



Geleneksel ve bitkisel tabanlı kesme sıvılarının insan/çevre sağlığı ve işlenebilirlik bakımından değerlendirilmesi

Evaluation of traditional and vegetable based cutting fluids in terms of human/environmental health and machinability

Erman Aydın^{1,*} 

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Motorlu Araçlar Ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 09200, Söke/Aydın Türkiye

Öz

Bu çalışmada, geleneksel petro-kimya ürünü ve sentetik kesme sıvıları ile bitkisel tabanlı kesme sıvılarının hem iş sağlığı/güvenliği bakımından insan ve çevre sağlığı üzerine etkileri hem de işlenebilirlik üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Kesme sıvıları talaşlı imalatta soğutma, talaş uzaklaştırma, yağlayıcılık, korozyona karşı koruma şeklinde birçok faydaları bakımından önemli bir uygulama durumundadır. Ancak, kesme sıvılarının geri dönüştürülebilirliği, biodönüşümleri, çevre/insan sağlığı üzerine etkileri günümüz iş sağlığı ve güvenliği politikaları kapsamında büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple, bitkisel tabanlı olmak üzere takviyeli, özel katkılı ya da kesme şartlarına göre sadece bitkisel kaynaklı kesme sıvıları kullanımı hem işlenebilirlik hem insan ve çevre sağlığı kriterleri hem de çevreci ve sürdürülebilir imalat hususları doğrultusunda ön plana çıkmaktadır. Çalışma neticesinde, MQL yöntemi ile bitkisel tabanlı kesme sıvılarının kullanımının kesme sıvısı maliyetlerinin azaltılmasında avantaj sağladığı ve petro kimya ürünü ya da sentetik kesme sıvılarına göre hem çevre/insan sağlığı üzerine hem de işlenebilirlik üzerine daha olumlu katkılar verdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kesme sıvısı, Bitkisel tabanlı kesme sıvısı, Yeşil imalat, İş sağlığı ve güvenliği, MQL

1 Giriş

1992 yılında Society Manufacturing Engineers yayıncılık tarafından basılan “Cutting and Grinding Fluids: Selection and Application” adlı eserde, kesme sıvılarının kullanımları ile ilgili ilk bilimsel çalışmaların 1968 yılında tormalama üzerine yazılmış olan bir kitap olduğu belirtilmiştir [1]. Ancak kesme sıvılarının kullanımı günümüzden 200 yıl öncesine kadar dayanmaktadır [2]. Kesme sıvısı olarak ilk olarak sadece su kullanımı ile kesme bölgesinde soğutma ve talaşların uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Ancak su tek başına bir kesme sıvısı olarak kabul edilmemiştir. Özellikle korozyona sebep olması en büyük sorun olarak görülmüştür. Bu süreçte hayvani yağların da kesme sıvısı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Hayvani yağlarda (daha çok domuz yağı kullanılmıştır) ise yüksek sıcaklarda yanma ve

Abstract

In this study, the effects of traditional petrochemical and synthetic cutting fluids and plant-based cutting fluids on human and environmental health in terms of occupational health/safety as well as their effects on workability are discussed. Cutting fluids are an important application in machining in terms of many benefits such as cooling, chip removal, lubrication, corrosion protection. However, the recyclability of cutting fluids, their biotransformation and their effects on the environment/human health are of great importance within the scope of today's occupational health and safety policies. For this reason, the use of plant-based, reinforced, special additives or only plant-derived cutting fluids according to cutting conditions comes to the fore in line with both workability, human and environmental health criteria, and environmental and sustainable manufacturing issues. As a result of the study, it was concluded that the use of plant-based cutting fluids with the MQL method provides an advantage in reducing cutting fluid costs and provides more positive contributions to both the environment/human health and machinability compared to petrochemical products or synthetic cutting fluids.

Keywords: Cutting fluid, Vegetable-based cutting fluid, Green manufacturing, Occupational health and safety, MQL

kokuşma, hızlı bozulma gibi problemler ön plana çıkmıştır [2], [3]. Ardından petrolün bulunması ve petrolün işlenerek farklı yağların elde edilmesi ile kesme sıvısı olarak yağların kullanımına geçilmiştir. Günümüz iş sağlığı ve güvenli, çevre sağlığı konuları da önem kazandıkça bitkisel tabanlı kesme sıvılarının kullanımı daha ön plana çıkmıştır [3]. Bu süreç sadece kesme sıvılarının gelişimi şeklinde değil aynı zamanda makine imalat alanında kesici takımların ve makinelerin de ilerlemesi ile eş zamanlı olarak sürmüştür. Kesme sıvıları uygulandığı bölgedeki talaşların uzaklaştırılması, yağlama etkisi yaparak talaş kaldırmayı yani işlenebilirliği kolaylaştırması, takım talaş ara yüzeyinde bir film tabakası oluşturarak takım aşınmasını azaltması ve aynı şekilde iş parçası üzerinde bir film tabakası oluşturarak malzeme yüzey pürüzlülüğünün azalması da etkili olmaktadır. Böylece kesme kuvvetlerinin ve titreşimin de

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: erman.aydin@adu.edu.tr (E. Aydın)

Geliş / Received: 08.06.2023 Kabul / Accepted: 27.09.2023 Yayımlanma / Published: 15.10.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1311568

azalmasına sebep olarak işleme verimliliğini artırmaktadır [4]. Bu bağlamda kesme sıvılarından beklenen özellikler aşağıda belirtilmiştir. Bu özellikler ilerleyen teknolojik gelişmeler çerçevesinde artabilmektedir [3-7].

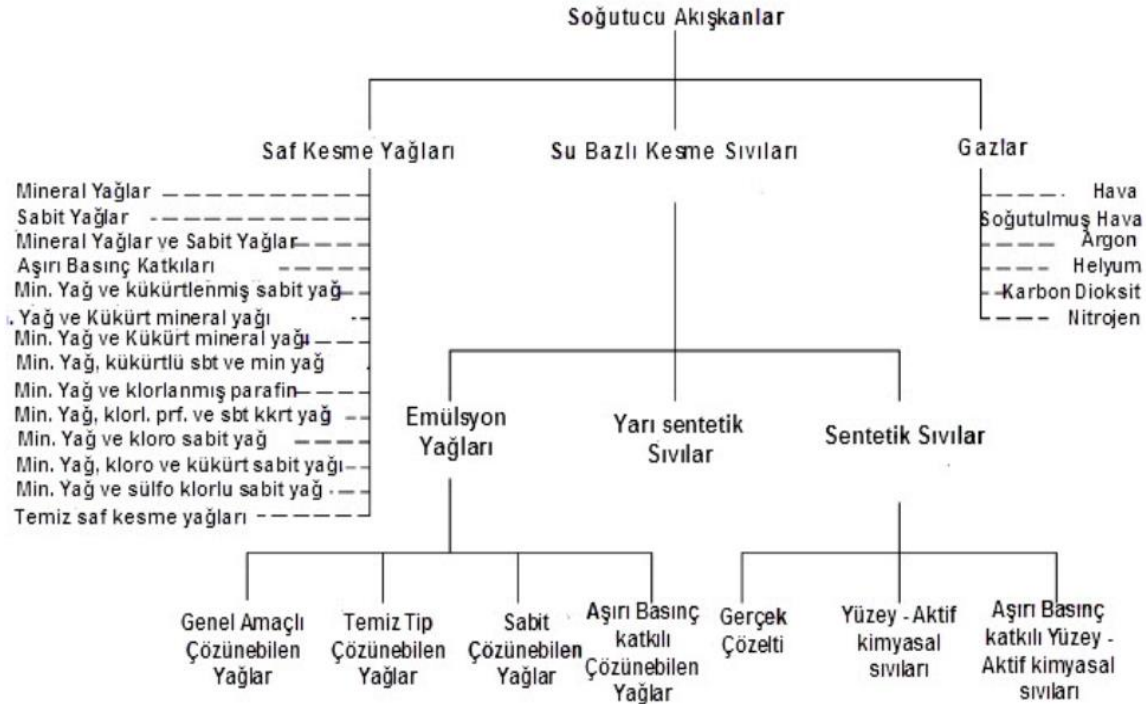
- *Yağlayıcılık
- *Soğutma yeteneği
- *Uzun süre kullanılması
- *Korozyona karşı direnç
- *Makineye zarar vermeme
- *Isı transferinin yüksek olması
- *Buharlaşmama
- *Köpürmeme
- *Ateşleme ve parlamaya karşı dirençli olması
- *Malzemenin metalürjik özelliklerini koruması
- *Çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi

Günümüz şartlarında yukarıda belirtilen özellikleri de bünyesinde barındırarak insan ve çevre sağlığına zararsız (en az zararda), sürdürülebilirliği olan, geri dönüşüme uygun kesme sıvılarının kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, petro-kimya ürünü kesme sıvıları, sentetik kesme sıvıları ve bitkisel tabanlı takviyeli/takviyesiz kesme sıvıları hem işlenebilirliğe etkileri hem de çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri kapsamlı olarak incelenmiş ve tavsiyelerde bulunulmuştur. Ayrıca, bu çalışma ile diğer çalışmalar arasındaki temel fark, çalışma öncelikle kesme sıvısı türleri ve iş sağlığı güvenliği ilişkisi üzerine oturtularak planlanmış, tornalama, delme, frezeleme gibi belli başlı imalat yöntemleri üzerinden örneklendirilerek geleneksel ve bitkisel tabanlı kesme sıvılarının insan/çevre sağlığı ve işlenebilirlik bakımından değerlendirilmesi üzerinde

durulmuştur. Ardından, bitkisel tabanlı kesme sıvılarının avantaj ve dezavantajlarından söz edilerek, iş sağlığı ve güvenliği ile sürdürülebilirlik anlayışı içerisinde gelecekteki durumu vurgulanarak okuyucuların yeşil teknolojiler, sürdürülebilir imalat ve biyolojikleştirme kavramları hakkında bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.

2 Geleneksel ve bitkisel tabanlı kesme sıvıları

Kesme sıvıları özellikle talaşlı imalat süreçlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Kesme bölgesinde oluşan plastik deformasyon neticesinde açığa çıkan yüksek ısının ve oluşan talaşın uzaklaştırılmasından, takım ömrünü uzatmaya, paslanmayı engellemeye hatta günümüz şartlarında insan ve çevre sağlığına en az zararı vermeye kadar birçok faktörü bünyesinde barındırması gereken bir öneme sahiptirler. Şekil 1'de belirtildiği üzere genel olarak soğutucu akışkanlar olarak adlandırılmakla beraber birçok farklı kesme sıvısı bulunmaktadır [4]. Genel bir bakışla kesme sıvılarının seçiminde takım ömrüne pozitif etki, düşük maliyet, iş parçası yüzey kalitesini iyileştirme, işleme süresinde kısılma gibi katkıların olması beklenmektedir. Belirtilen kesme sıvılarından en çok mineral yağlar ve sentetik yağların kullanılıyor olmasına karşın, çevreci yaklaşımlar ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerden dolayı mineral yağların yerine bitkisel tabanlı kesme sıvılarının kullanımı zamanla ön plana çıkmaktadır [2]. Genel olarak yağlar üç gruba ayrılmaktadır. Bunlardan mineral yağlar, metal işleme alanında temel kesme sıvısı olarak kullanılmaktadır. Mineral yağlar 10-70 arası karbon atomu içermektedir. Bu zincir uzadıkça yağın viskozite, parlama noktası, yanma ve kaynama noktası değerleri artış göstermektedir [2], [3].



Şekil 1. Soğutucu akışkanlar (kesme sıvıları türleri) [4]

Yağlayıcılar katı, sıvı, gaz ve plastik yağlayıcılar olarak gruplandırılmaktadır. Talaşlı imalatta ise sıvı yağlayıcılar daha çok ön plana çıkmaktadır. Bunlardan ham petrol esaslı olan mineral yağlar, sentetik yağlar ve organik yağlar temel yağlayıcılar durumundadır. Günümüzde daha çok ön plana çıkan organik yağlar, hayvansal ya da bitkisel tabanlı olarak mineral yağlara göre farklılıklar göstermektedir. Uygulama alanı genişliğine bakıldığında tri-gliseridler, esterler ve yağ asitleri en geniş kullanım alanına sahip organik yağlar durumundadır. Tüm bu yağlardan işleme esnasında kesme bölgesine iyi şekilde nüfus ederek, belirtilen bölgede yağlayıcı bir etki göstermesi istenmektedir. Genel olarak yağlayıcı maddenin yüzeye tutunma ya da ıslatma özelliğine “ıslatma kabiliyeti” bir diğer deyişle “oiliness” denilmektedir. Organik yağların sahip oldukları ıslatma kabiliyeti mineral yağlardan daha fazla olmaktadır. Bu sebeple, tek başına organik yağ kullanılmadığı, mineral yağ kullanıldığı durumlarda mineral yağ içerisinde %1 ile %10 arasında organik yağ eklemesi yapılabilmektedir. Bunun sonucu olarak, yağın ıslatma özelliği büyük ölçüde artmakta, böylece sürtünme durumu üzerinde pozitif etki oluşturmaktadır. Bir diğer yağ çeşidi olan sentetik yağlar ise ısı ve basınç altında yapay olarak elde edilen yağlardır. İlk olarak II. Dünya Savaşı sırasında geliştirilen sentetik yağlar, 1972 yılında otomobiller için ticarileştirilmiştir. Ardından imalat sektöründe kullanımları da gerçekleşmiştir [8].

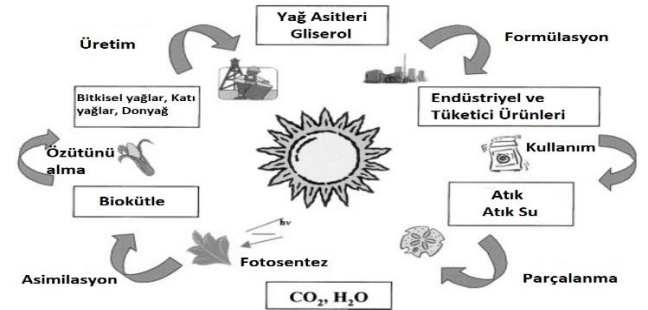
Kesme yağları olarak da adlandırılan kesme sıvıları farklı çalışmalarda farklı gruplara ayrılarak da ifade edilmektedir. Tablo 1’de kesme sıvılarına ait genel bir sınıflandırılma görülmektedir. Bu akışkanlar arasında sentetik akışkanlar ve yarı sentetik akışkanlar yüksek hızlı işleme için en uygun olan kesme sıvıları durumundadır. Aynı ayrı bakılacak olursa sadece yağ olan kesme sıvılarında su karışımı bulunmamaktadır, bunun yerine kükürt, klor veya fosfor gibi farklı katkı malzemeleri eklenerek yağlama, ıslatma ve yapışma gibi özellikleri artırılmaktadır. Saf yağlar yağlama ve paslanmaya karşı iyi özelliklere sahip olmasına karşın dezavantajlar bulunmaktadır. Bu sebeple genellikle düşük hızlı imalat işlemlerinde kullanılmaktadır. Bir diğer çözülebilir yağ olan kesme sıvıları ise farklı emülgatörler ve su ile karıştırılarak hazırlanmakta, imalatta yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çözülebilir bu yağlar iyi yağlama, ısıyı uzaklaştırma ve paslanmaya karşı koruma şeklinde avantajlar sağlamakta ve hem hafif hem de ağır sanayi koşullarında kullanılabilir. Bu tür yağlarda bakteri üremesi problemi ve buharlaşma ile kesme sıvısında kayıp genel olarak yaşanan sorunları oluşturmaktadır. Bu durumlar hem çalışan sağlığı hem de yağ maliyetleri bakımından problem oluşturmaktadır. Sentetik ve yarı sentetik kesme sıvılarına bakıldığında ise, sentetik kesme sıvıları petrol ürünü ya da mineral yağ içermemektedir. Konsantr olarak bulunan kesme sıvısı kullanımdan önce su ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Sentetik kesme sıvıları mikrobiyal kontrol, bozulma, yanma ve korozyon kontrolü konusunda avantajlar sağlamaktadır. Üstün soğutma kabiliyeti ve takım ile talaş üzerinden hızlı bir şekilde uzaklaşabilmesi, talaş tahliyesini de kolaylaştırmakta ve takım ömrünü uzatıcı etki

yapmaktadır. Son olarak yarı sentetik kesme sıvıları ise çözülebilir yağlar ile sentetik akışkanların karışımından oluşan bir tür hibrit kesme sıvısı türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle %2-%30 arası bir değerinde mineral yağ içermektedirler. Mikrobiyal kontrol, iyi yağlama, iyi soğutma ve korozyon kontrolü avantajları olarak gösterilmektedir. Ancak, su karışımı sebebiyle yağın dengesi bozulabilmekte, buğulanma, köpürme ve alerji gibi durumlara sebep olabilmektedir [9], [10].

Tablo 1. Kesme sıvılarının sınıflandırılması [9]

Kesme Sıvıları	Yağ Tabanlı	Sadece Yağ (%100 Petrol Ürünü)
		Çözülebilir Yağ (%60-%90 Yağ+Emülgatör)
	Kimyasal	Yarı Sentetik (Sentetik ve Çözülebilir Yağ)
		Sentetik (Petrol Ürünü İçermeyen)

Mineral yağlar ile elde edilen kesme sıvıları haricinde bitkisel tabanlı kesme sıvıları da kullanılmaktadır. Bitkisel tabanlı kesme sıvılarında kullanılan soya, mısır, zeytin, susam, pamuk ayçiçeği, kanola, hindistan cevizi vb bitkilerin yağları içerdikleri doymuş ya da doymamış yağ asitlerine ve yetiştirildikleri bölgedeki iklimsel koşullara göre farklı özelliklerde olmaktadır [2], [3]. Bu bitkilerden elde edilen yağlar Şekil 2’de belirtilen döngü ile kesme sıvısı olarak kullanılmakta, ardından endüstriyel atık haline gelerek tekrardan çözünecek toprağa karışmaktadır [2].



Şekil 2. Bitkisel tabanlı kesme sıvılarının geri dönüşüm süreci [2]

Yüksek kesme hızları ve ilerleme değerlerinde ısı oluşumu daha fazla olmaktadır. Bu durumda kesme sıvısının buharlaşması ile gaz oluşmakta ayrıca kesme sıvısının parlama sıcaklığı üzerine çıktığı anda yanma olayı yaşanmaktadır. Bitkisel yağların parlama noktaları mineral yağlar ile karşılaştırıldıklarında yüksektir. Bu özellik viskozite üzerinde de etki göstermektedir. Artan sıcaklık ile viskozite değerinin düştüğü bilinmektedir. Bitkisel yağların sıcaklığa karşı dayanımlarının yüksek olması, viskozitelerini yüksek sıcaklık değerlerinde koruyabilmelerini sağlamaktadır. Böylece yağlayıcılık özelliğini kaybetmeden kullanılabilir [2].

Tablo 2’de mineral ve bitkisel tabanlı kesme sıvılarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2. Bitkisel tabanlı ve geleneksel kesme sıvılarının karşılaştırılması [11]

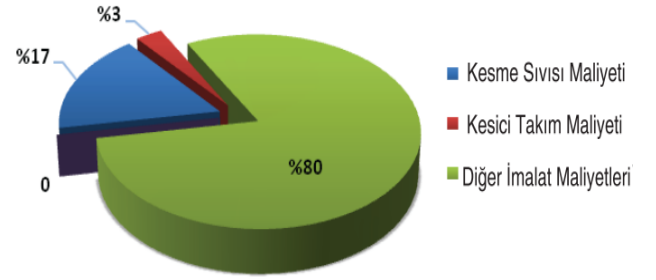
Performans	Kanola Yağı (Bitkisel Yağ)	TMPTO (Poliester)	Doymuş/ Kompleks (Sentetik ester)	PAG (Petrol Türevi)	Mineral Yağ (Petrol)
Bio Çözünürlük	Harika	Çok iyi	İyi-Çok İyi	İyi	Zayıf
Tokisite	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük*	Yüksek
Yağlayıcılık	Harika	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi
Oksidasyon Direnci	Zayıf	Orta	Çok iyi	İyi	Çok iyi
Termal Kararlılık	Orta	İyi	Çok iyi	İyi	İyi
Hidrolik Kararlılık	Zayıf	Orta	İyi	İyi	Çok iyi
Viskozite İndeksi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Orta
Düşük Sıcaklık	Zayıf	İyi	İyi	İyi	İyi
Uyumluluk	Orta	Orta	Orta	İyi	Çok iyi
Göreceli Maliyet**	2	4	6-8	4	1

*Çözünürlük, bazı PAG'lerin toksisitesini arttırabilir

**Mineral yağ maliyetine kıyasla maliyet (1)

Tablodaki kanola yağı %60 oleic asit içermektedir. TMPTO ile gösterilen trimetilol propan trioleat, PAG ile gösterilen polialkilen glükol kesme sıvılarını ifade etmektedir [11]. Bitkisel tabanlı kesme sıvılarının geleneksel kesme sıvılarına iyi bir alternatif olacağı farklı zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda ifade edilmiştir [12], [13].

Ayrıca kesme sıvılarının maliyetleri de üzerinde durulan önemli bir husus durumundadır. Çakır ve diğerlerinin çalışmalarında Autret'e yaptıkları atıf incelendiğinde, talaşlı imalat süreçlerinde kullanılan kesme sıvılarının maliyetlerinin Şekil 3'te belirtildiği gibi toplam maliyet içerisinde %7-%17 arasında gerçekleştiğini ve bu maliyetin ciddi bir gider kalemi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu maliyetin sadece kesme sıvısının satın alma maliyeti olmadığı, bu maliyet içerisinde kesme sıvısının tedarik, depolama, geri dönüşüm, arıtma gibi birden çok farklı kalemlerin birleşimi ile oluştuğuna dikkat çekmişlerdir [14]. Benzer şekilde Sreejith ve Ngoi kesme sıvısı ve yağlayıcı maliyetlerinin üretim maliyetleri içerisinde %17-%20 arası bir paya sahip olduğunu belirtmişlerdir [15].



Şekil 2. Kesme sıvısı maliyetlerinin toplam maliyet içerisindeki yeri [14]

Maliyet bakımından incelendiğinde farklı kesme sıvısı uygulama prosedürlerinin kıyaslanması Tablo 3'te belirtilmiştir. Belirtilen prosedürlerden MQL prosedürünün diğerlerine kıyasla daha avantajlı bir uygulama yöntemi olduğu görülmektedir [11].

Tablo 3. Farklı prosedürlerde oluşan maliyetlerin niteliksel tahmini [11]

	Hammadde Maliyeti	Sıvı Tüketim Maliyeti	Ekipman Maliyeti	Takım Maliyeti	Temizleme Maliyeti	Bertaraf Maliyeti
Kesme Sıvısı	**	*****	****	***	*****	*****
Kuru İşleme	*	*	*	*****	*	*
MQL	**	**	***	**	**	**
Katı Yağlayıcılar	****	***	***	***	***	****
Kriyojenik Soğutma	***	***	*****	***	*	*
Gaz Soğutma	***	***	****	****	*	*
Sürdürülebilir Kesme Sıvıları	***	****	****	**	****	***
Nanoakışkanlar	*****	****	****	***	****	*****

(*)Çok Düşük; (**)Düşük; (***)Orta; (****)Yüksek; (*****Çok Yüksek

Ekonomiklik ve çevre/insan sağlığı konuları ele alındığında ilk olarak kesme sıvısı kullanımlarını en aza indirecek alternatifler aranmaya başlanmıştır. Bazı çalışmalarda kuru işlemenin önemi ve maliyet açısından avantajları [15] vurgulanmasına karşın, genel olarak kesme sıvısı kullanımını azaltmak amacıyla da içeren sprey uygulama, MQL ya da içten soğutma yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Ancak, broşlama, honlama, dişli çark imalatı gibi durumlarda kesme sıvısının kullanımının kısıtlanamaması şeklinde sorunlarla karşılaşmıştır [16]. Ayrıca doğrudan kesme sıvısı kullanımının azaltmayı hedefleyen yönde çalışmalar da yapılmıştır [17].

3 Kesme sıvılarının insan ve çevre sağlığı üzerine etkileri

Adler ve diğerleri kesme sıvılarının geleneksel amaçlarını özetleyerek bu işlevleri eleştirel bir şekilde incelemek için analitik ve deneysel araştırmaları rapor halinde sunmuşlardır. Çalışmalarında King ve diğerlerinin yaptığı bir araştırmaya göre 2002 yılında Kuzey Amerikalı üreticiler tarafından 2 milyar galonun üzerinde kesme sıvısı kullanıldığı belirtilmiştir [6]. 2015 yılına gelindiğinde küresel çapta 39,4 milyon ton kesme sıvısına ihtiyaç duyulduğu ve 2022 yılında beklentinin 43,9 milyon ton olacağını belirtmişlerdir [11]. Bu miktar gelişen sanayi doğrultusunda her geçen gün artış göstermektedir. Günümüzde endüstrilerdeki çevre kirliliğini azaltmak için çeşitli yeşil teknolojiler tartışılmaktadır. Bu hususta sürdürülebilir üretim kavramı karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilir üretim, aynı miktarda ürünü daha az girdi ile üretmeyi ve geçiş sırasında ürün israfını azaltmayı amaçlayan bir yaklaşımı ifade etmektedir. Sürdürülebilir bir toplum, çevre dostu teknolojilerin kullanımının insan sağlığını veya gelecek nesillerin yaşam kalitesini tehlikeye atmasını sağlamayı amaçlamaktadır [18]. Günümüz şartlarında üretim süreçlerinin biyolojikleştirilmesi olarak adlandırılan bir kavram oluşmuştur. Bu kavramda üretim süreçlerinde kesme sıvısı kullanımı açısından sadece kesme sıvılarının kullanım miktarlarının azaltılarak çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin minimum seviyeye düşürülemeyeceği, bunun yanında imalat sürecinde kullanılan her türlü içeriğin biyolojik açıdan zararsız olmasının sağlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu sebeple özel olarak kesme sıvılarının da biyolojikleştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [19].

Kesme sıvılarının kullanımı özellikle petro kimya ürünü olması durumunda çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu etkilerin en aza indirilmesi amacıyla endüstriyel düzeyde, temiz üretim kavramı hem süreç düzeyinde (enerji ve hammadde tasarrufu, toksik maddelerin kullanımının azaltılması, atık ve emisyon miktarının sınırlandırılması) hem de ürün düzeyinde (tüm yaşam döngüsü boyunca etkilerin azaltılması ve yeniden kullanımda yenilikçi ilerlemelerin kolaylaştırılması, yeniden üretim ve geri dönüşüm) sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için iyi bilinen bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple çevre ve insan sağlığına zararlı

maddelerin kullanımının en aza indirilmesi mümkünse kullanılmaması sağlanmaya çalışılmaktadır [20].

Geleneksel kesme sıvıları ile çalışan operatörlerin uzun vadede çeşitli cilt ve solunum hastalıklarına yakalanmaları ve meslek hastalıklarının kayıt altına alınmaları ile kimyasal ürünlerin yerine alternatiflerinin kullanılması için çalışmalar ön plana çıkmıştır. Ayrıca petrolün bir kıt kaynak olması sebebiyle mineral yağların sürdürülebilir bir kesme sıvısı olmaması da sürdürülebilirliği bulunan bitkisel tabanlı kesme sıvılarının kullanımını ön plana çıkarmıştır. Bu süreçte hem insan hem de çevreyi en az seviyede etkileyecek olan kesme sıvılarının organik ürünlerden elde edilebileceği görülmüştür. Bitkisel tabanlı kesme sıvılarının geri dönüşüm ve tekrar kullanılabilirlik gibi özellikleri ve biyolojik olarak parçalanabilirliği sayesinde petrol ürünü kesme sıvılarına göre üstünlük sağlamaktadır [2], [21]. Mineral bazlı yağların tamamı petrol ürünü olması sebebiyle, üretilen kesme sıvılarının geri dönüşümleri ve artımlarının maliyetleri de çok yüksek olmaktadır [3]. Her üründe olduğu gibi kesme sıvılarının da belirli çalışma ömürleri bulunmaktadır. Makine başına ayrı tanklarda olduğu gibi işletme içerisinde merkezi kesme sıvısı tankları aracılığıyla da toplanan kesme sıvıları, belirli çalışma süresi sonucunda servis ömrünü tamamlayarak kullanılamaz hale gelmektedir. Kesme sıvılarının servis ömürlerini uzatmak için içlerine özel katkı maddeleri eklenmektedir. Böylece çalışma şartlarında karşılaştıkları yüksek sıcaklıklara, farklı malzemelerde kullanım esnasında içlerine karışan talaşlara, ortam havasındaki değişimlere ve tozlara karşı ömürleri bir miktar artırılabilmektedir. Ancak, genel olarak kesme sıvıları içerisinde su bulunması sebebiyle yüksek sıcaklıklarda suyun buharlaşması, düşük sıcaklıklarda ise katkı malzemelerinin ayrışması gibi sorunlar yaşanabilmektedir. Tüm bu olumsuz faktörler doğrultusunda özellikle suda çözünen kesme sıvılarının ömrünü doldurma aşamasında içlerinde zararlı bakteri oluşumları meydana gelmektedir. Bu zararlı bakteri ve mantarlar hem çevre hem de insan sağlığını olumsuz yönde etkilemekte, makine ve donanımlara zarar vermekte ve kesme sıvısının ömrünün daha erken dolmasına sebep olmaktadır. Bakteriler haricinde kesme sıvısı içerisinde funguslar ve algler de oluşabilmektedir [7], [22]. Şekil 4'te servis ömrünü doldurmuş olan sırasıyla bozulmuş [7] ve çamurlaşmış [23] kesme sıvısı örnekleri görülmektedir.



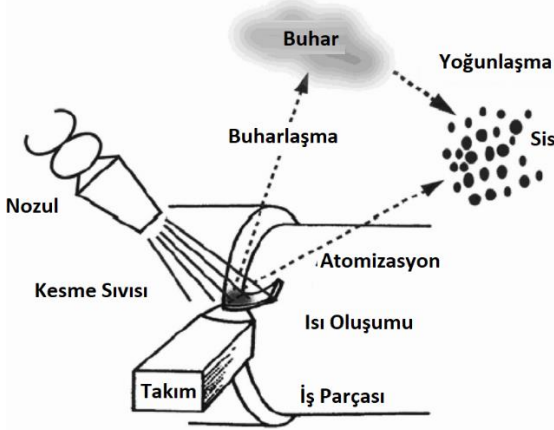
Şekil 3. Servis ömrünü dolmuş kesme sıvıları (a) bozulmuş kesme sıvısı [7] (b) Çamurlaşmış kesme sıvısı [23]

Petrol ürünü kesme sıvıları yüksek ısıdaki işlemlerde yoğun buhar oluşumuna sebep olmakta bu buharın solunması çalışanlar üzerinde solunum sistemi hastalıklarına, çevreye

yayılımı ile de hava kirliliği sorununa sebep olmaktadır [2], [4], [5], [21].

Özellikle son zamanlarda çevre ve insan sağlığı üzerine petro kimya ürünü olan yağlayıcıların olumsuz etkileri olduğu ve uzun süreli kullanımda özellikle cilt kanseri ve bu kesme sıvılarının buharlaşması ile solunması sonucunda ciddi akciğer rahatsızlıklarına sebep olduğu bilinmektedir. Bu nedenle günümüz şartlarında daha çok organik ve çevre-insan sağlığına en az zararda/zararsız olan kesme sıvılarının kullanımı ön plana çıkmaktadır [2], [3], [5]. Günümüz rekabetçi piyasası dikkate alındığında, uluslararası alanda faaliyet gösteren çoğu imalat firmasının üretim yöntemlerini hem ekonomik hem verimli hem de ekolojik farkındalığa dikkat ederek, kısacası ekolojik olarak doğrulanmış üretim yöntemlerine göre belirlemelerini gerekli kılmaktadır [24].

Şekil 5'te belirtilen geleneksel kesme sıvısı kullanımı esnasında kesme bölgesinde oluşan buhar ve sis gösterilmiştir [6]. Mineral bazlı ya da sentetik yağlardan elde edilen kesme sıvılarının kullanımı sonucunda oluşan sis ve buharların solunması sebebiyle çalışanların solunum sistemi hastalıklarına yakalanma olasılıkları artmaktadır. Yapılan çalışmalarda sis şeklinde yağlamada yağ buharının yayılımının ve solunum ile çalışana etkilerinin üzerinde çalışılması gerektiği belirtilmiştir [25].



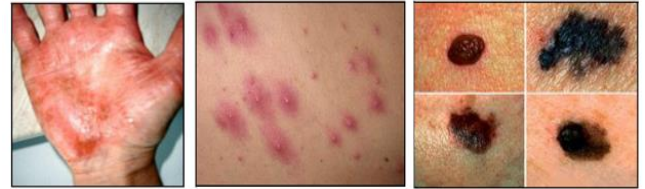
Şekil 4. Kesme sıvısının buharlaşması [6]

Kesme sıvılarının kullanıldığı imalat alanları tornalama [26–28], frezeleme [29], [30], taşlama [2], [18], delik delme [25], [31], [32], raybalama, klavuz çekme, broşlama, kesme işlemleri [33], dişli imalatı, delik işleme vb birçok uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır [5], [26]. Burada yüksek işleme hızlarında yani yüksek kesme hızlarında kesme sıvısının soğutma, yanmaya karşı direnç gibi özellikleri ön plana çıkarken, düşük kesme hızlarında daha çok yağlama özelliği ön plana çıkmaktadır [5]. Tüm bu alanlarda kullanılan kesme sıvılarının cilde uygunluk, korozyonu önleme ve bakteri oluşumunun en az olacağı pH değeri 8,5-9,5 aralığında olmaktadır [5]. Önemli bir özellik de kesme sıvısının su ya da yağ bazlı olup olmaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Su bazlı olan kesme sıvılarında çok miktarda su kullanımı ve bu suyun kirlenmesi hem su kaynaklarının tükenmesi hem de bakteri ve mantarların üremesi için çok

uygun bir alan oluşturması yönünden olumsuz sonuçlar doğurmaktadır [2], [26].

Jibhakate ve diğerleri, mineral yağların kullanımı yerine özellikle bitkisel tabanlı yağların MQL yöntemi ile taşlama işleminde kullanılmasıyla hem enerji tasarrufu hem de kesme sıvısı tasarrufu sağlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca, bitkisel tabanlı kesme sıvısı kullanımında iş parçası üzerinden salınan aerosolün/buharın çalışanların sağlığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı ve MQL söz konusu olduğunda, ortalama gürültü seviyesinin normal kesme sıvısı uygulamalarınınkine yakın olduğunu sonucuna varmışlardır. Böylece iş sağlığı ve güvenliği bakımından zararlı gaz oluşumu meydana gelmediği ve fiziksel risk faktörlerinden gürültü oluşumu sebebiyle bir mağduriyet yaşanması durumunun da oluşmadığı görülmüştür [18].

Kesme sıvısının sirkülasyon şeklinde sürekli ya da birkaç kez döngüsel olarak kullanımı, kesme sıvısının işlenen malzemeler sebebiyle kirlenmesine, malzemeler ile oluşan yüksek sıcaklıklar sebebiyle de kimyasal tepkimelere girmesi sonucunda kendi kimyasal özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu durum, kesme sıvısının hem işlevsel performansını olumsuz yönde etkilemekte hem de saf kesme sıvısının hem çevre hem de insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisini daha da arttırmaktadır. Bu durumun neticesinde kesme sıvısında mantar ve bakteriler oluşmaktadır. Bu mantar ve bakteriler kesme sıvısının formunu bozarak kullanılabilirliğini düşürmekte, makinanın aksamalarına zarar vermekte, çalışma alanına sıçramalar sonucunda kirliliğe, deri ile temasta uzun vadede ciddi hastalıklara, buharının solunması ile solunum yolu rahatsızlıklarına sebep olmaktadır [26], [28], [34]. Şekil 6'da kesme sıvıları kaynaklı yaşanan deri hastalıkları gösterilmiştir [4].

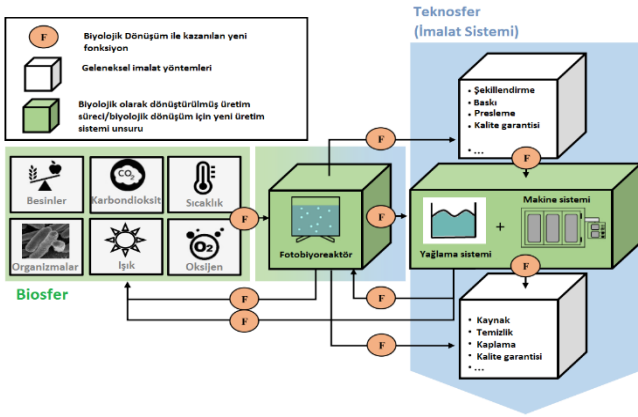


Şekil 5. Kesme sıvıları kaynaklı deri hastalıkları (a) Dermatit (b) Folliculitis (c) Cilt Kanseri [4]

Antonicelli ve diğerleri doğal kaynaklı kesme sıvılarının çevresel etkiyi ve takım aşınmasını azaltmadaki etkinliğini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında mineral bazlı kesme sıvıları ile bitkisel tabanlı kesme sıvılarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışma da göstermiştir ki, doğal kaynaklı kesme sıvısı kullanımında daha etkili bir yağlama gerçekleştiği böylece daha az (Vb) aşınmanın meydana geldiği, daha az kesme sıvısı kullanımı ile daha yüksek verim neticesinde daha ekolojik olduğunu belirtmişlerdir [35].

Hem ekoloji hem de insan ve çevre sağlığı ön plana alınarak yapılan uygulamalar karşımıza çıkmaktadır. Bu uygulamalardaki süreç yeşil proses olarak adlandırılmaktadır. Yeşil proses parametreleri metodolojisi altında çalışan taşlama prosesinin belirtilen bir örneğine

göre, verimden ödün vermeden enerji tüketiminde %31,54 ve kesme sıvısı miktarında %92,21 azalma sağlanabildiği belirtilmiştir [18]. Yeşil proses sürecinin de bir parçası olarak biodönüşüm kavramı da ön plana çıkmaktadır. Günümüz çalışmalarında özellikle Hagen ve diğerleri, işletme bünyesinde biodönüşüm kavramı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Şekil 7’de teorik bir perspektif ile makine sistemi içerisinde yağlama işlemini gerçekleştirmek amacıyla kurulan biyolojikleştirme birimi görülmektedir. Belirtilen teorik perspektif çevre ve insan sağlığı, sürdürülebilirlik ve biodönüşüm kavramlarının günümüzdeki karşılığını ifade etmektedir [19].

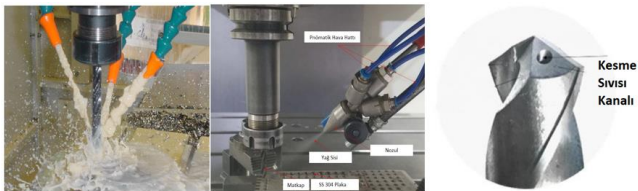


Şekil 6. Kesme sıvısı sisteminin biyolojikleştirilmesi [19]

Özellikle biodönüşüm, yani biyolojik olarak kesme sıvısının parçalanabilirliği çevre sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bitkisel yağlar biyolojik olarak parçalanabilirliğe sahip oldukları [12] için çevreci bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

4 Kesme sıvılarının işlenebilirliğe etkileri

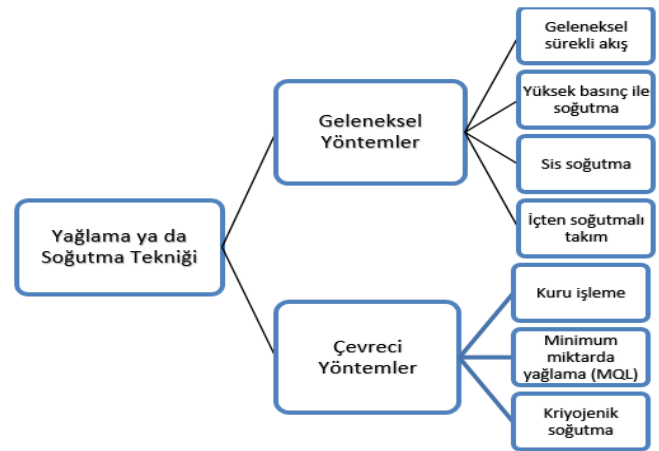
Kesme sıvıları ister bitkisel tabanlı ister sentetik ya da mineral bazlı olsun, imalat sektöründe çok önemli bir yere sahiptir. Kesme sıvıları uygulama şekilleri bakımından sürekli akış, MQL ya da takım içerisinde uygulama gibi farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Şekil 8’de sırasıyla sürekli akış [31], MQL [36] ve içten soğutma [37] olmak üzere üç farklı kesme sıvısı uygulaması gösterilmiştir. Uygulama yöntemleri farklı imalat yöntemlerine göre değişiklik göstererek çeşitlenebilmektedir.



Şekil 7. Farklı kesme sıvısı uygulama türleri (a) sürekli akış [31] (b) MQL [36] (c) İçten soğutma [37]

Belirtilen kesme sıvısı uygulama türleri haricinde, imalat işlemlerinde genel olarak Şekil 9’da belirtildiği üzere geleneksel ve çevreci yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca, bunların yanı sıra literatürde çeşitli araştırmalar da

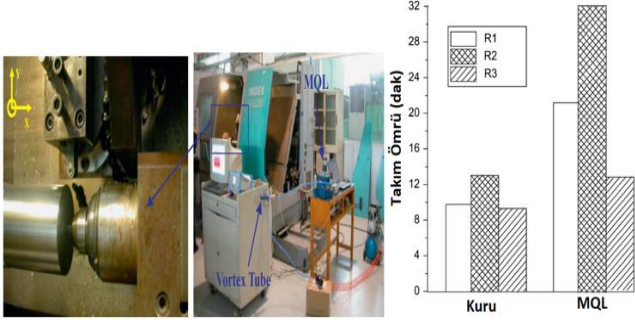
bulunmaktadır [38], [39]. Özellikle MQL yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmalar kuru kesmeye yakın düzeyde işleme olarak adlandırılmaktadır. Kullanılan kesme sıvısı miktarının çok az olması ile maliyetler ve çevre/insan sağlığı üzerinde avantaj sağlarken, kesme sıvısı içerisine karıştırılan nanoparçacıklar ile MQL'nin termal iletkenliğini ve yağlama özellikleri de iyileştirilebilmektedir. Burada önemli olan nokta ise, MQL sisteminde çok az miktarda sıvı veya yağlayıcı kullanımından dolayı kesme sıvısının diğer yöntemlerde kullanılan kesme sıvılarına kıyasla çok daha iyi özelliklere sahip olması gerektiğidir. Nanoakışkanları formüle etmek için hem metalik hem de metalik olmayan nanoparçacıklar kullanılabilir. Uygulamada, talaşlı imalatta grafit, borik asit ve MoS2 gibi yağlayıcılar kullanılmaktadır. Gümüş, SiO2 ve Al2O3 uygulamaları da literatürde bildirilmiştir [34], [40].



Şekil 8. İmalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvısı uygulama metotları [34]

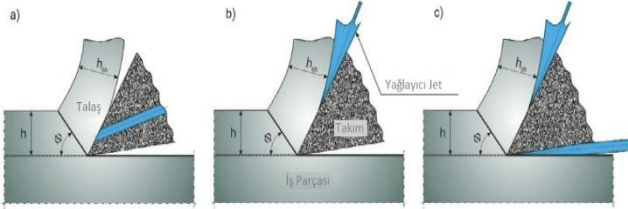
Yapılan çalışmalarda, nanoakışkanın temel sıvısına göre daha iyi tribolojik ve termofiziksel özellikler sergilediğini ve kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü, kesme bölgesi sıcaklığını ve takım aşınmasını azalttığını, ayrıca Nanoakışkan bilyeli yatak etkisi, tribo-film oluşumu, tamir etkisi ve cilalama etkisi dâhil olmak üzere aşınma önleme ve sürtünmeyi azaltma özelliklerini de geliştirdiğini belirtmişlerdir [41], [42].

Liu ve diğerleri Ti6Al-4V'nin tornalanmasında kuru kesme ve MQL yöntemini kullanarak, üç farklı takımın (kaplamasız kesici uçlar (R1), farklı kaplama malzemelerine sahip takımlar - nc-AlTiN/a-Si3N4 (R2) ve nc-AlCrN/a-Si3N4 (R3)) takım ömrü davranışlarını belirlemek üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesme sıvısı uygulamasının MQL yöntemi ile gerçekleştirilmesinin ve ayrıca kesme sıvısı kesici takım kaplama malzemesi uyumunun da işlenebilirliği önemli derecede etkilediğini belirtmişlerdir. Şekil 10’da belirtildiği üzere MQL yönteminde nc-AlTiN/a-Si3N4 kaplamalı takımın en uzun takım ömrünün elde edildiği anlaşılmaktadır [43].



Şekil 9. Ti6Al-4V'nin tornalanmasında kuru kesme ve MQL yöntemi (a) Deneysel düzenek (b) Takım ömrü [43]

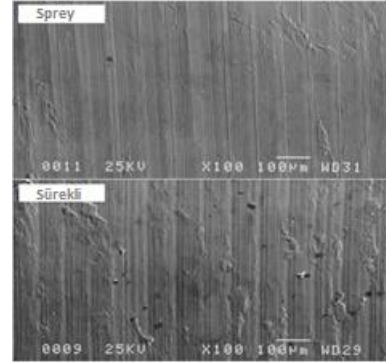
Ayrıca, Şekil 11'de kesme sıvısının farklı uygulama yöntemleri doğrultusunda kesme bölgesine nüfus etme durumları gösterilmiştir [24].



Şekil 10. Kesme sıvısı besleme yöntemleri (a) İçten (b) Talas yüzeyinde (c) Talas yüzeyi ve yan yüzey [24]

Kesme sıvılarının takım iş parçası arasında nüfus edebilmesi işlevselliğini yerine getirebilmeleri açısından son derece önemlidir. Aksi takdirde kesme sıvısı takım ve iş parçası üzerinden akıp gidecek ve gerekli etkiyi oluşturamayacaktır. Bu hususta Saha ve diğerlerinin mikro frezelemede MQL yöntemi üzerine yaptıkları çalışmada takım iş parçası arasında gölge bölge adı verilen ve kesme sıvısının ulaşmadığı bir alanın meydana geldiği ve kesme sıvısının takım iş parçası temas bölgesine erişilebilirlik yönünün de dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Aksi takdirde kesme sıvısının gölge bölgesi tarafından kısıtlanması sebebiyle, kesme kenarlarının eksik yağlanmış durumda dönmeye zorlanacağını ve bu da MQL beslemesinin işlenebilirliği kontrol etme etkinliğini azaltacağına dikkat çekmişlerdir [44]. Buradan da anlaşılacağı üzere kesme sıvısının uygulama şekli ve nüfus etme oranının ne denli önemli olduğu anlaşılabilir. Kesme sıvılarının kullanımları üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Rahman ve diğerleri frezeleme üzerine 35 HRc sertliğinde ASSAB 718 HH paslanmaz çeliği kullanarak, kaplamasız karbür kesici takım ile kuru kesme, sürekli akış ve MQL yöntemi ile gerçekleştirdikleri çalışmada, MQL yöntemi ile kesme sıvısı kullanımı neticesinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını daha kabul edilebilir değerlerde elde etmişlerdir. MQL'nin düşük kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği için ekonomik ve çevreye uyumlu bir yağlama tekniği olarak kabul edilebileceğini belirtmişlerdir [30]. Tazehkandi ve diğerleri, Inconel 716'nın tornalanmasında basınçlı hava ile püskürtüldüğünde parçalanabilen bitkisel yağ spray şeklinde kullanmışlardır. Basınçlı hava ile bitkisel yağ

kullanımının Inconel 716'nın tornalanmasında ısı transferini iyileştirdiğini saptamışlardır. Ayrıca, spray şeklinde uygulama ile kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın da sürekli akış uygulamasına göre ciddi oranda iyileştiğini görmüşlerdir. Bu uygulamada normal kesme parametrelerinin de kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Şekil 12'de bitkisel tabanlı kesme sıvısının spray şeklinde ve sürekli uygulanması neticesinde malzeme üzerinde oluşan pürüzlülüğün SEM görüntüsü verilmiştir. Spray şeklinde uygulamada daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiği görülebilmektedir [26].



Şekil 12. Kesme sıvısının spray ve sürekli akış uygulaması sonucu Inconel 716 yüzey pürüzlülük SEM görüntüsü [26]

Önemli bir husus da, bitkisel tabanlı kesme sıvılarının basınçlı hava ile spray formunda uygulanması ile kesme sıvısı tüketiminin azaltılması, böylece çevre sorunlarının düşürülmesi, işleme maliyetlerinin azaltılması ve verimliliğin artırılmasının sağlanabilmesidir. Spray şeklinde uygulama kesme sıvısının takım malzeme ara yüzüne çok daha iyi şekilde nüfus etmesini sağlamaktadır. Böylece, kesme sıvısının daha iyi yağlama yaptığı, ayrıca basınçlı havanın da katkısı ile daha iyi bir soğutma sağladığı görülmüştür [26].

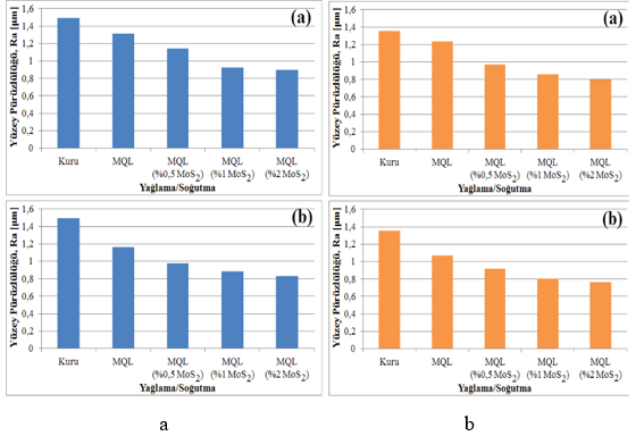
Benzer şekilde Ezugwu ve Bonney Inconel 718'in kaplamalı karbür takımla tornalama işleminde yüksek basınçlı kesme sıvısı kullanarak daha iyi yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü elde etmişlerdir. Bu durum bitkisel tabanlı kesme sıvılarında da uygun şartlarda kullanıldığında verimliliği artırıcı sonuçlar ortaya koyacağını göstermektedir [27].

Sarıkaya ve Güllü Haynes 25 malzemenin tornalanmasında kaplamasız karbür takım ile bitkisel tabanlı kesme sıvısı kullanmışlardır. Minimum miktarda yağlama (MQL-Minimum quantity lubrication) yöntemi ile 180 mL/h akışkan miktarları ile 6 bar basınç ve 30m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını minimize ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca, MQL yönteminin de kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, takım türü gibi değişkenler gibi önemli bir değişken olduğunu ve üzerinde durulması gereken bir etken olduğunu vurgulamışlardır [45].

Uysal AISI 430 ferritik paslanmaz çeliği frezelemede MoS₂ takviyeli bitkisel tabanlı kesme sıvısı kullanarak MQL yöntemi ile WC ve TiN kaplamalı karbür takımlar kullanarak katkı malzemesi oranı ve MQL akış hızının işlenebilirlik üzerine etkilerini araştırmışlardır. MoS₂ nano takviyeli

bitkisel tabanlı kesme sıvısının MQL ile kullanımında AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yüzey kalitesinin daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, TiN kaplamalı karbür takımında daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde etmişlerdir [29]. Şekil 13'de yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmiştir.

Bu sebepler göz önüne alındığında MQL yönteminin uygun kesme sıvısı ve nanoparçacık kullanımı ile ön plana çıktığı görülmektedir. MQL kullanımının işlenebilirlik üzerine etkilerini içeren derleme çalışmaları da gerçekleştirilmiştir [46], [47].



Şekil 13. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin frezele sonrası yüzey pürüzlülük değerleri a) WC takımla yapılan frezeleme işlemi (a) 20ml/saat (b) 40ml/saat b) TiN kaplamalı takım ile yapılan frezeleme işlemi (a) 20ml/saat (b) 40ml/saat [29]

Costa ve diğerleri TiAlN kaplamalı HSS matkap ile DIN 38MnS6 çeliği 45 m/dk ve 60 m/dk kesme hızlarında kuru kesme, sürekli akış ve MQL yöntemlerinde sırasıyla mineral yağ (sürekli akış ve MQL), yarı sentetik yağ (sürekli akış) ve bitkisel tabanlı yağ (MQL) kullanarak delme işlemine tabi tutmuşlardır. Bitkisel tabanlı kesme sıvısı kullanımı sonucunda mineral bazlı kesme sıvılarına kıyasla daha az çapak yüksekliği oluştuğunu belirtmişlerdir [31].

Kelly ve Cotterell 30mm kalınlığında ACP 5080 dökme alüminyum alaşım malzeme üzerine farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde 10mm çapında helisel matkap kullanarak yaptıkları araştırmada, çeşitli kesme sıvısı uygulamalarının delinebilirliğe etkilerini incelemişlerdir. Sırasıyla sürekli akış, sprey yağlama, basıncı hava ve kuru kesme şartlarında gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar neticesinde, takım aşınması açısından sprey yağlamanın yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde çok daha iyi olduğunu, kuru kesme şartlarında alüminyum malzemenin delinmesinin neredeyse imkânsız olduğu, delme şartlarının işlenebilirliğe imkan vermediğini belirtmişlerdir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ($V_c = 105 \text{ m/dk}$, $V_f = 500 \text{ mm/dk}$) sprey yağlama ile daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir [25].

Rahim ve Sasahara Ti-6Al-4V malzemenin yüksek hızda delinmesinde bitkisel tabanlı kesme sıvısı ve sentetik ester kesme sıvısı kullanımının işlenebilirlik üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında palm yağı ve sentetik ester kesme sıvıları ile MQL yöntemini kullanmışlardır. Palm

yağının MQL yöntem ile kullanılması ile kesme kuvveti, sıcaklık, güç ve kesme enerjisi bakımından sentetik ester kesme sıvısına kıyasla daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, palm yağının sentetik ester kesme sıvısına MQL yönteminde kullanmak için alternatif bir kesme sıvısı olabileceğini belirtmişlerdir [32].

Wickramasinghe ve diğerleri yaptıkları çalışmada yeni bir suda çözünür kesme sıvısı formülasyonunun AISI 304 paslanmaz çelik, yumuşak çelik ve dökme demir ile gerçekleştirilen tornalama ve frezeleme deneyleri sırasındaki performanslarını değerlendirmişlerdir. Bitkisel tabanlı olarak hazırladıkları kesme sıvısında baz yağ olarak beyaz hindistancevizi yağı, su ve yüzey aktif maddeler olarak gıda sınıfı katkı maddelerinin kullanıldığı bir kesme sıvısı hazırlamışlardır. Viskozite, pH değeri ve biyözünürlük değerlerini ölçmüşler ve ticari olarak temin edilebilen bitkisel yağ bazlı olmayan bir kesme sıvısı ile karşılaştırmışlardır. İşleme deneyleri boyunca yüzey pürüzlülüğü ve takım yüzey sıcaklığını ölçmüş ve çevre dostu hindistancevizi yağı bazlı kesme sıvısı ile daha iyi performans gözlemlemişlerdir. Hindistancevizi yağı bazlı kesme sıvısının takım ömrü, kesme sıcaklıkları, biyolojik olarak parçalanabilirlik açısından üstün performans gösterdiği sonucuna varmışlardır [10].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak bilindiği üzere düşük kesme hızlarında yağlama özelliği iyi, yüksek kesme hızlarındaki işlemlerde ise soğutma özelliği iyi olan kesme sıvılarının kullanılması gerekliliğinden dolayı [7] bitkisel tabanlı ya da organik kesme sıvılarının seçimleri de bu şartlara uygun olarak yapılması gerektiği görülmüştür. Aksi taktide doğru seçilmeyen işleme koşulları neticesinde istenen verimlilik elde edilemeyecektir. Erhan ve diğerlerinin [12] yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklık ve nem olan ortamlarda bitkisel tabanlı kesme sıvılarının dayanım konusunda yetersiz olduklarını ifade etmişlerdir. Bu durum neticesinde gerekli soğutma ve yağlama performansı özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiğini belirtmişlerdir.

Demir ve diğerlerinin 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada, büyük yüklerin meydana geldiği kesme şartlarında mineral yağların içerisinde organik yağlar eklenerek yüksek dayanım ve düşük kayma direncine sahip bir film tabakasının oluşturulabildiğini ancak organik yağlar olan hayvansal ya da bitkisel yağların maliyetlerinin yüksek olması ve ulaşılabilirliğinin az olması [7] sebebiyle yerlerine mineral yağların tercih edildiğini belirtmelerinin üzerinden 14 yıl geçtiği görülmektedir. Bu süreçte hem teknolojinin hem de bitkisel üretim süreçlerinin geliştiği göz önüne alındığında, en büyük faktör olan maliyet ve ulaşılabilirliğin günümüz şartlarında aşılabileceğini göstermektedir.

Bitkisel tabanlı yağların kullanımı maliyet açısından yüksek görülmektedir. Bu sebeple, sürekli kesme sıvısı akışı şeklinde geleneksel kesme sıvısı kullanımı yerine yüksek basınçlı hava ile kesme sıvısı püskürtülmesi şeklinde kullanım hem yüksek maliyetli olan bitkisel tabanlı yağların oransal olarak çok daha az miktarda kullanılmasını sağlamak hem de takım iş parçası ara yüzüne çok daha iyi nüfus ederek işlevini yerine getirmesini kolaylaştırmaktadır [26].

5 Sonuçlar

Geleneksel ve bitkisel tabanlı kesme sıvılarının insan/çevre sağlığı ve işlenebilirlik bakımından değerlendirilmesi üzerine gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde

- Kesme sıvısı kullanımının en azından günümüz teknolojik şartları ve talaşlı imalat süreçleri göz önüne alındığında tam olarak elimine edilemeyeceği ve tüm talaşlı imalat süreçlerinin kuru kesme yöntemiyle gerçekleştirilemeyeceği
- Daha az kesme sıvısı kullanımına olanak sağlayan yöntemlerin (MQL vb.) tercih edilmesinin kesme sıvısı maliyetleri ve çevre/insan sağlığı üzerinde büyük bir avantaj sağlayacağı
- Kesme sıvısı kullanımlarının uygun parametreler çerçevesinde işletme başına tüketim olarak azaltılmasının ilk alınması gereken önlem olduğu
- Sürdürülebilirlik, yeşil üretim ve biodönüşüm kavramlarına daha fazla önem verilmesi gerektiği
- Bitkisel ya da hayvansal tabanlı kesme sıvıları maliyet açısından geleneksel sentetik ve mineral yağlara göre belirli bir oranda yüksek olmasına karşın, uzun vadede insan/çevre sağlığı üzerinde petro kimya türevi ve sentetik yağların daha yıkıcı etkileri göz önüne alındığında (çevre kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, akciğer kanserleri, cilt kanserleri vb.), bu maliyetin çok daha kabul edilebilir olup, sürdürülebilir tarım politikaları ile makul seviyelere çekilebileceği,
- Bitkisel tabanlı kesme sıvılarının kullanımı için devlet politikalarında bu sıvıların yıllık kullanım miktarları, insan/çevre sağlığı üzerinde kısa ve uzun vadede yarattığı avantajlar ön plana çıkarılarak değerlendirilmesi, yasa ve yönetmelikler getirilmesi gerekliliği,
- Bitkisel tabanlı kesme sıvılarının geliştirilmesi için çalışmaların desteklenmesi, bu şekilde sürdürülebilir, geri dönüşümü mümkün, verimliliği yüksek ve insan/çevre sağlığına en az zararda üretim süreçlerinin gerçekleştirilebileceği,
- Kullanımın öncelikli olarak devlet eli altındaki firmalarda pilot uygulama şeklinde hayata geçirilmesi, ilerleyen süreçte küçük ve orta ölçekli firmaların da bu kesme sıvılarının piyasada daha fazla bulunabilirliği ve maliyetindeki azalmalar doğrultusunda tercih etmelerine imkan sunacağı sonuçlarına varılmıştır. İmalat süreçleri belirtilen sonuçlara uygun olarak düzenlendiği takdirde üretim kalitesi, kesme sıvısı maliyeti, insan/çevre sağlığı gibi birçok açıdan avantajların elde edileceği görülmüştür.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] J. D. Silliman, Cutting and Grinding Fluids: Selection and Application. Society Manufacturing Engineers, Michigan, 1992.
- [2] K. K. Gajrani and M. R. Sankar, Past and Current Status of Eco-Friendly Vegetable Oil Based Metal Cutting Fluids. Materials Today: Proceedings, 4 (2) 3786–3795, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.275>.
- [3] E. Şık, Bitkisel Tabanlı Yağlardan Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Türkiye, 2009.
- [4] E. Yücel, M. Günay, M. Ayyıldız, Ö. Erkan, ve F. Kara, Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Sıvılarının İnsan Sağlığına Etkileri Ve Sürdürülebilir Kullanımı. 6. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), sayfa 116-121, Elazığ, Türkiye, 16-18 Mayıs 2011.
- [5] Ş. Şirin ve E. Şirin, Merkezi Soğutma Sisteminde Kullanılan Metal İşleme Sıvılarının İnsan Sağlığına Olumsuz Etkileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2 (2), 444–457, 2014.
- [6] D. P. Adler, W. W.-S. Hii, D. J. Michalek and J. W. Sutherland, Examining The Role Of Cutting Fluids In Machining And Efforts To Address Associated Environmental/Health Concerns. Machining Science and Technology, 28 (1), 23–28, 2007. <https://doi.org/10.1080/10910340500534282>.
- [7] H. Demir, H. B. Ulaş ve M. Zeyveli, Talaşlı Üretimde Kullanılan Kesme Sıvılarından İstenilen Özellikler. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), sayfa 13-15, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
- [8] V. Temiz, Triboloji. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Triboloji.pdf, Erişim 8 Ekim 2023.
- [9] Z. Wang, The Correlation between the Penetration Force of Cutting Fluid and Machining Stability. Master Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, ABD, 2010.
- [10] K. C. Wickramasinghe, H. Sasahara, E. A. Rahim, and G. I. P. Perera, Green Metalworking Fluids for sustainable machining applications: A review. Journal of Cleaner Production, 257, 120552, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120552>.
- [11] E. Benedicto, D. Carou, and E. M. Rubio, Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes. Procedia Eng, 184, 99–116, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.04.075>.
- [12] S. Z. Erhan, B. K. Sharma and J. M. Perez, Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants. Industrial Crops and Products, 24 (3), 292–299, 2006. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2006.06.008>.
- [13] Y. M. Shashidhara and S. R. Jayaram, Vegetable oils as a potential cutting fluid—An evolution, Tribology International, 43 (5–6), 1073–1081, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2009.12.065>.

- [14] A. Çakır, N. Kavak ve U. Şeker, Sürdürülebilir Üretim İçin Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Sıvılarının Geri Dönüşümü. *Mühendis ve Makina*, 58 (684), 15–30, 2017.
- [15] P. S. Sreejith and B. K. A. Ngoi, Dry machining: Machining of the future. *Journal of Materials Processing Technology*, 101 (1–3), 287–291, 2000. [https://doi: 10.1016/S0924-0136\(00\)00445-3](https://doi: 10.1016/S0924-0136(00)00445-3).
- [16] M. Kıyak, Application of Cutting Fluids on Machining. 2. International Conference On Tribology Turkeytrib'18, sayfa 244–249, İstanbul, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.
- [17] X. C. Tan, F. Liu, H. J. Cao and H. Zhang, A decision-making framework model of cutting fluid selection for green manufacturing and a case study. *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1–3), 467–470, 2002. [https://doi: 10.1016/S0924-0136\(02\)00614-3](https://doi: 10.1016/S0924-0136(02)00614-3).
- [18] R. A. Jibhakate, N. W. Nirwan and K. S. Rambhad, Enhancing the effectiveness of green technology in manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4298–4305, 2021. <https://doi: 10.1016/J.MATPR.2021.04.592>.
- [19] J. Hagen, R. Arafat, T. Abraham and C. Herrmann, Function oriented biological transformation of a lubrication process system. *Procedia CIRP*, 110, 26–31, 2022. <https://doi: 10.1016/J.PROCIR.2022.06.007>.
- [20] B. F. Giannetti, F. Agostinho, J. J. C. Eras, Z. Yang and C. M. V. B. Almeida, Cleaner production for achieving the sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122127, 2020. <https://doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.122127>.
- [21] O. Duman ve Y. Bozkurt, İş Sağlığı ve Güvenliğinde Metal İşleme Sıvıları. *OHS ACADEMY*, 4 (1), 27–43, 2021.
- [22] Y. Yıldırım, Sürdürülebilir Üretim. *Mühendis ve Makina*, 52 (613), 27–29, 2011.
- [23] Sektörel Atık Kılavuzları Metal Sektörü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/Metal_Sektoru_Kilavuzu.pdf, Erişim 08 Ekim 2023.
- [24] G.M. Krolczyk, R.W. Maruda, J.B. Krolczyk, S. Wojciechowski, M. Mia, P. Nieslony and G. Budzik, Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production – A review. *Journal of Cleaner Production*, 218, 601–615, 2019. <https://doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.017>.
- [25] J. F. Kelly and M. G. Cotterell, Minimal lubrication machining of aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 120 (1–3), 327–334, 2002. [https://doi: 10.1016/S0924-0136\(01\)01126-8](https://doi: 10.1016/S0924-0136(01)01126-8).
- [26] A. H. Tazehkandi, M. Shabgard and F. Pilehvarian, On the feasibility of a reduction in cutting fluid consumption via spray of biodegradable vegetable oil with compressed air in machining Inconel 706. *Journal of Cleaner Production*, 104, 422–435, 2015. <https://doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.039>.
- [27] E. O. Ezugwu and J. Bonney, Finish Machining of Nickel-Base Inconel 718 Alloy with Coated Carbide Tool under Conventional and High-Pressure Coolant Supplies. *Tribology Transactions*, 48 (1), 76–81, 2005. <https://doi: 10.1080/05698190590899958>.
- [28] R. Padmini, P. V. Krishna and G. K. M. Rao, Effectiveness of vegetable oil based nanofluids as potential cutting fluids in turning AISI 1040 steel. *Tribology International*, 94, 490–501, 2016. <https://doi: 10.1016/j.triboint.2015.10.006>.
- [29] A. Uysal, Ferritik paslanmaz çeliğin nano MoS₂ parçacık takviyeli kesme sıvısı kullanılarak MQL yöntemi ile frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi. *Dicle üniversitesi mühendislik fakültesi mühendislik dergisi*, 7 (1), 151–158, 2016.
- [30] M. Rahman, A. S. Kumar and M. U. Salam, Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (5), 539–547, 2002. [https://doi: 10.1016/S0890-6955\(01\)00160-2](https://doi: 10.1016/S0890-6955(01)00160-2).
- [31] E. S. Costa, M. B. Da Silva and A. R. Machado, Burr produced on the drilling process as a function of tool wear and lubricant-coolant conditions, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 31 (1), 57–63, 2009. <https://doi: 10.1590/S1678-58782009000100009>.
- [32] E. A. Rahim and H. Sasahara, A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys. *Tribology International*, 44, 309–317, 2011. <https://doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2010.10.032>.
- [33] C. Menze, T. Reeber, H. C. Möhring, J. Stegmann and S. Kabelac, Modelling of sawing processes with internal coolant supply. *Manufacturing Letters*, 32, 92–95, 2022. <https://doi: 10.1016/J.MFGLET.2022.04.006>.
- [34] S. Debnath, M. M. Reddy and A. Pramanik, Dry and Near-Dry Machining Techniques for Green Manufacturing. In: Gupta, K. (eds) *Innovations in Manufacturing for Sustainability*. Materials Forming, Machining and Tribology. Springer, Cham, pp. 1-27, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03276-0_1.
- [35] M. Antonicelli, A. Piccininni, A. Cusanno, V. Lacedra and G. Palumbo, Evaluation of the effectiveness of natural origin metalworking fluids in reducing the environmental impact and the tool wear. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135679, 2023. <https://doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135679>.
- [36] P. K. G and S. R. D, Analysis of high speed drilling AISI 304 under MQL condition through a novel tool wear measurement method and surface integrity studies. *Tribology International*, 176, 107871, 2022. <https://doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2022.107871>.
- [37] D. Guo, X. Guo, K. Zhang, Y. Chen, C. Zhou and L. Gai, Improving cutting performance of carbide twist drill combined internal cooling and micro-groove textures in high-speed drilling Ti6Al4V. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 381–389, 2019. <https://doi: 10.1007/S00170-018-2733-Z/METRICS>.
- [38] V. V. Podgorkov, A. S. Kapustin and V. A. Godlevski, Water steam lubrication during machining. *Tribologia*, 162(6)(11), 890–901, 1998.

- [39] S. Bacak ve Ö. Karabıyık, AISI 4140 Çeliğinin Tornalanmasında Atomize Edilmiş Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Performansı. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9 (1), 26–31, 2019.
- [40] M. Amrita, S. A. Shariq, M. Manoj and C. Gopal, Experimental investigation on application of emulsifier oil based nano cutting fluids in metal cutting process. *Procedia Engineering*, 97, 115–124, 2014. <https://doi:10.1016/J.PROENG.2014.12.231>.
- [41] K. A. Sharma, A. K. Tiwari and A. R. Dixit, Improved Machining Performance with Nanoparticle Enriched Cutting Fluids under Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 2, 3545–3551, 2015. <https://doi:10.1016/J.MATPR.2015.07.066>.
- [42] D. X. Peng, Y. Kang, R. M. Hwang, S. S. Shyr and Y. P. Chang, Tribological properties of diamond and SiO₂ nanoparticles added in paraffin. *Tribology International*, 42 (6), 911–917, 2009. <https://doi:10.1016/J.TRIBOINT.2008.12.015>.
- [43] Z. Liu, Q. An, J. Xu, M. Chen and S. Han, Wear performance of (nc-AlTiN)/(a-Si₃N₄) coating and (nc-AlCrN)/(a-Si₃N₄) coating in high-speed machining of titanium alloys under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions. *Wear*, 305 (1–2), 249–259, 2013. <https://doi:10.1016/J.WEAR.2013.02.001>.
- [44] S. Saha, S. Deb and P. P. Bandyopadhyay, Shadow zone in MQL application and its influence on lubricant deficiency and machinability during micro-milling. *International Journal of Mechanical Sciences*, 220, 107181, 2022. <https://doi:10.1016/J.IJMECSCI.2022.107181>.
- [45] M. Sarikaya and A. Güllü, Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25. *Journal of Cleaner Production*, 91, 347–357, 2015. <https://doi:10.1016/J.JCLEPRO.2014.12.020>.
- [46] A. Zainol and M. Yazid, Review of Development Towards Minimum Quantity Lubrication and High Speed Machining of Aluminum 7075-T6. *International Conference on Design and Concurrent Engineering*, pp 129–142, Malaysia, 2016.
- [47] R. S. Revuru, N. R. Posinasetti, V. R. Vsn and M. Amrita, Application of cutting fluids in machining of titanium alloys—a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91 (5–8), 2477–2498, 2017. <https://doi:10.1007/s00170-016-9883-7>.

