

# Nano-akışkan Aşındırıcı Toz Miktarının Yüzey Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi

## Investigation of the Effects of Nano-fluid Abrasive Powder Amount on the Surface Quality

Ahmet Emre ÖZCAN<sup>1</sup> , Mustafa AY<sup>2</sup> , Ayhan ETYEMEZ<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye, ahmetemreozcan@gmail.com

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye, muay@marmara.edu.tr

<sup>3</sup>Nikken Türkiye, Girne Mah. Irmak Sk., Küçükalyalı İş Merkezi, A Blok, No:5, 34852, İstanbul, Türkiye, ayhan@nikken.com.tr

### Öz

Bu çalışmada Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sistemine katılan aşındırıcı toz miktarı ve kesme hızına bağlı olarak işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülüğündeki değişimler incelenmiştir. Kesme hızı olarak (V:100, 120, 140 ve 160 m/dk) ve kesme yöntemi olarak (kuru, MMY, MMY+%1  $Al_2O_3$ , MMY+%2  $Al_2O_3$ , MMY+%4  $Al_2O_3$  ve MMY+%6  $Al_2O_3$ ) kesme parametreleri seçilmiştir. Deney malzemesi olarak yüksek sertliğe ulaşabilmek adına 59 HRC sertliğinde sertleştirilmiş 1.2379 soğuk iş takım çeliği seçilmiş olup, kesici uç olarak ise yüksek sertlikte tornalama işlemlerine dayanıklı olan CBN kesici uç seçilmiştir. Kesme sıvısına katılan aşındırıcı toz olarak  $Al_2O_3$  nanopartiküller kullanılmış, deney sonrasında yüzey kalitesindeki değişimleri görmek adına MAHR Perthometer M1 yüzey pürüzlülük ölçüm aleti kullanılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğüne, kesme hızının 160 m/dk ve hacimsel nano-akışkan konsantrasyonunun %4 olarak uygulandığı deneyde 0,888  $\mu m$  ile ulaşılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin en yüksek olduğu deney ise 100 m/dk kesme hızında kuru kesme işleminde ortaya çıkmıştır. Farklı parametreler ile yapılan deneyler karşılaştırıldığında kesme hızı ve nano-akışkan konsantrasyonundaki artışın yüzey kalitesine olumlu yönde etkisi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Minimum Miktarda Yağlama (MMY), nano-akışkan, yüzey pürüzlülüğü, soğuk iş takım çeliği, nano  $Al_2O_3$ .

### Abstract

In this study, changes in the surface roughness are investigated due to the concentration of nano-fluid and cutting speed. Cutting speed (V 100, 120, 140 ve 160 m/min) and cutting method (dry, MQL, MQL+%1  $Al_2O_3$ , MQL+%2  $Al_2O_3$ , MQL+%4  $Al_2O_3$  ve MQL+%6  $Al_2O_3$ ) cutting parameters selected. In order to achieve high hardness, hardened 1.2379 cold work tool steel was chosen which is 59 HRC and CBN insert was chosen for the resistant to high hardness.  $Al_2O_3$  nanoparticles were used as abrasive powder and MAHR Perthometer M1 was used for the measuring of surface roughness. When the results were examined, the best average surface roughness was reached with a rate of 160 m/min and volumetric nano-fluid concentration is %4. The average surface roughness value was worst in the dry cutting process at a cutting speed of 100 m/min. When the experiments were compared, it was found that the increase in the cutting speed and the concentration of nano-fluids had a positive effect on the surface quality.

**Keywords:** Minimum Quantity Lubrication (MQL), nano-fluid, surface roughness, cold work tool steel, nano  $Al_2O_3$ .

### I. GİRİŞ

Hassas ve çok adetli seri üretim işlemini gerçekleştirebilmek için üretilen parçalar yüksek hızda kesme işlemine tabi tutulmalıdır. Yüksek hızda kesme ise beraberinde bir takım problemleri getirmektedir. Bu problemler; takım ömrünün azalması, iş parçası yüzey kalitesinin bozulması ve tezgahın aşırı yüke maruz kalması olarak sıralanabilir. Talaş kaldırma operasyonlarında kesici takım ile iş parçası arasında oluşan yüksek ısı; takım ömrünün azalması ve iş parçası yüzey kalitesinin

bozulması problemlerinin başlıca kaynağıdır. Bu problemin çözümü için oluşan ısının kesme noktasından ivedilikle uzaklaştırılması gerekmektedir. Oluşan ısıyı uzaklaştırmak için kesme noktasına bor yağı vb. soğutma-yağlama sıvıları uygulanarak takım ömründe artış ve iş parçası yüzey kalitesinde düzelme görülmüştür [1]. Geleneksel soğutma sıvılarındaki maliyet artışıyla birlikte çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden özellikle talaşlı imalat işlemlerinde yerini MQL (Minimum Quantity Lubrication – Minimum Miktarla Yağlama) uygulamalarına yönelme sebep olmaktadır. MQL, geleneksel ve yüksek hızlarda metalik ve kompozit parçaların işlenmesinde teknolojik, ekonomik ve çevresel faydaları ispatlanmış bir soğutma-yağlama teknolojisidir. MQL’ de az miktarda biyo parçalanabilir (geri dönüşümlü) yağ damlacığı ile basınçlı hava karıştırılır ve kesme alanına püskürtülür. Bu durum kesme sıcaklığını ve kesici takım aşınmasını düşürür, yüzey kalitesini artmasına sebep olur [2]. MQL sisteminde kullanılan kesme sıvısına CNT, C60, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub> gibi nano-partiküllerin belirli oranlarda eklenmesi ile oluşan kesme sıvılarına ise nano-akışkan denmektedir. Nano-akışkanların termal iletkenlik özelliklerinin güçlü olması sayesinde kesme noktasında oluşan ısının ortamdan daha verimli olarak uzaklaşması sağlanmaktadır. Ayrıca nano-partiküllerin tribolojik özelliklerine bağlı olarak kesme noktasında iyi bir yağlanma sağlanmakta böylelikle kesme noktasındaki yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir [3].

Bu çalışmada farklı hacimsel konsantrasyonlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-partiküllerin katılmasıyla oluşturulan nano-akışkan, kesme noktasına püskürtülen kesme sıvısı olarak kullanılmıştır. Ayrıca farklı kesme hızları seçilerek yüzey pürüzlülüğüne kesme hızının da etkisi görülmek istenmiştir. Kesme sıvısı olarak farklı hacimsel konsantrasyonlarda nano-akışkan kullanımının yüzey kalitesine etkileri değerlendirilmiştir. Daha önce yapılmış olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-partikül katkılı nano-akışkanın kullanılmış olduğu deneyler incelendiğinde özellikle yüzey kalitesi üzerine çalışmalar yapıldığı ortaya çıkmaktadır. Lee vd. (2011) nano-elmas ve nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin katıldığı nano-akışkan kesme sıvısı kullanılan MQL sisteminin yüzey kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Seçmiş oldukları nano-partiküllerin yağlayıcı özelliklerinin soğutma özelliklerine göre daha ön planda olmasından dolayı daha yüzey kalitesinde iyileşme görüldüğünü ortaya koymuşlardır [3]. Vasu ve Reddy (2011) nano-partikül olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve baz sıvı olarak bitkisel bazlı yağ kullandıkları MQL sistemi ile Inconel 600 alaşımını işlemişlerdir. Farklı hacimsel konsantrasyonda nano-akışkan kullanarak yapmış oldukları deneylerin sonucunda, nano-akışkan konsantrasyon yüzdesinin artmasıyla yüzey kalitesinde iyileşme görmüşlerdir [4]. Mao vd. (2012) sertleştirilmiş

AISI 52100 çeliğini Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-partikül katkılı nano-akışkan kullanarak taşlamışlardır. Kesme sıvısı olarak nano-akışkan kullanımının taşlama noktasındaki sıcaklığı önemli ölçüde düşürdüğünü, yüzey morfolojisini iyileştirdiğini ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığını belirtmişlerdir [5]. Hadi ve Atefi (2015) AISI D3 çelik iş parçasını Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-partikül katkılı nano-akışkan kesme sıvılı MMY sistemi kullanarak frezelemişlerdir. Nano-partikül olarak seçilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonunun artmasıyla yüzey kalitesinde iyileşme elde etmişlerdir [6].

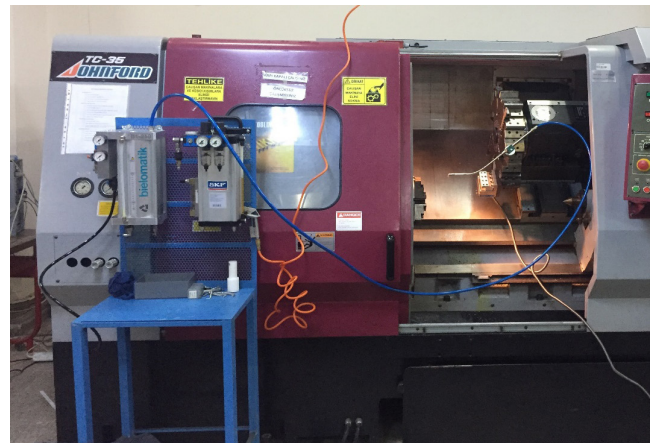
Yiğit vd. (2014) iş parçası olarak alüminyum alaşımı ve kesme sıvısı olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-partikül katkılı nano-akışkan seçerek, nano-akışkan kullanımının kesme işlemine etkileri üzerine yapmış oldukları araştırmada nano-akışkan kullanımının yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etkisini ortaya koymuşlardır [7].

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde JohnFord TC35 marka CNC torna tezgahı kullanılarak 235 HB sertlik değerinde DIN 1.2379 (SVERKER 21) soğuk iş takım çeliği seçilmiştir (Şekil 1). Kesme/makine bıçakları, vidalar/kovanlar, hassas zımbalama kalıpları ve damgalamada kullanılan bu malzeme deneylerde daha yüksek sertlik değerlerinde çalışmak amacıyla ısıl işleme sokulmuştur. Isıl işlem sonucunda malzeme 59 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Deneylerde kullanılan SVERKER 21 soğuk iş takım çeliği malzemesinin kimyasal özellikleri Tablo 1’ de verilmiştir. Deney malzemesinin çapı 28 mm ve boyu 150 mm’dir.

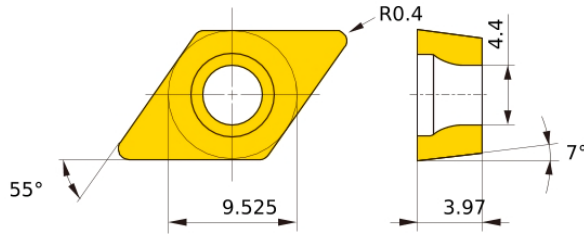
**Tablo 1.** SVERKER 21 soğuk iş takım çeliği malzemesi kimyasal özellikleri

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
1,54	0,31	0,37	0,018	0,0006	11,5	0,22	0,74	0,73	0,06



**Şekil 1.** JohnFord TC35 CNC torna tezgahı ve deney düzeneği

Deneylerde DCMW11T304 geometrisine sahip Sumitomo BN600 kalitesinde CBN kesici uç kullanılmıştır. Kesici ucun uç şekli  $55^\circ$ , Serbest açısı  $7^\circ$ , kesme kenar uzunluğu 11mm, kesici uç kalınlığı 3,97mm ve köşe radyüsü 0,4mm'dir (Şekil 2).



Şekil 2. Deneylerde kullanılan DCMW11T304 kesici uç geometrik şekli [8]

Kesme parametrelerinin belirlenmesinde malzemenin cinsi, tezgah özellikleri ve kesici takım firması katalog değerleri dikkate alınarak Tablo 2'deki kesme parametreleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

PARAMETRE	DEĞER
Kesme Yöntemi	Kuru; MQL; MQL+%1; MQL+%2; MQL+%4; MQL+%6
Kesme Hızı, V (m/dk)	100; 120; 140; 160
İlerleme, f (mm/dev)	0,1
Kesme Derinliği, a (mm)	0,1

Deneyin yapılacağı takım tezgahı ve deney şartları göz önünde bulundurularak harici MMY uygulamalarına uygun olan Bielomatik MQL 1-Channel System tercih edilmiştir (Şekil 3). Yapılan deneylerde Lubrioil cinsinden yağ kullanılmıştır.

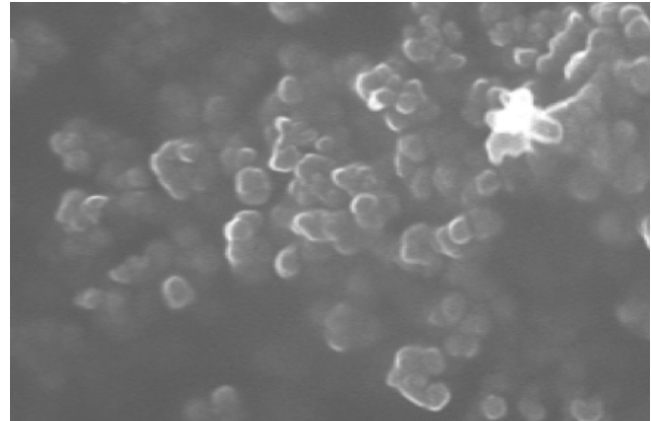


Şekil 3: Bielomatik MQL 1-Channel System [9]

Deneylerde kesme sıvısını nano-akışkan hale getirmek için, kesme sıvısına aşındırıcı toz olarak yüksek sertlik ve yüksek boyutsal stabilite gösteren  $Al_2O_3$  tozu katılmıştır. Precisa marka hassas tartı kullanılarak, işleme esnasında kesme sıvısının ağırlıkça %1, %2, %4 ve %6'sı olacak şekilde kesme sıvısına katılarak 4 farklı nano-akışkan kesme sıvısı oluşturulmuştur. Tablo 3' te deneylerde kullanılan  $Al_2O_3$  aşındırıcı tozunun teknik özellikleri yer almaktadır [10]. Şekil 4'te  $Al_2O_3$  aşındırıcı tozunun taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi görüntüsü yer almaktadır [3].

Tablo 3. deneylerde kullanılan  $Al_2O_3$  aşındırıcı tozunun teknik özellikleri [10]

Teknik Özellikler	
Safılık %	99,5+
Renk	Beyaz
Ortalama Partikül Boyutu (nm)	18
Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	140
Isı Kapasitesi (J/Kg.K)	890
Yoğunluk ( Kg/m <sup>3</sup> )	3900
Morfoloji	Dairesel



Şekil 4: Deneylerde kullanılan  $Al_2O_3$  aşındırıcı tozu SEM analizi görüntüsü [3]

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için DIN, ISO, CNOMO parametrelerinin seri ölçümlerini yapabilen, otomatik ve dinamik kalibrasyon özelliğine sahip, otomatik, 1,75/5,6/17,5 mm tarama boyu seçimli, profil çözünürlüğü 0,012  $\mu$ m, entegre termal yazıcı MAHR Perthometer M1 ölçü aleti kullanılmıştır.

Deney sonrasında iş parçası incelemeleri için; bilgisayar USB girişine bağlantı yapılabilen, 500 kata kadar büyütme özelliğine sahip dijital mikroskop kullanılmıştır.

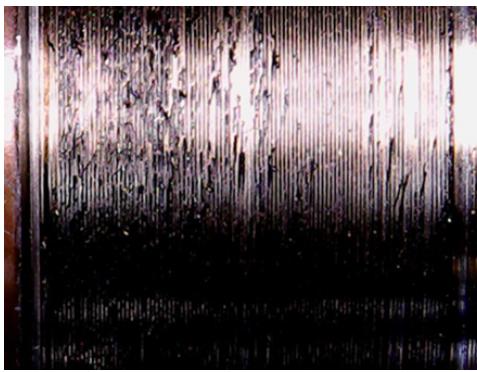
### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 4'te MQL sistemine katılan farklı miktarlarda aşındırıcı toz, farklı kesme hızları (V 100, 120, 140 ve 160 m/dk) ve farklı kesme yöntemlerine (kuru, MQL, MQL+%1  $Al_2O_3$ , MQL+%2  $Al_2O_3$ , MQL+%4  $Al_2O_3$  ve MQL+%6  $Al_2O_3$ ) bağlı olarak gerçekleştirilen deneyler gösterilmiştir. Bu parametrelerle yapılan işleme sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğünde ki değişimler Şekil 9-12'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5-8'deki dijital mikroskop altındaki iş parçasının işleme sonrası yapılan incelemelerinde ise kuru kesme ile nano-akışkan kullanılan MQL sisteminin kullanıldığı kesme yöntemi arasındaki yüzey kalitesi farkı görülmektedir.

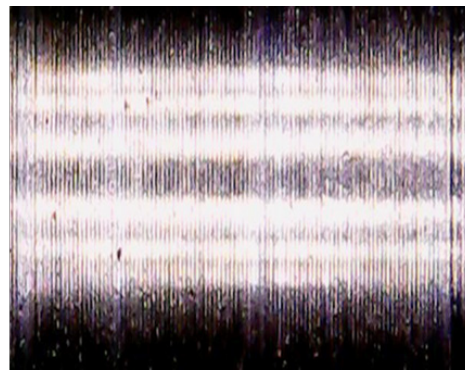
Aşağıdaki şekiller incelendiğinde; V=100, 120 ve 140 m/dk kesme hızı için ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra)'nın en düşük olduğu kesme yönteminin %6  $Al_2O_3$  hacimsel nanoakışkan konsantrasyonuna sahip olduğu deneylerde, V=160 m/dk kesme hızı uygulandığında ise en iyi yüzey kalitesinin %4  $Al_2O_3$  hacimsel nanoakışkan konsantrasyonun uygulandığı deneyde elde edildiği görülmüştür. Kesme hızının 100, 120 ve 140 m/dk alındığı deneyler incelendiğinde nanoakışkan konsantrasyonun artması yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki göstermiştir [6].

**Tablo 4.** Deney parametreleri; kesme hızı ve kesme yöntemi

Deney No	Kesme Yöntemi	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm)	Talaş Derinliği (mm)
Deney 1	Kuru Kesme	100	0,1	0,1
Deney 5	MQL			
Deney 9	MQL + %1 $Al_2O_3$			
Deney 13	MQL + %2 $Al_2O_3$			
Deney 17	MQL + %4 $Al_2O_3$			
Deney 21	MQL + %6 $Al_2O_3$			
Deney 2	Kuru Kesme	120	0,1	0,1
Deney 6	MQL			
Deney 10	MQL + %1 $Al_2O_3$			
Deney 14	MQL + %2 $Al_2O_3$			
Deney 18	MQL + %4 $Al_2O_3$			
Deney 22	MQL + %6 $Al_2O_3$			
Deney 3	Kuru Kesme	140	0,1	0,1
Deney 7	MQL			
Deney 11	MQL + %1 $Al_2O_3$			
Deney 15	MQL + %2 $Al_2O_3$			
Deney 19	MQL + %4 $Al_2O_3$			
Deney 23	MQL + %6 $Al_2O_3$			
Deney 4	Kuru Kesme	160	0,1	0,1
Deney 8	MQL			
Deney 12	MQL + %1 $Al_2O_3$			
Deney 16	MQL + %2 $Al_2O_3$			
Deney 20	MQL + %4 $Al_2O_3$			
Deney 24	MQL + %6 $Al_2O_3$			

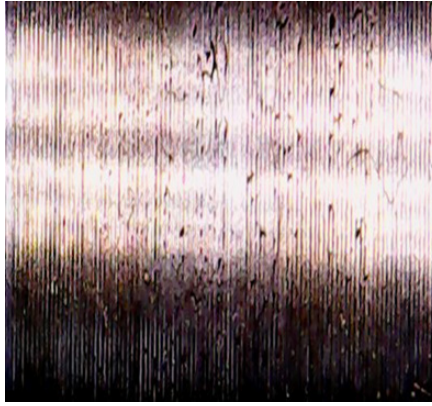


(Deney 1)

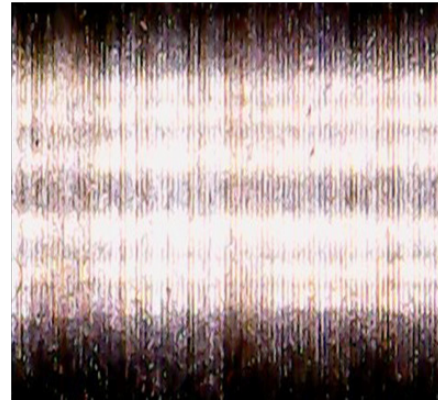


(Deney 21)

**Şekil 5:** V=100 m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+ %6  $Al_2O_3$  nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi

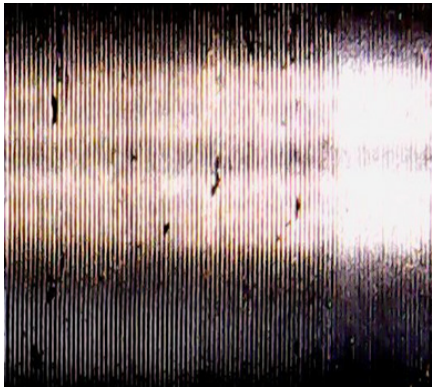


(Deney 2)

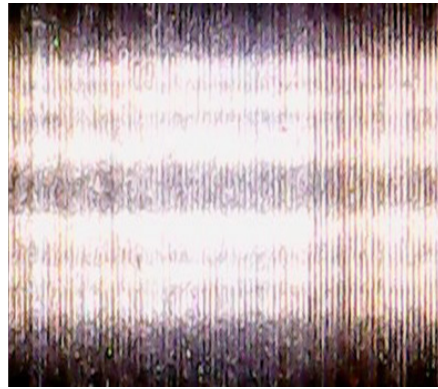


(Deney 22)

Şekil 6:  $V=120$  m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+%6  $Al_2O_3$  nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi



(Deney 3)

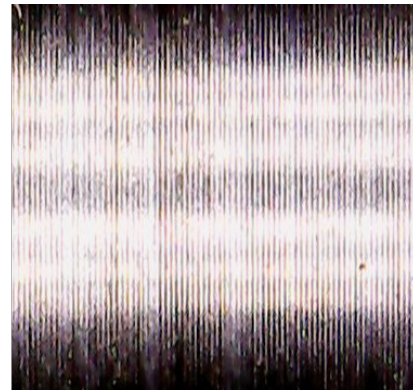


(Deney 23)

Şekil 7:  $V=140$  m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+%6  $Al_2O_3$  nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi



(Deney 4)

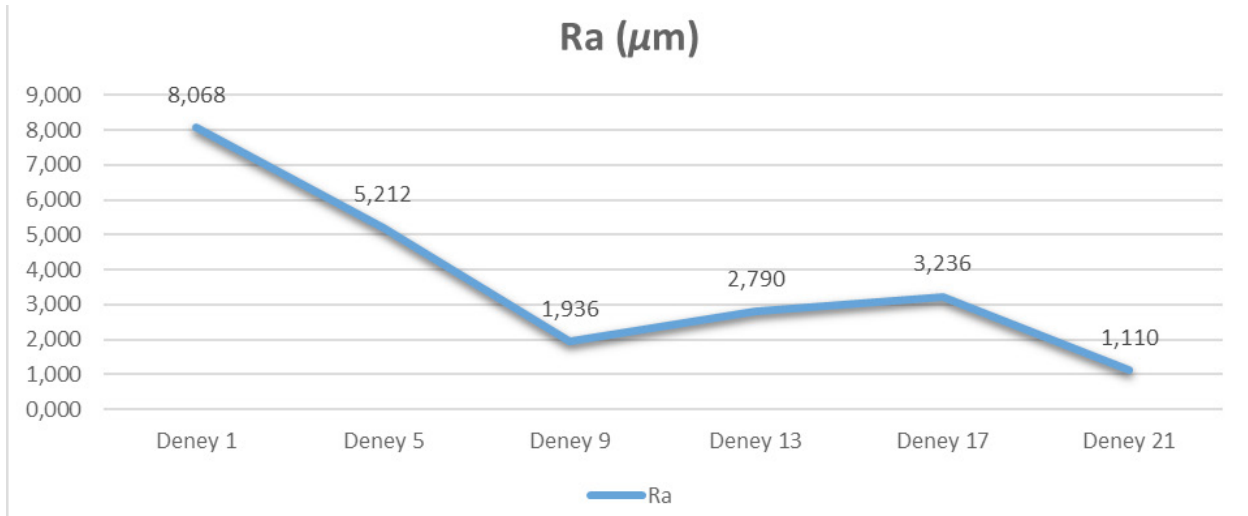


(Deney 20)

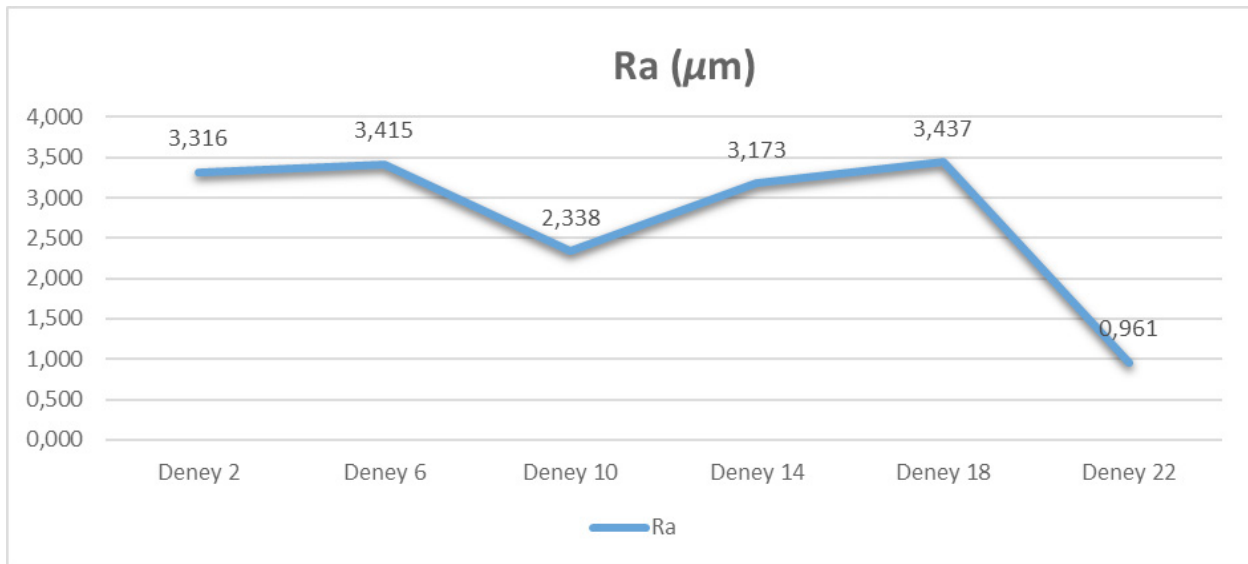
Şekil 8:  $V=160$  m/dk kesme hızında kuru kesme ve MQL+%4  $Al_2O_3$  nano-akışkanın kullanıldığı iş parçası yüzeylerinin dijital mikroskop altında incelenmesi

V=100, 140 ve 160 m/dk kesme hızlarında kuru kesmeye göre MQL sisteminin uygulanmasının yüzey kalitesine olumlu yönde etki ettiği görülmektedir. %1  $Al_2O_3$  hacimsel konsantrasyonda nano-akışkan kullanılan deneylerde ise V=100 ve 120 m/dk kesme hızlarında yüzey kalitesinde iyileşme görülürken V=140 ve 160 m/dk kesme hızlarında yüzey kalitesinde bozulma görülmüştür. 140 ve 160 m/dk kesme hızına çıkıldığında %1  $Al_2O_3$  konsantrasyonunun kullanıldığı soğutma sistemi uygulamasının yüzey

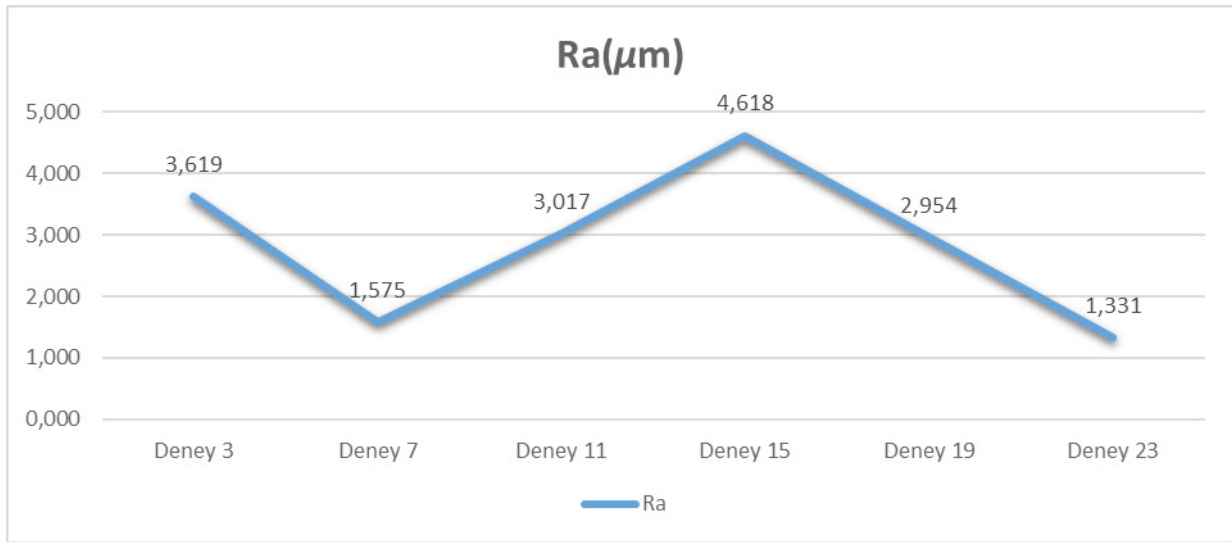
kalitesine yeterli şekilde etki etmediği görülmektedir. Hacimsel  $Al_2O_3$  konsantrasyonunun %2' nin üzerine çıkması ile birlikte yüzey kalitelerinde iyileşme görülmüş olup, %4  $Al_2O_3$  hacimsel konsantrasyona sahip olan 160 m/dk kesme hızında yapılan deney en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini vermiştir. Yukarıda bahsedilen literatür çalışmalarından da görüleceği üzere  $Al_2O_3$  nano-partiküllerin katıldığı nano-akışkan kullanılan deneyler yüzey kalitesine olumlu yönde etki göstermiştir.



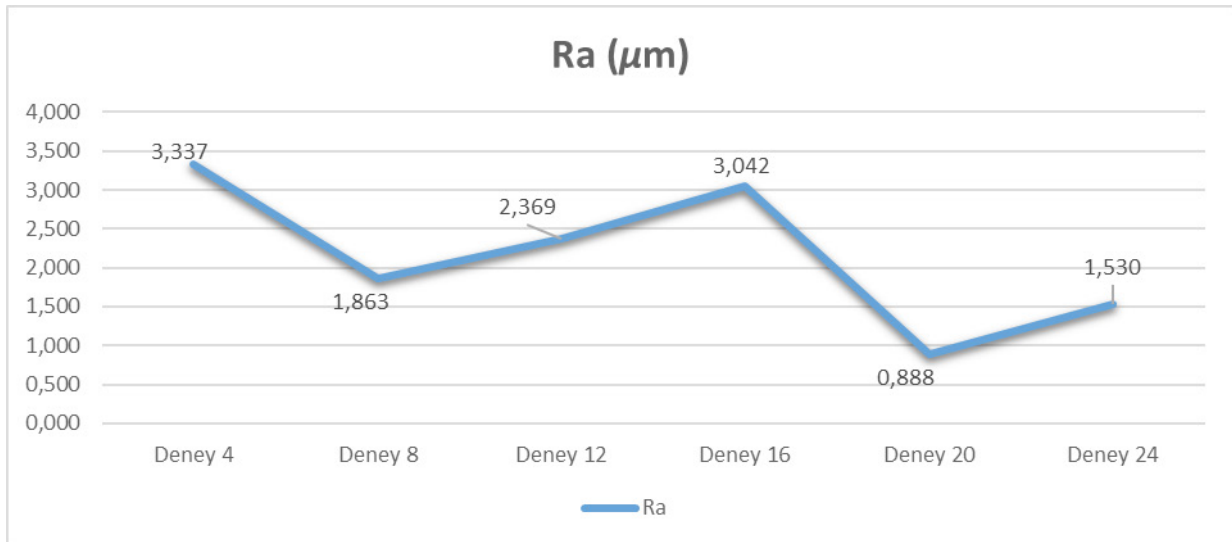
Şekil 9: Kesme hızı V=100 m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi



Şekil 10: Kesme hızı V=120 m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi



Şekil 11: Kesme hızı  $V=140$  m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi



Şekil 12: Kesme hızı  $V=160$  m/dk için kesme yöntemine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri değişimi

#### IV. SONUÇLAR

1.2379 sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliği deney numunelerinin CNC torna tezgahında, farklı kesme hızları ve MMY sistemine katılan farklı aşındırıcı toz miktarları ile işlenmesi sonucunda elde edilen deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

1- Bütün parametrelerin sabit tutulup sadece kesme hızının artırılmasının yüzey kalitesine olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

2- En iyi ortalama yüzey pürüzlülüğüne (Ra), kesme hızının 160 m/dk ve nanoakışkan konsantrasyonunun %4 olarak uygulandığı deneyde 0,888  $\mu\text{m}$  ile ulaşılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değerinin en yüksek olduğu deney ise 100 m/dk kesme hızında kuru kesme işleminde ortaya çıkmıştır. Bu iki sonuç göz önüne alındığında kesme hızındaki artışın ve nanoakışkan kullanılan MMY sisteminin yüzey kalitesine olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

- 3- Kuru kesme ile MMY sistemi karşılaştırıldığında, MMY sistemi kullanılan deneylerde ortalama yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür. MMY sistemi ile nano-akışkan katkılı MMY sistemi karşılaştırıldığında ise nano-akışkan katkılı MMY sisteminin daha iyi yüzey kalitesi oluşturduğu görülmüştür.
- 4- Kesme sıvısına katılan aşındırıcı toz olarak seçilen  $Al_2O_3$  nano-partiküllerinin konsantrasyonunun yüzey pürüzlülüğü üzerinde gösterdiği olumlu etki, MMY sisteminin ve katılan aşındırıcı toz miktarının önemini kanıtlamış, insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

### Teşekkür

Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen FEN-E-090.517.0273 numaralı proje kapsamında alınan ekipmanlar ile deneyler yapılmıştır.

### Kaynaklar

- [1] Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T. ve Erzincanlı, F. (2015). Minimum Miktarla Yağlama Tekniğinin Delme ve Taşlama Operasyonlarındaki Uygulamaları Üzerine Bir Derleme. 6. Ulusal Taşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 247-263.
- [2] Gürbüz, H., Baday, Ş., & Gönülaçar, Y. E. (2017). Minimum Miktarla Yağlamanın Frezeleme İşlemleri Üzerine Etkisinin Araştırılması: Derleme. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7(2/2), 59-78..
- [3] Lee, P. H., Nam, J. S., Li, C., & Lee, S. W. (2012). An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL). International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(3), 331-338..
- [4] Vasu, V., & Pradeep Kumar Reddy, G. (2011). Effect of minimum quantity lubrication with  $Al_2O_3$  nanoparticles on surface roughness, tool wear and temperature dissipation in machining Inconel 600 alloy. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part N: Journal of Nanoengineering and Nanosystems, 225(1), 3-16.
- [5] Mao, C., Tang, X., Zou, H., Huang, X. ve Zhou, Z. (2012). Investigation of Grinding Characteristic using Nanofluid Minimum Quantity Lubrication. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13 (10): 1745-1752.
- [6] Hadi, M. ve Atefi, R. (2015). Effect of Minimum Quantity Lubrication with Gamma- $Al_2O_3$  Nanoparticles on Surface Roughness in Milling AISI D3 Steel. Indian Journal of Science and Technology, 8 (S3): 130-135.
- [7] Yiğit, R., Yıldırım, S. ve Çelik E. (2013). The Improvement of Metal Cutting Processing Using  $Al_2O_3$  Nanoparticles. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 14 (2014): 441-445.
- [8] Mitsubishi Materials Web Catalogue, [http://www.mitsubishicarbonide.net/mhg/enuk/turning\\_inserts/no\\_srs/20042879](http://www.mitsubishicarbonide.net/mhg/enuk/turning_inserts/no_srs/20042879) (Eylül 2018)
- [9] Bielomatik MQL Systems, [https://www.bielomatik.com/file-admin/Dokumente/EN/Schmiersysteme/Brochure\\_MQL\\_EN\\_0316KL.pdf](https://www.bielomatik.com/file-admin/Dokumente/EN/Schmiersysteme/Brochure_MQL_EN_0316KL.pdf). (Aralık 2018)
- [10] Alüminyum oksit nanopartikül kimyasal özellikleri, <http://nanografi.com.tr/al2o3-aluminyum-oksit-nanopartikul-gama-18nm-safl-k-99-5-hidrofilik>. (Aralık 2018)



# Investigation on the Effect of Garment Fit on Thermal Transfer Performance of Clothing by Combining Non-Contact Measuring Tools

## Temassız Ölçüm Cihazları Kullanılarak Giysi Bedenlerinin Giysi Termal Transfer Performansına Etkisinin İncelenmesi

Sertaç GÜNEY<sup>1</sup> , Hilal BALCI<sup>2</sup> , İbrahim ÜÇGÜL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 32260, ISPARTA

<sup>2</sup>İstanbul Arel Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Moda Tasarımı Programı, 34295, İSTANBUL

### Abstract

Next-to-skin sportswear are generally produced from knitted stretch fabrics, which get extended on wearing and remain in the extended state. Since they are worn next to skin and are direct contact with the body surface, their thermal comfort properties are effective on overall clothing comfort. In this paper, an investigation has been made to evaluate the effect of garment fit and fabric extension on the thermal transfer performance of clothing. The method using the combination of infrared thermal camera and 3D virtual garment simulation has been developed considering the fabric extension and clothing surface temperature of different body parts. Two type T-shirts were produced by changing the bust and waist measurements and their thermal transfer performance were investigated in wear trials on subjects having different size. Fabric extension results were taken from virtual avatar in 3D simulation having the same body measurements as subjects. Temperatures changes on different body parts according to the wearing protocol were investigated in thermal camera software (Flir Tools). The experimental results show that compression garment fit and fabric extension influence the heat transfer and clothing surface temperatures. In the sportswear industry, Optimal garment fit should be defined for designing sportswear, especially for performance sportswear.

**Keywords:** Next-to-skin sportswear, garment fit, thermal comfort, 3D virtual simulation

### Öz

Vücuda tam oturan spor kıyafetleri genellikle, örme kumaşlardan üretilir ve giyildiğinde uzar ve uzamış halde vücut yüzeyinde kalırlar. Vücut yüzeyiyle doğrudan temas ettikleri için termal konfor özellikleri genel giysi konforunda etkilidir. Bu çalışmada, vücuda oturma durumunun ve kumaş uzamasının, giysinin termal transfer performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kızılötesi termal kamera ve üçboyutlu sanal giysi simülasyonunun birleşimini kullanan bu yöntem, farklı vücut bölgeleri üzerindeki kumaş uzamaları ve giysi yüzey sıcaklıkları dikkate alınarak geliştirilmiştir. Göğüs ve bel ölçümleri değiştirilerek iki tip tişört üretilmiş ve farklı beden ölçülerindeki katılımcılarla giyim denemeleriyle ısı transfer performansları incelenmiştir. Kumaş uzama değerleri, katılımcılarla aynı vücut ölçülerine sahip olan üçboyutlu simülasyondaki sanal mankenler üzerinden elde edilmiştir. Termal kamera yazılımıyla (Flir Tools) giyim denemesi protokolüne göre farklı vücut bölgelerindeki sıcaklık değişiklikleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, giysinin vücuda oturma durumunun ve kumaş uzamasının, ısı transferini ve giysi yüzey sıcaklıklarını etkilediğini göstermektedir. Spor giyim endüstrisinde, özellikle performans spor kıyafetlerinin tasarımında en uygun vücuda oturma oranı tanımlanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Vücuda oturan spor giysiler, vücuda oturma durumu, termal konfor, Üç boyutlu Sanal Simülasyon

### 1. INTRODUCTION

Compression sportswear has become attractive in personel or team sports in recent years. A pleasing contact perception, reasonable pressure profile and optimum thermal-moisture properties are fundamental to promote comfort and physical

performance and health to the athletes since these garments are typically designed to directly maintain contact with athlete’s body [1]. Compression garments elongates up to 10% in length and 60% in width when worn, depending on the variations in body circumference. This stretch also changes the loop shape, density and thickness of fabric. All these changes are expected to affect significantly the comfort behaviour of fabrics [2]. Heat and mass transfer through the garment is not only dependent on these properties of the fabrics used in the garment but also on the change in the contact area and the air gap thickness between the garment layers and outer adjacent air layer. The thickness of air layers and the magnitude of contact area can be affected by the mechanical properties of the fabric and the garment properties (various ease allowances due to the different fits and styles), moisture content, body posture and the movement of the body [3]. Compression sportswear are worn next to skin and are direct contact with the body surface and minimize the air gap thickness so that the fabric thermal comfort properties are effective on overall clothing comfort. Sport garments are at the interface between the human body and the environment and therefore modify the heat and mass transfers occurring at the skin surface. Clothing interacts with physiological and physical processes impacting skin temperature that can be assessed by infrared thermography. The assessment of sport garments, specifically their impact on the skin using this technique, enables great advances in the field of garment design and its consequence on sport performance and thermal comfort, both for recreational and professional athletes [4]. In this study, we determined the fabric extension on different body parts and related this with the clothing surface temperatures using the combination of infrared thermal camera and 3D virtual garment simulation.

## II. EXPERIMENTAL SET-UP AND PROCEDURE

### 2.1. Materials

Two type of tshirts were produced from the same stretch knitted fabric made of 86% Polyester and 14% Elastane. The fabric properties were given in Table 1.

**Table 1.** Fabric properties

Fibre Composition	Fabric Structure	Fabric Mass (g/m <sup>2</sup> )	Fabric Thickness (mm)	Air Permeability (l/ m <sup>2</sup> /s)	Thermal Resistance (m <sup>2</sup> K/W)
86% PES 14% Elastane	welt knitted	315	0.49	62.2	7.4

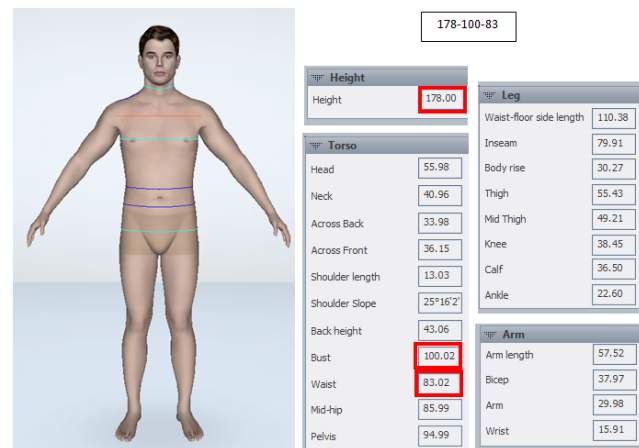
All the tshirts had the same style of sleeveless but the size gradually decreased at bust and waist girths. The measurements of tshirts are shown in Table 2.

**Table 2.** Measurements of experimental tshirts (cm)

Tshirt Code	Bust	Waist
G1	40	38
G2	38	36

### 2.2. Methods

Three men having Small, Medium and Large size with age 20 ± 2 years volunteered to participate in tests. They were provided with a participant informations sheet, informing the procedures of the experiment. The tests were conducted in a performance room at a temperature of 20± 2°C, relative humidity of 50± 5%. Before the tests, the garments were then hung in the environmental chamber for 24h before the test. Subjects entered the room and rested for 10 min to adapt to the room conditions. Each day only one subject was tested. The experiment consisted of two parts. Firstly, the body measurements of every subjects were measured by tape measure for the avatar in 3D virtual garment simulation (Figure 1).



**Figure 1.** Measurement points on body

The fabric properties were input into the simulations and the fabric extension maps were obtained and compared. In second part, the temperature distributions of clothing outer surface was detected by another non-contact measuring tool, infrared thermal camera (Flir E40 with 0.07°C thermal sensitivity). Subjects were asked to stand on footprints and keep the arm straight. The locations of infrared thermal camera and body posture were kept constant during the measurements. The infrared thermal measurements included

two steps, first subjects were asked to wear tshirts and body postures were photographed then subjects rested for ten min wearing tshirts and body postures were photographed again. The clothing surface temperatures were then analyzed by thermal imaging software (Flir Tools) to get the maximum, minimum and average temperatures on bust (B1), waist (B2) and hip (B3) sections. To investigate the regional fabric extensions on human torso, six sections (bust, waist, pelvis, back bust, back waist and hip) were simulated according to the height of the human torso. To measure the surface temperatures of clothing, six measuring areas were drawn on the frontal and rear infrared photos of upper body, corresponding to the sections of fabric extensions.

### III.RESULTS AND DISCUSSIONS

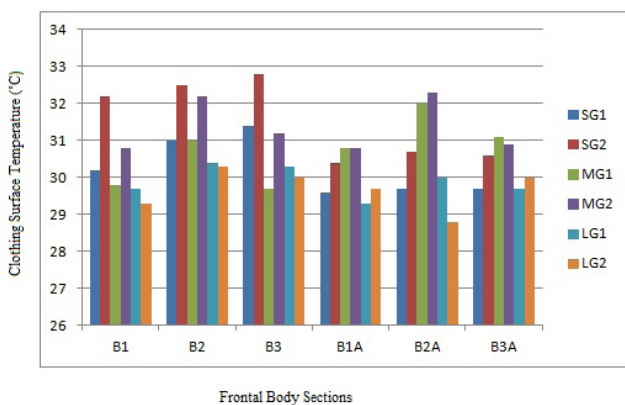
#### 3.1. Clothing Surface Temperatures on Body Sections

The thermal photographs of frontal and rear body sections were analyzed by Flir Tool Software (Figure 2).



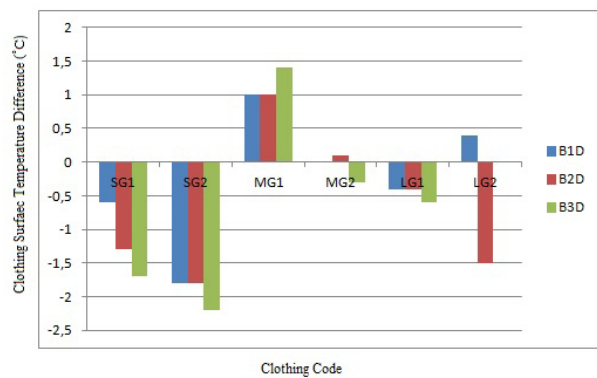
**Figure 2.** The thermal photographs of subjects having small, medium and large size respectively

The average clothing surface temperatures of six body sections of two tshirts (G1 and G2) are shown in Figure 3. It shows that the average temperatures when first worn (B1, B2 and B3) and after ten minutes resting (B1A, B2A and B3A).



**Figure 3.** The average clothing surface temperatures on frontal body sections.

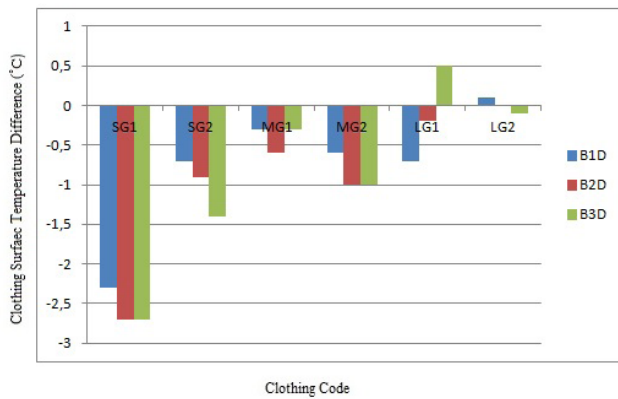
Three subjects having small, medium and large size, tried on two experimental tshirts (SG1, SG2, MG1, MG2, LG1 and LG2). The surface temperatures of on small size body (SG1 and SG2) have the lowest surface temperatures due to the highest air gap thickness. The SG1 and SG2 tshirts have not the close fitting as much as the others. After ten minutes, SG1 and SG2 shows the highest temperature decrease because the tshirts provide thermal isolation due to air gaps (Figure 4).



**Figure 4.** The clothing surface temperature differences on frontal body sections between first worn and after ten minutes

The surface temperatures of on medium size body (MG1 and MG2) show stable temperature changes. The tshirt MG1 have the highest temperature after 10 minutes resting. This case can help the body to decrease its core temperature. The tshirt MG2 shows almost the same temperature after 10 minutes resting. The tshirts LG1 and LG2 have the most closing fit form and the fabric extensions are much more the others (Figure 6). This case gives a negative effect on heat transfers and cause the body to lose its core temperature easily. The subject having large size mentioned that the tshirts were not so comfortable for himself.

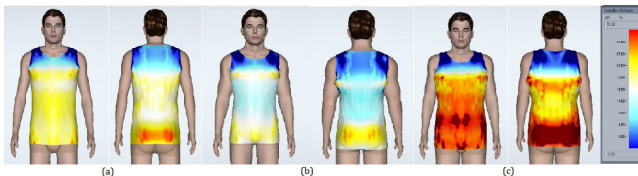
All the average surface temperatures on rear body sections shows decreasing because of the air gaps occurred on concave areas and large contact surface (Figure 5). The tshirt MG1 shows lowest temperature decrease taking into account all sections. The tshirt SM1 and SM2 provide thermal isolation due to air gaps again like the frontal body sections.



**Figure 5.** The clothing surface temperature differences on rear body sections between first worn and after ten minutes

**3.1.Fabric Extensions on Body Sections**

Fabric extension results were taken from virtual avatars in 3D virtual garment simulation (Modaris 3D) having the same body measurements. Figure 6 shows the results of G1 tshirt on avatars’ body having (a) small size (b) medium size (c) large size.



**Figure 6.** Fabric extensions of G1 tshirt on avatars’ body having (a) small size (b) medium size (c) large size

**IV.CONCLUSIONS**

In this study, we investigated the effect of garment fit and fabric extension on the thermal transfer performance of

clothing. Non-Contact Measuring Tools can help to compare the results easily. The experimental results show that compression garment fit and consequently fabric extension influence the heat transfer and clothing surface temperatures. In the sportswear industry, compression sports garment are worn next to skin and are direct contact with the body surface, their thermal comfort properties are effective on overall clothing comfort. Fabric extension within certain limits can help to control the body thermoregulation. The optimum fabric extension limits should be defined for better body thermal balance. So optimal garment fit should be defined for designing sportswear, especially for performance sportswear.

**Acknowledgements**

This study was supported by Academic Staff Training Program Coordination Unit of Suleyman Demirel University under Project Number: OYP05800-DR-13 and 20164747/SDU.05800

**References**

- [1] Liu, R., Little, T., & Williams, J. R. (2014). Compression form-fitted athletic wear: Pressure performance, moisture management properties under different tension ratios, and corresponding psychophysical responses. *Fibers and Polymers*, 15(3), 632-644.
- [2] Gupta, D., Chattopadhyay, R., & Bera, M. (2011). Comfort properties of pressure garments in extended state.
- [3] Mert, E., Böhnisch, S., Psikuta, A., Bueno, M. A., & Rossi, R. M. (2016). Contribution of garment fit and style to thermal comfort at the lower body. *International journal of biometeorology*, 60(12), 1995-2004.
- [4] Fournet, D., & Havenith, G. (2017). Assessment of Sport Garments Using Infrared Thermography. In *Application of Infrared Thermography in Sports Science* (pp. 159-183). Springer, Cham.

# Antibacterial Properties of Polyurethane / Benzalkonium Chloride Nanofibers

## Poliüretan/ Benzalkonyum Klorür Nanoliflerin Antibakteriyel Özellikleri

Ayşe Feyza ARSLAN<sup>1</sup> , Metin YÜKSEK<sup>2</sup> , Erdem TEZCAN<sup>3</sup> , Erkan İŞGÖREN<sup>4</sup> ,  
Derya SALTIK<sup>1</sup> , Mehmet AKALIN<sup>1</sup> , Onur YOLAY<sup>5</sup> 

<sup>1</sup>*Institute of Pure and Applied Sciences Textile Engineering, Marmara University, Istanbul, Turkey.*

<sup>2</sup>*Textile Engineering, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul, Turkey*

<sup>3</sup>*Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkey*

<sup>4</sup>*Textile Education, Faculty of Technical Education, Marmara University, Istanbul, Turkey,*

<sup>5</sup>*Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkey*

### Abstract

The textile sector brings us different functional features besides our need for dressing. One of them is to give antibacterial properties to textile structures. Antibacterial property increases the quality of life by protecting people against bacterial attacks. It is possible to achieve antibacterial activity at different stages of textile production processes. One of these processes is the electrospinning method, which makes it possible to add antibacterial substances into a polymer containing solution to be processed to a nanofiber structure.

In this study, nanofiber structures were obtained by electrospinning from polyurethane (PU)/benzalkonium chloride (BAC) solutions at different concentrations. Then, their morphological, mechanical and antibacterial characteristics were investigated.

According to the results, the produced fiber membranes had nanometer size. The nanofiber surfaces were intensive and uniform when BAC concentration was 0.5% and 1.0%. But, the uniformity lost at the higher BAC concentrations. The thinnest fiber diameter of nanofibers was 423±80nm. The strongest (6,42MPa) nanofiber structure was observed when the electrospinning solution included 0.98% PU and 1% BAC.

The antibacterial activities of the fabrics were tested against gram-negative (*E. coli* and *P. aeruginosa*) and gram-positive (*B. subtilis* and *S. aureus*) bacteria. The fabrics showed antibacterial activity with a dose dependent manner against all the tested bacteria by the order of *B. subtilis* > *S. aureus* > *E. coli* > *P. aeruginosa*.

**Keywords:** Electrospinning, benzalkonium chloride, antibacterial, nanofiber

### Öz

Tekstil sektörü, giyinme ihtiyacımız dışında bizlere farklı fonksiyonel özellikler de getirir. Bunlardan biri de tekstil yapılarına anti bakteriyel özellik kazandırmasıdır. Antibakteriyel özellik, insanları bakteriyel saldırılardan koruyarak yaşam kalitesini artırması hedefiyle yapılır. Tekstil üretim proseslerinin farklı basamaklarında antibakteriyel özellik kazandırma işlemi gerçekleştirilebilir. Bunlardan biri de elektroçekim yönteminde antibakteriyel maddelerin lif çekilecek polimere eklenmesiyle yapılmasıdır.

Bu çalışmada, nanofiber yapılar, farklı konsantrasyonlarda ki poliüretan (PU) / benzalkonyum klorür (BAC) çözeltilerinden elektroçekim ile elde edilmiştir. Daha sonra morfolojik, mekanik ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, üretilen lif membranları nanometre boyutuna sahiptir. Nanolif yüzeyler, BAC konsantrasyonu % 0.5 ve % 1.0 olduğunda yoğun ve homojendir. Ancak, homojenlik yüksek BAC konsantrasyonlarında kaybolmuştur. En kalın nanolif apı 423 ± 80 nm'dir. En dayanıklı (6,42MPa) nanolif yapısı, elektroçekim çözeltisi % 0,98 PU ve % 1 BAC içerdiğinde gözlenmiştir.

Yüzeylerin antibakteriyel aktiviteleri, gram negatif (*E. coli* ve *P. aeruginosa*) ve gram pozitif (*B. subtilis* ve *S. aureus*) bakterilere karşı test edilmiştir. Yapılar, test edilen tüm bakterilere karşı doz miktarına bağlı olarak, sırasıyla *B. subtilis* > *S. aureus* > *E. coli* > *P. Aeruginosa* antibakteriyel aktivite göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektroçekim, benzalkonyum klorür, antibakteriyel, nanolif

## I. INTRODUCTION

Nanotechnology is an emerging interdisciplinary area, with more and more relevance in all fields of science and technology. One of these fields is textile industry. Textiles have been experiencing nanotechnology benefits in a wide range of applications and were considered one of the most promising technological domains [1]. Electrospinning is as a very powerful method for creating and diverse kinds of microstructures [2]. Electrospinning has gained attention recently due to the development of advanced models to increase production rate. Thus, electrospun fibers are used in many applications such as textiles, filters, composites, sensors, tissue engineering, and catalysts [3].

Polyurethane (PU) polymer is a thermoplastic resilient elastomer that have excellent flexibility, good film/fiber forming property and resistance to solvents [4]. Benzalkonium chloride (BAC) belongs to the group of quaternary ammonium compounds, which are commonly used as antimicrobials, disinfectants or surfactants in industrial and household products [5].

Khil et al. used a fiber membrane produced from nanofibers obtained from electrospinning of the polyurethane polymer as a wound healing band. The membrane used as the wound healing dressing was produced at a thickness of 3.25  $\mu\text{m}$  and the water permeability measurement was  $6.525 \times 10^6$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cm Hg}$ ). The obtained PU membrane was found to have effective porosity [6]. Lakshman et al. used a network of polyurethane nanofibers containing silver nanoparticles produced by electrospinning for use in wound dressings. The fiber diameters were between 1.2-1.5  $\mu\text{m}$ . Silver nanoparticles increased conductivity and reduced fiber diameter. The conductivity of polyurethane without silver nanoparticles was 1.75  $\mu\text{S}$  and addition of silver nanoparticles at different concentrations increased the conductivity to 96  $\mu\text{S}$ . The fiber diameters are between 150 and 250 nm. The results showed that PU-silver nanofiber felts could be used for wound dressing applications. It can also be used for inhibition of bacterial colonization [7]. Li, Lou and Song studied the tendency of the direction-independent fiber mat produced by polyurethane electrospinning, the stress-strain curves and the maximum loading and breaking behavior. It

was seen that the increase of the mat thickness did not affect the maximum strain. However, the maximum load was directly proportional to the mat thickness. At the break point, the maximum tension was inversely proportional to the increase in thickness [8]. Unnithan et al. produced an antibacterial electrospun nanofiber in 400-700 nm size with polyurethane (PU) and two biopolymers such as cellulose acetate (CA) and zein. To prevent common clinical infections, streptomycin sulfate was added and antimicrobial abilities against gram negative and gram-positive bacterial strains were investigated. These studies showed that these advanced PU-CA-zein-streptomycin sulfate composite nanofibers could be used for burn, chronic and diabetic wound infections [9]. Toncheva and friends researched that Poly (L-lactide) (PLLA) and PLLA / poly (ethylene glycol) (PEG) polymers were prepared by electrospinning method with diclofenac sodium (DS), lidocaine hydrochloride (LHC), benzalkonium chloride (BAC), and their combinations. The PLLA/PEG containing BC (10 wt%), DS (30 wt%), DS/LHC (DS, 30 wt%; LHC, 30 wt%), and DS/LHC/BC (DS, 15 wt%; LHC, 15 wt%; and BC, 10 wt%) exhibited antibacterial activity against the pathogenic *S. aureus* bacteria [10].

The aim of this study is investigation of morphological, mechanical and antibacterial properties of fibers produced with electrospinning of polyurethane and benzalkonium chloride solutions in THF/DMF (50/50, w/w).

## II. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Materials

Polyurethane (PU) block co-polymer pellets (consists of dihenylmethane-4,4'-diisocyanate, adipic acid, ethylene glycol, ethylene oxide, polypropylene oxide, 1,4-butanediol and bisphenol A) were purchased from SMP Technologies Inc. (Japan). Dimethyl formamide (DMF) and tetrahydrofuran (THF) were selected to dissolve the polyurethane. Alkyl dimethylbenzylammonium chloride (benzalkonium chloride) (50%) was of analytical grade (Kimetsan) and used as received.

Main cultures of *Escherichia coli* ATCC 35218, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 25293 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 were supplied from Microbiologics.

Nutrient broth and nutrient agar (for *E. coli* and *B. subtilis* strains) and Trypticase Soy Broth and Trypticase Soy Agar (used for *S. aureus* and *P. aeruginosa* strains) culture media were supplied from Hi-media.

## 2.2. Methods

### 2.2.1. Preparation of polymer solution

10% polyurethane (PU) stock solution was prepared by dissolving 1g PU in 9g DMF/THF (50/50, w/w) for three hours. Then, according to Table 1, several amounts of the stock PU solution and 50% BAC solution was mixed, and the total mass was adjusted to 10g using 50/50% DMF/THF mixture. The solution was stirred for 1 hour before electrospinning. The ingredients and the final concentrations of the sample solutions to be electrospun were listed in Table 1.

**Table 1:** The final concentrations of the sample solutions for electrospinning. The concentrations were adjusted to 100% with DMF/THF (50/50, w/w) mixture

Sample Codes	PU (%)	BAC (%)
1	0.99	0.5
2	0.98	1.0
3	0.95	2.5
4	0.93	3.5
5	0.91	4.5

### 2.2.2. Nanofiber production by electrospinning method

The electrospinning device (Inovenso, NE300 Nanospinner) was used to produce nanofibers.

The solutions of PU alone or BAC+PU were put in syringes. Greaseproof paper was placed on the collecting plate to feed the nanofibers to this surface. The optimal parameters were 2 ml / h feeding rate, 27.5 cm tip to collector distance, 25 kV applied voltage, 100 rpm collector speed for 2 hours of application time. Experiments were carried out at varying temperatures ranging from 21 to 24 °C. The same machine parameters have been applied to all samples.

### 2.2.3. The viscosity and conductivity of solutions

The viscosity of the polymer solutions was determined by using viscometer (Brookfield DV-E Viscometer, USA). The viscosity measurement was performed with S21 spindle at 100rpm. The conductivity values of the polymer solutions were measured by conductivity meter (WTW Cond 3110, Germany). All the viscosity and conductivity experiments were carried out at room temperature.

### 2.2.4. Morphology of nanofiber structure

The morphologies of the electrospun nanofibers were analyzed with SEM images (JEOL JSM-5910 LV, Japan). The average fiber diameter of the PU/BAC nanofibers was measured by Image J software from the SEM images.

### 2.2.5. Mechanical tests

The mechanical properties are very important with regard to the performance of the samples. The thicknesses of the samples were measured in the horizontal and vertical directions by Mitutoyo Digital Thickness Comparator. The samples were tested by Instron 4411 Universal Test device in size of 50x10 mm (length x width).

### 2.2.6. Determination of antibacterial activity

ISO 20645:2004 method was mimicked to determine the antibacterial activity of wool samples [11]. The bacterial strains stored at 80°C were precultured in 10ml broth medium in shaking incubator at 37±1°C for 16h. The broth media were Nutrient Broth for *E. coli* and *B. subtilis* strains, Trypticase Soy Broth for *S. aureus* and *P. aeruginosa*. 10µl of the precultures were inoculated into the desired volume of fresh broth media. Approximate CFU numbers were estimated from McFarland densitometer measurement and the bacterial culture was produced by incubating at 37±1°C until the bacteria concentration reached 10<sup>8</sup> CFU/ml [12].

In order to test antibacterial activities of the samples, two-layered soft agar plates were prepared. The soft agar media were formulated by adding 7.5g/L Agar into the broth media described above. The lower layer was 10ml and did not contain any bacteria. The upper layer was 5ml and contained 100ml of the bacterial culture.

Later, each wool sample to be tested in 20mm x 20mm size was placed on the soft agar medium and the petri dishes were incubated at 37±1°C for 24 hours. For accuracy, the experiments were performed and repeated three times. The average diameter of the inhibition zones was calculated using Equation (1) [13]:

$$A = (B - C) / 2 \quad (1)$$

Where, A is the average diameter of clear inhibition zone in mm, B is the total diameter of inhibition zone including wool sample and clear zone in mm, and C is the length of the wool sample to be tested.

For comparison, 10ml of gentamycin stock solution was dropped on bacteria containing separate soft agar medium and diameter of the inhibition zone was measured after incubating at 37±1°C for 24 hours.

## III. RESULTS

### 3.1 Viscosity and Conductivity

The viscosity and conductivity values of all solutions were measured (Table 2).

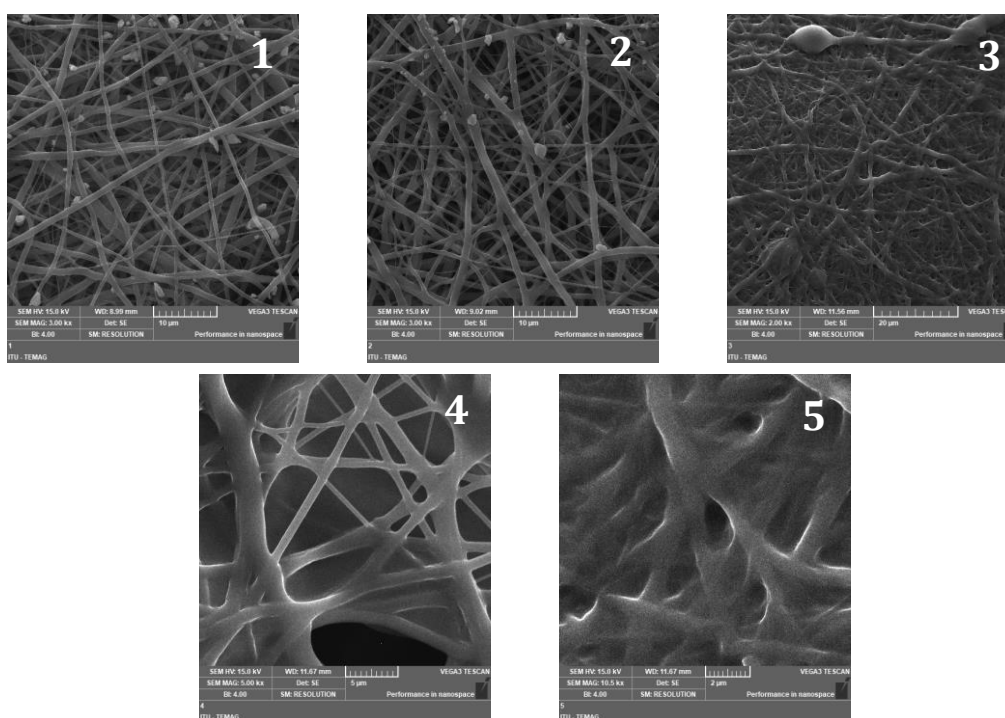
**Table 2:** The viscosity and conductivity of solutions

Sample codes	Conductivity (μS/cm)	Viscosity (cP – %)
1	223	170 cP %34
2	365	171 cP %34.2
3	844	176 cP %35.5
4	1222	134 cP %21
5	1377	155.5 cP %31.1

It was observed that the presence of benzalkonium chloride (BAC) in the solutions increases the conductivity. The viscosity values of solution started to increase in parallel to the first three BAC concentration. After this point, increase of BAC concentration fluctuated the viscosity. The highest viscosity was observed when the samples were electrospun from 2.5% BAC containing solution (Sample 3).

### 3.2. Morphology of the Samples

The morphologies of the electrospun nanofibers were analyzed with SEM images (Figure 1).

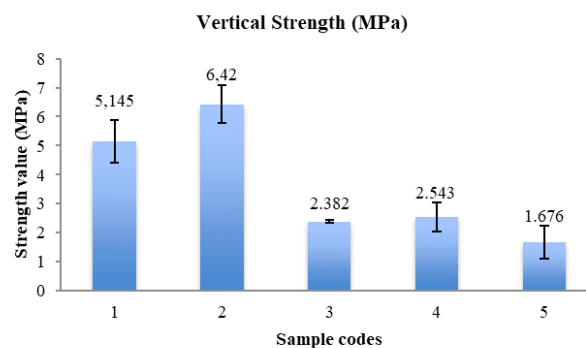


**Figure 1:** The SEM images of Samples 1-5.

When BAC concentration was 0.5%, the average diameter was 423±80nm (Sample 1). The average diameter was similar (427±35nm) when the BAC concentration was increased to 1.0% (Sample 2). The nanofiber surfaces of these (Sample 1 and 2) samples were intensive and uniform. However, further increase of BAC concentration prevented nanofiber formation. Therefore, the diameter of the samples 3-5 were not measured.

### 3.3. Mechanical Tests

Vertical and horizontal strength values of PU/BAC nanofiber membranes were measured (Figure 2 and Figure 3).



**Figure 2:** The measured vertical strength values of nanofiber membranes



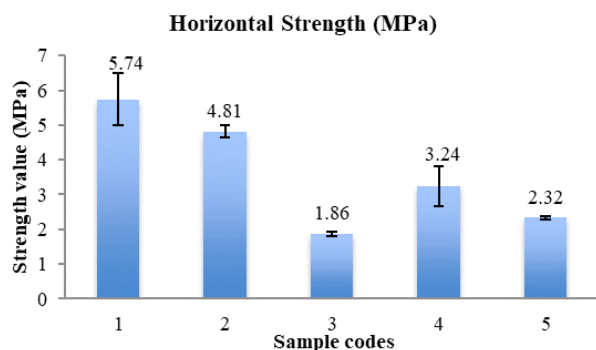


Figure 3: The measured horizontal strength values of nanofiber membranes

The highest vertical strength and horizontal strengths were observed at the lowest BAC concentrations (0.5% at Sample 1 and 1.0% at Sample 2). Increase in BAC concentration (2.5%-4.5%) caused a significant decrease in the vertical and horizontal strengths at Sample 3-5, where the nanofiber structure had not been observed at the SEM images. Therefore, BAC concentration should be  $\leq 1\%$  to protect vertical (Figure 2) and horizontal (Figure 3) strengths and to obtain nanofiber structures (Figure 1).

The thicknesses of the membranes were also measured and were shown at Figure 4.

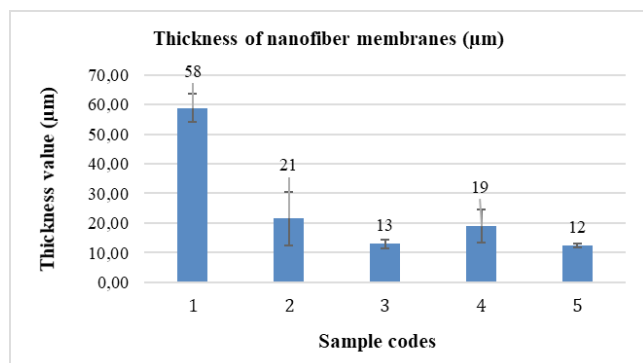


Figure 4: The thickness values of membrane structures

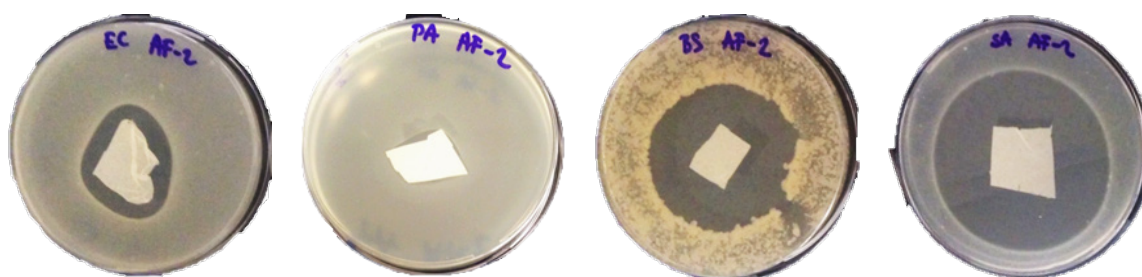


Figure 6: Antibacterial activity of Sample 2

The thickest membrane structure was observed at the lowest BAC concentration (0.5% at sample 1). The thickness decreased by increase of BAC concentration. Considering the mechanical properties, the optimal thickness (0.021mm) of nanofiber structure was obtained when BAC concentration was 1.0%.

### 3.4. Antibacterial Activity

The antibacterial activities were investigated, and their inhibition zone diameters were measured (Figure 5).

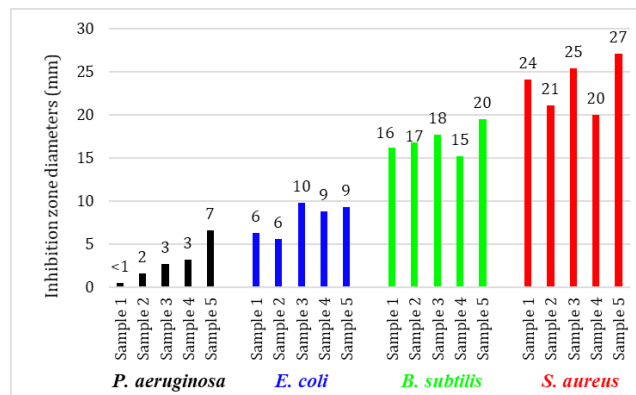


Figure 5: Inhibition zone diameters (mm) created by antibacterial activity of the samples

As shown at Figure 5, all the samples produced inhibition zones against all the tested gram negative and gram-positive bacteria. They were more effective against gram positive bacteria than gram negative bacteria. The inhibition zone diameters were observed in the following order: *P. aeruginosa* < *E. coli* < *B. subtilis* < *S. aureus*.

The inhibition zones were the smallest against *P. aeruginosa* bacteria and Sample 1 created very low (<1mm) inhibition zone. The zone diameters usually increased in parallel to increase in BAC concentration and the highest zone diameters were observed at the sample produced from the highest BAC concentration (Sample 5). The smallest BAC concentration for reasonable (>1mm) antibacterial activity against *P. aeruginosa* was 1.0%, which belongs to Sample 2. Sample 2 created inhibition zone against all the bacteria tested (Figure 6).

#### IV. CONCLUSION





In this study, nanofiber-based polyurethane was produced by vertical electrospinning method. Several variations were prepared by changing PU (0.99%-0.91%) and BAC (0.5%-4.5%) concentrations and the effect of these variations on morphological, mechanical and antibacterial properties were investigated. It was observed that the presence of BAC in the solutions increases the conductivity. Uniform and intensive nanofiber membranes were observed with average fiber diameter of  $427 \pm 35$  nm at 0.5% and 1.0% BAC concentrations (Samples 1 and 2). Further increase of BAC concentration disrupted the uniformity. These two samples, which were electrospun from 0.5% and 1.0% BAC containing PU solutions, also had the highest mechanical properties (vertical and horizontal strengths). All the samples caused inhibition zones against gram-negative bacteria (*E. coli* and *P. aeruginosa*) and gram-positive bacteria (*B. subtilis* and *S. aureus*), but the effect of Sample 1 (electrospun from 0.5% BAC containing solution) was very low (<1mm) against *P. aeruginosa*, the most resistant bacterium tested. At least 1.0% BAC concentration needed to have >1mm inhibition zone against *P. aeruginosa*. The most susceptible bacterium was *S. aureus* and all the samples caused  $\geq 20$  mm of inhibition zone against *S. aureus*. Increase of BAC concentration increased the inhibition zone diameter. By co-evaluating with morphological and mechanical properties, Sample 2, electrospun from 1.0% BAC + 0.98% PU containing solution, seems optimal for good mechanical and antibacterial properties.

#### REFERENCES

- [1] Matos, J. C., Avelar, I., Martins, M. B. F., & Gonçalves, M. C. (2017). Greensilica® vectors for smart textiles. *Carbohydrate polymers*, 156, 268-275..
- [2] Ju, J., Shi, Z., Fan, L., Liang, Y., Kang, W., & Cheng, B. (2017). Preparation of elastomeric tree-like nanofiber membranes using thermoplastic polyurethane by one-step electrospinning. *Materials Letters*, 205, 190-193..
- [3] Pal, J., Wu, D., Hakkarainen, M., & Srivastava, R. K. (2017). The viscoelastic interaction between dispersed and continuous phase of PCL/HA-PVA oil-in-water emulsion uncovers the theoretical and experimental basis for fiber formation during emulsion electrospinning. *European Polymer Journal*, 96, 44-54.
- [4] Guyomar, D., Lebrun, L., Putson, C., Cottinet, P. J., Guiffard, B., & Muensit, S. (2009). Electrostrictive energy conversion in polyurethane nanocomposites. *Journal of Applied Physics*, 106(1), 014910.
- [5] Gaber, M., Shawish, H. M. A., Khedr, A. M., & Abed-Elmonem, K. I. (2012). Determination of benzalkonium chloride preservative in pharmaceutical formulation of eye and ear drops using new potentiometric sensors. *Materials Science and Engineering: C*, 32(8), 2299-2305.
- [6] Khil, M. S., Cha, D. I., Kim, H. Y., Kim, I. S., & Bhattarai, N. (2003). Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 67(2), 675-679.
- [7] Lakshman, L. R., Shalumon, K. T., Nair, S. V., Jayakumar, R., & Nair, S. V. (2010). Preparation of silver nanoparticles incorporated electrospun polyurethane nano-fibrous mat for wound dressing. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 47(10), 1012-1018..
- [8] Li X., Lou, W., Song, R., (2009), Experimental Investigation of Polyurethane Electrospun Nanofibers Mat – Relationship Between Mechanical Property and Thickness, *IEEE 3rd International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering*, 1-4.
- [9] Unnithan, A. R., Gnanasekaran, G., Sathishkumar, Y., Lee, Y. S., & Kim, C. S. (2014). Electrospun antibacterial polyurethane–cellulose acetate–zein composite mats for wound dressing. *Carbohydrate polymers*, 102, 884-892..
- [10] Toncheva, A., Spasova, M., Paneva, D., Manolova, N., & Rashkov, I. (2011). Drug-loaded electrospun polylactide bundles. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 26(2), 161-172.
- [11] Yurudu, N. S., Erdem, A. K., & Yürüdü, N. Ş. (2008). The evaluation of antibacterial activity of fabrics impregnated with dimethyltetradecyl (3-(trimethoxysilyl) propyl) ammonium chloride. *European Journal of Biology*, 67(2), 115-122..
- [12] Cheng, C. L., Sun, D. S., Chu, W. C., Tseng, Y. H., Ho, H. C., Wang, J. B., ... & Yu, M. S. (2009). The effects of the bacterial interaction with visible-light responsive titania photocatalyst on the bactericidal performance. *Journal of biomedical science*, 16(1), 7.
- [13] Yurudu, N. S., Erdem, A. K., & Yürüdü, N. Ş. (2008). The evaluation of antibacterial activity of fabrics impregnated with dimethyltetradecyl (3-(trimethoxysilyl) propyl) ammonium chloride. *European Journal of Biology*, 67(2), 115-122.

# Effects of Carbon Nanotube-Phosphorus Based Flame Retardant Combinations on Flammability of Polypropylene

## Karbon Nanotüp-Fosfor Esaslı Güç Tutuşur Kombinasyonlarının Polipropilenin Güç Tutuşur Özelliğine Etkisi

Ayfer Irem KOCA<sup>1</sup> , Mustafa Erdem UREYEN<sup>2,3</sup> , Gamze YUKSEL<sup>1</sup> , Fadime KARAER<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> *Eskisehir Technical University, Department of Advanced Technologies, 26555, Eskisehir, Turkey*

<sup>2</sup> *Eskisehir Technical University, Fashion and Textile Design Department, 26470, Eskisehir, Turkey*

<sup>3</sup> *Eskisehir Technical University, Environmental Engineering Department, 26555, Eskisehir, Turkey*

### Abstract

The effects of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) on fire behavior of phosphorus-based flame retardant (PBFR)/polypropylene (PP) were investigated. Two different type phosphorus-based flame retardant that commercially available; ammonium polyphosphate-based (Exolit AP 760) and organic phosphorous-based (Aflammit PCO 900) powders were studied to enhance the flammability of polypropylene. Phosphorus-based flame retardant content was fixed at 8 wt% of total flame retardant (FR) formulation. MWCNTs was incorporated into FR formulation at four different concentrations (0.5 wt%, 1.0 wt%, 1.5 wt% and 2.0 wt%). All composites were prepared by melt compounding in a twin-screw extruder followed by injection molding technique. Thermal properties and flammability of the prepared samples were determined by thermogravimetric analysis (TGA), limiting oxygen index (LOI) and micro combustion calorimetry (MCC). Incorporation of organic phosphorous-based powder into PP matrix showed a better fire performance compared to ammonium polyphosphate-based flame retardant by resulting in an 11.6% higher LOI value. The LOI values decreased with the incorporation of MWCNTs into PP/PBFR combinations; however, they still increased the thermal stability of each respective system. The addition of 2.0 wt% MWCNTs decreased the LOI value of PP/organic phosphorous-based FR system 5.2% higher than PP/ammonium polyphosphate-based FR system. The heat release rate of PP reduced in the presence of both PBFRs, but; increased with the introduction of MWCNTs.

**Keywords:** Technical Textile, Flame Retardant, Polypropylene, Carbon Nanotube, Micro Combustion Calorimetry.

### Öz

Bu çalışmada çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT), fosfor esaslı güç tutuşur katkılı polipropilenin yanma davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen iki farklı tipteki fosfor esaslı güç tutuşur katkı, amonyum polifosfat esaslı Exolit AP 760 ve organik fosfor esaslı Aflammit PCO 900, polipropilenin güç tutuşur özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Fosfor esaslı güç tutuşur katkı oranı, bütün güç tutuşur formülasyonlarında %8 oranında sabit tutulmuştur. Çok duvarlı karbon nanotüpler dört farklı oranda (%0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0) güç tutuşur kompozisyonlara eklenmiştir. Bütün kompozitler çift vidalı ekstrüderde polimere katılmış, sonrasında enjeksiyon kalıplama tekniği kullanılarak kalıplanmıştır. Hazırlanan kompozitlerin termal özellikleri ve güç tutuşur özellikleri termogravimetrik analiz (TGA), limit oksijen indeksi (LOI) ve mikro yanma kalorimetresi (MCC) kullanılarak belirlenmiştir. Organik fosfor içeren güç tutuşur katkısı, amonyum polifosfat içeren güç tutuşur katkısına göre %11,6 oranında daha yüksek bir LOI değeri ile daha iyi bir güç tutuşur performans göstermiştir. Çok duvarlı karbon nanotüplerin ilavesi, polipropilen/fosfor esaslı güç tutuşur kombinasyonlarının LOI değerlerini düşürse de bütün sistemlerin termal stabilitesini yükseltmiştir. %2 oranında çok duvarlı karbon nanotüp ilavesinin polipropilen/organik fosfor esaslı kompozitin LOI değerini polipropilen/amonyum polifosfat esaslı kompozite göre %5,2 oranında daha fazla düşürdüğü görülmüştür. Her iki fosfor esaslı güç tutuşur varlığında polipropilenin ısı salınım hızı azalmıştır; ancak çok duvarlı karbon nanotüp ilavesi ile tekrar artmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Teknik Tekstil, Güç Tutuşur, Polipropilen, Karbon Nanotüp, Mikro Yanma Kalorimetresi.

## I. INTRODUCTION

Flame retardant polypropylene (PP) fibre is widely used in textile industry and related fields such as transportation, electric wire and cable, and decorative materials, due to its good processing performance, excellent chemical and thermal resistance in addition to its low cost [1]. PP burns rapidly without leaving a char residue due to its fully aliphatic carbon structure [2]. Phosphorous based flame retardant additives for PP have gain importance for more than 30 years after realizing the health and environmental impact of halogenated compounds because of toxic gas and smoke formation [3]. However, high levels of loading of phosphorous-based flame retardant additives are generally needed to achieve a reasonable flame retardancy which limits the applicability of polypropylene in some fields like fibre spinning [4]. By incorporating synergist additives into the system, the concentration of phosphorous based flame retardant (PBFR) additives can be reduced.

Carbon nanotubes (CNTs) are highly flame resistant and thermally anisotropic. They can be a good candidate as a synergist for the PP/PBFR combination. Low loading rate of CNTs (<3 wt%) has been reported to enhance the flame-retardant properties of different polymers [5-8]. CNTs are fascinated class of nanoparticles which act as a carbon source, forming a heat shield over the polymer layer. It has the protective layer with a continuous network structure that promotes the flame retardancy of the polymer composites. Kashiwagi et al. [9] revealed that multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) enhance the thermal stability of PP and significantly reduce the heat release rate of PP. On the other hand, Shahvazian and Seyedmir [10] found that MWCNTs interfere with thermal stabilization and flame retardation efficiency of both APP/PER and red phosphorus flame retardant systems in the PP.

The class of phosphorus-based flame retardants includes a broad range of inorganic and organic compounds, including phosphates, phosphonates, phosphinates, phosphine oxides, phosphates and red phosphorus [6]. In this work, two different types of PBFR were chosen to investigate their effects on the flammability of polypropylene in the presence/absence of CNTs; an inorganic PBFR (ammonium polyphosphate, Exolit AP 760) and an organic PBFR (cyclic phosphonate, Aflammit PCO 900). All samples were blended in twin screw micro compounder and injection moulded. Thermal properties and flammability of the prepared samples were determined by thermogravimetric analysis (TGA), limiting oxygen index (LOI) and micro combustion calorimetry (MCC).

## II. EXPERIMENTAL SET-UP AND PROCEDURE

### 2.1 Materials

APP-based IFR (Exolit AP 760, industrial) was obtained from Clariant Plastics and Coatings AG, Germany. Cyclic phosphonate (Aflammit PCO 900, industrial) was supplied by Thor GmbH, Germany. Isotactic polypropylene with a melt flow index (MFI) of 35 g/10 min (230°C, 2.16 kg) was used. Multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) (Purity: >95%, specific surface area: > 200 m<sup>2</sup>/g, average diameter of 10 – 20 nm, and length of 0.5 – 2 µm) were purchased from Grafen Co., Turkey. All the materials were used directly without further purification. APP-based IFR (Exolit AP 760) and cyclic phosphonate (Aflammit PCO 900) were represented by FR1 and FR2, respectively, within the entire text.

### 2.2 Methods

Reference PP and phosphorus-based flame retardants (PBFRs) were dried in a vacuum oven at 65 °C for 3 h before use and were mixed in the presence/absence of CNTs by using a mechanical mixer before processing. Samples were compounded by a twin-screw micro compounder operated at 180°C and moulded by injection (DSM Xplore, The Netherlands). The total content of phosphorus-based FR was kept constant (8 wt%) in the formulations. The loading of CNTs was differed from 0.5 wt% to 2.0 wt% to investigate its effect on the flammability of PP/PBFR composites (Table 1). The maximum loading of PBFRs and CNTs were held constant at 10 wt%. This maximum value was presumed to be an upper limit to consider their potential use for polypropylene fibre spinning [4].

**Table 1.** Sample compositions with respective LOI values

Sample ID	PP wt%	FR1 wt%	FR2 wt%	CNT wt%	LOI%
Ref PP	100	-	-	-	19.0
PP-CNT0.5	99.5	-	-	0.5	19.8
PP-CNT1.0	99.0	-	-	1.0	19.8
PP-CNT1.5	98.5	-	-	1.5	19.9
PP-CNT2.0	98.0	-	-	2.0	20.4
PP-FR1	92.0	8	-	-	20.7
PP-FR1-CNT0.5	91.5	8	-	0.5	20.7
PP-FR1-CNT1.0	91.0	8	-	1.0	20.4
PP-FR1-CNT1.5	90.5	8	-	1.5	20.4
PP-FR1-CNT2.0	90.0	8	-	2.0	19.8
PP-FR2	92.0	-	8	-	22.9
PP-FR2-CNT0.5	91.5	-	8	0.5	22.1
PP-FR2-CNT1.0	91.0	-	8	1.0	21.6
PP-FR2-CNT1.5	90.5	-	8	1.5	21.2
PP-FR2-CNT2.0	90.0	-	8	2.0	20.7

## III. ANALYSIS

The limiting oxygen index (LOI) values were measured by LOI test device (Concept Equipment, United Kingdom) according to ASTM D 2863.

Thermal analyses were carried out on a thermal analyser (Q600 SDT, TA Instruments, USA). Samples of  $10 \pm 0.1$  mg were heated in alumina pans from room temperature to  $800$  °C at a heating rate of  $10$  °C/min under nitrogen flow.

The micro-combustion calorimeter (MCC) tests were conducted according to ASTM D7309-2007 (Method A) using a micro calorimeter (FAA Micro Calorimeter, Fire Testing Technology, UK). About  $3$  mg sample was heated from  $150$  °C to  $750$  °C using a heating rate of  $1$  °C/s in a continuous stream of nitrogen flow ( $80$  cm<sup>3</sup>/min). The thermal decomposition products (also called “fuel gases”) were mixed with the stream of oxygen ( $20$  cm<sup>3</sup>/min) before entering a  $900$  °C combustion furnace to calculate the data that were determined by oxygen consumption.

## IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

### 4.1 Limiting Oxygen Index (LOI) Test

The LOI value of reference PP (19%) increased to 19.8% by the addition of only a small amount of CNTs (0.5 wt%). Incorporating more CNTs did not further increase the LOI up to the addition of 2 wt% which improved the LOI to 20.4%. When 8 wt% of ammonium polyphosphate-based and organic phosphorous-based FRs were introduced in the PP matrix, LOI value of reference PP increased to 20.7% and 22.9%, respectively (Table 1). Incorporation of 0.5 wt% CNTs did not alter the LOI value of PP/FR1 blend. The addition of 1.0 wt% CNTs to this system resulted in a slight decrease in LOI value. When 1.5 wt% CNTs was introduced, the LOI value remained constant; however, further decreased by the addition of

2.0 wt% CNTs. For the PP/FR2 system, the addition of CNTs reduced the LOI down even in small amounts (0.5 wt%). The higher amount of CNTs was incorporated the more reduction of LOI was concluded. Adding 2.0 wt% CNTs into PP/PBFR system decreased the LOI value by 4.4% and 9.6% for samples extruded with ammonium polyphosphate-based and organic phosphorous-based FRs, respectively.

### 4.2 Thermogravimetric Analysis (TGA)

TG and DTG curves of all investigated systems are shown in Figure 1. The detailed thermal decomposition temperatures are shown in Table 2.  $T_{max}$  is defined as the temperature of the maximum weight loss rate.

TGA curves revealed that a single stage decomposition had occurred for PP/CNT (Figure 1a) and PP/FR1/CNT (Figure 1c) samples initiated above  $350$  °C. For the PP/FR2 system, all flame-retardant formulations showed a two-step decomposition process that starts at around  $250$  °C and  $389$  °C for first and second steps, respectively (Figure 1d). Reference PP showed a maximum of weight loss at  $454.6$  °C.

For the PP/FR1 system, the onset temperature did not alter compared to reference PP. The addition of ammonium polyphosphate (FR1) to PP did not result in a change of the maximum mass loss rate, however,  $T_{max}$  increased from  $454.6$  °C to  $463.3$  °C. The maximum mass loss rate resulted in a gradual rise with an increase of CNTs loading, exhibiting a higher  $T_{max}$ . Incorporation of CNTs to this system shifted the mass loss temperatures at 10 wt% and 50 wt% towards higher temperatures when the amount of CNTs in the PP matrix was increased. The

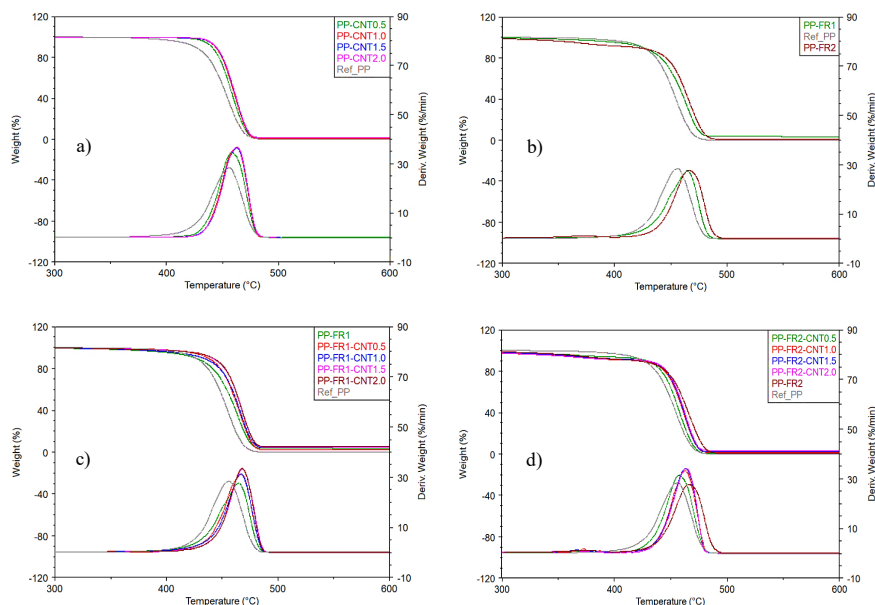


Figure 1. TG and DTG curves of a) PP/CNT, b) PP/FR1-FR2, c) PP/FR1/CNT and d) PP/FR2/CNT systems

residual masses at 500 °C and 700 °C were also increased with the addition of CNTs to this system (Table 2).

For the PP/FR2 system, the onset temperature shifted 17.5 °C lower compared to reference PP.  $T_{max}$  of reference PP increased from 454.6 °C to 456.4 °C by the addition of organic phosphorous compound (FR2), remaining the maximum mass loss rate almost intact. After the incorporation of increased loading of CNTs, both the maximum mass loss rate and  $T_{max}$  of these samples were increased correspondingly. Similar to PP/FR1 system, decomposition temperatures at 10 wt% and 50 wt% shifted towards higher temperatures by the incorporation of an increased amount of CNTs. Residue formation at 500 °C and 700 °C increased from the addition of CNTs (Table 2).

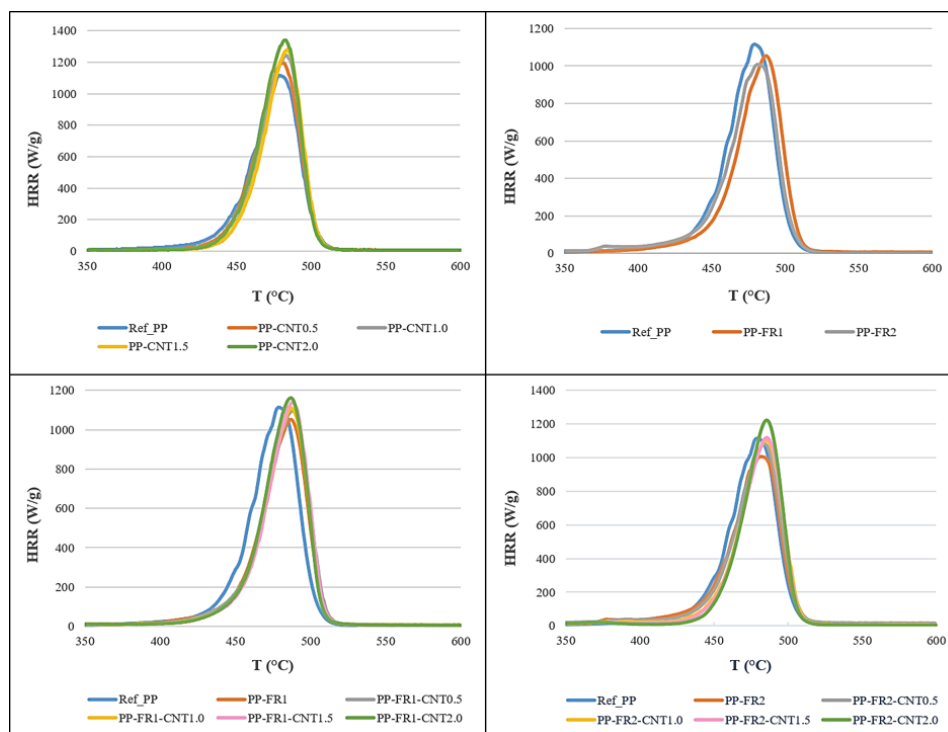
**Table 2.** TGA data of the samples under nitrogen

Sample ID	$T_{10\%}$	$T_{50\%}$	$T_{max}$	Residue @ 500°C (%)	Residue @ 700°C (%)
Ref_PP	425.8	451.2	454.6	0.26	0.22
PP-CNT0.5	440.6	456.0	456.7	1.00	0.84
PP-CNT1.0	443.9	459.2	463.4	1.04	0.96
PP-CNT1.5	444.2	459.8	463.5	1.33	1.25
PP-CNT2.0	444.4	459.9	463.6	1.61	1.56
PP-FR1	425.8	458.2	463.3	3.61	2.61
PP-FR1-CNT0.5	432.6	461.7	465.4	3.71	3.10
PP-FR1-CNT1.0	437.1	462.5	466.6	4.67	4.30
PP-FR1-CNT1.5	440.9	464.7	467.9	4.81	4.37
PP-FR1-CNT2.0	441.4	464.8	468.1	5.48	5.09
PP-FR2	408.2	454.0	456.4	0.29	0.16
PP-FR2-CNT0.5	428.3	454.9	457.5	0.56	0.49
PP-FR2-CNT1.0	422.0	458.3	462.5	1.58	1.47
PP-FR2-CNT1.5	428.6	458.9	463.1	2.10	1.97
PP-FR2-CNT2.0	428.3	459.5	463.6	3.26	3.19

### 4.3 Micro Combustion Calorimetry (MCC) Test

MCC was utilized to assess the flammability of reference PP and its PBFR composites in the presence/absence of CNTs. The HRR versus temperature curves are depicted in Figure 2 and the corresponding heat release parameters are listed in Table 3. HRR is the most important parameter in characterizing combustion behaviours, evaluating and predicting fire hazards of flammable materials [11]. PHRR refers to the highest rate of heat release that a flammable material can produce. The higher the PHRR is, the more destruction a flammable material will cause under fire scenario.

PP is a highly flammable material with a peak heat release rate (PHRR) of 1134.7 W/g, heat release capacity (HRC) of 1164.0 J/(gK), total heat release (THR) of 43.9 kJ/g and temperature at PHRR ( $T_{PHRR}$ ) of 478.4 °C. With the addition of FR1 in PP matrix, the PHRR decreased significantly from 1134.7 to 1078.5 W/g (5.0% reduction); and HRC decreased from 1164.0 to 1102.0 J/(gK). When FR2 was introduced to PP matrix, the PHRR decreased significantly from 1134.7 to 1023.7 W/g (9.8% reduction); and HRC decreased from 1164.0 to 1045.0 J/(gK). The reduction of HRR and HRC could be attributed to a barrier effect formed by the FR additives which protects the PP composite by forming a char layer during combustion [12]. However, incorporation of both PBFRs caused an increase of  $T_{PHRR}$  from 478.4 °C to 486.8 and 483.6 °C for FR1 and FR2, respectively.



**Figure 2.** Heat release rate (HRR) curves over temperature for a) PP/CNT, b) PP/FR1-FR2, c) PP/FR1/CNT and d) PP/FR2/CNT systems

When introduced small amounts of CNTs such as 0.5 wt% in FR formulation; PHRR, HRC and  $T_{\text{PHRR}}$  values of both reference PP and PP/PBFR systems increased. The more loading of CNTs lead to a considerable rise in those values, nevertheless, resulted in a clear decrease of THR. One exemption to this tendency occurred by the addition of 2.0 wt% CNTs; THR values of all FR systems increased then.

**Table 3.** MCC data of the samples

Sample ID	HRC (J/(g K))	PHRR (W/g)	THR (kJ/g)	$T_{\text{PHRR}}$ (°C)
Ref PP	1164.0	1134.7	43.9	478.4
PP-CNT0.5	1227.2	1202.5	42.8	482.3
PP-CNT1.0	1276.0	1249.8	42.3	484.7
PP-CNT1.5	1279.0	1257.8	40.5	485.1
PP-CNT2.0	1328.3	1302.2	43.2	483.8
PP-FR1	1102.0	1078.5	40.8	486.8
PP-FR1-CNT0.5	1102.2	1090.0	40.7	488.5
PP-FR1-CNT1.0	1147.8	1120.2	39.9	488.6
PP-FR1-CNT1.5	1157.2	1128.8	39.8	489.7
PP-FR1-CNT2.0	1169.7	1136.7	40.0	488.7
PP-FR2	1045.0	1023.7	41.0	483.6
PP-FR2-CNT0.5	1128.0	1108.8	40.7	482.3
PP-FR2-CNT1.0	1129.0	1112.2	40.2	485.8
PP-FR2-CNT1.5	1131.0	1115.0	40.0	486.4
PP-FR2-CNT2.0	1179.8	1150.5	40.6	485.4

## V. CONCLUSIONS

Incorporation of organic phosphorous-based flame retardant into PP matrix showed a better fire performance compared to ammonium polyphosphate-based FR by resulting 11.6% higher LOI value. When CNTs added to both PP/phosphorous-based flame retardant system, the antagonistic effect was found and LOI of these systems (8 wt%) were decreased. Only the LOI value of PP/ammonium polyphosphate-based FR system remained constant when 0.5 wt% CNTs incorporated. The addition of 2.0 wt% CNTs decreased the LOI value of PP/organic phosphorous-based FR system 5.2% higher than PP/ammonium polyphosphate-based FR system.

The addition of the PBFR additives increased the onset temperature of decomposition compared to reference PP. The residual mass of samples was also increased with the content of the PBFR additives; however, the addition of ammonium polyphosphate-based FR resulted in more residue after burning compared to organic phosphorous-based FR.

The addition of CNTs to reference PP and PP/FR1 systems changed the onset temperature of decomposition substantially. However, it showed only a slight increase in the onset temperature of PP/FR2 system. The mass loss temperatures at 50 wt% also increased by the addition of CNTs to both reference PP and PP/PBFR systems. The residual

masses at 500 °C and 700 °C were also increased with the addition of CNTs for all systems.

Incorporation of FR2 to PP decreased the PHRR values of reference PP two times higher than FR1. Further addition of CNTs to all systems concluded an increase of PHRR. Temperature of peak heat release rate increased also for all loading of additives. THR values of all samples declined except the ones extruded with 2.0 wt% CNTs.

## Acknowledgments

This study was supported by Eskişehir Technical University Scientific Research Projects Commission under grant no. 1404E292.

## References

- [1] Du, B., Guo, Z., & Fang, Z. (2009). Effects of organo-clay and sodium dodecyl sulfonate intercalated layered double hydroxide on thermal and flame behaviour of intumescent flame retarded polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 94(11), 1979-1985.
- [2] Zhang, S., & Horrocks, A. R. (2003). A review of flame retardant polypropylene fibres. *Progress in Polymer Science*, 28(11), 1517-1538.
- [3] Antoš, K., & Sedlář, J. (2005). Influence of brominated flame retardant thermal decomposition products on HALS. *Polymer Degradation and Stability*, 90(1), 188-194.
- [4] Horrocks, A. R. (2011). Flame retardant challenges for textiles and fibres: new chemistry versus innovatory solutions. *Polymer Degradation and Stability*, 96(3), 377-392.
- [5] Kim, Y. S., & Davis, R. (2014). Multi-walled carbon nanotube layer-by-layer coatings with a trilayer structure to reduce foam flammability. *Thin Solid Films*, 550, 184-189.
- [6] Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J.-M., & Dubois, P. (2009). New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 63(3), 100-125.
- [7] Liang, S., Neisius, N. M., & Gaan, S. (2013). Recent developments in flame retardant polymeric coatings. *Progress in Organic Coatings*, 76(11), 1642-1665.
- [8] Yin, X., Krifa, M., & Koo, J. H. (2015). Flame-Retardant Polyamide 6/Carbon Nanotube Nanofibers: Processing and Characterization. *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, 10(3).
- [9] Kashiwagi, T., Grulke, E., Hilding, J., Harris, R., Awad, W., & Douglas, J. (2002). Thermal degradation and flammability properties of poly (propylene)/carbon nanotube composites. *Macromolecular rapid communications*, 23(13), 761-765.
- [10] Shahvazian, M., & Seyedmir, M. R. (2012). Effects of MWNTs on Flame Retardation and Thermal Stabilization Performance of Phosphorus-containing Flame Retardants in Polypropylene. *Orient. J. Chem.*, 28, 1631-1637.

- [11] Babrauskas, V., & Peacock, R. D. (1992). Heat release rate: the single most important variable in fire hazard. *Fire safety journal*, 18(3), 255-272.
- [12] Rabe, S., Chuenban, Y., & Scharrel, B. (2017). Exploring the modes of action of phosphorus-based flame retardants in polymeric systems. *Materials*, 10(5), 455.



# Investigation of Water Permeability of Ultrasonic Seaming on PU Coated Fabrics

## PU Kaplamalı Kumaşlarda Ultrasonik Dikişin Su Geçirgenliğinin Araştırılması

Ayşe ŞEVKAN MACİT<sup>1</sup> , Bahar TİBER<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Uşak University, Engineering Faculty, Textile Engineering Department, 1 Eylül Kampüsü, Uşak, Türkiye

### Abstract

Technical textiles take an important place in textile and apparel sector. In technical textiles, ultrasonic seaming method besides conventional seaming methods is one of the alternative methods used in seaming processes of functional textiles. In this study, the effects of ultrasonic seaming method in which needle and thread usage is not needed on waterproofing property of PU coated fabrics in comparison with conventional seaming methods were investigated. Sewn fabrics obtained with different seaming parameters were exposed to washing process and the waterproofing properties of these fabrics were tested considering before and after washing processes. The results evaluated in terms of seam type, fabric type, ultrasonic seaming velocity and washing process were statistically analyzed. According to the test results, waterproofing properties of ultrasonically sewn fabrics are higher than that of conventionally sewn fabrics. The difference between waterproofing values of ultrasonically and conventionally sewn fabrics are found to be statistically significant. It is determined that waterproofing property of the fabrics are in relation with the other parameters.

**Keywords:** Ultrasonic seam, water permeability, coated fabric

### Öz

Teknik tekstiller, tekstil ve konfeksiyon sektöründe önemli bir yer tutmaktadır. Teknik tekstillerde, konvansiyonel dikiş yöntemlerinin yanı sıra ultrasonik dikiş yöntemi, fonksiyonel tekstillerin dikiş işlemlerinde kullanılan alternatif yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, iğne ve iplik kullanımının gerekmediği ultrasonik dikiş yönteminin PU kaplamalı kumaşların su geçirmezlik özelliği üzerindeki etkileri konvansiyonel dikiş yöntemleri ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Farklı dikiş parametreleri ile elde edilen dikilmiş kumaşlar yıkama işlemine tabi tutulmuş ve bu kumaşların su geçirmezlik özellikleri yıkama işlemlerinden önce ve yıkama işlemlerinden sonra test edilmiştir. Dikiş tipi, kumaş tipi, ultrasonik dikiş hızı ve yıkama işlemi açısından değerlendirilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Test sonuçlarına göre, ultrasonik olarak dikilmiş kumaşların su geçirmezlik özellikleri, konvansiyonel olarak dikilmiş kumaşlardan daha yüksektir. Ultrasonik dikişle dikilmiş kumaşlar ile konvansiyonel olarak dikilmiş kumaşların su geçirmezlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kumaşların su geçirmezlik özelliğinin diğer parametrelerle ilişkili olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrasonik dikiş, su geçirgenliği, kaplama kumaş

### 1. INTRODUCTION

Apparel industry has a great importance on obtaining different products used in textile sector. Various seaming methods are used in conversion of different fabrics into final product. However, seaming process of some types of textile products which requires functional specifications is in need of alternative seaming methods besides conventional seaming methods. One of these alternative methods is ultrasonic seaming which has taken attention from researchers in recent years.

Ultrasonic seaming method is not only an energy saving method, but also it can perform sewing process without the need for the materials such as needle and thread that have been used in the conventional seaming methods. Holes occurring because of the needle usage in conventional seaming can be determined as an undesirable result which is considered as disadvantage

in a waterproof garment. Therefore the importance of ultrasonic seaming method in which no needle and thread are needed can be comprehensively recognized. By using ultrasonic seaming method, it can be possible to obtain seams with high waterproofing properties. Also recycling of fabrics seamed with ultrasonic seaming method is easier. Ultrasonic seaming is used in a wide range of industries such as technical textiles, medical, filtration and automotive [1]

The waterproofing property of the ultrasonic seaming method is rarely studied in literature. [9] compared ultrasonic seaming method and conventional seaming method in their study in which they investigated various properties of ultrasonic seaming by using woven fabrics. According to the results of the study, waterproofing property of ultrasonic seam is found to be higher than that of conventional seam. [5] studied ultrasonic seaming method in comparison with conventional seaming method on nonwoven surgical gowns and they reported that there is no water penetration in the surgical gowns sewn by using ultrasonic seaming method. On the other hand they observed water penetration in the surgical gowns sewn by using conventional seaming method due to the needle holes in the fabric and this situation which can be considered as hazardous for health. [7] studied the properties including waterproofing property of ultrasonic seaming method and conventional seaming method on the fabrics used in inner faces of sport shoes. When waterproofing property is taken in hand, it is observed that ultrasonic seam damaged the structure and demonstrated no waterproofing. Studies investigating the tensile properties of ultrasonic seaming are frequently available in literature in recent years and in general it is stated that seam strength of ultrasonic seaming is lower than the conventional seaming [3,6,5]. Also there is a study stating that seam strength of ultrasonic seam is higher than that of conventional seam

[1]. Hence, when determining intended usage areas, it should be taken into account that waterproofing properties of these ultrasonically sewn fabrics can be advantageous with satisfying strength values considering the appropriate products.

Our study aims to compare ultrasonic seaming method and conventional seaming method in terms of water permeability by using woven fabrics coated with polyurethane membrane which are used as blouson. Nine types of sewn fabrics were gained by changing the production speed of ultrasonic seam. Water permeability property of the sewn fabrics was compared in terms of seam type, fabric type, ultrasonic seaming velocity and washing process.

## II. EXPERIMENTAL SET-UP AND PROCEDURE

In our study, woven fabrics coated with polyurethane membrane were used to compare water permeability property. The fabrics were sewn with ultrasonic seam and conventional seam by using different parameters. The properties of fabrics and the seam parameters are characterized in Table 1.

Fabric samples were prepared according to the test standard along the warp directions. Ultrasonic seam process was applied by using Pfaff 8310 ultrasonic sewing machine. Amplitude of the machine was 100% during the sewing process. Two different speeds were performed as 25 dm/min ( $v_1$ ) and 45 dm/min ( $v_2$ ). A roller was used that has 8 mm width (Figure 1). Conventional seam process was performed to woven fabrics by using Brother S-7200C-403 electronic lock stitch sewing machine. Stitch density was 2.6 stitches/cm.

**Table 1.** Properties of the fabrics and seam parameters.

Fabric code	Weaving structure	Weight in grams ( $\text{g/m}^2$ )	Thickness (mm)	Raw material	Sewn fabric code	Seam type	Velocity code
$F_1$	Plain	105	0.366	Polyester	$F_1v_1$	Ultrasonic seam	$v_1$
$F_1$	Plain	105	0.366	Polyester	$F_1v_2$	Ultrasonic seam	$v_2$
$F_2$	Plain	170	0.432	Polyester	$F_2v_1$	Ultrasonic seam	$v_1$
$F_2$	Plain	170	0.432	Polyester	$F_2v_2$	Ultrasonic seam	$v_2$
$F_3$	Twill	170	0.540	Polyester	$F_3v_1$	Ultrasonic seam	$v_1$
$F_3$	Twill	170	0.540	Polyester	$F_3v_2$	Ultrasonic seam	$v_2$
$F_1$	Plain	105	0.366	Polyester	$F_1L$	Conventional seam	Lock stitch
$F_2$	Plain	170	0.432	Polyester	$F_2L$	Conventional seam	Lock stitch
$F_3$	Twill	170	0.540	Polyester	$F_3L$	Conventional seam	Lock stitch

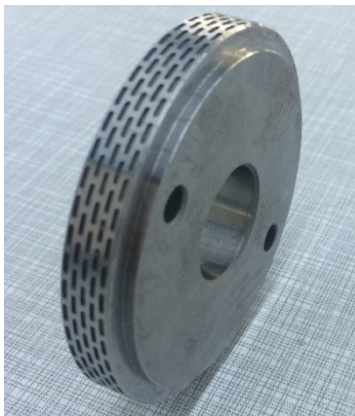


Figure 1. The roller used in the study.

All of the sewn fabrics were washed at 30°C with synthetic washing programme without prewashing according to TS EN ISO 6330:2012 test standard. 4 g/l ECE non-phosphate reference detergent without optical brightening agent was used for washing processes. Washing process was repeated for five times.

III.ANALYSIS

Waterproofing property can be defined as the ability of the fabric to protect from water and rain (Bulut and Sular, 2008). This property can be tested either by laboratory tests or by wear trials [4]. In this study, waterproofing property of the sewn fabrics were evaluated through laboratory test analyses. Five samples were prepared from each sewn fabric. The samples were conditioned for 24 hours in standard atmospheric conditions (temperature 20±2 oC and relative humidity 65±2%) before testing. The water permeability tests were performed to fabrics before and after washing processes with Prowhite Hydrostatic Head Tester according to TS 257 EN 20811:1996. As the waterproofing of the fabric increases, the hydrostatic pressure also increases in the water permeability test and thus higher waterproofing values are obtained. Test results were evaluated considering fabric type, seam type, ultrasonic seaming velocity and washing process. To evaluate the importance of test results, SPSS 13.0 programme was used with the analysis of variance (ANOVA). In this way the effects of fabric type, seam type, ultrasonic seaming velocity and washing process on waterproofing property were analyzed.

IV.RESULTS AND DISCUSSIONS

Water permeability test results of the ultrasonically and conventionally sewn fabrics before and after washing processes were given in Table 2 and Table 3, respectively.

Table 2. Water permeability test results of ultrasonically sewn fabrics before and after washing processes (cm wg).

Fabric code	Before washing		After washing	
	V1	V2	V1	V2
F1	59	56	24	5
F2	131	96	17	7
F3	96	84	23	15

Table 3. Water permeability test results of conventionally sewn fabrics before and after washing processes (cm wg).

Fabric code	Conventional seam	
	Before washing	After washing
F1	13	6
F2	15	8
F3	15	6

When Table 2 and Table 3 are examined; test results demonstrated that waterproofing values of the fabrics sewn with ultrasonic seam are higher than that of conventional seam. In Figure 2, water permeability test results of ultrasonically and conventionally sewn fabrics are presented together before and after washing processes. In ultrasonic seam, no holes are occurred during the seaming process and this case declares that waterproofing property of the fabrics sewn using this method is higher than that of conventionally sewn ones. In ultrasonic seam process, these values decreased with the increase of seaming velocity. It is expected because at lower velocities, fabric layers weld much better due to much more ultrasonic energy exposure and by this way waterproofing property of the fabric improves. In addition, waterproofing values decreased after washing processes for both ultrasonic and conventional seams. This can be result from the damage that the washing process causes in ultrasonic seam. In conventional seam, coating of the fabric around the stitch areas might be damaged during washing processes. Therefore waterproofing values may decrease after washing processes for both methods.

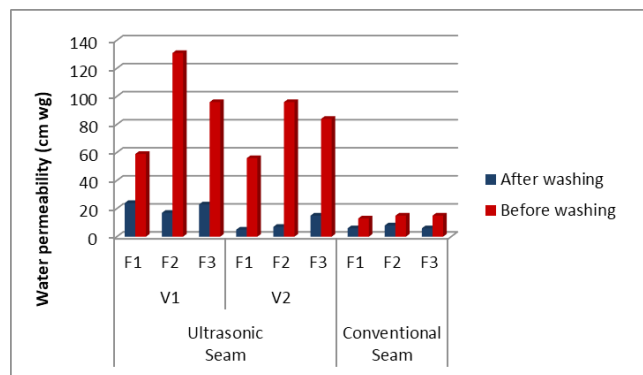


Figure 2. Water permeability test results of ultrasonically and conventionally sewn fabrics before and after washing processes.

It is clear from the results that the lowest waterproofing values were observed in the fabric with the lowest weight in grams before washing process. This can be related to the lower weight in grams and lower thickness values of the fabric. On the other hand, waterproofing values are higher in plain structure than in twill structure at equivalent weight in grams before washing process in ultrasonic seam. The difference between plain and twill structure considering the values of ultrasonically sewn samples before washing process is found statistically significant (Sig.<0,05). This result in a close relation with the number of intersection points for warp and weft yarns in plain woven fabrics which are higher than that of in twill structure. But no generalization can be made for the results after washing process in terms of fabric type. According to statistical analyzing of fabric differences considering the all values for both ultrasonic and conventional seam types before and after washing processes, the differences of waterproofing values between fabrics are statistically insignificant.

**Table 4.** The analysis of variance table for water permeability test results of the sewn fabrics.

Factor	F	Significance
Washing process	50,275	,000*
Seam type	27,578	,000*
Fabric type	2,526	,086
Seaming velocity	,990	,324

\*: Statistically significant for  $\alpha = 0.05$

The effects of washing process, seam type are found statistically significant on water permeability as seen in Table 4. On the other hand, the effects of fabric type and seaming velocity are found statistically insignificant on water permeability (Table 4).

## V.CONCLUSION

In this study, ultrasonic and conventional seaming were performed to polyester woven fabrics coated with polyurethane membrane which are used as blouson. The effect of ultrasonic seaming parameters and fabric structure on water permeability were investigated before and after washing processes. The following states can be concluded throughout this study:

Our study demonstrated that waterproofing values of the ultrasonic seam are higher than the conventional seam before and after washing processes. The difference between waterproofing performances of ultrasonic seaming method and conventional seaming method are found to be statistically significant.

In ultrasonically seamed samples, waterproofing values decreased with the increase of seaming velocity. When the values are statistically investigated, difference between them can be stated as insignificant.

Besides, among all of the fabrics the lowest waterproofing value before and after washing processes is obtained from the lightest fabric coded F1. For ultrasonic seaming method, higher waterproofing values in plain woven fabric than that of twill structure are observed at the equivalent weight in grams before washing ( $F_2 > F_3$ ) and this result is found statistically significant (Sig.<0,05). But the difference between the fabrics considering the all values for both ultrasonic and conventional seam types before and after washing processes are found statistically insignificant.

In addition, after washing process waterproofing values decreased for all types of fabrics sewn by both of the methods. Moreover, the difference between waterproofing values before and after washing processes has statistical significance.

Ultrasonic seaming takes place in various sectors as an advantageous seaming method in terms of both ease of use, fast seaming process, not needing production materials such as needle or thread and waterproofing property. From an aspect of suitable end uses for ultrasonic seaming method, it is thought that the ultrasonic seaming method may find more uses where waterproofing property is needed either by the enhancement of physical properties of seams by changing parameters or where the high physical performances are not expected from the product.

## Acknowledgments

This study has been supported by Uşak University Scientific Research Project under grant [2015/MF005]. I would like to thank to Prof. Dr. M. Çetin Erdoğan and Dr. Serkan Boz at the Textile Engineering Department in Ege University for using ultrasonic sewing machine.

## References

- [1] Boz S., Erdoğan M. Ç. (2011). Ultrasonic energy usage in apparel industry. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 21, 91-96.
- [2] Boles, K. (2012). Ultrasonic Examination of Alternative Fabric Joining Techniques Compared to Traditional Sewing. *Mc Nair Scholars Research Journal*, 5(1), Article 3.
- [3] Appleby, C. K. (2009). Development of Fabric Seaming For Clothing Using Ultrasonic Sealing Technique. Senior Honors Thesis, Eastern Michigan University, Michigan.

- [4] Bulut, Y., Sülar, V. (2008). Kaplama veya Laminasyon Teknikleri ile Üretilen Kumaşların Genel Özellikleri ve Performans Testleri. *Tekstil ve Mühendis*, 15(70-71), 5-16.
- [5] Eryürük, S. H., Karagüzel Kayaoglu, B., Kalaoglu, F. (2017). A study on ultrasonic welding of nonwovens used for surgical gowns. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 29(4), 539-552.
- [6] Ghosh, S., Reddy, R. K. (2009). Ultrasonic Sealing of Polyester and Spectra Fabrics Using Thermo Plastic Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 113, 1082-1089.
- [7] Jevšnik, S., Eryürük, S. H., Kalaoglu, F., Karagüzel Kayaoglu, B., Komarkova, P., Golombikova, V., Stjepanovič, Z. (2017). Seam properties of ultrasonic welded multilayered textile materials. *Journal of Industrial Textiles*, 46(5), 1193-1211.
- [8] Porav V. (2013). Unconventional assembly. *Annals of the University of Oradea, Fascicle of Textiles*, 14, 85-88.
- [9] Shi, H., Wang, J., Chen, X., Luo, S., Zhang, L. (2016). Research on the seam performance of waterproof clothing based on continuous ultrasonic welding technology. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 28(2), 171-190.
- [10] TS EN ISO 6330:2012. Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing.
- [11] TS 257 EN 20811:1996. Textiles Fabrics-Determination of Resistance to Water Penetration-Hydrostatic Pressure Test.

# İnsan Odaklı Aydınlatma

## Human Centric Lighting

Özge MEMİŞ<sup>1</sup>, Nazmi EKREN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD, 34722, Göztepe Kampüsü, Kadıköy, İstanbul

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722, Göztepe Kampüsü, Kadıköy, İstanbul

### Öz

Geçmiş zamanlarda insanlar vakitlerinin çoğunu dış ortamlarda ve güneş ışığı altında geçirmekteydi. Günümüzde ise insanlar vakitlerinin çoğunu ev, ofis, hastane, okul gibi kapalı ortamlarda ve yapay aydınlatma kaynaklarının oluşturduğu ışıklar altında geçirmektedir. Gün ışığı, güneşin konumundaki değişime göre gün içerisinde renk sıcaklığı, ışık şiddeti, ışık rengi gibi parametrelerde değişim gösterdiğinden dolayı dinamik yapıdır. Buna karşın yapay ışık kaynakları ile sağlanan aydınlatma gün boyu sabittir. İnsan sirkadiyen ritmi ve buna bağlı biyolojik saati dünyanın aydınlık karanlık döngüsü ile senkronizedir. Dolayısıyla kapalı ortamlarda maruz kalınan aydınlatmaya bağlı olarak insanların sirkadiyen ritimlerinin bozulması nedeniyle sorunlar oluşabilir. İnsanların yaşam ve çalışma alanlarına güneş ışığının dinamik atmosferinin taşınması ve biyolojik saat ile sirkadiyen ritimlerinin bozulmasının önlenmesi amacıyla “insan odaklı aydınlatma” fikri doğmuştur. Yapılan çalışmada insan odaklı aydınlatma ve etkileri ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Aydınlatma, Işık, ipRGC Hücreleri, Sirkadiyen Ritim, Biyolojik Saat, Işığın Görsel Olmayan Etkileri, Işığın İnsana Olan Etkileri

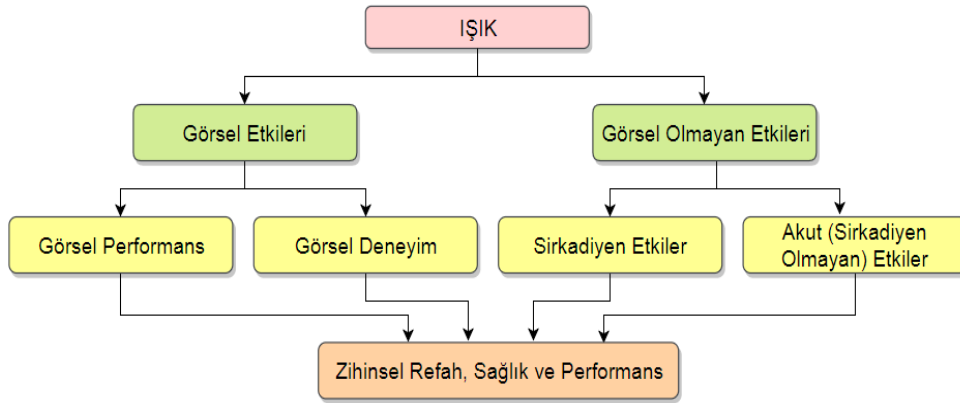
### Abstract

In the past, people have spent most of their time in an outdoors and in the sunlight. Nowadays, people spend most of their time in an indoors such as home, office, hospital, school and under the lights of artificial lighting sources. Daylight is dynamic due to changes in parameters such as color temperature, light intensity, light color during the day according to the change in the position of the sun. In contrast, lighting provided by artificial light sources is constant throughout the day. The human circadian rhythm and its associated biological clock are synchronized with the light dark cycle of the world. Therefore, depending on the lighting that is exposed in indoor environments, problems may arise due to the deterioration of the circadian rhythm of people. The idea of human centric lighting emerged in order to create a dynamic atmosphere of sunlight in people's life and working areas and to prevent the deterioration of the biological clock and circadian rhythms. In this study, human centric lighting and its effects are discussed.

**Keywords:** Lighting, Light, ipRGC Cells, Circadian Rhythm, Biological Clock, Non-Visual Effects of Light, Effects of Light on Human

## I. GİRİŞ

Işık ve insan arasındaki ilişki etrafımızdaki nesnelere görme ve tanıma gibi basit süreçlerden çok daha ötesini içerir. Işığın insanlar üzerindeki etkisi henüz tümüyle bilinmemekle birlikte görsel ve görsel olmayan etkiler olmak üzere iki farklı grupta incelenebilir [1]. Sinir sisteminin oluşturduğu emirlerin ve bununla birlikte salgılanan hormonların etkilediği biyolojik sistem, hormon ve sinir sisteminin ışık ile tepkimesinden etkilenir [2]. Son yıllarda yapılan araştırma çalışmalarında göze gelen ışığın nicelik ve niteliğinin, sirkadiyen ritim, biyolojik saat, biyolojik sistem, algı mekanizması ve psikolojik durum üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır [3]. Şekil 1’de ışığın insan işleyişi üzerindeki potansiyel etkisi için farklı rotaların şematik genel görünümü gösterilmiştir [4].



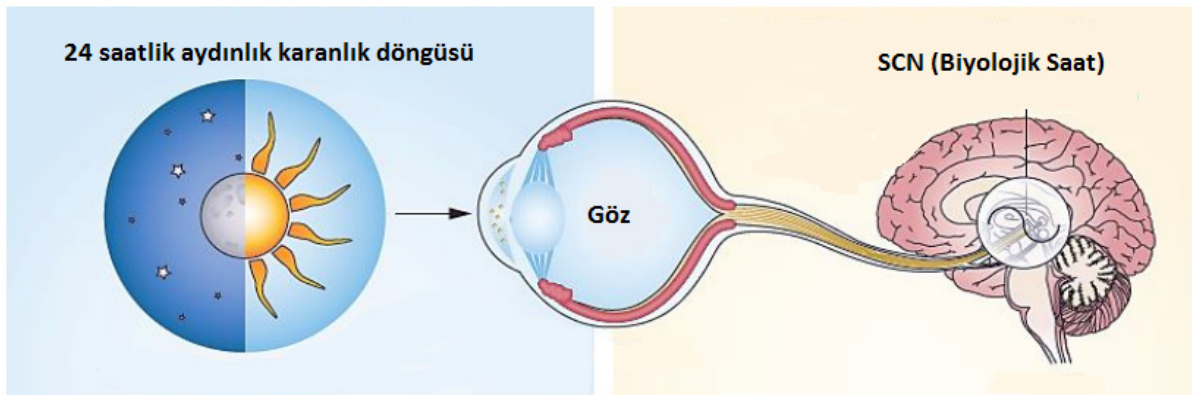
Şekil 1. Işığın insan işleyişi üzerindeki potansiyel etkisi için farklı rotaların şematik genel görünümü [4]

Işık; biyolojik saati, dünyanın aydınlık karanlık döngüsü ile senkronize eden birincil uyarıcı ve insan sağlığı ile refahında rol oynayan önemli bir çevresel faktördür. Işık, görmeyi gerçekleştirmenin yanı sıra insanın fizyolojik ve psikolojik sağlığı üzerinde çok önemli etkilere sahiptir [5]. Görme için gerekli olan ışık, aynı zamanda sabahları uyanmamıza ve akşamları uykuya dalmamıza yardımcı olur, ruh halimizi, uyanıklığımızı, dikkatimizi ve vücudun biyolojik saatini de etkiler. Bu işlevlerine ışığın görsel olmayan etkileri denir [6]. Işık, dünyada ki insan yaşamının da buna dahil olduğu bütün yaşam ritimlerini belirler [7]. Kapalı ortamlarda kullanılan yapay aydınlatma kaynaklarının oluşturduğu ışığın, parlaklık, renk sıcaklığı gibi parametrelerinin gün boyunca aynı olması dinamik gün ışığı yapısı ile uyumlu olmadığından dolayı insan metabolizmasının ihtiyaçlarına cevap veremez [8]. Bu nedenle insanlar, sirkadiyen ritim bozuklukları ve buna bağlı çeşitli olumsuzluklarla karşılaşabilir. Bu olumsuzlukların giderilmesi için gün ışığının insana olan etkileri ile farklı dalga boylarına sahip ışığın insanlar üzerinde

fizyolojik ve psikolojik etkileri incelenerek akıllı aydınlatma sistemleri geliştirilebilir [9].

## II. SİRKADİYEN RİTİM VE BİYOLOJİK SAAT

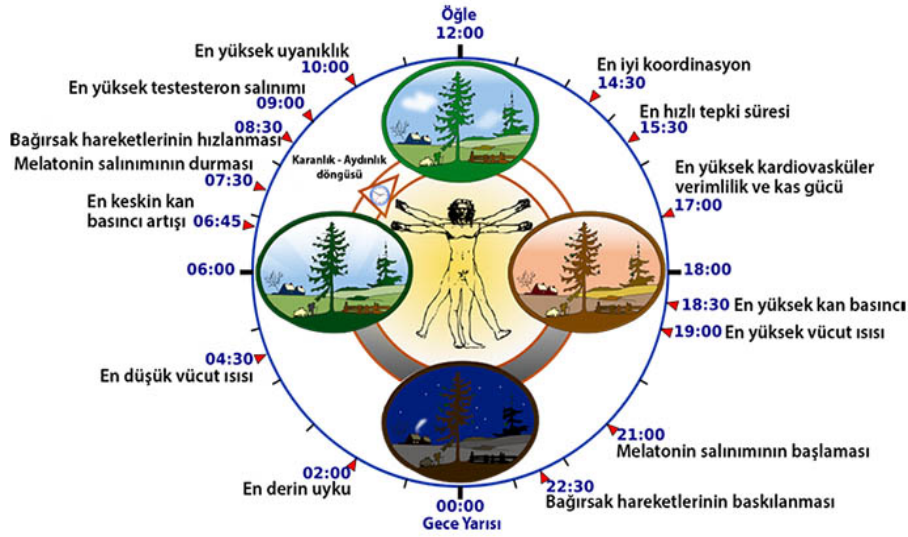
Sirkadiyen ritim, 24 saatlik bir döngüde tekrarlanan sindirim, uyku, hormon salgılama ve vücut ısısı gibi kendini tekrar eden biyolojik olayların temel döngüsüdür [6]. Işık, göz retinasına düştükten sonra sinir sistemi aracılığıyla hipotalamusta suprakiazmatik çekirdek (SCN) olarak isimlendirilen bölgeye iletilir ve vücudun biyolojik saatini kontrol ederek sirkadiyen ritmi düzenler. Böylece insan vücudundaki hormon salgıları, korteks çalışması, vücut ısısı, uyku-uyanıklık döngüsü gibi faaliyetlerin belli periyotlar da olması sağlanır. Işık, vücuttaki temel görevlerinden biri sirkadiyen ritmi düzenlemek olan melatonin hormonunun salgılanmasında etkilidir. Parlak mavi ışık, melatonin hormonu salgısını baskımlarken karanlık melatonin hormonu salgısını artırır. Güneş ışığı, sirkadiyen ritmin düzenlenmesinde yapay ışığa göre daha etkilidir [10].



Şekil 2. Dünyanın 24 saatlik aydınlık karanlık döngüsünün biyolojik saate etkisi [11]

Sabah saatlerinde ki ışık miktarı vücudun biyolojik saatini tetikler. Tetiklenen vücut bu uyarana serotonin, kortizol ve adrenalin gibi hormonlar salgılayarak cevap verir. Hormon salgılamasının yanında metabolizma hızı ve vücut sıcaklığı da yükselir. Öğle saatlerinden sonra metabolizma hızı en üst seviyeye ulaşır. Akşam saatlerinde güneşin batmasıyla birlikte biyolojik saat epifiz bezini uyarır. Epifiz bezi

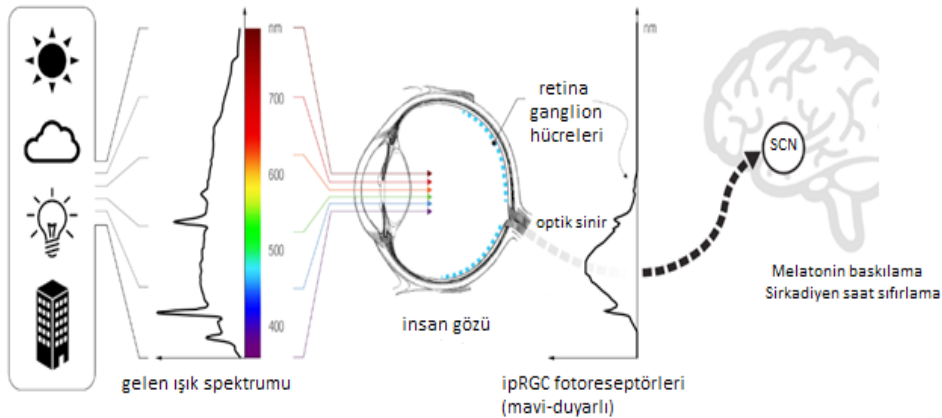
bu uyarı karşısında salgıladığı serotonin hormonunu, melatonin hormonuna çevirir ve vücut sıcaklığını düşürür. Gece saatlerinde melatonin hormonu salgısı artar ve vücut sıcaklığı azalır. Sabah saatlerinde tekrardan melatonin hormonu salgısı durdurulur ve bu döngü 24 saatlik düzende bu şekilde devam eder [6]. Şekil 3'te sirkadiyen ritim döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 3. Sirkadiyen Ritim veya Biyolojik Saat Döngüsü [12]

Dünyanın aydınlık-karanlık döngüsü, insan biyolojik saati üzerinde etkili olmaktadır [13]. Son yıllarda yapılan araştırmalarda memeli sınıfındaki canlıların retinalarında görmeyi sağlayan çomak ve koni hücreleri olarak bilinen fotoreseptörlerin dışında ipRGC hücreleri (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells – ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri) keşfedilmiştir [4]. Bu hücreler, görmenin oluşmasını sağlayan süreçlere direkt etkilerinin olmaması ve ışık spektrumundaki mavi ışığın dalga boyuna (~460 – 480nm) verdikleri tepkiler sebebiyle sirkadiyen ritim ile

ilişkilendirilmişlerdir [14]. Bu fotoreseptör hücreleri, melatonin proteini salgılayarak sirkadiyen ritim, nörodavranışsal ve nöroendokrin gibi sistemleri etkilemektedir. ipRGC hücrelerine gelen ışık, nöral sinyallere çevrilir ve beyinde bulunan suprakiazmatik çekirdeğe (SCN) iletilmesiyle sirkadiyen uyarı gerçekleşir. [15]. ipRGC hücreleri gün boyunca beynimize hormon ve nörotransmitterleri üretmesi veya inhibe etmesi için sinyaller yollar. Bu hücrelerin keşfiyle ışığın görsel olmayan etkilerinin olduğu anlaşılmıştır [4]. Şekil 4'te ipRGC hücrelerinin işleyişi gösterilmiştir.



Şekil 4. ipRGC hücrelerinin işleyişi [16]



2017 Nobel Tıp Ödülü, insan sağlığı için önemli olan sirkadiyen ritmi kontrol eden moleküler mekanizmalar ile ilgili çalışmalar yapan Michael Rosbash, Jeffrey C. Hall, ve Michael W. Young isimli üç bilim adamına verildi. Sirkadiyen ritmi kontrol eden geni bulan bilim adamları, bu genin gün içinde azalan ve gece artan bir protein ürettiğini buldu [17].

### III. İNSAN ODAKLI AYDINLATMA

İnsan metabolizması üzerinde fizyolojik ve psikolojik etkileri olan gün ışığı, güneşin konumundaki değişime göre gün içerisinde renk sıcaklığı, ışık şiddeti, ışık rengi, parlaklık gibi parametrelerde değişim gösterdiğinden dolayı dinamik yapıdır [1]. Gün ışığında ki değişimler, insanın sirkadiyen (günlük) ritmi üzerinde etkilidir [6]. İnsan sirkadiyen ritmi ve buna bağlı biyolojik saati dünyanın aydınlık-karanlık

döngüsü ile senkronizedir. İnsanların yaşam ve çalışma alanlarına güneş ışığının dinamik atmosferinin taşınması ve biyolojik saat ile sirkadiyen ritimlerinin bozulmasının önlenmesi amacıyla “insan odaklı aydınlatma” fikri doğmuştur.

İnsan odaklı aydınlatma; yapay bir aydınlatma ortamında gün ışığının biyolojik etkilerini elde etmek için teknik yöntemler bütünüdür. Yapılan araştırmalar ve ipRGC hücrelerinin keşfedilmesi sonucunda gün ışığının görsel olmayan etkilerinin olduğu ve insan metabolizması üzerinde önemli etkilerinin olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5'te güneşin konumuna bağlı olarak gün boyunca değişen renk sıcaklığını ve parlaklığı gösteren fotoğraf çalışması gösterilmiştir. Gün doğumu ve batımında 2000K-3000K aralığında ve sarı, turuncu, amber gibi renk tonlarında olan güneş ışığı, öğle saatlerinde 5500K-6500K aralığında ve parlak mavi, beyaz tonlarına sahiptir [18].



Şekil 5. Güneşin konumuna bağlı olarak gün boyunca değişen renk sıcaklığını ve parlaklığı gösteren fotoğraf çalışması [19]

İnsan odaklı aydınlatmada, güneş ışığının dinamik yapısının incelenmesi sonucunda doğal ışık kalitesinde yapay ışık elde ederek insan metabolizmasının gün ışığına verdiği reaksiyonların sağlanması hedeflenmiştir [18]. İnsan odaklı aydınlatma uygulamaları, aydınlatmanın insanlar için görsel, duygusal ve biyolojik faydalarını dengelemeyi amaçlar [5]. 24 saatlik günlük döngüde insanların sağlıklı sirkadiyen ritimleri, insan odaklı aydınlatma sistemleriyle desteklenerek korunmaya çalışılır [1]. İnsan odaklı aydınlatma konsepti, estetik bir perspektiften ziyade refah, ruh hali ve sağlığı teşvik eden aydınlatma sistemleri geliştirmeyi hedeflemektedir [18]. İnsan odaklı aydınlatma sistemleri, özellikle gün ışığının etkilerinin görülemediği alanlarda kullanılmalıdır. Bu sistemlerde gün içerisindeki saatlere göre gün ışığındaki ışık şiddeti, aydınlık seviyesi ve renk sıcaklığı gibi parametrelerdeki değişimler modellenip senaryolaştırılarak kullanıcıya dinamik ışığın etkin olduğu aydınlatma tasarımları sunulabilir. Bu

parametreleri değiştirmek için aydınlatma kontrol sistemleri ve sensör teknolojilerinden faydalanılabilir. Şekil 6'da venn şemasında gösterildiği gibi, aydınlatma, görsel performansının ötesinde insan fizyolojisi ve performansını etkileyen birçok unsurun merkezindedir [20].



Şekil 6. İnsan odaklı aydınlatma kavramı[20]

İnsan odaklı aydınlatma çalışmaları için üzerinde durulan uygulama alanları ofisler, eğitim öğretim yapılan kurumlar, sağlık hizmeti veren kuruluşlar ve vardiyalı sistemde çalışılan endüstri kuruluşlarıdır [21].

### 3.1 Ofisler

İnsan odaklı aydınlatma sistemleri, çalışanların işyerinde, özellikle gün ışığının yetersiz olduğu ofislerde ve ayrıca biyolojik saatin gün ışığına zorlukla senkronize edildiği kış aylarında da rahatlık sağlayabilir. Ofis ortamlarında insan odaklı aydınlatma sistemlerinin uygulanması çalışanların daha az kaygıya sahip olmalarını, canlılıklarının artmasını, ruh hallerinin iyileşmesini, göz yorgunluklarının azalmasını ve iş tatminlerinin artmasını sağlar. Bu durum işveren açısından da yapılan işlerde düşük hata oranları, azalan işe gelmeme, artan enerji tasarrufu, artan motivasyon, artan iş tatmini, işle ilgili stres seviyesinin azalması, daha güvenli çalışma ortamı gibi avantajlar elde edilmesini sağlar [22]. İnsan odaklı aydınlatma sistemleri yaratıcılık, performans ve konsantrasyon seviyesini artırır [14]. Konsantrasyon ve enerjinin artması; daha yüksek ve odaklı iş motivasyonu, iş performansında ve canlılık hissinde artış, yorgunluk ve sersemleme hissiyatında azalışa sebep olarak personel memnuniyetine katkı sağlar ve iş verimliliğini artırır [6].

### 3.2 Eğitim Yapılan Ortamlar

Öğrenciler için uyanıklık ve uyku ritimlerinin düzenlenmesi bir zorluktur. Sirkadiyen ritmin aydınlatma sistemleri ile desteklenmesi, eğitim öğretim sürecinde dikkat ve odaklanma seviyesinin artırılması ve hata yapma olasılıklarının düşmesine imkan sağlar [23]. Eğitim ortamları için yapılan aydınlatma tasarımında insan sirkadiyen ritmi göz önünde bulundurulmalıdır. Okul ortamlarında yapılan araştırmalar gösteriyor ki renk sıcaklıkları ve ışık düzeyleri öğrenme ve zindeliği doğrudan etkilemektedir [24]. İnsan odaklı aydınlatma sistemlerinin eğitim ortamlarında kullanılmasıyla öğrencilerin öğrenme performansı ve uyku düzenlerinin iyileştirilmesi, daha uyanık olmaları, derse katılmaları, konsantrasyon ve motivasyonlarının artırılması amaçlanır [22].

### 3.3 Sağlık Kuruluşları

Çeşitli nedenlerden dolayı tedavi için hastaneye yatırılan hastalar çoğu zaman hareketsizdir ve dışarı çıkamadıklarından dolayı istikrarlı bir sirkadiyen ritmi elde etmek için beynin ihtiyaç duyduğu gün ışığını alamazlar. İnsan odaklı aydınlatma sistemleri kullanılarak oluşabilecek sirkadiyen ritim bozuklukları ve buna bağlı oluşacak sıkıntılar önlenir [25]. Güneş ışığının az olduğu ya da hiç olmadığı

kısımlarda, insan odaklı aydınlatma sistemleriyle gün süresince güneş ışığı taklit edilebilir. İnsan odaklı aydınlatma sistemleriyle, sirkadiyen biyoritmini destekleyerek hastaların zihinsel ve fiziksel olarak kendilerini daha iyi hissettikleri, iyileşme süreçlerinin hızlandığı ve uyku düzenlerinde olumlu etkilerinin olacağı düşünülmektedir [22]. Yapılan araştırmalarda; gece mesaisinde çalışan hemşirelerde göğüs kanserine yakalanma oranının %50'de daha fazla olduğu da ortaya çıkan sonuçlar arasındadır. Bu durum insanların yanlış zamanda doğru olmayan ışığa maruz kalmalarının sistemlerinde birçok bozukluğa sebep olduğunun göstergesidir [26].

## IV. SONUÇ

Sonuç olarak, insan odaklı aydınlatma sistemlerinin aydınlatma projelerinde uygulanmasıyla hayatımıza pek çok fayda ve olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Aydınlatma sektöründeki üretici firmalarda ürünlerini ve tasarımlarını bu yönde geliştirmeli veya güncellemelidir. Yapay ışığın, okullar, hastaneler ve ofisler gibi çeşitli uygulama alanlarında sirkadiyen ritmi destekleyici şekilde kullanılmasının yaygınlaşması, sektörel bazda oluşan farkındalık ile sağlanacaktır. Yakın gelecekte, akıllı insan odaklı aydınlatma çözümleriyle, kullanıcılara günün saatine, çevresel içeriğe, etkinlik türüne ve bireylerin durumuna (örneğin uyku, stresli) bağlı olarak optimize edilmiş ışık ayarları sunan aydınlatma sistemleri geliştirilecektir. Yeni nesil aydınlatma sistemleri sadece görsel gereklilikleri karşılamamalı, aynı zamanda bireylerin biyolojik (örneğin uyku-uyanıklık düzenleri) ve psikolojik (örneğin ruh hali, zihinsel yorgunluk, stres) ihtiyaçlarını da desteklemelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Giray, E. (2009). Dinamik aydınlatma ve uygulaması.
- [2] Tuncel, A. (2009). Lokanta, yeme içme ve eğlence mekanlarında aydınlatma tasarımı ışık ve rengin atmosfer oluşumuna etkisi (Sanatta yeterlilik tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no: 256631)
- [3] Aktaş, İ. (2012). Dinamik aydınlatmanın insan sağlığı üzerindeki etkileri.
- [4] Smolders, K. C. H. J. (2013). Daytime light exposure: effects and preferences.
- [5] Schlangen, L., LE Lang, D., Cajochen, C., Nikunen, H., & Tähkämö, L. (2014). ACCELERATE SSL INNOVATION FOR EUROPE.
- [6] Apaydın, S. (2012). Ofislerde aydınlatma tasarımının sürdürülebilirlik açısından mekan tasarımına etkileri.
- [7] Yenidoğan, C. (2017). Gelişmiş doğal aydınlatma sistemlerinin iç mekanda kullanımı açısından incelenmesi (Yüksek

- lisans tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no: 456204)
- [8] Doğan Yusuf, F. (2017). Hasta odalarında aydınlatma koşullarının araştırılması: İzmir’de örnek inceleme (Yüksek lisans tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez no: 486805)
- [9] Circadian Rhythms. (n.d.). Retrieved January, 2019, from [https://www.nigms.nih.gov/education/pages/Factsheet\\_CircadianRhythms.aspx](https://www.nigms.nih.gov/education/pages/Factsheet_CircadianRhythms.aspx)
- [10] Demirci, H. (2008). Bina tasarımında aydınlatma ve renk olgusunun biyoharmoloji ve biyosüreç açısından incelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik,, Elazığ.
- [11] Buttgerit, F., Smolen, J. S., Coogan, A. N., & Cajochen, C. (2015). Clocking in: chronobiology in rheumatoid arthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, 11(6), 349.
- [12] Dinçarslan, H. (t.y.). Demir metabolizması, laboratuvar testleri, demir eksikliği anemisi ve aşırı yüksekliği. Erişim adresi: <https://saglikliolalim.com/sirkadyenritim/>
- [13] Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A., & Hamner, R. (2012). Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research & Technology*, 44(4), 386-396.
- [14] Şahin, D. (2013). Aydınlatma tasarımının kullanıcı üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri açısından incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [15] Sirkadiyen Işık metriği (Circadian Light Metric) – 3000K ila 3500K renk sıcaklığında (CCT) oluşan doğrusalsızlık sorununu gidermeye ve modeli daha işler hale getirmeye yönelik bir öneri. (2018, Ekim 15). Erişim adresi: <https://pldturkiye.com/sirkadiyen-istik-metriği-circadian-light-metric-3000k-ila-3500k-renk-sicakliginda-cct-olusan-dogrussalsizlik-sorununu-gidermeye-ve-modeli-daha-isler-hale-getirmeye-yonelik-bir-oneri/>
- [16] Solemma.com. (n.d.). ALFA. Retrieved January, 2019, from <https://www.solemma.com/Alfa.html>
- [17] Kavaklı, H. (2018, Haziran 27). 2017 Nobel Tıp Ödülü: İçimizdeki biyolojik saatin işleyişi. Erişim adresi: <https://sarkac.org/2017/10/2017-nobel-tip-odulu-icimizdeki-biyolojik-saatin-isleyisi/>
- [18] Tünelin ucundaki “Sirkadiyen Işık”. (2016, Ekim 06). Erişim adresi: <https://pldturkiye.com/tunelin-ucundaki-sirkadiyen-istik/>
- [19] Active Light. (2011, March 23). Retrieved January, 2019, from <https://www.zumtobel.com/it-it/active-light.html>
- [20] Walerczyk, S., HCLPC, C., & WIZARDS, L. L. (2012). Human centric lighting. *Architectural SSL*, 20-26.
- [21] İnsan Odaklı Aydınlatma Nedir? (2017, Haziran 15). Erişim adresi: <http://www.aydinlatma.org/insan-odakli-aydinlatma-nedir.html>
- [22] What is Biodynamic Lighting? – litpa.com. (n.d.). Retrieved June, 2018, from <https://www.litpa.com/Uploads/Genel-Dosya/biodynamic-lighting-9978-d.pdf>
- [23] Onur, B. (2012). İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Açısından Aydınlatma (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 16-17).
- [24] Aydınlatma tasarımcıları ve insan odaklı aydınlatmanın önemi. (2016, Şubat 09). Erişim adresi: <https://pldturkiye.com/aydinlatma-tasarimcilari-ve-insan-odakli-aydinlatmanin-onemi/>
- [25] ApS, M. (n.d.). Medical lighting solutions. Retrieved December, 2018, from <https://chromaviso.com/en/circadian-lighting/research-in-circadian-lighting/circadian-lighting-reduces-depression-symptoms/>
- [26] Güneş, E. (2017, Ocak 30). İnsan Odaklı Aydınlatma (HCL). Erişim adresi: <https://pldturkiye.com/insan-odakli-aydinlatma-hcl/>

# Nikel Alaşımlarının Farklı Soğutma/Yağlama Koşulları Altında Talaşlı İmalatının Kesme Kuvvetlerine Etkisi: Bir Derleme Çalışması

## The Effect of Machining of Nickel Alloys on Cutting Force under Different Cooling/ Lubrication Conditions: A Review

Muhammed TAŞBAŞI<sup>1</sup> , Mustafa AY<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İSTABUL/TÜRKİYE

### Öz

Nikel alaşımları, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilme ve korozyona karşı yüksek direnç özellikleri nedeniyle, yüksek sıcaklık ve korozyona maruz kalan havacılık ve uzay, nükleer enerji, petrokimya endüstrisi gibi güvenlik ve sürdürülebilirliğin hayati önem taşıdığı kritik endüstri uygulamalarında önemli yer tutar. Nikel alaşımlarının gelişmiş özellikleri, bu alaşımların talaşlı imalatı sırasında yüksek kesme kuvvetleri, kesme bölgesi sıcaklığı ve sonrasında birtakım problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Birbirleriyle oldukça ilişkili bu problemlere çözüm olarak bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışma; literatürdeki, nikel alaşımlarının farklı soğutma/yağlama koşullarında, farklı talaşlı imalat yöntemleriyle işlenmesi ile ilgili çalışmaların talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin bir incelemesini sunar. Yapılan deneysel çalışmaların çoğunda, karakteristiklerine göre kuru, konvansiyonel, Minimum miktarda yağlama (MQL) ve kriyojenik koşullarda işleme metodları uygulanmıştır. Ancak bu metodların yanısıra, etkin bir uygulama için kesme parametreleri, takım kaplaması, nozul konumları gibi birçok unsurun göz önüne alınması gerekmektedir. Çalışmalar, kesme kuvvetlerini azaltma konusunda kriyojenik metodun yüksek hızlarda diğer metodların çoğuna göre oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Ancak kriyojenik metod, tek başına yeterli olmamakta ve alternatif olarak Kriyojenik ve MQL metodlarının birleşimi olan hibrid KriyoMQL soğutma/yağlama metodunun kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Literatürdeki araştırmalarında ışığına bu metodun nikel alaşımlarının talaşlı imalatında kesme kuvvetlerinin ve kesme bölgesi sıcaklıklarının azaltılmasında gelecekte etkin bir metod olabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** KriyoMQL, MQL, Nikel Alaşımları, Kesme Kuvveti, Talaşlı İmalat

### Abstract

Nickel alloys have high resistance to corrosion at high temperatures and have high resistance to corrosion, and they play an important role in critical industry applications where safety and sustainability is very important, such as aerospace, petrochemical and nuclear power industries which working under high corrosion and heat effect. These advanced properties of nickel alloys result in high cutting forces, cutting zone temperature and some surface integrity problems during and after machining of these alloys. Some approaches have been developed to solve these problems that are highly related to each other. This study provides a review of studies which focus on the effect of the processing of nickel alloys under different cooling / lubrication conditions with different machining methods on cutting forces during machining. In most of the experimental studies, dry, conventional liquids, Minimum quantity lubrication (MQL) and machining methods under cryogenic conditions were applied. A number of complex elements, such as cutting parameters, tool coating material, nozzle positions, must be considered for an effective application. Experimental studies have shown that the cryogenic cooling method is highly more effective than most of the other methods in reducing cutting forces. However, the cryogenic cooling method alone is not sufficient , alternatively, the use of a hybrid CryoMQL cooling / lubrication method, which is a combination of cryogenic cooling and MQL methods, has become widespread. As a result, The CryoMQL is concluded that nickel alloys can be an effective method in reducing cutting forces and cutting zone temperatures in machining.

**Keywords;** CryoMQL, MQL, Nickel Alloys, Cutting Force, Machining

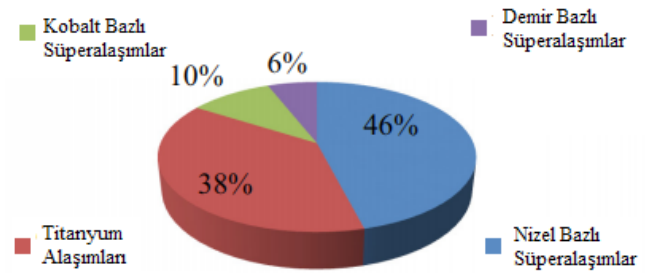
## I.GİRİŞ

Nikel, 1453°C gibi oldukça yüksek erime sıcaklığına sahip, sahip korozyona dayanıklı ve yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapısı sayesinde iyi derecede süneklik seviyesine sahip bir metaldir. Nikel, diğer metalik elementlerle kolayca alaşım oluşturabilecek kabiliyette bir metaldir[1]. Nikel, diğer ana alaşım metalleri olan krom, demir ve kobalt yanında çok sayıda elementle belirli oranlarda alaşım olarak süper alaşım adı verilen, oldukça yüksek sıcaklık ve korozyon direncine sahip alaşımaları meydana getirebilir[2]. Nikel bazlı süper alaşım bu özellikleri nedeniyle yüksek sıcaklık ve korozyon direnci gerektiren havacılık ve uzay, petrokimya, enerji makineleri ve güç sistemleri endüstrileri uygulamalarında türbin diskleri, kanatçıklar, borular, bağlantı ekipmanları gibi yüksek sıcaklık ve korozyona maruz kalabilecek parçaların üretiminde sıkça kullanılmaktadır[3-7,23]. Nikel esaslı süper alaşım, sahip oldukları yüksek düzeydeki mekanik özellikleri, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilme kabiliyeti ve malzemenin zayıf termal iletkenlik kapasitesinin etkisiyle, talaşlı imalat süreçlerinde işlenebilirlik problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Talaşlı imalat operasyonu sırasında ortaya çıkan yüksek basınç ve sıcaklıklar, talaşlı imalat sürecini zorlaştırırken ani soğuma durumları gibi durumlarda malzeme yapısında çarpılma olarak tabir edilen sertleşmelere neden olabilmektedir[7]. Nikel alaşımının yüksek sıcaklıklarda dahi gösterdiği yüksek mukavemet, kesme kuvvetlerinin korunmasına neden olurken, işleme esnasında malzeme sertleşmesi, malzeme yapısında bulunan aşındırıcı karbür partiküllerinin kesici takım hasarına neden olması, alaşımın işlenmesi sırasında oluşan yüksek sıcaklığın, kesici takım ve iş malzemesi arasında oluşturduğu kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan işleme hataları; nikel bazlı alaşımın işlenebilirliğini olumsuz etkileyen unsurlardır. Bu unsurlar kesme kuvvetlerinin artmasına, takım ömrünün kısılmasına, işlenmiş parçalardan ciddi anlamda yüzey ve yüzeyaltı hatalarına neden olurlar. Bu nedenle, talaşlı imalat sırasında iş parçasının yüzey bütünlüğünü sağlamak, kesme kuvvetlerini azaltmak ve takım ömrünü artırabilmek amacıyla; takım malzemesi seçimi, takım geometrisi, işleme yöntemi, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği gibi ana parametrelerin kontrol edilmesinin yanında soğutma/yağlama metodunun iyi seçilmesi gerekmektedir[8]. Kesme kuvvetleri, talaşlı imalat operasyonu sırasında birçok değişkenden etkilenen ölçütlerden biridir. Kesme kuvvetleri, talaş derinliği, ilerleme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, kesme hızı, takım ve tezgah özellikleri, bağlama metodu, takım aşınmanın karakteristiği, titreşim, sıcaklık gibi unsurlardan etkilenebilmektedir. Bu nedenle takıma etki eden kesme kuvvetleri takım durumu hakkında önemli bir bilgi kaynağı oluşturur. Talaşlı

imalat operasyonu sırasında kesme kuvvetleri direkt olarak işleme sürecini etkilediğinden dolayı ciddi şekilde dikkate alınmalıdır. Kesme kuvvetlerinin; kesme sıcaklığı, takım aşınması, yüzey kalitesi ve daha birçok olgu ile oldukça yakın bir ilişkisi vardır. Verimli bir kesme işlemi için kesme kuvvetlerinin öngörülebilir olması gerekir[9-11,21].

## II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

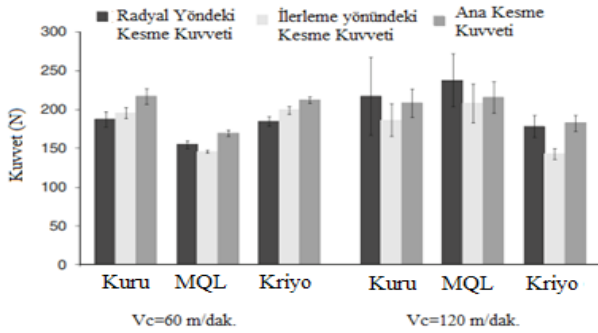
Literatürde nikel alaşımının, işlenebilirliğinin incelenmesi ve artırılması amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır[8,11-13]. Yapılan bir literatür derleme araştırmasında nikel alaşımının, literatürde kullanılma sıklığı Şekil 1’de gösterilmiştir [13,14,24].



Şekil 1: Nikel alaşımının literatür araştırmalarında kullanılma sıklığına bir örnek[13].

Nikel alaşımının işlenebilirliği, talaşlı imalat sırasında özellikle malzemenin düşük ısıl iletkenliği ve yüksek mekanik mukavemeti nedeniyle kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı ve yüksek kesme kuvvetlerinin oluşumu ile doğrudan ilgilidir [6-7,12-13]. Literatürde nikel alaşımının işlenebilirliğinin artırılması konusu, genellikle talaşlı imalat parametrelerinin ve koşullarının optimizasyonu yaklaşımıyla ele alınmış, farklı kesme parametreleri ile farklı karakteristiklere sahip soğutma/yağlama koşulları altında karşılaştırmalı olarak test edilmiş ve sonuçları rapor edilmiştir[3,6-7,10-11]. Yapılan çalışmalara göre nikel alaşımının işlenebilirliğinin artırılması amacıyla kullanılan soğutma/yağlama metodlarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır[13]. Genellikle nikel alaşımının işlenebilirliği karşısındaki en önemli problemlerden biri olan kesme bölgesinde yüksek sıcaklık oluşumunun önlenmesinin amaçlandığı çok sayıda karşılaştırmalı çalışma bulunmaktadır[9,14-16]. Ancak genellikle sıvı nitrojen (LN2) ve Karbondioksit gazı (CO2) tabanlı kriyojenik soğutma metodlarının yalnız başına kullanıldığı talaşlı imalat süreçlerinde, kriyojenik soğutmanın yüksek soğutma kapasitesi nedeniyle, deney malzemenin sertleşmesine neden olarak kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir[17]. Bazı çalışmalarda ise; kesme kuvvetlerinin

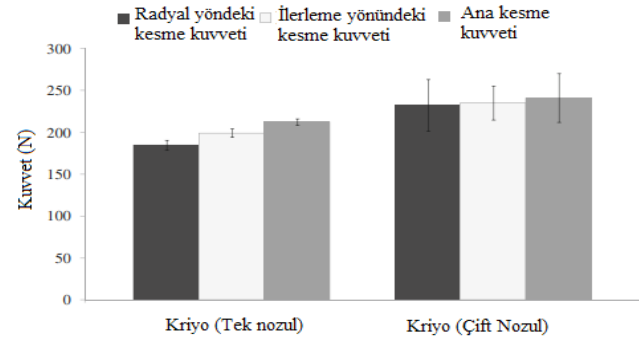
kesme parametrelerine göre arttığı yada azaldığı arttığıda rapor edilmiştir[16,18-19,26]. Yapılan bir çalışmada nikel bazlı bir süperalaşım olan Inconel 718 süper alaşımının, kriyojenik sıvı nitrojen (LN2), Minimum miktarda yağlama (MQL) ve kuru işleme koşulları altında tormalanması sırasında işlenebilirlik performansı incelenmiştir. Bu çalışmada, farklı soğutma/yağlama koşullarının sabit ilerleme oranı ( $f=0.075\text{mm/dev.}$ ) ve kesme derinliği ( $d=0.8\text{mm.}$ ) parametreleri kullanılarak, farklı kesme hızı değerlerinde ( $V_c=60$  ve  $120\text{m/dak.}$ ) tormalanması sırasında; kesme kuvvetlerinin değişkenlik gösterdiği, kriyojenik soğutma metodunun yüksek kesme hızlarında kesme kuvvetleri açısından azaltıcı etki gösterirken MQL metodunun kesme kuvvetlerini artırıcı etkiye neden olduğu ifade edilmiştir. Şekil 2’de Inconel 718’in farklı soğutma/yağlama koşullarının, sabit ilerleme ve kesme derinliği ile tormalanmasının kesme kuvvetlerine etkisi ifade edilmiştir[16].



**Şekil 2:** Inconel 718'in farklı soğutma/yağlama koşullarının altında, sabit ilerleme ( $f=0.075\text{mm/dev.}$ ) ve kesme derinliği ( $d=0.8\text{mm.}$ ) ile tormalanmasının kesme kuvvetlerine etkisi[16].

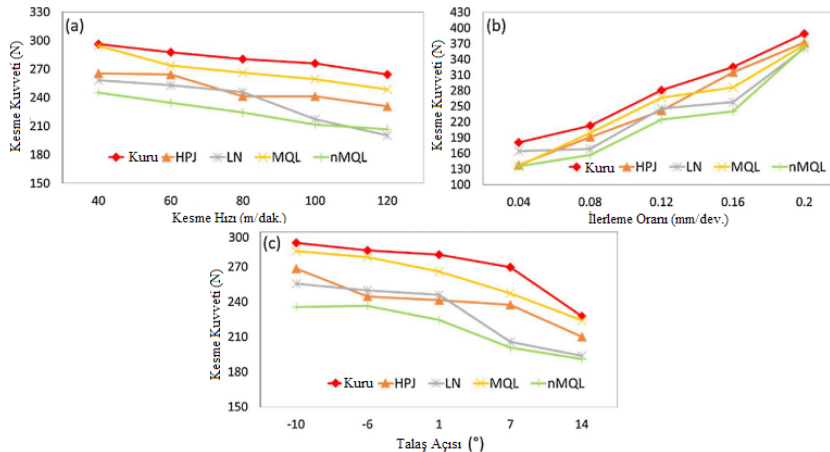
Aynı çalışmada; kesme kuvvetlerinin, kriyojenik sıvı ile tim nozul sayısı arasında ilişki bulunduğu, nozul konumlarının, sayısının ve kullanılan kriyojenik sıvı miktarının, kesme

kuvvetlerini artırdığı ifade edilmiştir. Şekil 2, dikkatle incelendiğinde kriyojenik soğutmanın yüksek kesme hızlarında, MQL'in ise daha düşük kesme hızlarında kesme kuvvetlerini düşürme konusunda etkili olduğu görülmektedir[16]. Şekil 3'te nozul sayısının kesme kuvvetlerine etkisi görülmektedir[16].



**Şekil 3:** Inconel 718'in Kriyojenik koşullar altında tormalanması sırasında nozul sayısının, kesme kuvvetlerine etkisi [16].

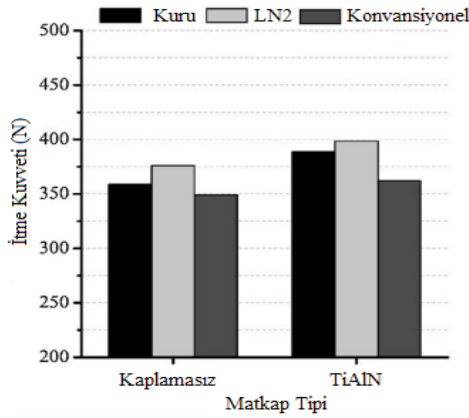
Yapılan bir diğer çalışmada ise Inconel 718'in tormalanması esnasında; yüksek basınçlı jet (HPJ), Kriyojenik sıvı nitrojen (LN2), Minimum miktarda yağlama (MQL) ve Nano sıvı takviyeli Minimum miktarda yağlama (nMQL) soğutma/yağlama metodları kullanılarak bazı çıktı parametreleri incelenmiştir. Bu parametrelerden biri kesme kuvvetidir. Bu çalışmaya göre, değişken işleme parametreleri olarak farklı kesme hızları, ilerleme oranları ve talaş açılı kullanılmıştır. Şekil 4'te Inconel 718'in farklı soğutma/yağlama metodları altında değişken kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş açısı parametreleri kullanılarak tormalanması sırasında kesme kuvvetlerinin değişimi ifade edilmiştir. Şekil 4, dikkatlice incelenirse, farklı soğutma/yağlama metodlarının, değişken kesme parametrelerine bağlı olarak, kesme



**Şekil 4:** Inconel 718'in Farklı soğutma/yağlama metodları altında değişken (a) Kesme hızı, (b) İlerleme oranı ve (c) Talaş açısı parametreleri kullanılarak tormalanması sırasında kesme kuvvetlerinin değişimi[20].

kuvvetlerini etkilediği görülmektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere, kriyojenik soğutma metodu; en yüksek kesme hızında maksimum etkinlik göstermiş, İlerleme oranının değişimi kesme kuvvetleri üzerinde bir miktar etkili olmuş, maksimum talaş açısı arttıkça kriyojenik sıvı nitrojen (LN2) ve Nanosıvı takviyeli Minimum miktarda yağlama (nMQL) metodları birbirine yakın performans sergilemekle birlikte maksimum etkinlik sergilemiştir [20].

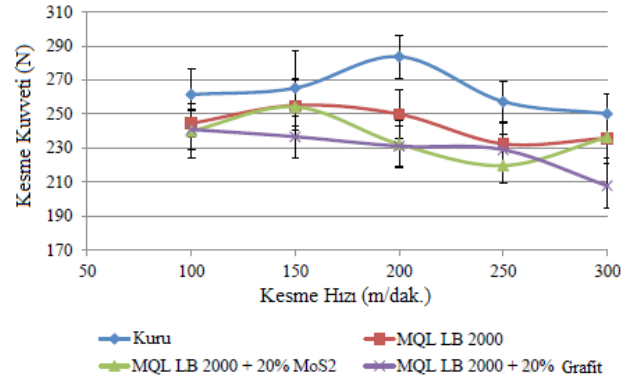
Literatürde bulunan bir başka araştırmada, Inconel 718'in Kuru, Kriyojenik sıvı nitrojen (LN2) ve Konvansiyonel soğutma/yağlama koşulları altında, farklı özelliklerde kesici takımlar kullanılarak yapılan delik delme operasyonunda birtakım parametreler incelenmiştir. Aralarında kesme kuvvetlerinin bulunduğu bu parametrelerin değişimleri incelenmiş ve bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Kesme kuvveti açısından ele alacak olursak delik delme işlemi sırasında oluşan kuvvetin en fazla olduğu durum TiAlN kaplamalı karbür matkabın, LN2 soğutma metodu ile birlikte kullanıldığı durum olduğu, şekil 5'te görülmektedir[17].



Şekil 5: Inconel 718'in Delik delme işleminde farklı soğutma/yağlama koşulları altında, TiAlN kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesinin itme kuvvetine etkisi[17].

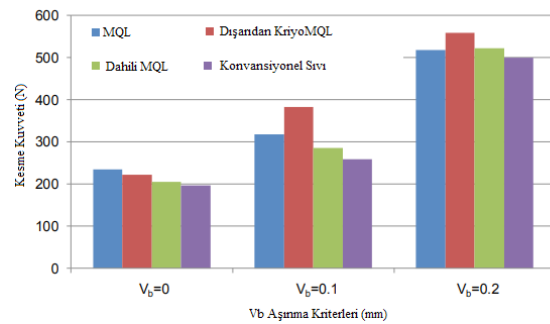
Literatürde yapılan bir başka çalışmada ise yine Inconel 718'in kuru ve Minimum miktarda yağlama (MQL) metodu ile farklı katkı maddeleri kullanılarak tormalanmasının; kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey bütünlüğü parametreleri üzerinden karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada, ilerleme oranı ( $f=0,1\text{mm/dev}$ ), talaş derinliği ( $d=0,5\text{mm.}$ ) ve değişken kesme hızları ( $V_c=10-150-200-250-300\text{m/dak}$ ) kullanılmış ve MQL metodu için biyolojik esaslı bitkisel yağ (LB2000), katı yağlayıcı partikülleri olarak (ağırlıca %20) Grafit ve Molibden Sülfat (MoS2) ile desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kesme kuvvetleri açısından MoS2 destekli biyo-yag kullanılan MQL metodunun, kesme hızının düzeyine paralel olarak kesme kuvvetlerinde artış

yada azalışa neden olduğu ancak bu durumun stabil olmadığı görülmüş, grafit katı partikül takviyeli MQL'in kesme hızı artışına paralel olarak 300m/dak gibi yüksek bir kesme hızı düzeyinde en verimli metod olduğu ifade edilmiştir. Kuru işleme metodunun ise kesme kuvvetleri konusunda en verimsiz metod olduğu, şekil 6 incelendiğinde net olarak görülebilir. Şekil 6'da Inconel 718'in farklı soğutma/yağlama koşulları altında tormalanmasının kesme kuvvetlerine etkisi detaylı olarak görülebilmektedir[22].



Şekil 6: Inconel 718'in Kuru ve Farklı MQL koşulları altında tormalanmasının kesme kuvvetlerine etkisi[22].

Inconel 718'in konvansiyonel sıvı, kriyojenik karbondioksit (CO2) gazı, Minimum miktarda yağlama (MQL) ve hibrid KriyoMQL (CO2+MQL) koşulları altında frezelenmesinin, kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkilerini inceleyen bir diğer çalışmada ise kriyojenik soğutucu olarak karbondioksit gazı (CO2) kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kesme kuvvetleri açısından Şekil 7'da ifade edilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada; kesme hızı ( $V_c=60\text{m/dak.}$ ) ilerleme oranı ( $f=0,02\text{mm/diş}$ ) ve talaş derinliği ( $d=0,2\text{mm}$ ) olarak belirlenmiş ve takım aşınma kriterlerine göre kesme kuvvetleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Aşınma kriterleri, ( $V_b=0-0,1-0,2\text{mm.}$ ) olarak referans alınmıştır[25].

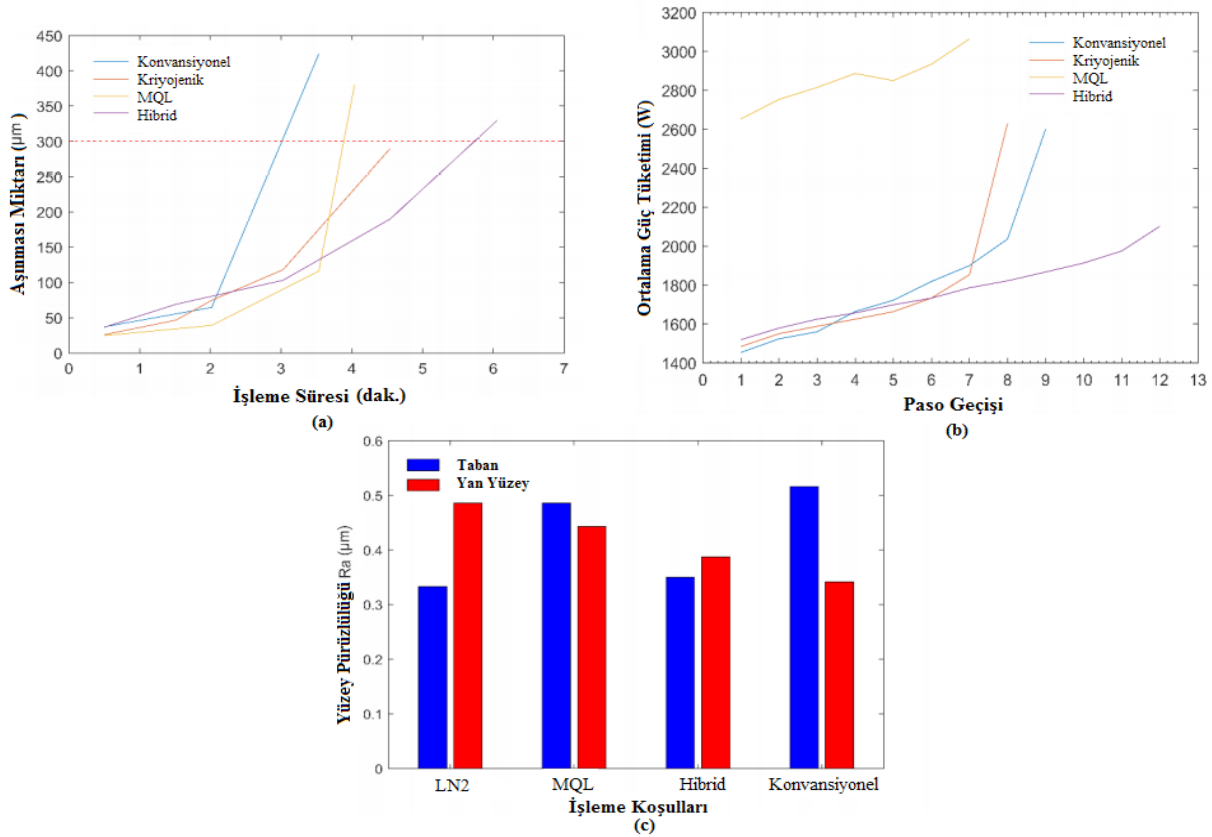


Şekil 7:  $V_c=60\text{m/dak.}$  Kesme hızında farklı aşınma kriterlerinde ve işleme koşullarında kesme kuvvetleri[25].

Şekil 7’de aşınma kriterleri referans alınarak farklı soğutma/yağlama koşulları altında oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde, takım aşınma durumunun kesme kuvvetleri üzerinde etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Yapılan çalışmaya göre, genel olarak takım üzerindeki aşınma arttıkça, kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmiştir. Soğutma/yağlama metodları açısından bakılacak olursa, minimum takım aşınma miktarının olduğu durumda kesme kuvvetleri birbirine oldukça yakın olmakla birlikte tüketilen soğutma/yağlama sıvısı açısından dahili Kriyojenik Karbondioksit gazı (CO<sub>2</sub>) takviyeli minimum miktarda yağlama (CO<sub>2</sub>+MQL) metodunun oldukça avantajlı olduğu görülmektedir[25].

Inconel 718’in yüksek kesme hızlarında ve farklı soğutma/yağlama koşulları altında frezelenmesi sırasında işlenebilirliğinin incelendiği bir başka çalışmada, 50mm x

50mm x 150mm boyutlarında bir Inconel 718 süperalaşım bloğu, sabit kesme hızı ( $V_c=140\text{m/dak.}$ ), ilerleme oranı ( $f=0,02\text{ mm/diş}$ ), Eksenel kesme derinliği, ( $a=10\text{mm.}$ ) ve radyal kesme derinliği ( $d=1\text{mm}$ ) işleme parametreleri ile Konvansiyonel kesme sıvısı, Minimum miktarda yağlama (MQL), Sıvı nitrojen (LN<sub>2</sub>) ve KriyoMQL (LN<sub>2</sub>+MQL) soğutma/yağlama koşulları altında frezeleme işlemine tabii tutulmuş ve sonuçlar takım ömrü, kesme operasyonu için sarfedilen güç miktarı, Yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinden karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Hibrid KriyoMQL (LN<sub>2</sub>+MQL) metodunun, tek başına MQL ve tek başına LN<sub>2</sub> soğutma/yağlama koşullarına göre, incelenen tüm çıktı parametrelerinde en verimli metod olduğu ifade edilmiştir. Şekil 8: Inconel 718’in farklı soğutma/yağlama metodları altında yüksek kesme hızında frezelenmesinin aşınma miktarı,

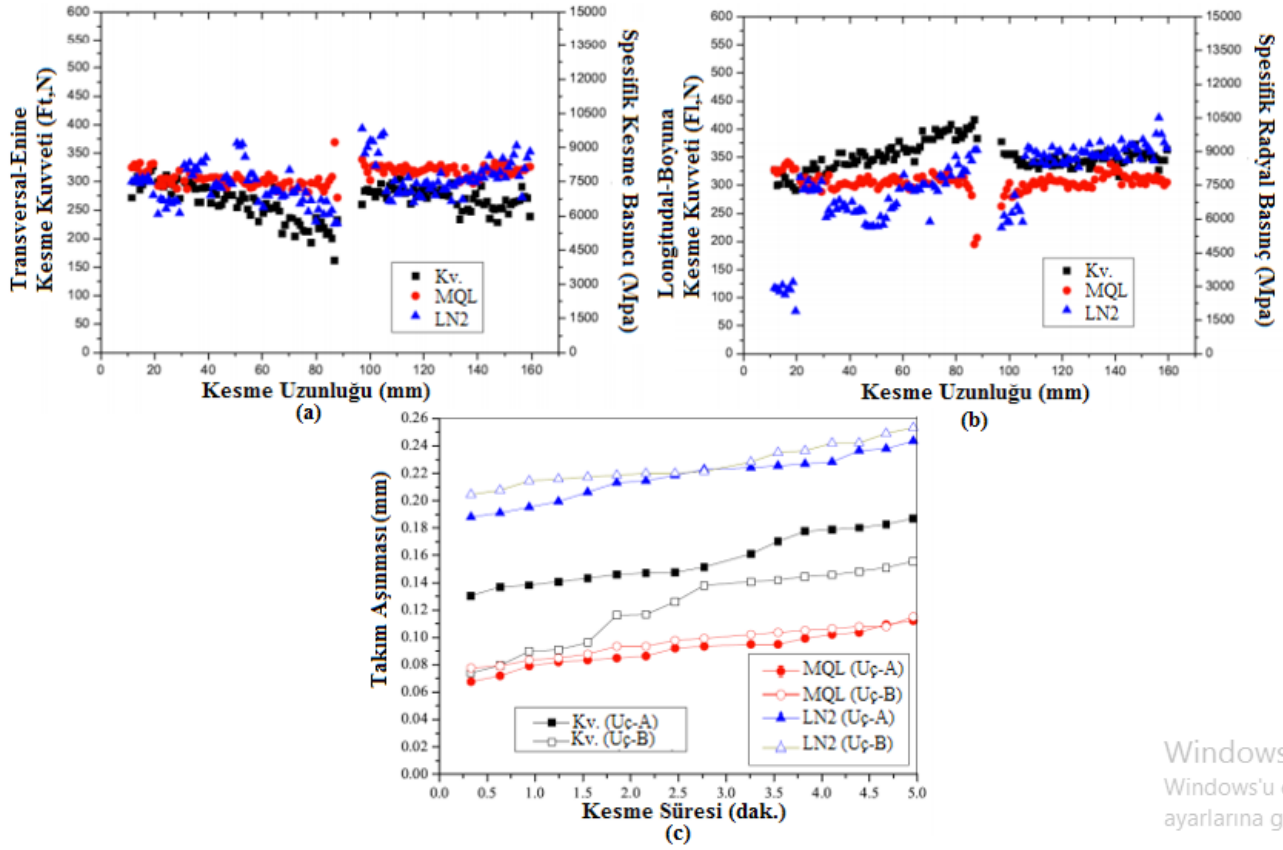


Şekil 8: Inconel 718’in Farklı soğutma/yağlama metodları altında yüksek kesme hızında frezelenmesinin (a) Aşınma miktarı, (b) Ortalama güç tüketimi ve (c) Yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinden karşılaştırılması [26].

Şekil 8’de görüldüğü üzere Kriyojenik sıvı nitrojen (LN<sub>2</sub>) ve Minimum miktarda yağlama (MQL) metodlarının oluşturduğu hibrit kriyoMQL (LN<sub>2</sub>+MQL) soğutma/yağlama metodu, LN<sub>2</sub>, MQL ve konvansiyonel metodların ayrı

ayrı kullanıldığı durumlara göre takım aşınmasını daha fazla azaltmış, bununla ilişkili olarak güç tüketimi ve yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki göreceli olarak azaltarak, verimlilik ve işlenebilirlik artışı sağlamıştır[26].





Şekil 9: Inconel 718'in Farklı soğutma/yağlama metodları altında, düşük hızda frezelenmesinin; (a) Enine Kesme Kuvveti (Ft), (b) Boyuna Kesme Kuvveti (Fl), ve (c) Yüzey pürüzlülüğü üzerinden karşılaştırılması[27].

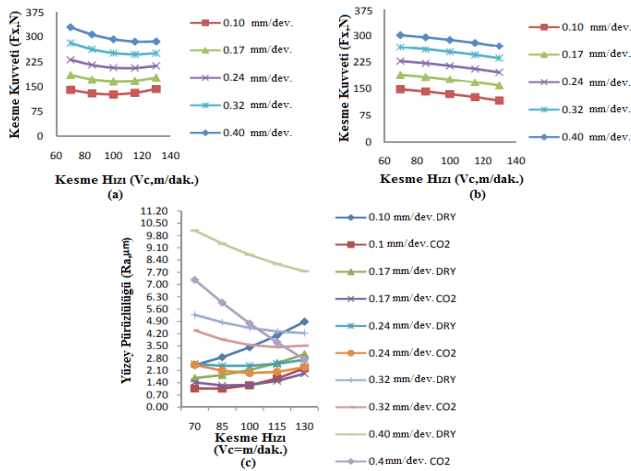
Windows  
Windows'u e  
ayarlarına gi

ortalama güç tüketimi ve yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinden karşılaştırılması ifade edilmiştir [26].

Şekil 9'de gösterilen sonuçlara göre MQL metodu en az takım aşınması sergilemiş buna karşın, boyuna kesme kuvvetini (Fl) azaltmak açısından, frezeleme işleminin başlangıcında LN2 metodunun gerisinde kalmış, işlemin sonlarına doğru LN2 metoduna göre avantaj sağlamıştır. MQL metodu, kesme işlemi süresince, boyuna kesme kuvveti (Fl) açısından diğer metodlara göre daha stabil değerler sağlamış, buna karşın Enine kesme kuvveti (Ft) konusunda kesme işlemi süresince hemen hemen en yüksek kesme kuvveti değerleri sergilemiştir. Genel olarak Enine kesme kuvveti (Ft) açısından, konvansiyonel soğutma/yağlama metodu en iyi performansı sergilemiş ve boyuna kesme kuvvetini (Fl) açısından, LN2 ve MQL metodları oldukça yakın değerler ortaya koymuştur[27].

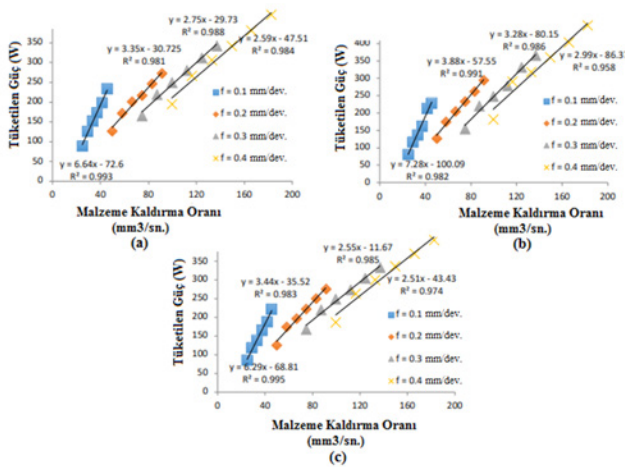
Inconel 718'in kuru ve Kriyojenik CO2 koşullarında yüksek hızda tornalanmasının; işlem kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik, spesifik kesme basıncı üzerindeki etkileri, karşılaştırmalı olarak incelendiği bir başka

çalışmada çalışmada ise işleme parametreleri olarak, değişken kesme hızları ( $V_c=80-85-100-115-130$  m/dak) ve ilerleme oranları ( $f=0,10-0,17-0,24-0,32-0,40$  mm/dev.) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Kriyojenik CO2 koşullarında, düşük kesme hızlarında yapılan kesme operasyonunda ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin, kriyojenik CO2'nin malzemenin sertleşmesine neden olmasından dolayı, kuru işleme nazaran daha yüksek olduğu, nispeten yüksek kesme hızlarında ise kesme kuvvetlerinin, iş malzemesinin sıcaklığının yükselmesinden dolayı azaldığı görülmüştür. Kriyojenik CO2 koşullarında işleme operasyonu sırasında kesme hızı artırıldıkça kesme kuvvetlerinin azalmasına paralel olarak takım aşınma miktarı azalmış ve bununla ilişkili olarak yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Her iki soğutma/yağlama koşulunda da kesme hızı ve ilerleme oranı paralel olarak artırıldığında yüzey pürüzlülüğünde arttığı görülmüştür[28]. Şekil 10'da Inconel 718'in farklı kesme hızlarında; kuru işleme koşullarında, Kriyojenik (CO2) koşullarında işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinden karşılaştırılması detaylı olarak sunulmuştur[28].



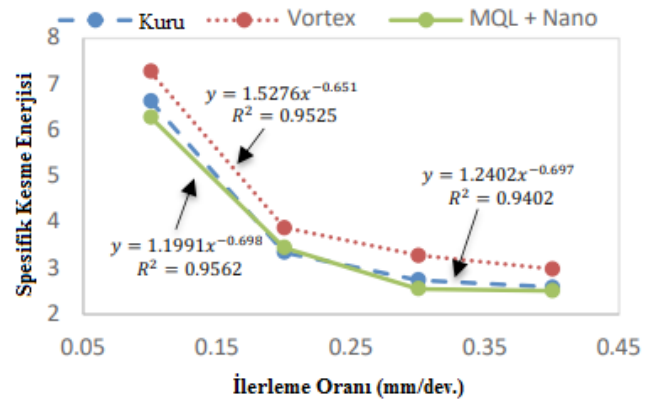
**Şekil 10:** Inconel 718'in farklı kesme hızlarında; (a) kuru koşullarında, (b) Kriyojenik koşullarda işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve (c) Yüzey pürüzlülüğü üzerinden karşılaştırılması[28].

Inconel 718'in Kuru, soğutulmuş basınçlı hava ve nano-sıvı takviyeli minimum miktarda yağlama şartları altında tornalanması sırasında oluşan spesifik kesme kuvvetlerini incelemek amacıyla yapılan bir başka çalışmada değişken işleme parametreleri olarak farklı kesme hızları (V<sub>c</sub>=60-70-80-90-100-110m/dak.) ve ilerleme oranı (f=0,1-0,2-0,3-0,4mm/dev) olarak belirlenmiş ve talaş derinliği (a=0,25mm) sabit tutulmuştur[29]. Şekil 11'de Inconel 718'in farklı kesme hızları ve ilerleme oranlarında; kuru, soğutulmuş basınçlı hava (Vortex tüpü), nano yağlayıcı takviyeli MQL koşullarında işlenmesinde, tüketilen güç – malzeme kaldırma oranı ilişkisi görsel olarak sunulmuştur[29].



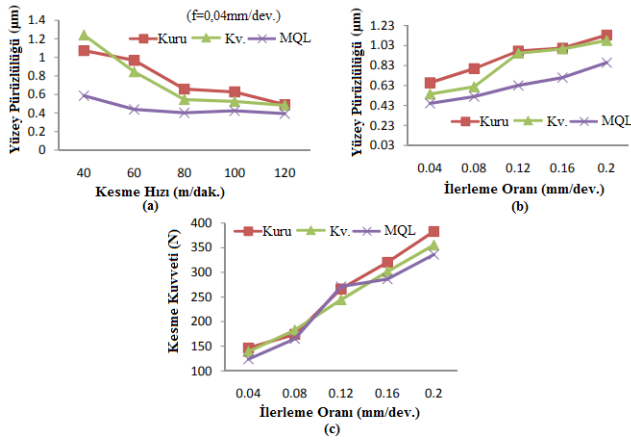
**Şekil 11:** Inconel 718'in farklı kesme hızları ve ilerleme oranlarında; (a) kuru, (b) Soğutulmuş Basınçlı hava, (c) Nano yağlayıcı takviyeli MQL koşullarında işlenmesinde, Tüketilen Güç – Malzeme kaldırma oranı ilişkisi[29].

Şekil 11, detaylı olarak incelendiğinde; görsellerde her bir ilerleme oranı (f) değerine karşılık kesme hızlarını (V<sub>c</sub>) temsilen 4 renkten 6'şar adet renkli nokta bulunmaktadır. Buna göre Nano yağlayıcı takviyeli Minimum miktarda yağlama metodunun (nMQL) uygulandığı deneylerde, en yüksek verim elde edildiği görülmektedir. Deneylerde nMQL metodunu kuru işleme metodu takip ederken en düşük verim, basınçlandırılmış soğuk hava (Vortex tüpü) metodunun kullanıldığı deneylerde görülmüştür. Şekil 12'de Inconel 718'in farklı ilerleme oranlarında; kuru, soğutulmuş basınçlı hava (Vorteks Tüpü), Nano yağlayıcı takviyeli minimum miktarda yağlama (nMQL) koşullarında işlenmesinde, spesifik kesme enerjisi – ilerleme oranı ilişkisi görülmekte ve şekil 11'deki sonuçları desteklemektedir[29].



**Şekil 12:** Inconel 718'in farklı ilerleme oranlarında; kuru, Soğutulmuş Basınçlı hava (Vorteks Tüpü), Nano yağlayıcı takviyeli MQL koşullarında işlenmesinde, Spesifik kesme enerjisi – İlerleme oranı ilişkisi[29].

Yapılan bir başka çalışmada Inconel 718'in kuru, Konvansiyonel ve MQL soğutma/yağlama koşulları altında, işleme parametreleri olarak değişken kesme hızları (V<sub>c</sub>=40-60-80-100-120m/dak.), ilerleme oranları (f=0,04-0,08-0,12-0,16-0,20 mm/dev) ve sabit talaş derinliği (a=0,5mm) kullanılarak işleme deneyleri gerçekleştirildiği bir başka çalışmada ise, çalışmaların sonuçları, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve sonuçlar şekil 13'de ifade edilmiştir[30].



**Şekil 13:** Inconel 718'in kuru, Konvansiyonel ve MQL koşullarında tormalanması sırasında, (a) kesme hızı, (b) ilerleme oranı değişiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, (c) Kesme kuvveti-İlerleme oranı ilişkisi[30].

Şekil 13'te sunulan sonuçlar incelendiğinde, en düşük kesme kuvvetlerinin, minimum miktarda yağlama (MQL) metodunun, en küçük ilerleme oranı parametresi olan ( $f=0,04$  mm/dev.) ilerleme oranı değeriyle birlikte kullanıldığı deneyde elde edildiği ve yine aynı ilerleme değeri sabit tutularak, kesme hızları yükseldikçe yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir. Çalışmanın sonucu, minimum miktarda yağlama (MQL) metodunun, ( $f=0,12$ mm/dev) ilerleme oranında diğer metodların üzerinde bir kesme kuvveti oluşturmasına karşın, diğer ilerleme oranlarında en düşük kesme kuvvetlerinin oluşmasını sağladığı ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerini ortaya koyduğu belirgin olarak görülmektedir[30].

### III. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Nikel alaşımlarının talaşlı imalatı konusunda literatürde bulunan çalışmalar genellikle, Endüstrilerde sık kullanılması nedeniyle, Inconel 718 alaşımının farklı kesme şartları ve kesme parametreleri altında talaşlı imalat işlemine tabi tutulmasının, yüzey ve yüzeyaltı bütünlüğü özellikleri, kesme kuvvetleri, takım ömrü gibi çıktılar üzerinden karşılaştırılması üzerine yapılmıştır[12,16-18,20,22,26-30]. Konu ile ilgili genel bir literatür araştırması yapıldığında ve elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; nikel alaşımlarının talaşlı imalatında kriyojenik sıvı nitrojen (LN2) ve kriyojenik karbondioksit gazı (CO2) kullanılarak yapılan soğutma uygulamalarının düşük kesme hızlarında, kesme sıcaklığının nispeten düşük olduğu durumlarda, malzemeyi fazla soğutması nedeniyle kesme kuvvetleri ve takım aşınmasında artışa eden olabileceği, bu durumun ise kesme hızları ve ilerleme oranlarını nispeten daha yüksek

seçerek belli oranda önlenilebileceği gözlenmiştir. Minimum miktarda yağlama (MQL) türevlerinin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde orta düzey kesme hızlarında bu metodun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri konusunda verimli olabileceği ancak yüksek kesme hızlarında soğutma konusunda yetersiz kalarak, takım aşınması ve kuvvet artışıyla birlikte, takım aşınmasında artırdığı gözlenmiştir[17,20,25,26,28]. Genel olarak farklı soğutma/yağlama koşullarının, tek başına kullanılarak talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde azaltılabilmesi pek mümkün görünmemektedir. Son yıllarda sıkça araştırma konusu olan kriyojenik soğutma içeren hibrid soğutma/yağlama metodlarının, talaşlı imalat operasyonlarında kesme kuvvetlerinin azaltılması konusunda diğer metodlara nispeten daha verimli olduğu ifade edilmişse de yapılan çalışma sayısı henüz kısıtlıdır[6,14,17,20,25,26,29]. Kriyojenik metodların ve Minimum miktarda yağlama metodu türevlerinin münferit olarak yetersiz kaldığı durumlarda, genel olarak nikel alaşımlarının işlenmesinde başta hibrit soğutma/yağlama metodlarının, kesme hızının yüksek olduğu durumlarda oldukça etkili olabileceği görülmektedir[16,20,22,26,27,30]. Elde edilen sonuçlara göre, nikel alaşımlarının talaşlı imalat operasyonlarında, düşük kesme hızlarının tercih edilmesi durumunda, kriyojenik metodların soğutma kabiliyetlerinin sebep olduğu malzeme sertleşmesi problemlerine bağlı takım aşınması, kesme kuvvetlerinin artışı ve yüzey pürüzlülüğünün artması problemleri; Minimum miktarda yağlama metodu ve türevlerinin, yüksek hızlarda kullanılmasında da görülmektedir. Soğutma/yağlama metodlarının karakteristiklerinden kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak gerekmektedir. Kriyojenik metodların yüksek soğutma kapasitesinin yeterli düzeyde yağlama kapasitesiyle desteklenmesi için, Minimum miktarda yağlama (MQL) metodu ve türevlerinin iyi düzeydeki yağlama özelliklikleri kullanılabilir. Böylece Kriyojenik ve Minimum miktarda yağlama (MQL) metodlarının dezavantajları, münferit metodlara göre azalacak ve nikel alaşımların talaşlı imalatında verimlilik ve işlenebilirlik artışı sağlanabilecektir. Bütün bunlarla birlikte sadece soğutma/yağlama metodları üzerinden değerlendirmelerde bulunmak sağlıklı bir yaklaşım değildir. Dolayısıyla kullanılacak soğutma/yağlama metodları yanısıra, kesme parametreleri ve talaşlı imalat metodunun birlikte ve en uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir. Nikel alaşımlarının talaşlı imalatında, kesme kuvvetlerinin incelenmesi konusundaki yaklaşımlarının çeşitlendirilmesi, hibrid soğutma/yağlama metodlarının geliştirilmesi ve kesme kuvvetlerinin azaltılması için gereken soğutma/yağlama, malzeme tipi, parametre grubu, imalat metodu kombinasyonlarının daha fazla netleştirilebilmesi için, bu alanda daha fazla sayıda araştırma yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Aluminum Association. (1984). Aluminum: properties and physical metallurgy. ASM international..
- [2] Lin, J., Balint, D., & Pietrzyk, M. (Eds.). (2012). Microstructure evolution in metal forming processes. Elsevier.
- [3] ALTIN, A. (2010). Inconel 718 Süper Alaşımının Sementit Karbür Kesici Takımlar ile İşlenmesinde, Kesici Takım Kimyasal Özelliklerinin Takım Performansına Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi; Cilt: 15 Sayı: 2; 89-94..
- [4] Ezugwu, E. O. (2007). Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique. *Journal of Materials Processing Technology*, 185(1-3), 60-71.
- [5] Ulutan, D., & Ozel, T. (2011). Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(3), 250-280..
- [6] Thellaputta, G. R., Chandra, P. S., & Rao, C. S. P. (2017). Machinability of nickel based superalloys: a review. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3712-3721.
- [7] Ezugwu, E. O., Wang, Z. M., & Machado, A. R. (1999). The machinability of nickel-based alloys: a review. *Journal of Materials Processing Technology*, 86(1-3), 1-16.
- [8] Çakır, M. C. (2000). "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", Dora Basım Yayın, İstanbul, Türkiye s.12-275.
- [9] Iturbe, A., Hormaetxe, E., Garay, A., & Arrazola, P. J. (2016). Surface integrity analysis when machining inconel 718 with conventional and cryogenic cooling. *Procedia CIRP*, 45, 67-70.
- [10] Balan, A. S. S., Vijayaraghavan, L., Krishnamurthy, R., Kuppan, P., & Oyyaravelu, R. (2016). An experimental assessment on the performance of different lubrication techniques in grinding of Inconel 751. *Journal of advanced research*, 7(5), 709-718.
- [11] Sinha, M. K., Madarkar, R., Ghosh, S., & Rao, P. V. (2017). Application of eco-friendly nanofluids during grinding of Inconel 718 through small quantity lubrication. *Journal of cleaner production*, 141, 1359-1375.
- [12] Pleta, A., & Mears, L. (2016). Cutting Force Investigation of Trochoidal Milling in Nickel-Based Superalloy. *Procedia Manufacturing*, 5, 1348-1356.
- [13] Czan, A., Sajgalik, M., Holubjak, J., Zauskova, L., Czanova, T., & Martikan, P. (2017). Identification of Temperatures in Cutting Zone when Dry Machining of Nickel Alloy Inconel 718. *Procedia Manufacturing*, 14, 66-75.
- [14] Uçak, N., & Çiçek, A. (2017, September). Talaşlı İmalat Süreçlerinde Kriyojenik Soğutma Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan).
- [15] He, Z. H., Zhang, X. M., & Ding, H. (2016). Comparison of residual stresses in cryogenic and dry machining of inconel 718. *Procedia Cirp*, 46, 19-22.
- [16] Kaynak, Y. (2014). Evaluation of machining performance in cryogenic machining of Inconel 718 and comparison with dry and MQL machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(5-8), 919-933.
- [17] Uçak, N., & Çiçek, A. (2018). The effects of cutting conditions on cutting temperature and hole quality in drilling of Inconel 718 using solid carbide drills. *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 662-673.
- [18] Xia, T., Kaynak, Y., Arvin, C., & Jawahir, I. S. (2016). Cryogenic cooling-induced process performance and surface integrity in drilling CFRP composite material. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1-4), 605-616.
- [19] Aramcharoen, A., & Chuan, S. K. (2014). An experimental investigation on cryogenic milling of Inconel 718 and its sustainability assessment. *Procedia Cirp*, 14, 529-534.
- [20] Behera, B. C., Alemayehu, H., Ghosh, S., & Rao, P. V. (2017). A comparative study of recent lubri-coolant strategies for turning of Ni-based superalloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 30, 541-552.
- [21] Akkurt, M. (1992). Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, s.5-66.
- [22] Marques, A., Suarez, M. P., Sales, W. F., & Machado, Á. R. (2019). Turning of Inconel 718 with whisker-reinforced ceramic tools applying vegetable-based cutting fluid mixed with solid lubricants by MQL. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 530-543.
- [23] Weber, J. H., & Banerjee, M. K. (2016). Nickel and nickel alloys: an overview.
- [24] Kale, A., & Khanna, N. (2017). A Review on Cryogenic Machining of Super alloys Used in Aerospace Industry. *Procedia Manufacturing*, 7, 191-197.
- [25] Pereira, O., Urbikain, G., Rodríguez, A., Fernández-Valdivielso, A., Calleja, A., Ayesta, I., & de Lacalle, L. L. (2017). Internal cryolubrication approach for Inconel 718 milling. *Procedia Manufacturing*, 13, 89-93.
- [26] Shokrani, A., Dhokia, V., & Newman, S. T. (2017). Hybrid cooling and lubricating technology for CNC milling of Inconel 718 nickel alloy. *Procedia Manufacturing*, 11, 625-632.
- [27] de Paula Oliveira, G., Fonseca, M. C., & Araujo, A. C. (2018). Residual stresses and cutting forces in cryogenic milling of Inconel 718. *Procedia CIRP*, 77, 211-214.
- [28] Patil, N. G., Asem, A., Pawade, R. S., Thakur, D. G., & Brahmankar, P. K. (2014). Comparative study of high speed machining of Inconel 718 in dry condition and by using compressed cold carbon dioxide gas as coolant. *Procedia CIRP*, 24, 86-91.
- [29] Ali, M. A. M., Azmi, A. I., & Khalil, A. N. M. (2018). Specific cutting energy of Inconel 718 under dry, chilled-air and minimal quantity nanolubricants. *Procedia CIRP*, 77, 429-432.
- [30] Behera, B. C., Chetan, S. G., & Rao, P. V. (2014, December). Effects on forces and surface roughness during machining Inconel 718 alloy using minimum quantity lubrication. In Fifth International and 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR), Assam, India, Dec (pp. 12-14).