

---

**Makale / Research Paper**

---

## **Hafif Metallerde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sisteminin Kullanımı**

**Süleyman Çınar ÇAĞAN, Berat Barış BULDUM\*, İskender ÖZKUL**

Mersin University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 33343 Ciftlikkoy,  
Mersin/TURKEY

cinarcagan@mersin.edu.tr, barisbuldum@mersin.edu.tr, iskender@mersin.edu.tr

**Received/Geliş:**18.01.2018

**Revised/Düzeltilme:** 19.01.2018

**Accepted/Kabul:** 19.01.2018

**Öz:** Bu çalışmada, hafif yapı metallerinde minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi altındaki işlenebilirliği ile ilgili çalışmalar araştırılmıştır. Hafif metal ve alaşımlarının, işlenebilirliği son derece zor ve maliyetli malzemelerdir. Yapılan çalışmanın temel amacı, bu alanda yapılacak bilimsel çalışmalara katkı yapmak ve aynı zamanda hafif metaller ve alaşımlarının işlenmesi sırasında doğru kesici takım, işleme operasyonu ve kesme parametrelerinin seçimine yardımcı olmaktır. Çalışmanın bir diğer amacı ise MMY sisteminin otomotiv, havacılık ve uzay sanayiinde kullanımının stratejik önemi olan hafif metallerin ve alaşımlarının işlenebilirliğine etkilerini incelemektir. Bütün bu amaçlara ulaşmak için dünyada ve Türkiye’de hafif ve metaller ve alaşımlarının MMY sistemi ile işlendiği çalışmalar incelenmiş ve sonuçlarına ait bilgiler verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hafif metaller, Minimum miktarda yağlama, derleme

---

## **Use of Minimum Quantity Lubrication (MQL) System on Light Metals**

**Abstract:** In this study, machinability studies of lightweight construction under the minimum quantity lubrication (MQL) system has been investigated. Lightweight metals and alloys are extremely difficult and costly to process. The main purpose of the work being done is to contribute to the scientific work to be done on this area and to assist in the selection of the correct cutting tool, machining operation and cutting parameters during the processing of light metals and alloys. Another aim of the study is to examine the effects of the use of the MQL system in the automotive, aerospace, and space industries on the machinability of light metals and alloys which are strategic priorities. In order to reach all these objectives, studies on light and metals and their alloys processed with MQL system in the world and Turkey have been examined and their results have been given.

**Keywords:** Lightweight materials, Minimum quantity lubrication, review

---

### **1. Giriş**

Metallerin bilimsel geçerlilikleri olan yöntemleri kullanılarak şekillendirilmesi, özellikle talaşlı imalatlarının yapılması, istenen bir durumdur. Hafif metaller grubunda bu daha da önem kazanmaktadır. Hafif metaller günümüzde diğer metal gruplarına göre ekonomik olarak daha değerli olup bu değerleri gelişen teknoloji ile artmaktadır. Hafif metal grubundan Magnezyum alaşımlarının talaşlı imalatı, en az malzeme sarfiyatı ile yapılabilmesi, son ürün haline gelme sürecinde önemlidir. Bu malzemelerin düşük yoğunluklara sahip olmasının getirdiği avantajlara ek olarak ve endüstriyel uygulamalarda rakiplerine karşı gösterdiği avantajlar göz önüne alındığında, optimize edilmiş olarak imalatının yapılması da büyük bir avantaj sağlamaktadır [1].

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Çağan, S.Ç., Buldum, B.B., Özkul, İ., “Hafif Metallerde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Sisteminin Kullanımı” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 582-590.

*How to cite this article*

Çağan, S.Ç., Buldum, B.B., Özkul, İ., “Use of Minimum Quantity Lubrication (MQL) System on Light Metals” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 582-590.

Otomobil endüstrisi başta olmak üzere imalat, havacılık ve uzay endüstrisinde de, hafif malzeme kullanımı yakıt tüketimini azaltmak için kullanılabilir en kolay çözüm yönteminden biridir. Kullanılabilir malzemelerin aynı zamanda geri dönüşebilir olması da önemli bir gereksinimdir [2].

Hafif malzeme seçiminde önemli potansiyel kullanım alanına sahip olan alüminyum, magnezyum, titanyum, berilyum gibi hafif yapı metalleri, imalat otomotiv, havacılık ve uzay endüstrilerinde yakıt tasarrufu için yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. İmalatçılar bir yandan çevre dengenin korunmasını düşünürken, diğer yandan, bu amaçla ürettikleri malzemelerin ekonomik olması gereklidir. Otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde güvenlik ve konfordan ödün vermeden, az yakıt tüketen taşıtlar yapmak için hafif, fakat mukavemeti yüksek malzemelerin geliştirilmesi, imalatçıların en önemli hedefi olmaktadır. [4].

Hafif metallerin işlenmesi için sırasında, takım ömrü, verimlilik artışını etkilemesinden dolayı üretim maliyetleri etkileyen en önemli faktör olarak karşılaşılmaktadır [1]. Bütün talaş kaldırma problemlerinde olduğu gibi hafif metallerin işlenmesinde de en büyük problemlerden biri talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan yüksek ısının işlenmiş yüzey kalitesini ve kesici takım ömrünü olumsuz yönde etkilemesidir. Bu olumsuz etkileri azaltmak için kullanılan en yaygın yöntem kesme esnasında soğutma sıvısı kullanımıdır [5].

Soğutma sıvıları, kesme esnasında ortaya çıkan ısı veya mekanik problemlerin azaltılmasında önemli rol oynamaktadırlar [6]. Yağlama işlemi ile sürtünme azaltılmakta olup oluşan talaş kesme bölgesinden uzaklaştırarak takım ömrünün uzamasına ve işleme kalitesinin artmasına yardımcı olmaktadır [7]. Ancak, soğutma sıvılarının kullanımı hem üretim maliyetleri içinde önemli bir yer tutmaktadır hem de çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir [8.9]. Bu nedenden dolayı gerek üretim maliyetlerini aşağı çekme isteği gerekse işçi sağlığı ve çevresel etkilerden dolayı kesme esnasında kullanılan soğutma sıvısı miktarını azaltmak günümüz araştırmacıları için önemli bir araştırma konusunu oluşturmaktadır.

Bu çalışmada son zamanlarda endüstride yaygın olarak kullanılan hafif metallerin işlenmesi esnasında farklı soğutma-yağlama yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaları inceleyerek irdelemektir. Böylece, daha sonra bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara yardımcı olup gerek soğutma-yağlama yöntemlerinin uygulanabilirliği gerekse de kesme parametrelerinin uygulanabilirliği açısından yol göstermeyi hedeflemektedir. Bu sebeple, yapılan çalışmada minimum miktarda yağlama sisteminin hafif metallerde geleneksel yöntemlerle işlenmesi ile yapılan uygulamaları üzerine durulmuştur.

## 2. Hafif Metaller

Hafif malzemeler, uçak, otomobil, demiryolu, gemi ve savunma sanayi gibi ulaştırma sektörlerinde giderek kritik hale gelmiştir. Hafif metal ve alaşımlar yüksek mukavemet ağırlık oranlarına ve düşük yoğunluğa sahip olup genellikle berilyum hariç ağır metallerle karşı düşük toksisite ile tanımlanır. Hafif metaller alüminyum, magnezyum, titanyum ve berilyum alaşımlarından oluşmaktadır [10-12].

Hafif metaller, hafif ve geliştirilmiş performans özelliklerine ihtiyaç duyulan malzemeler ve işlemler için sıklıkla kullanılmaktadır[13]. Tüketiciler için özel tasarlanan hafif araçların yanı sıra sanayi ve askeri sektörler için de daha az yakıt tüketimi sağlar ve daha iyi bir performans elde edilmesine yol açar. Hafif araçlar, daha büyük yükler taşımanın yanı sıra aynı mesafelerde düşük maliyetle seyahat edilebilir ve daha az karbondioksit salınımı yapılmaktadır [13].

### **2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri**

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, hafif, mükemmel mukavemet, süneklik ve aşınma direnci ile karakterize demir dışı metallerdir. Alüminyum iyi bir ısı iletkenidir ve titanyum / çelik alaşımlarında alaşım elementi olarak da kullanılır [14].

Alüminyum titanyumdan daha hafif ancak güçlü değildir. Alüminyum alaşımları, azalan sıcaklık ile artan mükemmel sağlamlık ve esnekliğe sahiptir [13-14]. Sıfır sıcaklığın altında, alüminyum alaşımlarının çoğu, darbe mukavemeti ve gerilme mukavemetleri gibi özelliklerde hafif bir değişiklik gösterir. Verim artabilir ve uzama biraz azalabilir. Alüminyum alaşımlarının sünek-kırılgan geçişi yoktur [13].

### **2.2. Magnezyum ve Magnezyum Alaşımlarının Özellikleri**

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına benzer şekilde, magnezyum ve magnezyum alaşımları, iyi süneklik, düşük yoğunluk ve mükemmel aşınma direnci ile karakterize edilen demir dışı metallerdir [15-16]. Malzemeler, koşul, bileşim, ısıl işlem, imalat detayları gibi çeşitli faktörlere dayanan çekme ve diğer özelliklere sahiptir [15].

Magnezyum kesin bir verim noktasına sahip değildir ve magnezyum alaşımları çentikler ve diğer dayanıklılık artırıcılara duyarlıdır ve bu da dayanıklılık sınırlarını önemli ölçüde azaltır. Magnezyum esaslı malzemeler düşük elastisite modülüne sahip ve yüksek birim esnekliğine sahiptir [15-16]. Erimiş alüminyumdan farklı olarak, erimiş magnezyum alet çelikleri ile reaksiyona girmez ve ömrü ömrünü uzatır. Ayrıca, düşük ısı girişi ve düşük erozyon, termal yorulma eğilimini azaltır [13].

### **2.3. Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Özellikleri**

Titanyum ve titanyum alaşımları, yüksek mukavemet ağırlık oranlarına, iyi yorulma özelliklerine ve mükemmel korozyon direncine sahiptir [17]. Ticari olarak saf titanyum ve titanyum alaşımları manyetik değildir. Tüm titanyum alaşımlarının ısıl iletkenliği bir metal için oldukça düşüktür. Sıcaklık, titanyumun fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Alüminyum sınıfları, ağırlıklı olarak yüksek mukavemetli malzemeler, ticari olarak saf kalitelere kıyasla nispeten daha yüksek sıcaklıklara kadar çekme ve dayanım mukavemetleri muhafaza edebilir.

Titanyum alaşımlarının çekme mukavemetlerinin aksine mükemmel yüksek devir yorulma mukavemetleri vardır. Tokluk, birbirine bağlı olan doku, mikro yapı, mukavemet ve bileşime dayanır [17].

## **3. Minimum Miktarda Yağlama Sistemi**

Geleneksel imalat yöntemlerinin uygulanması sırasında kesme bölgesinde yoğun bir ısı üretimi ortaya çıkmaktadır. Bu ısı takım ömrünü etkilediğinden gerek bitmiş ürün kalitesi gerekse de üretim maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. İmalatçılar bu ıyı minimuma düşürülebilme için soğutma-yağlama yöntemlerini kullanmaktadırlar. Son dönemde soğutma-yağlama yöntemlerin geliştirilmesiyle ilgi çalışmalar da önemli ölçüde artmıştır [18,19]. Bunlar; Yüksek basınç, Kriyojenik soğutma, Katı soğutma, Kesme sıvısı, Basınçlı hava/buhar/gaz, MMY sistemidir.

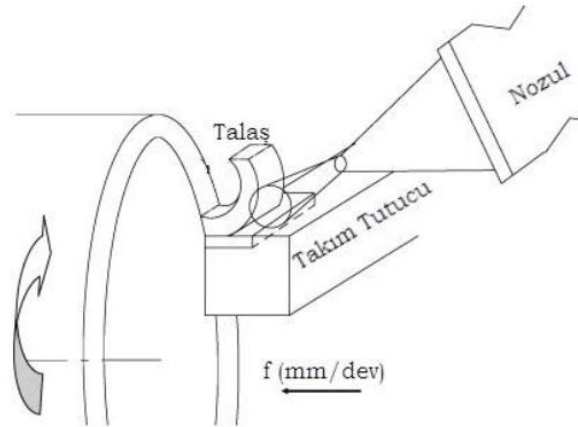
Soğutma-yağlama yöntemlerinde en fazla ilgi kesme sıvılarına aittir. Kesme sıvısı kullanılarak yapılan soğutma yöntemi ile yüzey kalitesi ve takım ömründe iyileşme görülmekte olup fazla miktarda kullanılması durumunda ise işçi sağlığı, çevre kirliliği gibi olumsuz etkilere de sebep olmaktadır. Bu sebepten ötürü kesme sıvısının kullanımının azaltılmasıyla ilgili çalışmalara ilgi artmaktadır. Kesme sıvısının tamamen ortadan kaldırıldığı işleme türü olan kuru işleme yönteminde

kesme sıvısı kullanılmamakta olup maliyet düşürülmektedir fakat yüksek işleme verimi ve iyi yüzey kalitesinin istendiği üretimlerde tercih edilmemektedir. “Minimum Miktarda Yağlama” kavramı, ilk olarak 1996 yılında W. D. Hewson ve G. K. Gerow adlı bilim insanları tarafından ortaya atılmıştır. [20]. Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sistemi, günümüz imalat işlemlerinde yaygın olarak kullanılan ve soğutma teknikleri üzerine çalışan araştırmacılar için önemli bir konudur [21]. MMY, ana işleme yöntemlerinde torna, freze, delme ve taşlama işlemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır [22]. Kuru ve geleneksel soğutma-yağlamanın karışımı olarak tanımlanabilen MMY, her iki sistemin avantajlarını bünyesinde toplamaktadır. MMY sisteminin en belirgin faydaları üretim maliyetlerini aşağı çekmek ve işçi sağlığını korumak olarak sıralanabilir [22]. MMY sisteminin kullanımı ile birlikte toplam üretim maliyetinde % 15'e kadar iyileştirme sağlanabilmektedir [22].

### 3.1.MMY Sisteminin Çalışma Prensibi

Klasik soğutma yöntemleri temel olarak büyük miktarda soğutma sıvısını kesme bölgesine aktararak soğutma ve/veya yağlama işlemini yapma amacıyla çalışmaktadır [22]. Minimum miktarda yağlama (MMY), klasik sulu işleme ile kuru işlemenin birleşimi bir teknik olarak tanımlanabilir. Minimum kesme sıvısı kullanımını amaçlayan MMY sistemi, kesme sıvısını yüksek basınçlı hava ile kesme bölgesine iletmesi mantığı ile çalışmaktadır [22]. Bu yüksek basınçlı püskürtme, soğutma ve yağlama görevinin yanında kesme sıvılarının bir başka görevi olan talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırma işlemini de yapmaktadır [22].

Kuru işleme şartlarının uygun olmadığı ve soğutma sıvısı kullanılmasının istenmediği durumlarda minimum miktarda yağlayıcı kullanmak en doğru çözüm olmaktadır. Bunu soğutma sıvılarının zararlı etkilerinden kaçınmanın diğer bir yolu olarak da görüp işleme anındaki soğutma sıvısı miktarını azaltma olarak ifade edilebilir. İşleme anında takım ile malzeme arasındaki temas yüzeyine soğutucunun yeterli miktarda basınçlı havayla birlikte püskürtülmesi sağlanmaktadır. Sistemden gelen basınçlı hava içinde yer alan yağlayıcı çok küçük damlacıklar halinde istenilen noktaya püskürtme yöntemi ile yayılır. Bu tekniğe, Minimum Miktarda Yağlayıcı (MMY) denir. Şekil 1’de Minimum Miktarda Yağlayıcının işleme anındaki şematik gösterimi verilmiştir [1].



Şekil 1. Minimum miktarda yağlayıcının şematik gösterimi [1]

## 4. Hafif Metallerin İşlenmesinde Minimum Miktarda Yağlama Sistemi Uygulamaları

İmalat sürecinde kullanılan kesme sıvılarının, takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğüne karşı olumlu etki etmesi, ayrıca çevreye ve insan sağlığına karşı korumacı bir yaklaşımla üretim için yıllardır çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Dolayısıyla kullanılan kesme sıvısı miktarlarının en aza indirilmesi ve insan sağlığına karşı olumsuz etkilerinin bulunmaması ihtiyacımız olan gereksinimleri sağlayabilmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen Minimum Miktarda Yağlama (MMY) sistemleri

kesme sıvısı kullanılarak parçanın işlenmesi için ihtiyaç duyulan gereksinimlerin karşılanması amaçlanmıştır.

Çakır ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [23] AA7075 ve AA2024 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında MQL tekniği uygulanmıştır. Numuneler dört farklı kesme hızı (150, 187.5, 240 ve 300 m/dk), iki farklı besleme hızı (0.1 ve 0.2 mm/devir) ve dört farklı akış hızı (0.25, 0.45, 0.90 ve 3.25 ml/dk). Deneylerin sonunda artan besleme hızı ve kesme hızının yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği, buna karşın artan akış hızının yüzey kalitesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür.

Kaynak ve arkadaşların yaptığı çalışmada, [24] beta titanyum alaşımının yakınında yeni nesil olan ve yüksek korozyon ve yorulma direnci gibi üstün özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan Ti-6Al-4V ile yer değiştirecek bir potansiyele sahip olan Ti-5553 alaşımının talaş oluşum sürecinin incelenmesini sunulmaktadır. Bu çalışmanın deneysel kısmı kuru, kriyojenik, minimum miktar yağlama (MQL) ve yüksek basınçlı soğutma sıvısı koşullarında Ti-5553 alaşımının ortogonal kesim prosesini içermektedir. Çeşitli işleme koşullarından kaynaklanan talaş-takım temas uzunluğu, kuvvetleri, sıcaklık, talaş morfolojisini gözlemlemek için çeşitli kesme hızları göz önüne alınmıştır. Oliviera ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [25] titanyum alaşımının tornalanması ile yüzey pürüzlülüğü, pasif kuvvet, besleme hızı kuvvet kesme kuvveti ve mikro sertlik bakımından besleme hızının, kesme derinliğinin, soğutma sisteminin ve aletin türünün tepkilere etkisini incelemişlerdir. Deneysel testler 4 mm çaplı iş parçaları ile gerçekleştirilmiş ve yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik ve kesme performansı analiz edilmiştir. Varyans analizi, girdi parametrelerinin yanıtlar üzerindeki etkisini tanımlamak için kullanılmıştır. Sonuçlar en düşük yüzey pürüzlülüğünün, TPMT kodlu karbür aleti ve daha düşük girdi parametreleri kullanılarak elde edildiğini, ancak en önemli parametrenin besleme hızı olduğunu gösterdi. Kesme performansı besleme hızı ve kesme derinliğinden etkilenmiştir. Öte yandan, soğutma sistemi kesme performansında iyi bir verimlilik göstermemektedir. Bununla birlikte, aletin geometrisi ve Minimum Miktar Yağlama sistemi, materyalin yüzeyindeki mikro ölçekte sertleşmeye neden olmak için daha etkili olmuştur.

Islam ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [26] Alüminyum alaşımı 6061'in tornalanması sırasında MQL uygulamasının alet aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneyler, çeşitli kesme derinliği, kesme hızları ve kesme ortamları (Kuru, Islak ve MQL) ile bir Al çubuğun düz döndürülmesi ile gerçekleştirildi. Bu çalışma için yeni tasarlanmış, uygun maliyetli ve taşınabilir bir MQL kurulumu geliştirildi. Her deneysel deneme için takım aşınmasının oluşumunu teşvik etmek için beş paso gerçekleştirildi. Her pasodan sonra takım yüzeyi bir mikroskop altında incelendi ve yüzey pürüzlülüğü bir kalem tabanlı yüzey testeriyle ölçülmüştür. Talaş beş pasodan sonra toplandı ve fiziksel muayene edildi. Yeni tasarlanan MQL sistemi, kesme noktasında iyi bir yağlama maddesi dağıtımı konusunda başarılı olmuştur. MQL yağlama, etkin sıcaklık düşürme ve kesme bölgelerinin geliştirilmiş yağlama penetrasyonu ve daha iyi talaş temizleme nedeniyle ıslak ve kuru koşullara kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma değerlerini sağlamıştır. MQL koşullarında oluşturulan talaş, indirgenmiş sıcaklıklardan dolayı talaş kalınlığını azaltmıştır. MQL'nin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerinde ANOVA sonuçlarına göre en fazla pozitif etkisi olduğu bulunmuştur.

Perçin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [27] çeşitli işleme koşullarının [kuru, ıslak, minimum miktar yağlama (MQL) ve kriyojenik] ve itme kuvveti, tork, takım aşınması, çapak üzerindeki kesme parametrelerinin (kesme hızı ve besleme hızı) etkilerini deneysel olarak incelemektedir. Ti-6Al-4V alaşımının mikro delme işleminde yüzey pürüzlülüğü, oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü. İş parçası malzemesinde delik açmak için 700 µm çaplı kaplanmamış bir karbür büküm matkabı seti kullanılmıştır. Her iki talaş kaldırma koşulları ve kesme parametrelerinin de itme kuvvetini ve torku etkilediği bulunmuştur. Kriyojenik soğutmada itme kuvveti ve momenti daha yüksektir. MQL koşulunun, diğer soğutucu-yağlama koşullarına kıyasla en yüksek bağlanma torku ürettiği

bulunmuştur. Maksimum ortalama moment değeri kuru delik işleme sürecinde elde edilmiştir. Çeşitli soğutucu-yağlama koşullarının çapak yüksekliği üzerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır. Bununla birlikte, kriyojenik soğutmada çapak yüksekliğinin minimum seviyede olduğu gözlenmiştir. Besleme hızının artırılması ve iş mili hızının azaltılması giriş ve çıkış çapak yüksekliğini arttırdı. Kuru delme işleminde artan kesme hızı, delinmiş deliğin alt yüzeyinde sertliğin azalmasına neden oldu. Bu, delinmiş deliğin yüzeyinin ve yüzeyinin kuru mikro delme işleminde yumuşamaya maruz kaldıklarını göstermiştir. Farklı soğutma ve yağlama koşullarında delinmiş deliklerin alt yüzeyindeki yumuşama, kuru mikro delme işlemine kıyasla çok daha küçüktür olduğu gözlemlenmiştir.

Najiha ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [28] kesme sıvısı olarak su bazlı TiO<sub>2</sub> nanoyakıt kullanılarak minimum miktarda yağlama (MQL) koşulları ile kombine edilmiş 6061 T6 alüminyum alaşımının uç frezeleme işlemi için uygun değer işleme parametrelerini tahmin etmek için genetik algoritmaya dayalı çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı uygulanmıştır. Optimizasyon, uygulanan MOGA-II algoritmasının özelliklerini kullanarak parametrik bir model (giriş kesme parametreleri, kesme hızı, besleme hızı, kesme derinliği, MQL akış oranı ve % hacim konsantrasyonu açısından) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Berzosa ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [29] yüzey pürüzlülüğüne dayalı magnezyum parçalarının delinmesi ile ilgili deneysel bir çalışmayı göstermektedir. Ana hedef, havacılık sektörü için 0,8 ila 1,6 µm olan bu tür operasyonlar için yüzey pürüzlülüğü gerekliliğine en uygun aletleri belirlemektir. Testler çeşitli aletler ve iki sürdürülebilir yağlama sistemi kullanılarak farklı kesme koşullarında yürütülmüştür. Özellikle, kuru işleme ve minimum yağlama miktarı (MQL) sistemi kullanılmıştır. Kaynakları optimize etmek için bir deney tasarımı (DOE) kullanılmıştır. Ortalama pürüzlülüğü Ra, bir yanıt değişkeni olarak seçilmiştir. Elde edilen pürüzlülük değerleri 0,9 um'den düşüktür (yani 0,13 um'den 0,87 um'ye kadar); Bu nedenle, verimliliği artırmak için, belirlenen sınırların dışına çıkmaksızın parametre değerlerinin bir kısmını arttırmak mümkündür. Sonuçlar, varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Beklenen yüzey pürüzlülüğünün Ra'ya göre tahmin edilmesi için bir model geliştirilmiştir.

Carou ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [30] titreşim sinyallerine dayanan aralıklı dönüş konusunda deneysel bir incelemeyi göstermektedir. Titreşimlerin besleme hızı, minimum miktar yağlama (MQL) akış oranı ve iş parçasının kesilme türüne bağımlılığı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, titreşimlerin bir bölümünün MQL sisteminin akış hızına ve besleme hızı ile etkileşimine bağlı olduğunu ve kesilme türüne bağımlı olmadığını bulmaktadır. MQL sisteminin etkisi daha düşük besleme hızında parça işlerken daha fazladır. Buna ek olarak, yüzey pürüzlülüğü ile titreşimler arasında kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu ilişki kullanılan çevreye bağlı olarak oldukça farklıdır. Genelde, kuru şartlar altında, titreşimler ne kadar yüksek olursa yüzey pürüzlülüğü de o kadar yüksek olur, aksi halde MQL sistemi kullanılırken oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Eker ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [31] MQL tornalama performansı kuru koşullarla karşılaştırılmıştır. Magnezyum esaslı malzeme ortogonal kesim uygulanarak oluşturulacaktır. Her iki kesme işlemi için CNC Torna kullanılacaktır. Deney, deneme planını oluşturmak için MINITAB 16 yazılımını kullanılmıştır. Bu çalışmada, iş parçası, 230, 330 ve 430 m / dakika kesme hızlarında, 0,20, 0,35 ve 0,50 mm / devir ilerleme hızlarına ve 1, 2 ve 3 mm kesme derinliğine tornalanmıştır. Tornalama parametrelerinin ayarlarının belirlenmesinde Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Taguchi'nin ortogonal dizileri, sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılarak kesme hızının, besleme hızının, kesme derinliğinin kuru ve MQL torna esnasında yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık ve kesme kuvvetleri optimal düzeyleri belirlenmiştir.

Park ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, [32] özellikle Ti-6Al-4V için MQL ve kriyojenik işleme için işlenebilirlik ve kuru ve ıslak işleme ile karşılaştırılmıştır. Sıvı azot özel olarak tasarlanmış kriyojenik püskürtme sistemleri ile kriyojenik işleme için kullanılmıştır. Geleneksel MQL'ye ek olarak, yağlayıcı, az miktarda (~% 0,1) pul pul dökülmüş grafit nano trombosit (xGnPs) ile karıştırılan yeni bir MQL tekniği, diğer tekniklerle karşılaştırmayı yapmak için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem kriyojenik hem de MQL işlenmesinin kuru ve ıslak işleme ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kriyojenik işleme için, sıvı azota maruz kalma, kesici aletler üzerindeki termal gradyan ve işleme sırasında titanyum alaşımının sertleşmesine neden olur ve bu da aşırı takım aşınması ve mikro kırılma ile sonuçlanır ve kesme kuvvetlerini artırır.

## 5. Sonuçlar

Hafif metallerin talaşlı imalat yöntemi ile işlenmesindeki MMY sistemi uygulamalarının incelendiği bu çalışmada ortaya çıkan ana sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Hafif metallerin işlenmesinde ortaya çıkan kesme sıcaklıkları takım ömrü, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir. MMY sistemi doğrudan kesme bölgesini etkilediği için olumsuz etkileri minimuma indirmektedir.
- Takım ömrü ve kesme kuvveti açısından MMY sistemi kuru işlemeye göre daha iyi sonuçlar vermektedir.
- İşleme esnasında harcanan güç dikkate alındığında MMY sistemi hem ıslak işleme hem de kuru işlemeye göre daha az güç sarfiyatı sağlamaktadır.

MMY sistemi işlenebilirlik kriterleri açısından ıslak işlemeyle yakın sonuçlar verirken işleme maliyeti, çevre kirliliği ve işçi sağlığı dikkate alındığında iyi bir soğutma-yağlama alternatifi olarak ön plana çıkmaktadır. Yine yukarıda sıralanan maddeler ışığında MMY sistemi özel bir sistem ve ekstra soğutucu-yağlayıcı maddeler gerektirdiğinden daha maliyetli olmasına rağmen takım aşınması, kesme kuvveti, kesme bölgesinde oluşan ısı, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuçlar vermesi sebebiyle kuru işlemeye nazaran daha tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

## Kaynaklar

- [1] Buldum, B.B, AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirliğinin incelenmesi, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, 2013.
- [2]. Öztürk, F., Kaçar, İ., Magnezyum alaşımları ve kullanım alanlarının incelenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2012. 1(1): p 12-20.
- [3] Yavuz, İ., Başpınar, M.S., Bayrakçeken, H., Metalik köpükler malzemelerin taşıtlarda kullanımı, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2009. (3): p 43-51.
- [4] Başer, T.A., Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı, Mühendis ve Makina, 2013. 53(635): p 51-58.
- [5] Sokovic, M., and Mijanovic, K., Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting process, Journal of Materials Processing Technology, 2001. 109(1-2): p 181 - 189.
- [6] Obikawa, T., Kamata, Y., and Shinozuka, J., "Highspeed grooving with applying MQL, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2006. 46: p 1854–1861.
- [7] Shingarwade, R., U., Chavan P., S. A review on mql in reaming, Int. J. Mech.Eng. & Rob. Res., 3(3): 2014. p 392- 399.
- [8] Klocke F., Eisenblatter G., Dry cutting, CIRP Annals Manufacturing Technology, 1997. 46(2): p 519- 526.
- [9] U.S Department of Health and Human Services., Occupational exposure to metal working fluid, NIOSH Publication, 1998. p 98-102.

- [10] Mordike B.L., Ebert T., Magnesium properties- applications-potential, *Material Science and Engineering A*, 2001. 302(1): p 37-45.
- [11] Bedyk J.J., Magnesium challenges aluminum dominance as the light metal of choice in automotive markets, light metal age, *The International Magazine of Light Metal Industry*, 2004. 62(8): p 5.
- [12] American Society for Testing and Materials-ASM, *Metal Handbook, Forming and Forging*, 1988. 14: p: 791-804.
- [13] AZoM, Properties and production of lightweight metals, 2016. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13063>
- [14] Haber, D., Lightweight materials for automotive applications: a review, *SAE Technical Paper* 2015. 36-0219.
- [15] Buldum, B.B., and Cagan, S.C., The optimization of surface roughness of AZ91D magnesium alloy using ANOVA in ball burnishing process. *Turkish Journal of Engineering*, 2017. 1(1): p 25-31.
- [16] Buldum, B.B., Sik, A., Ozkul, I. Investigation of magnesium alloys machinability., *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2013. 2: p 261-268.
- [17] Haber, A., Direct Laser Fabrication of Ti-5553, Ph.D thesis, Birmingham University, 2013.
- [18] Gnanadurai, R. R. and Varadarajan, A., Investigation on the Effect of an Auxiliary Pulsing Jet of Water at the Top Side of Chip during Hard Turning of AISI 4340 Steel with Minimal Fluid Application, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2014. 15(7), p 1435-1441.
- [19] Lee, W., Nam, E., Lee, C.-Y., Jang, K.-I., and Min, B.-K., Electrochemical Oxidation Assisted Micromachining of Glassy Carbon Substrate, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2015. 16(3) p. 419-422.
- [20] Hewson, W.D., Gerow, G.K., High performance metal working oil, 1999, U.S. Patent 5958849.
- [21] Bollig, P., Faltin, C., Schießl, R., Schneider, J., Maas, U., and Schulze, V., (2015). Considering the influence of minimum quantity lubrication for modelling changes in temperature, forces and phase transformations during machining, 15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, *Procedia CIRP*, 2015. 31: 142-147.
- [22] Vakkas, Ç., Süper alaşımların talaşlı imalat yöntemiyle işlenmesinde minimum miktarda yağlama uygulamaları, *İleri Teknolojisi Bilimleri Dergisi*, 2016. 5(3): p 87-105.
- [23] Çakır, A., Yağmur, S., Kavak, N., Küçüktürk, G. and Şeker, U., The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016. 84: 2515-2521.
- [24] Kaynak, Y., Gharibi, A., Özkutuk, M., Experimental and numerical study of chip formation in orthogonal cutting of Ti-5553 alloy: the influence of cryogenic, MQL, and high pressure coolant supply. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017. p 1-18.
- [25] Oliviera, J.A., Filho, S.L.M., Lauro, C.H., Brandao, L.C., Analysis of the micro turning process in the Ti-6Al-4V titanium alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017. 1-8.
- [26] Islam, S., Khandoker, N., Izham, M., Azizi, T., Debnath, S., Development of a low cost MQL setup for turning operations. *MATEC Web Conferencess*, 2017. 95: p 1-7.
- [27] Perçin, M., Aslantaş, K., Uçun, İ, Kaynak, Y., Çiçek, A., Micro-Drilling of Ti-6Al-4V alloy: the effects of cooling/lubricating., *Precision Engineering*, 2016. 45: p 450-462.
- [28] Najiha, M.S., Rahman, M.M., Kadirgama, K., Parametric optimization of end milling process under minimum quantity lubrication with nanofluid as cutting medium using pareto optimality approach, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 2016. 13(2): 3345-3360.
- [29] Berzosa, F., Agustina, B., Rubio, E.M., Tool selection in drilling of magnesium UNSM11917 pieces under dry and mql conditions based on surface roughness., *Procedia Engineering*, 2017. 184: p 117-127.



- [30] Carou, D., Rubio E.M., Lauro, C.H., Davim, J.P., The effect of minimum quantity lubrication in the intermittent turning of magnesium based on vibration signals. *Measurement*, 2016. 94: p 338-343.
- [31] Eker, B., Ekici, B., Kurt, M., Bakır, B., Sustainable machining of the magnesium alloy materials in the CNC lathe machine and optimization of the cutting conditions. *Mechanika* 2014. 20(3): p 310-316.
- [32] Park, K-H., Suhaimi, M.A., Yang, G-D., Lee, D-Y., Lee, S-W., Kwon, P., Milling of titanium alloy with cryogenic cooling and minimum quantity lubrication. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18(1): p 5-14.