Liang, S.,Y., Wang, L.,“Systematic review on tool breakage monitoring techniques in machining operations.”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*,2022, Volume 176,103882.
 4. Kassim, A., Mannan, M., Jing, M. “Machine tool condition monitoring using workpiece surface texture analysis.”, *Machine Vision and Applications*, 2000, vol. 11, pp. 257–263.
 5. Ratnam, M.,M., “Factors Affecting Surface Roughness in Finish Turning”, *Comprehensive Materials Finishing*, 2017, vol. 1, pp. 1-25.
 6. Ramamoorthy, B., Radhakrishnan, V., “Statistical approaches to surface texture classification”, *Wear*,1993, vol.167, pp.155-161.
 7. Kassim, A.,A., Mannan, M.,A., ve Mian, Z.,” Texture analysis methods for tool condition monitoring”, *Image and Vision Computing*, 2007, vol. 25, pp. 1080-1090.
 8. Diaz-Saldaña, G., Osornio-Rios, R.A., Cruz-Albarran, I.A., Trejo-Hernandez, M. and Antonino-Daviu, J.A., 2022, October. CNC lathe tool wear analysis using image processing and stray flux. In *IECON 2022–48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 1-6). IEEE.
 9. Dutta, S., Pal, S.K. and Sen, R., 2016. Tool condition monitoring in turning by applying machine vision. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 138(5).
 10. Bhat, N.N., Dutta, S., Pal, S.K. and Pal, S., 2016. Tool condition classification in turning process using hidden Markov model based on texture analysis of machined surface images. *Measurement*, 90, pp.500-509..
 11. Datta, A., Dutta, S., Pal, S.K. and Sen, R., 2013. Progressive cutting tool wear detection from machined surface images using Voronoi tessellation method. *Journal of Materials Processing Technology*, 213(12), pp.2339-2349.
 12. Küllaç, M.T. and Çuvalcı, O., 2023. Correlation statistics of a Fourier transform feature with flank wear on different sections of turned surface images for real time monitoring applications. *Measurement*, 207, p.112399.
 13. Das, S.R., Dhupal, D., Kumar, A., Study of surface roughness and flank wear in hard turning of aisi 4140 steel with coated ceramic inserts, *J. Mech. Sci. Technol.* 29 (10) (2015) 4329–4340.